



Τμήμα Μηχανολόγων
Μηχανικών

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Τεχνολογία Υλικών Ι

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Δρ. Σκλήρη Ευαγγελία

Διαγράμματα Φάσεων

Διαγράμματα φάσεων - δηλαδή πώς συμπεριφέρονται δύο υλικά όταν τα συνδυάζουμε μεταξύ τους.

- Όταν συνδυάζουμε δύο στοιχεία...
ποια είναι η προκύπτουσα κατάσταση ισορροπίας;

Στα διαγράμματα φάσεων, η **ισορροπία** σημαίνει ότι το σύστημα έχει “σταθεροποιηθεί” στις συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και σύστασης και **δεν αλλάζει πλέον με τον χρόνο**.

- Ειδικότερα, εάν καθορίσουμε...
 - τη σύσταση (π.χ., wt% Cu - wt% Ni), και
 - τη θερμοκρασία (T)

τότε...

Πόσες φάσεις δημιουργούνται;

Ποια είναι η σύσταση κάθε φάσης;

Ποια είναι η ποσότητα κάθε φάσης;



Διαγράμματα Φάσεων

- **Διάλυμα** λέμε ένα σύστημα που αποτελείται από μία μόνο φάση.
Μπορεί να είναι στερεό, υγρό ή αέριο, αλλά η σύστασή του είναι ομοιογενής.
- **Μείγμα** – περισσότερες από μία φάση

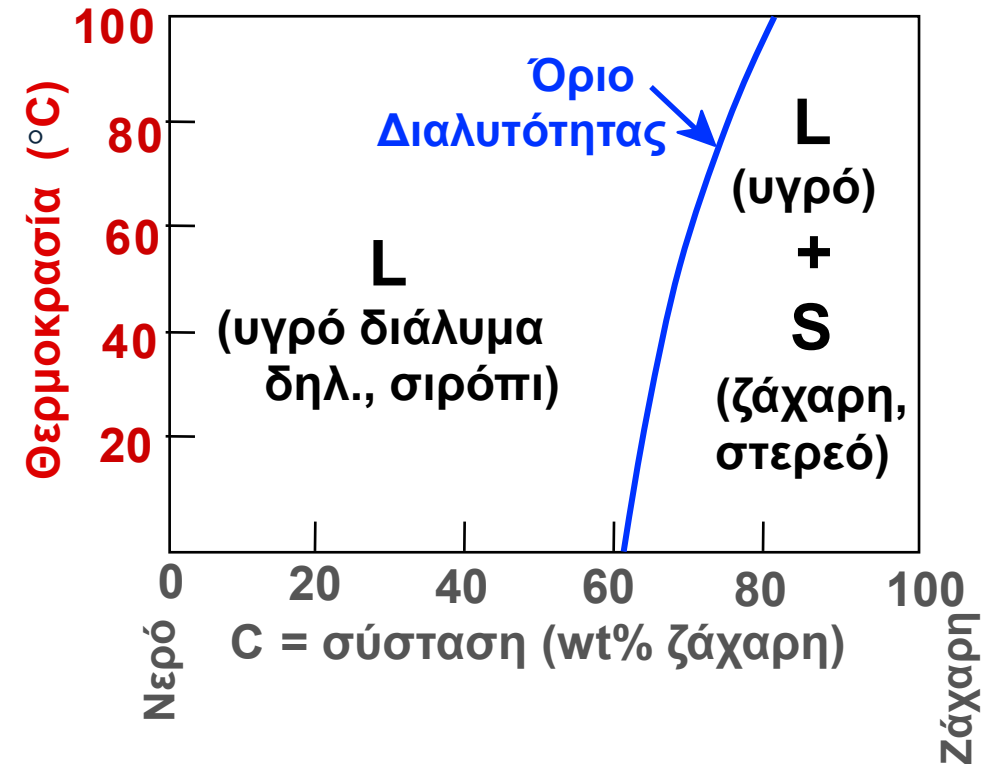
- **Όριο διαλυτότητας:** Η μέγιστη συγκέντρωση για την οποία υπάρχει διάλυμα με μόνο μία φάση.
 - Ποιο είναι το όριο διαλυτότητας για τη ζάχαρη στο νερό, στους 20°C;

Στους 20°C το όριο διαλυτότητας είναι περίπου 62 wt% ζάχαρη.

Άρα:

- αν έχουμε λιγότερο από 62%, όλη η ζάχαρη διαλύεται,
- ενώ αν ξεπεράσουμε το 62%, αρχίζει να παραμένει στερεή ζάχαρη μέσα στο σύστημα.»

Διάγραμμα φάσεων συστ. Ζάχαρης/Νερού

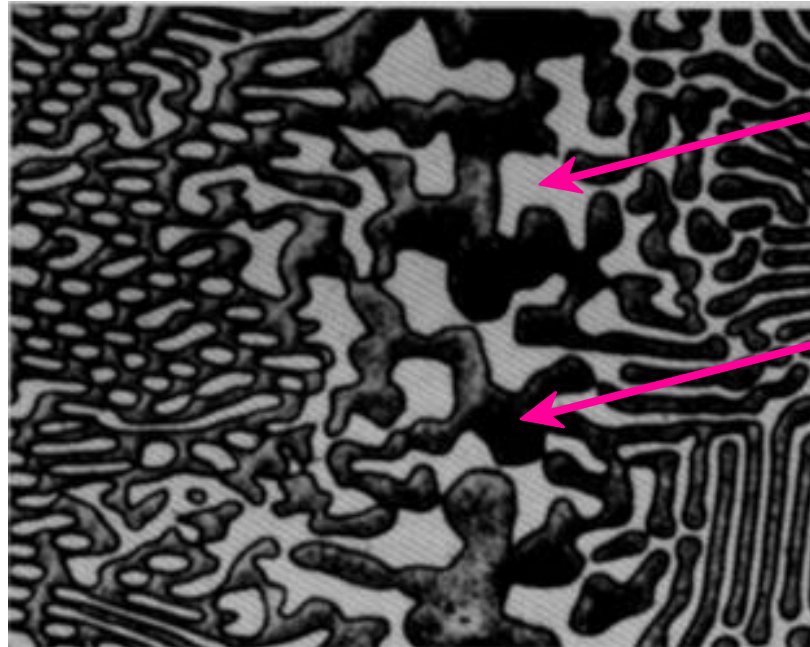


Διαγράμματα Φάσεων

- ❑ **Συστατικά** ονομάζουμε τα στοιχεία ή τις ενώσεις που συμμετέχουν σε ένα κράμα.
Για παράδειγμα, σε ένα κράμα αλουμινίου–χαλκού, τα συστατικά είναι το Al και το Cu.
- ❑ **Φάσεις** είναι οι φυσικά και χημικά διακριτές περιοχές υλικού που σχηματίζονται (π.χ., α και β).

Τα διαγράμματα φάσεων ουσιαστικά μας δείχνουν πότε εμφανίζεται μία φάση και πότε συνυπάρχουν περισσότερες

κράμα
αλουμινίου-
χαλκού



β
(φωτεινόχρωμη φάση)

α (σκουρόχρωμη φάση)

Διαγράμματα Φάσεων

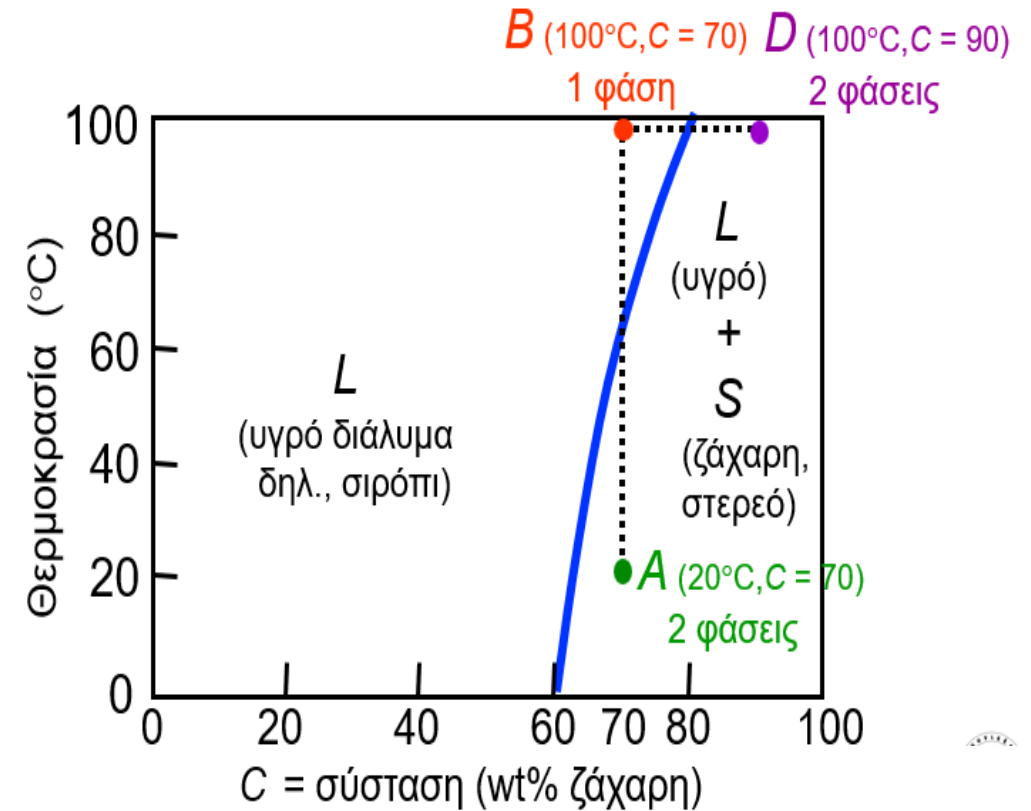
□ Επίδραση της θερμοκρασίας & σύστασης

• Η μεταβολή της θερμοκρασίας (T) μπορεί να μεταβάλλει τον αριθμό των φάσεων: διαδρομή A έως B.

Η μεταβολή της σύστασης (C) μπορεί να μεταβάλλει τον αριθμό των φάσεων: διαδρομή B έως D.

- Στους 20°C, στο σημείο A, το σύστημα βρίσκεται στην περιοχή δύο φάσεων.
Άρα έχουμε υγρό διάλυμα και αδιάλυτη στερεή ζάχαρη.
 - Στους 100°C, στο σημείο B, όλη η ζάχαρη διαλύεται και το σύστημα γίνεται μία μόνο φάση, δηλαδή υγρό διάλυμα.
- Άρα μόνο με αλλαγή της θερμοκρασίας μπορεί να αλλάξει ο αριθμός των φάσεων.

σύστημα
νερού-
ζάχαρης



Διαγράμματα Φάσεων

□ Επίδραση της θερμοκρασίας & σύστασης

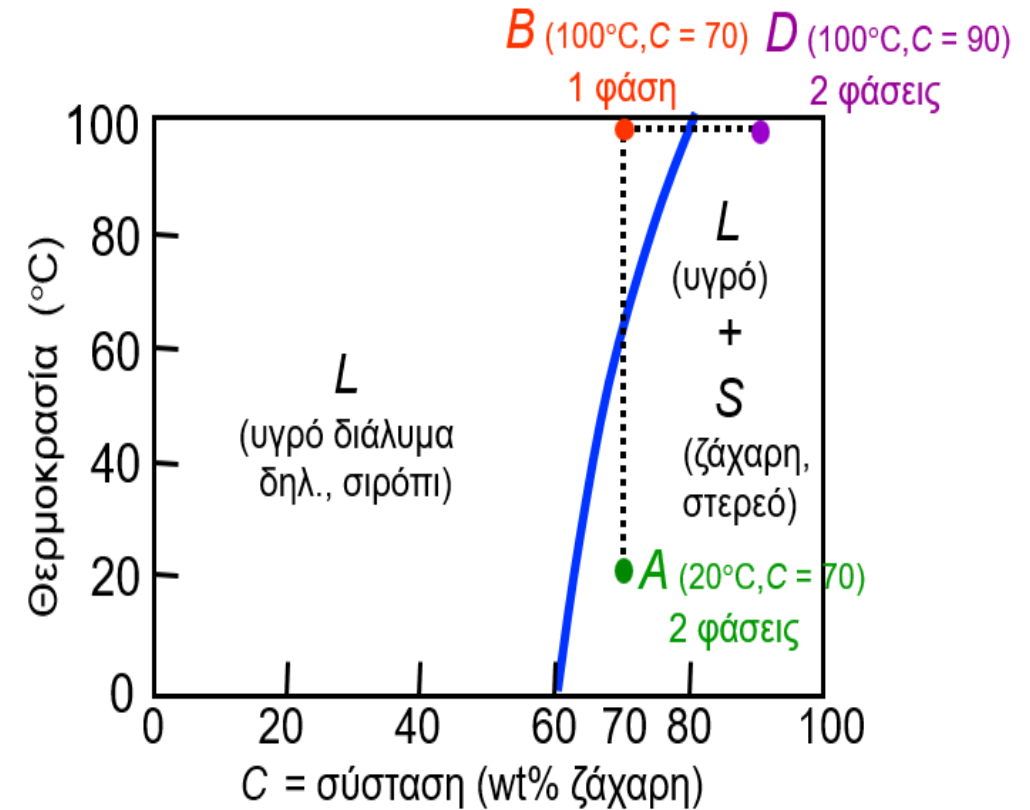
Η μεταβολή της σύστασης (C) μπορεί να μεταβάλλει τον αριθμό των φάσεων: διαδρομή B έως D.

Η θερμοκρασία μένει σταθερή στους 100°C και αλλάζουμε μόνο τη σύσταση.

- Στο B, με 70 wt% ζάχαρη, έχουμε μία φάση.
- Αν όμως αυξήσουμε τη συγκέντρωση στο 90 wt%, φτάνουμε στο σημείο D όπου το σύστημα περνά στην περιοχή δύο φάσεων, οπότε εμφανίζεται στερεή ζάχαρη μαζί με το υγρό διάλυμα.

Άρα και η θερμοκρασία και η σύσταση καθορίζουν ποιες φάσεις είναι σταθερές σε ένα υλικό.

σύστημα
νερού-
ζάχαρης



Διαγράμματα Φάσεων

❑ Κριτήρια για στερεά διαλυτότητα

Απλό σύστημα (π.χ., διάλυμα Ni-Cu)

	Κρυσταλλική δομή	Ηλεκτραρνητικότητα	r (nm)
Ni	FCC	1.9	0.1246
Cu	FCC	1.8	0.1278

Για να μπορούν δύο στοιχεία να διαλύονται εύκολα το ένα μέσα στο άλλο στη στερεά κατάσταση, πρέπει να ικανοποιούνται ορισμένα κριτήρια, γνωστά ως κανόνες Hume–Rothery.

- Να έχουν την ίδια κρυσταλλική δομή (FCC), παρόμοιες ηλεκτραρνητικότητες και ατομικές ακτίνες
- Τα Ni και Cu είναι πλήρως διαλυτά το ένα στο άλλο, σε όλες τις αναλογίες, δηλαδή μπορούν να σχηματίσουν μία μόνο στερεή φάση σε οποιαδήποτε αναλογία σύστασης.

Διαγράμματα Φάσεων

- Τα διαγράμματα φάσεων μας δείχνουν ποιες φάσεις είναι σταθερές για διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας, σύστασης και πίεσης.

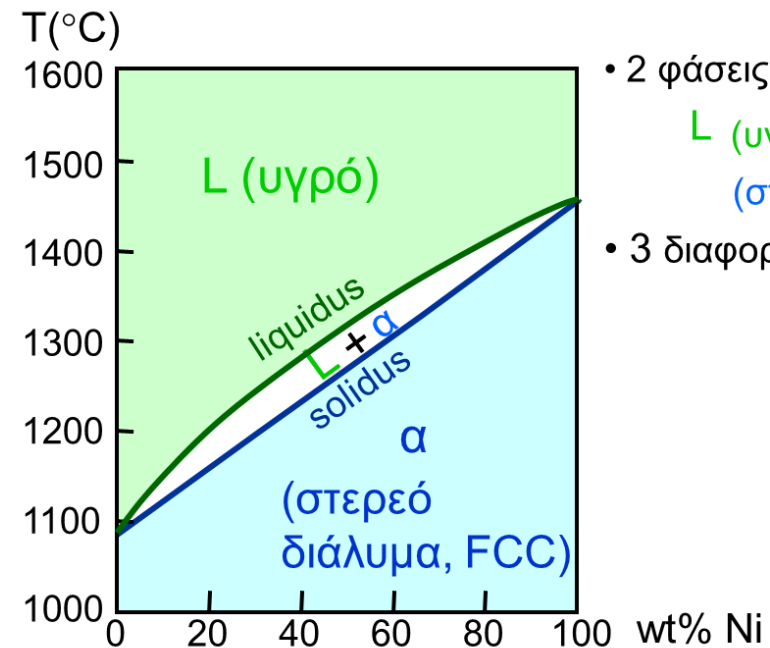
Το διάγραμμα χωρίζεται σε τρεις περιοχές φάσεων.

- Η πάνω περιοχή αντιστοιχεί σε πλήρως υγρό υλικό και συμβολίζεται με L (καμπύλη liquidus)
- Η κάτω περιοχή αντιστοιχεί στη στερεή φάση α, δηλαδή σε στερεό διάλυμα FCC. Η α φάση είναι μία στερεή FCC φάση που περιέχει και Cu και Ni.
- Ανάμεσα στις δύο καμπύλες υπάρχει η διφασική περιοχή L + α, όπου συνυπάρχουν υγρό και στερεό (καμπύλη solidus)

Άρα κατά την ψύξη ενός κράματος, το υλικό περνά:

- από την υγρή περιοχή,
- στη διφασική περιοχή όπου αρχίζει η στερεοποίηση,
- και τελικά στη πλήρως στερεή περιοχή.

διάγραμμα
φάσεων
για το
σύστημα
Cu-Ni



- 2 φάσεις:

L (υγρό)
(στερεό διάλυμα, FCC)

- 3 διαφορετικά πεδία φάσης

L
L + α
α

Διαγράμματα Φάσεων

□ Ισόμορφα διάγραμμα φάσεων, δυαδικά συστήματα

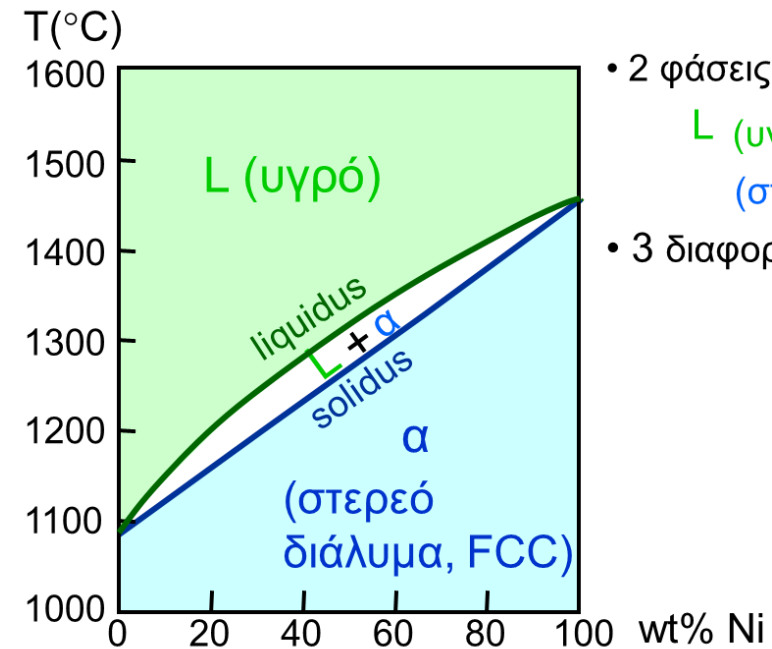
Το σύστημα χαρακτηρίζεται ως **δυαδικό** γιατί περιέχει δύο μόνο συστατικά: **χαλκό και νικέλιο**.

Ισόμορφο: τα δύο στοιχεία παρουσιάζουν πλήρη αμοιβαία διαλυτότητα στη στερεή κατάσταση και σχηματίζουν μία μόνο στερεή φάση (α) για όλο το εύρος συστάσεων.

Γι' αυτό βλέπουμε ότι η α φάση εκτείνεται σε όλο το εύρος συστάσεων, από 0 έως 100 wt% Ni.

Η α φάση είναι στερεό διάλυμα FCC, δηλαδή τα άτομα Cu και Ni μοιράζονται το ίδιο κυβικό εδροκεντρωμένο πλέγμα.

διάγραμμα
φάσεων
για το
σύστημα
Cu-Ni



Διαγράμματα Φάσεων

□ Διαγράμματα φάσεων: Προσδιορισμός υπαρχουσών φάσεων

- **Κανόνας 1:** Εάν γνωρίζουμε τις T και C_o , τότε γνωρίζουμε επίσης ποιες φάσεις υπάρχουν στο κράμα.
 - Αν το σημείο βρίσκεται μέσα σε μονοφασική περιοχή, τότε υπάρχει μία μόνο φάση.
 - Αν βρίσκεται σε διφασική περιοχή, τότε συνυπάρχουν δύο φάσεις.

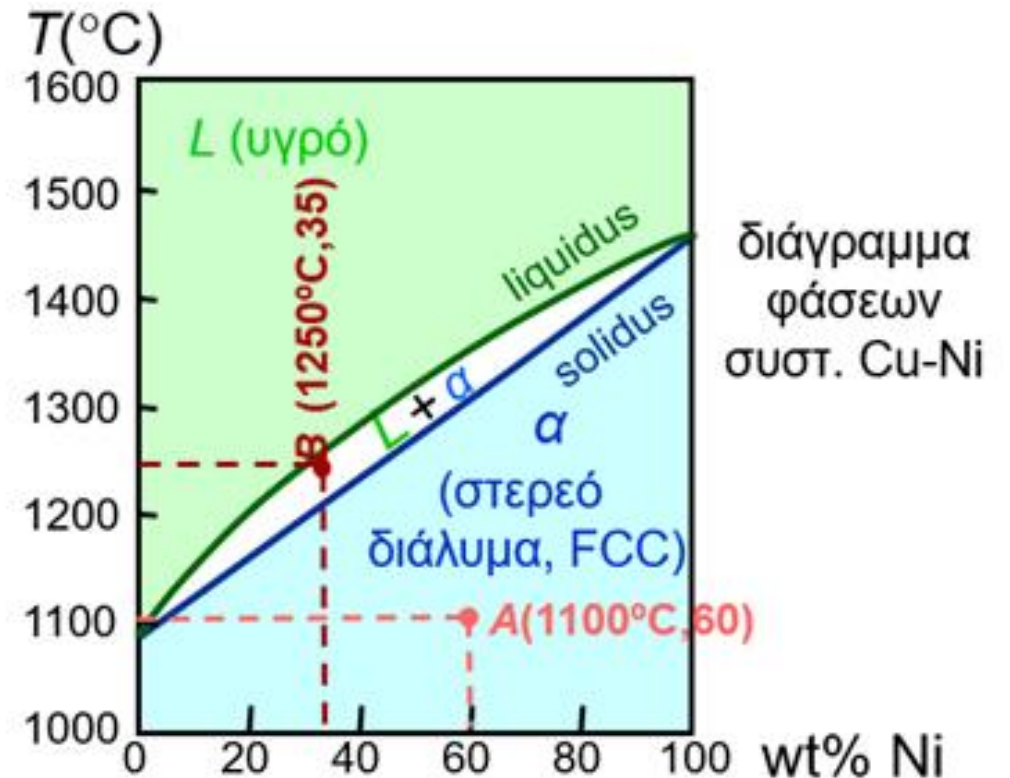
- Παραδείγματα:

Σημείο A (1100°C , 60 wt% Ni):

1 φάση: α

Σημείο B (1250°C , 35 wt% Ni):

2 φάσεις: $L + \alpha$



Διαγράμματα Φάσεων

□ Διαγράμματα φάσεων: Προσδιορισμός των συστάσεων των φάσεων

- **Κανόνας 2:** Εάν γνωρίζουμε τις T και C_0 , μπορούμε να προσδιορίσουμε τη σύσταση κάθε φάσης.

Δίνεται $C_0 = 35 \text{ wt\% Ni}$

- Σε $T_A = 1320^\circ\text{C}$:

παρούσα μόνο η υγρή (L) φάση

$$C_L = C_0 \quad (= 35 \text{ wt\% Ni})$$

- Σε $T_D = 1190^\circ\text{C}$:

παρούσα μόνο η στερεά (α) φάση

$$C_\alpha = C_0 \quad (= 35 \text{ wt\% Ni})$$

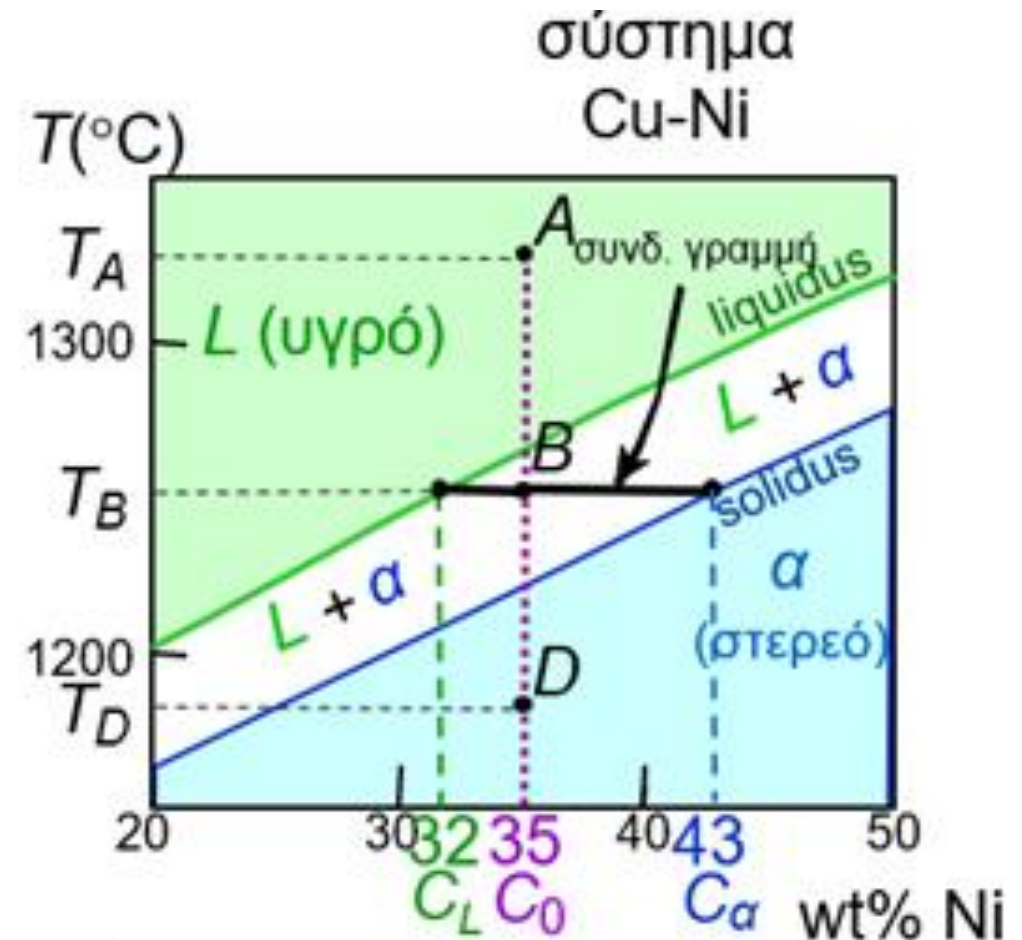
- Σε $T_B = 1250^\circ\text{C}$:

συνυπάρχουν οι φάσεις $L + \alpha$.

Η σύσταση κάθε φάσης προκύπτει από τα άκρα της οριζόντιας συνδετικής γραμμής:

$$C_L = C_{liquidus} \quad (= 32 \text{ wt\% Ni})$$

$$C_\alpha = C_{solidus} \quad (= 43 \text{ wt\% Ni})$$



Διαγράμματα Φάσεων

□ Διαγράμματα φάσεων: Προσδιορισμός των κλασμάτων βάρους των φάσεων

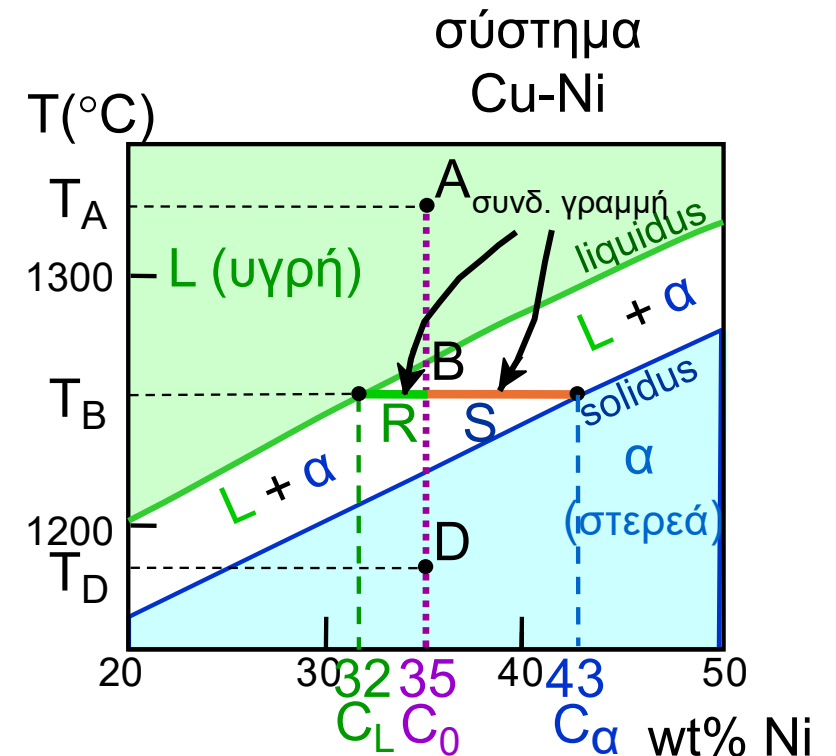
- **Κανόνας 3:** Εάν γνωρίζουμε τις T και C_0 , μπορούμε να προσδιορίσουμε τη **κλασματική μάζα κάθε φάσης (κλάσμα βάρους)**

1. Χάραξη της συνδετικής γραμμής στη θερμοκρασία του κράματος
2. Εντοπισμός της συνολικής σύστασης C_0 πάνω στη συνδετική γραμμή
3. Υπολογισμός κλάσματος μίας φάσης:

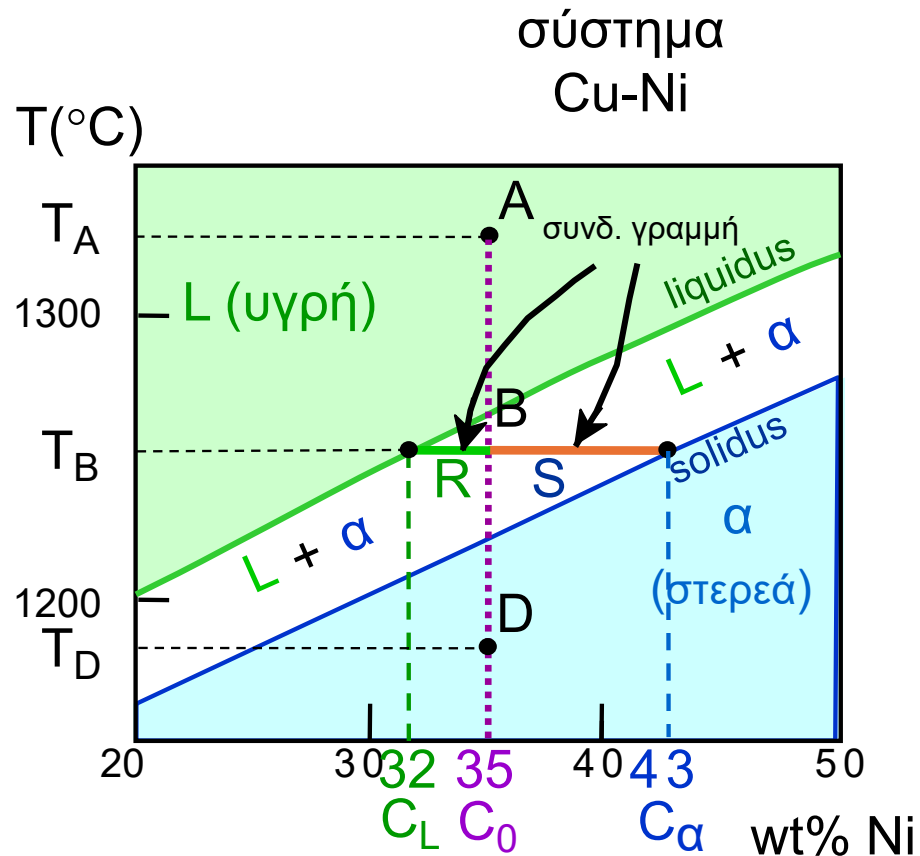
$$\frac{\text{μηκος συνδετικής γραμμής για την άλλη φάση}}{\text{συνολικό μήκος συνδετικής γραμμής}}$$

4. Υπολογισμός του κλάσματος της άλλης φάσης με τον ίδιο τρόπο
5. Για ποσοστά φάσεων:

$$\text{κλάσμα φάσης} \times 100$$



Διαγράμματα Φάσεων



Η βασική ιδέα είναι ότι η συνδετική γραμμή λειτουργεί σαν **μοχλός**.

Συνδετική γραμμή – ενώνει τις φάσεις που είναι παρούσες στην κατάσταση ισορροπίας

υγρό L και στερεό α

Η συνολική σύσταση του κράματος είναι C_0 .

Ορίζουμε:

- R : απόσταση από C_L μέχρι C_0
- S : απόσταση από C_0 μέχρι $C_α$

Ο μοχλός ισορροπεί όταν:

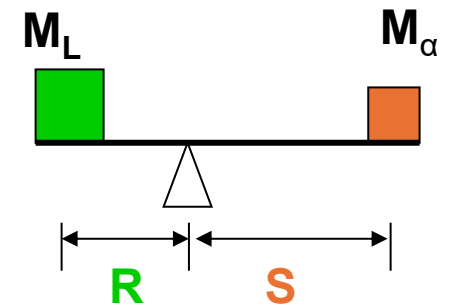
$$M_α \cdot S = M_L \cdot R$$

Για το υγρό:

$$W_L = \frac{S}{R + S} = \frac{C_α - C_0}{C_α - C_L}$$

Για τη στερεή φάση:

$$W_α = \frac{R}{R + S} = \frac{C_0 - C_L}{C_α - C_L}$$



Διαγράμματα Φάσεων

Άσκηση

Για το ισόμορφο σύστημα Cu–Ni δίνεται κράμα συνολικής σύστασης:

$$C_0 = 35 \text{ wt\% Ni}$$

Με βάση το διάγραμμα φάσεων:

- στη θερμοκρασία T_A το κράμα βρίσκεται στην περιοχή της υγρής φάσης L ,
- στη θερμοκρασία T_D βρίσκεται στην περιοχή της στερεής φάσης α ,
- ενώ στη θερμοκρασία T_B βρίσκεται στη διφασική περιοχή $L + \alpha$.

Στη θερμοκρασία T_B , από τη συνδετική γραμμή προκύπτουν:

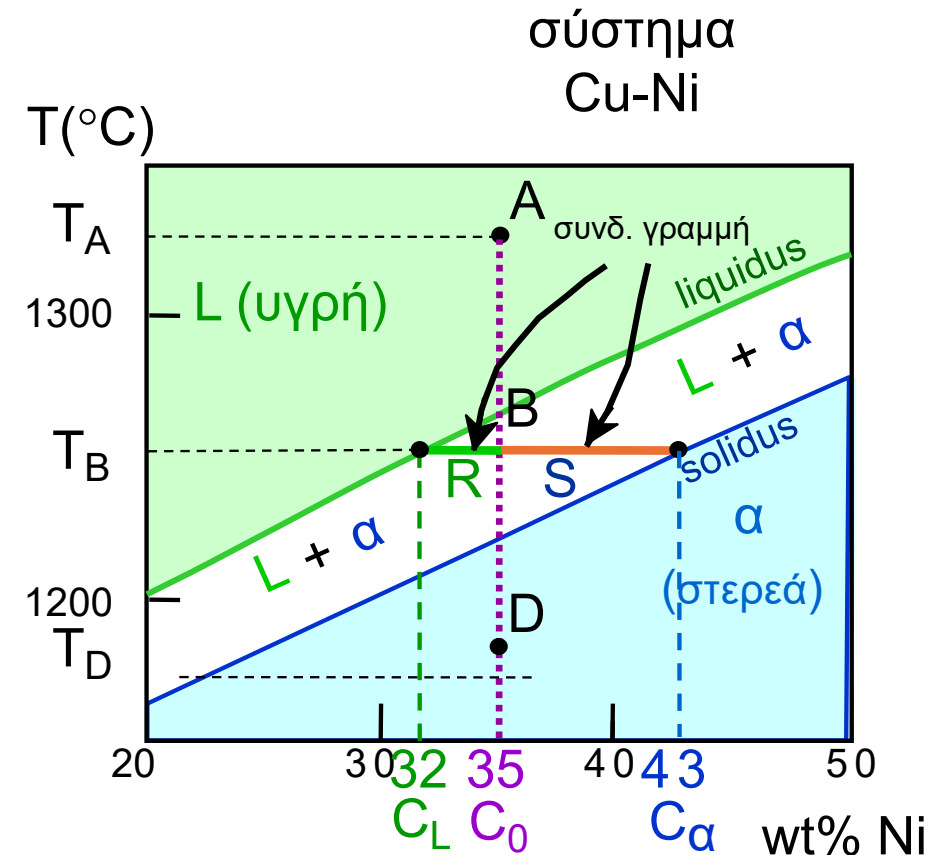
$$C_L = 32 \text{ wt\% Ni}$$

και

$$C_\alpha = 43 \text{ wt\% Ni}$$

Να υπολογιστούν:

1. Οι φάσεις που υπάρχουν σε κάθε θερμοκρασία.
2. Τα κλάσματα βάρους των φάσεων στις θερμοκρασίες T_A , T_B και T_D .



Διαγράμματα Φάσεων

Απάντηση

Δίνεται $C_0 = 35 \text{ wt\% Ni}$

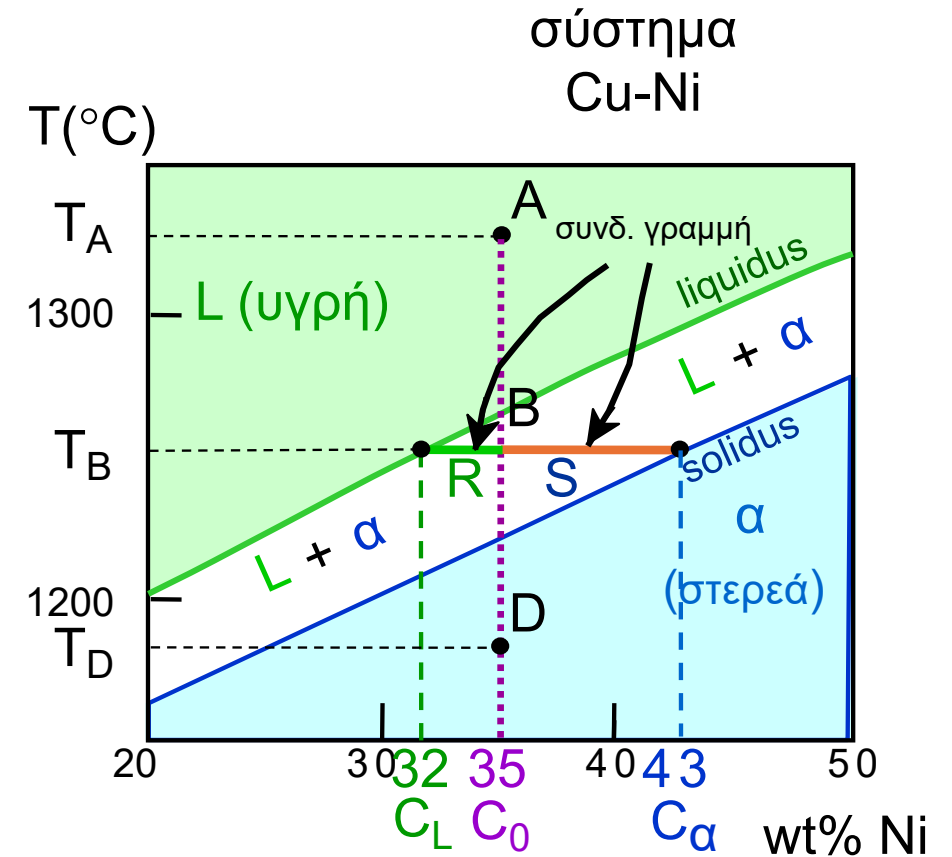
Σε T_A : παρούσα μόνο η υγρή (L) φάση
 $W_L = 1.00, W_\alpha = 0$

Σε T_D : παρούσα μόνο η στερεά (α) φάση
 $W_L = 0, W_\alpha = 1.00$

Σε T_B : συνυπάρχουν οι φάσεις α και L

$$W_L = \frac{S}{R + S} = \frac{43 - 35}{43 - 32} = 0.73$$

$$W_\alpha = \frac{R}{R + S} = \frac{35 - 32}{43 - 32} = 0.27$$



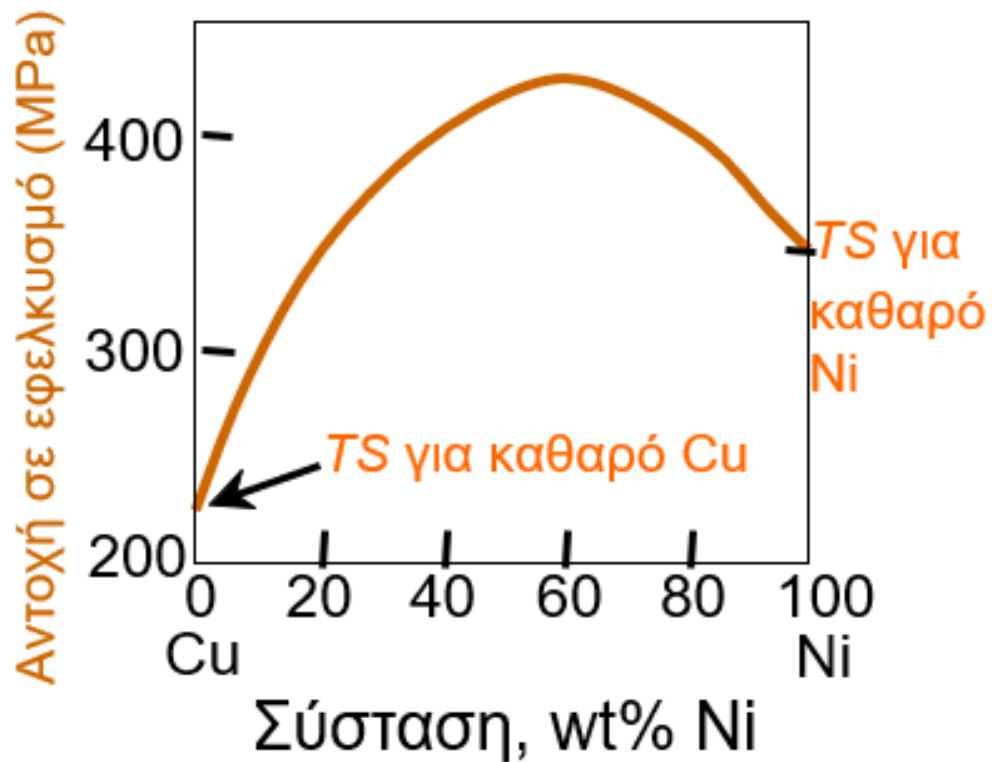
Άρα 73% υγρό και 27% στερεό

Διαγράμματα Φάσεων

□ Μηχανικές ιδιότητες: Σύστημα Cu-Ni

- Ισχυροποίηση του στερεού διαλύματος με επίδραση σε:

αντοχή σε εφελκυσμό (TS)



Το Ni διαλύεται μέσα στο Cu και σχηματίζεται **στερεό διάλυμα**.

- Τα άτομα Ni παραμορφώνουν το πλέγμα,
- δυσκολεύουν την κίνηση των διαταραχών άρα το υλικό παραμορφώνεται πιο δύσκολα → μεγαλύτερη τάση για να παραμορφωθεί → αυξάνει αντοχή

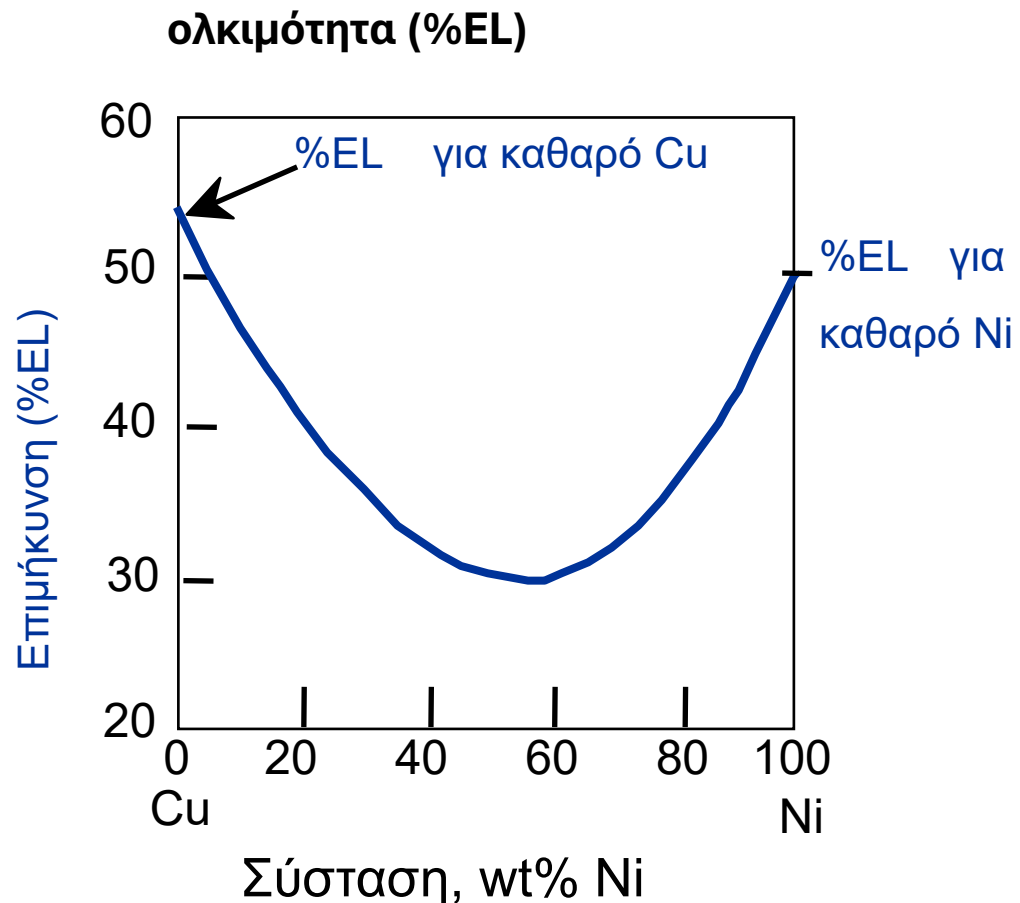
Καθώς προσθέτουμε Ni στον Cu:

- η αντοχή αυξάνει
- φτάνει μέγιστο περίπου στη μέση σύσταση
- μετά ξαναπέφτει προς το καθαρό Ni.

Διαγράμματα Φάσεων

□ Μηχανικές ιδιότητες: Σύστημα Cu-Ni

- Ισχυροποίηση του στερεού διαλύματος με επίδραση σε:



%EL είναι ποσοστό επιμήκυνσης πριν τη θραύση

- μεγάλο %EL → πολύ όλκιμο
- μικρό %EL → λιγότερο όλκιμο

▪ Καθαρό Cu

Έχει μεγάλη ολκιμότητα.

Προσθέτουμε Ni → η ολκιμότητα μειώνεται.

Τα άτομα Ni:

- Παραμορφώνουν τοπικά το πλέγμα
- δυσκολεύουν την κίνηση διαταραχών.

Άρα:

- δυσκολεύεται η πλαστική παραμόρφωση,
- το υλικό γίνεται λιγότερο όλκιμο → μειώνεται %EL

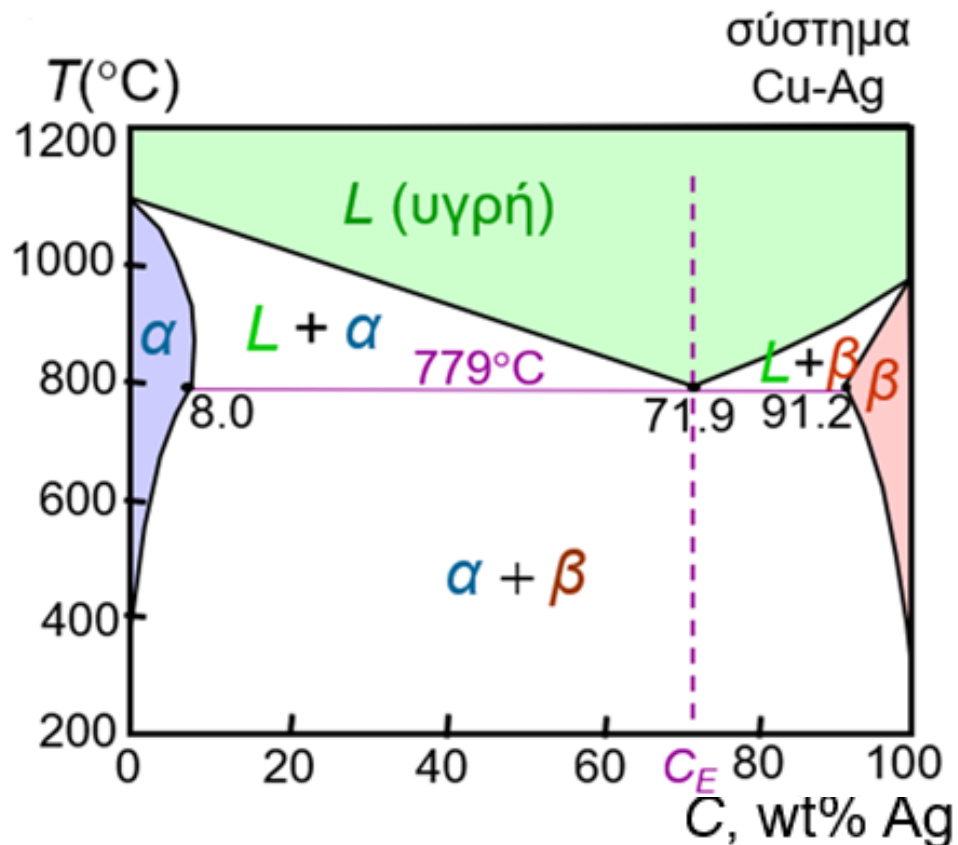
Στη μέση σύσταση (~50–60 wt% Ni)

Έχουμε τη μικρότερη ολκιμότητα

γιατί εκεί υπάρχει η μεγαλύτερη παραμόρφωση στο πλέγμα.

Διαγράμματα Φάσεων

□ Δυαδικά-ευτηκτικά συστήματα



Στο ευτηκτικό σύστημα Cu–Ag:

υπάρχει περιορισμένη στερεά διαλυτότητα,

γι' αυτό εμφανίζονται δύο διαφορετικές στερεές φάσεις:

- α: πλούσια σε Cu
- β: πλούσια σε Ag

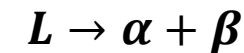
➤ Στη συγκεκριμένη σύσταση:

$$C_E = 71.9 \text{ wt\% Ag}$$

και στη θερμοκρασία:

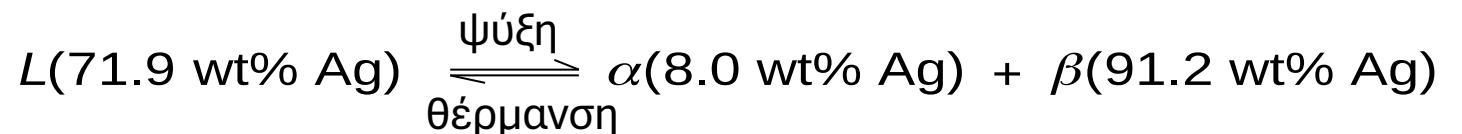
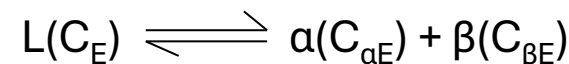
$$T_E = 779^\circ\text{C}$$

το υγρό μετατρέπεται ταυτόχρονα σε δύο στερεές φάσεις:



- T_E : δεν υφίσταται υγρή φάση κάτω από την T_E
- C_E : Σύσταση σε θερμοκρασία T_E

• Ευτηκτική αντίδραση



α φάση - στερεό διάλυμα πλούσιο σε Cu

β φάση- στερεό διάλυμα πλούσιο σε Ag

Διαγράμματα Φάσεων

Άσκηση

Για το ευτηκτικό σύστημα Pb–Sn δίνεται κράμα συνολικής σύστασης:

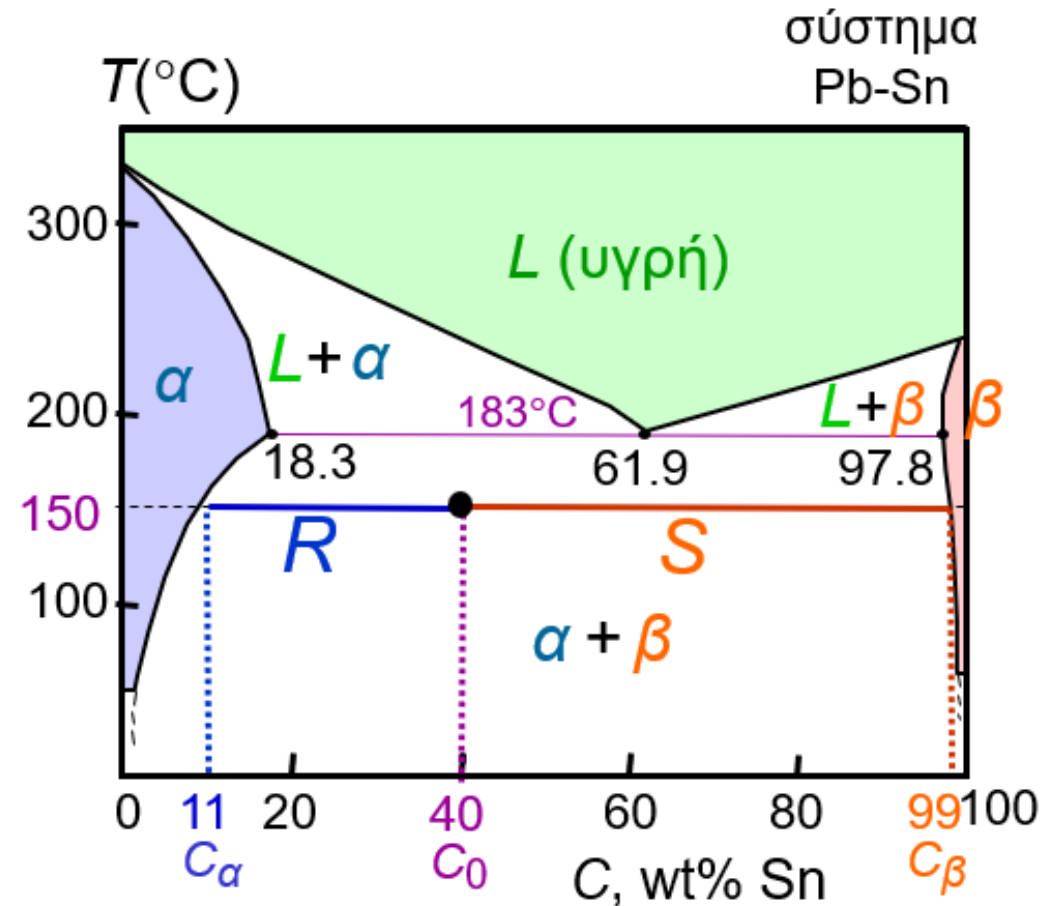
$$C_0 = 40 \text{ wt\% Sn}$$

Στη θερμοκρασία:

$$T = 150^\circ\text{C}$$

να προσδιοριστούν:

1. Οι φάσεις που υπάρχουν σε ισορροπία.
2. Η σύσταση κάθε φάσης.
3. Τα κλάσματα βάρους των φάσεων α και β , χρησιμοποιώντας τον κανόνα του μοχλού.



Διαγράμματα Φάσεων

Απάντηση: Συνυπάρχουν οι φάσεις $\alpha + \beta$

Οι συστάσεις των φάσεων είναι: $C_\alpha = 11 \text{ wt\% Sn}$

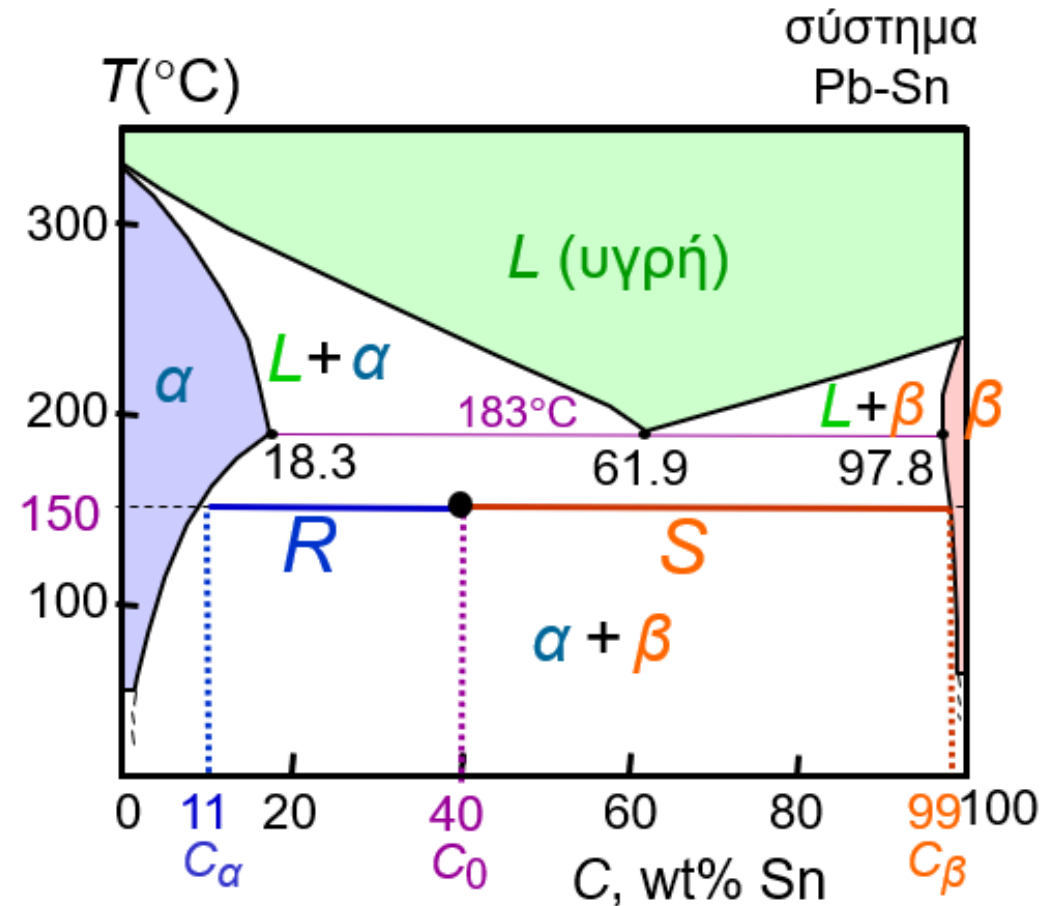
$C_\beta = 99 \text{ wt\% Sn}$

Τα κλάσματα βάρους των φάσεων α και β είναι:

$$W_\alpha = \frac{S}{R+S} = \frac{C_\beta - C_0}{C_\beta - C_\alpha}$$
$$= \frac{99 - 40}{99 - 11} = \frac{59}{88} = 0.67$$

$$W_\beta = \frac{R}{R+S} = \frac{C_0 - C_\alpha}{C_\beta - C_\alpha}$$
$$= \frac{40 - 11}{99 - 11} = \frac{29}{88} = 0.33$$

Άρα 67% α φάση και 33% β φάση.



Διαγράμματα Φάσεων

Άσκηση

Για το ευτηκτικό σύστημα Pb–Sn δίνεται κράμα συνολικής σύστασης:

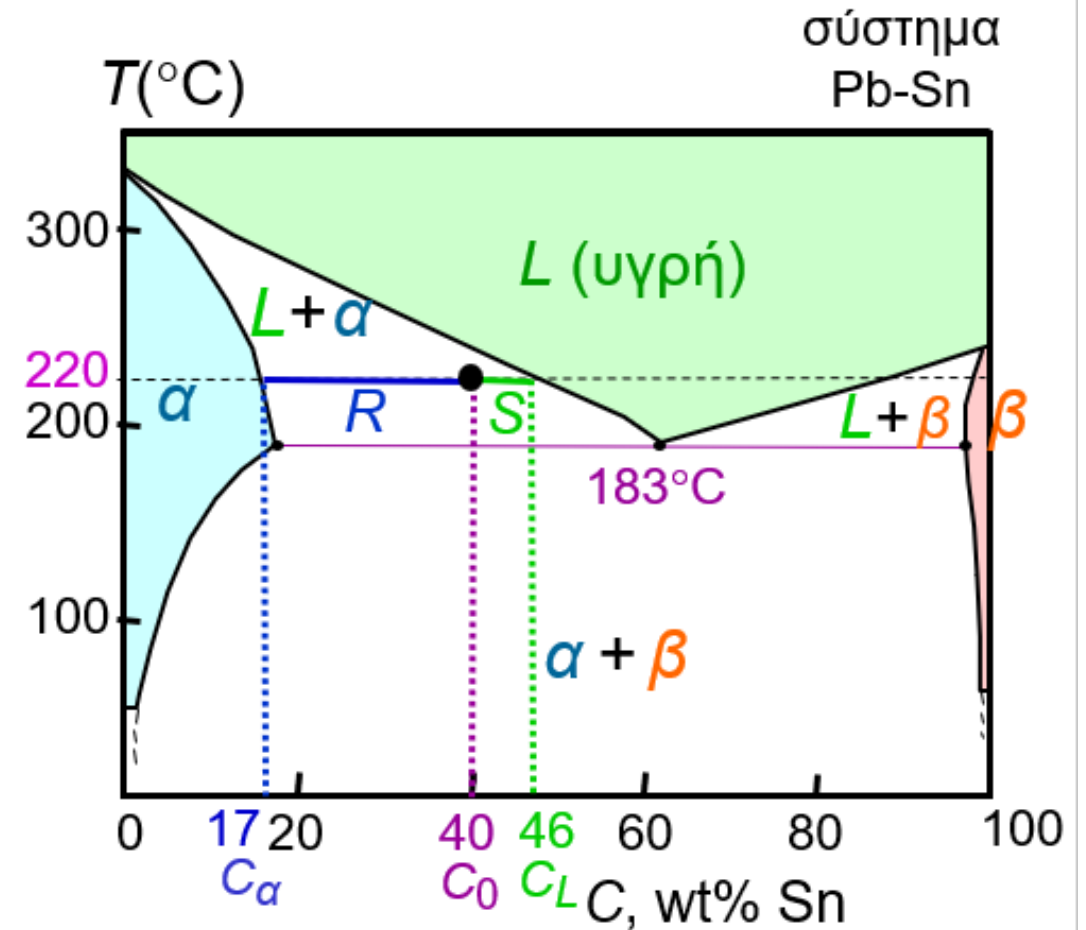
$$C_0 = 40 \text{ wt\% Sn}$$

Στη θερμοκρασία:

$$T = 220^\circ\text{C}$$

να προσδιοριστούν:

1. Οι φάσεις που υπάρχουν σε ισορροπία.
2. Η σύσταση κάθε φάσης.
3. Τα κλάσματα βάρους των φάσεων α και L , χρησιμοποιώντας τον κανόνα του μοχλού.



Διαγράμματα Φάσεων

Απάντηση: Το σημείο βρίσκεται στη διφασική περιοχή $L + \alpha$

Άρα συνυπάρχουν:

υγρή φάση L και στερεή φάση α .

Οι συστάσεις των φάσεων είναι:

$$C_{\alpha} = 17 \text{ wt\% Sn}$$

$$C_L = 46 \text{ wt\% Sn}$$

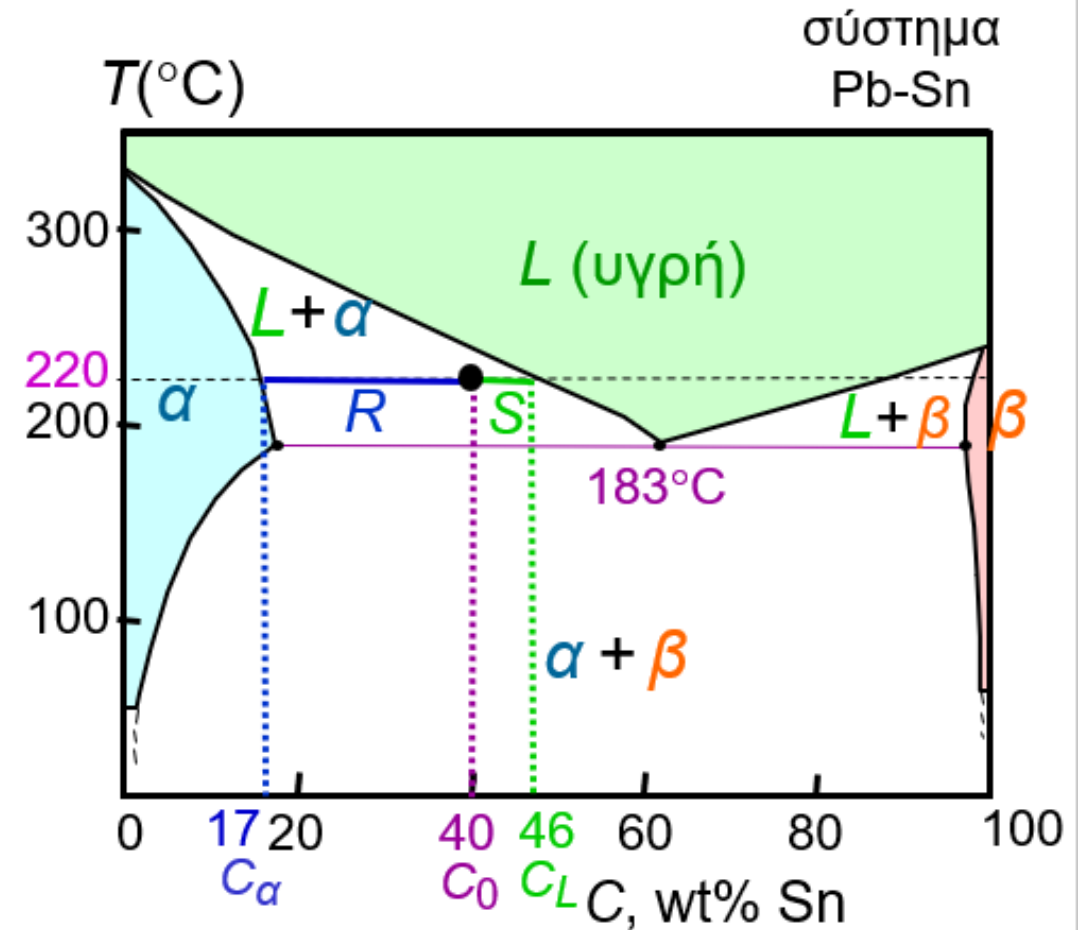
Τα κλάσματα βάρους των φάσεων

Άρα:

$$W_{\alpha} = \frac{S}{R + S} = \frac{46 - 40}{46 - 17} = \frac{6}{29} = 0.21$$

και

$$W_L = \frac{R}{R + S} = \frac{40 - 17}{46 - 17} = \frac{23}{29} = 0.79$$



Άρα το κράμα αποτελείται περίπου από:

- 21% στερεή φάση α
- 79% υγρή φάση L

Διαγράμματα Φάσεων

□ Ανάπτυξη μικροδομών σε ευτηκτικά συστήματα

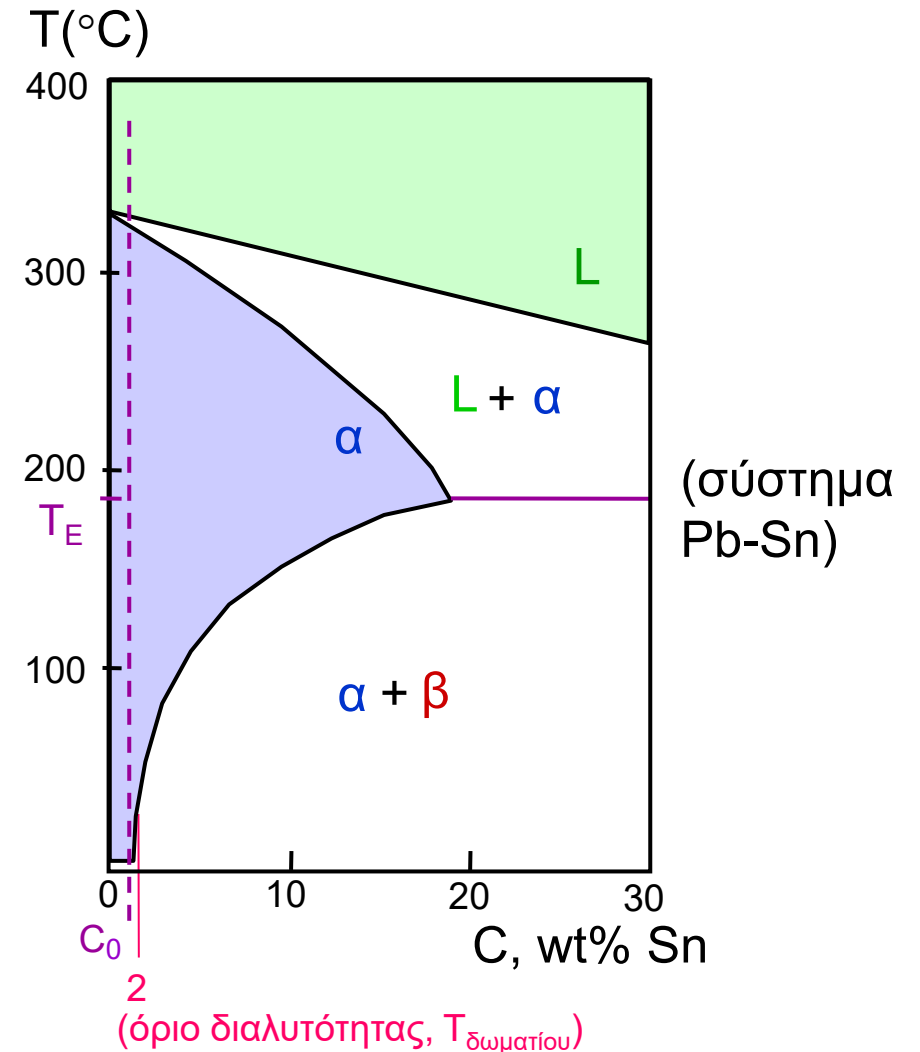
- Ξεκινάμε από υψηλή θερμοκρασία όπου το κράμα είναι πλήρως υγρό.
- Καθώς ψύχεται και περνά τη liquidus, αρχίζουν να σχηματίζονται κρύσταλλοι της στερεής φάσης α . Άρα μέσα στο υγρό εμφανίζονται πρώτοι κόκκοι α .
- Καθώς συνεχίζεται η ψύξη: αυξάνεται η ποσότητα της α , και τελικά όλο το υγρό στερεοποιείται.

Για κράματα Pb–Sn με:

$$C_0 < 2 \text{ wt\% Sn}$$

(κάτω από το όριο διαλυτότητας σε θερμοκρασία δωματίου), η τελική μικροδομή σε θερμοκρασία δωματίου αποτελείται από:

- μία μόνο στερεή φάση α ,
- με πολυκρυσταλλική μορφή (πολλούς κόκκους α),
- όπου η συνολική σύσταση του κράματος παραμένει C_0

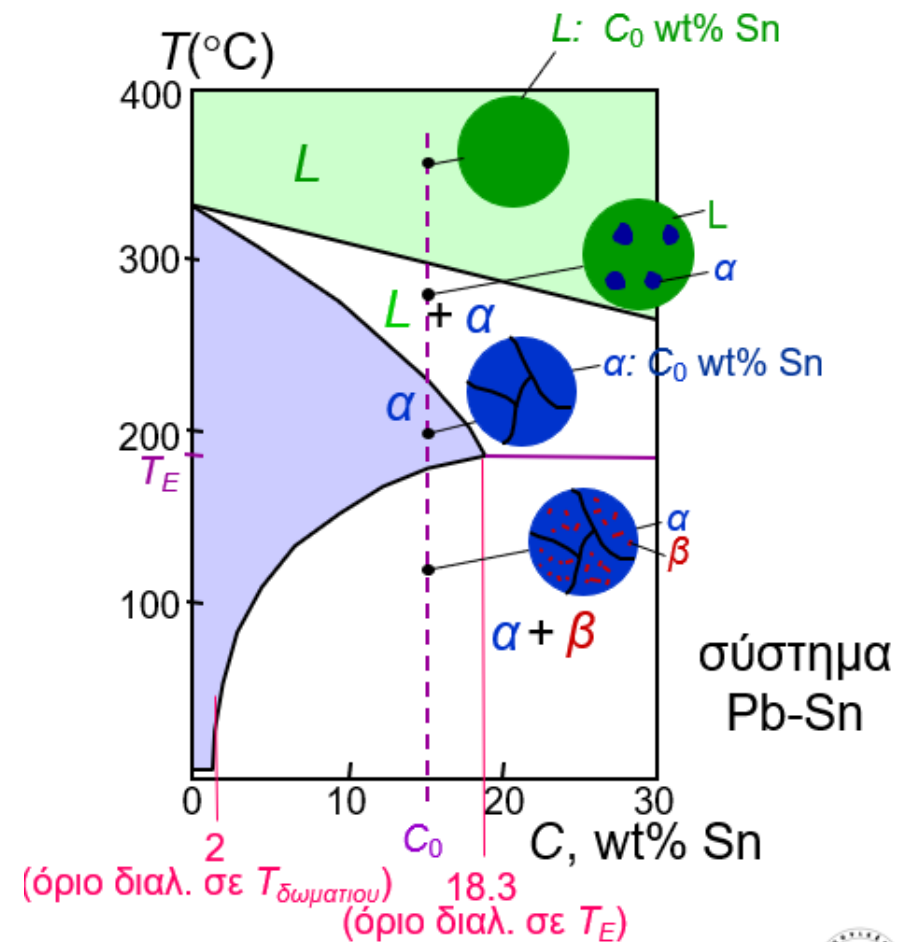


Διαγράμματα Φάσεων

Για κράματα Pb-Sn στα οποία $2 \text{ wt\% Sn} < C_0 < 18.3 \text{ wt\% Sn}$

- Αρχικά το κράμα είναι υγρό.
- Κατά την ψύξη σχηματίζονται πρώτα κόκκοι της α φάσης.
- Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες η α δεν μπορεί να διαλύσει όλο το Sn, οπότε εμφανίζονται μικρά σωματίδια της β φάσης.

Άρα στη θερμοκρασία δωματίου η μικροδομή αποτελείται από **κόκκους α και μικρά σωματίδια β**



Διαγράμματα Φάσεων

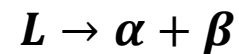
Στην περίπτωση όπου το κράμα έχει ακριβώς την ευτηκτική σύσταση:

$$C_0 = C_E$$

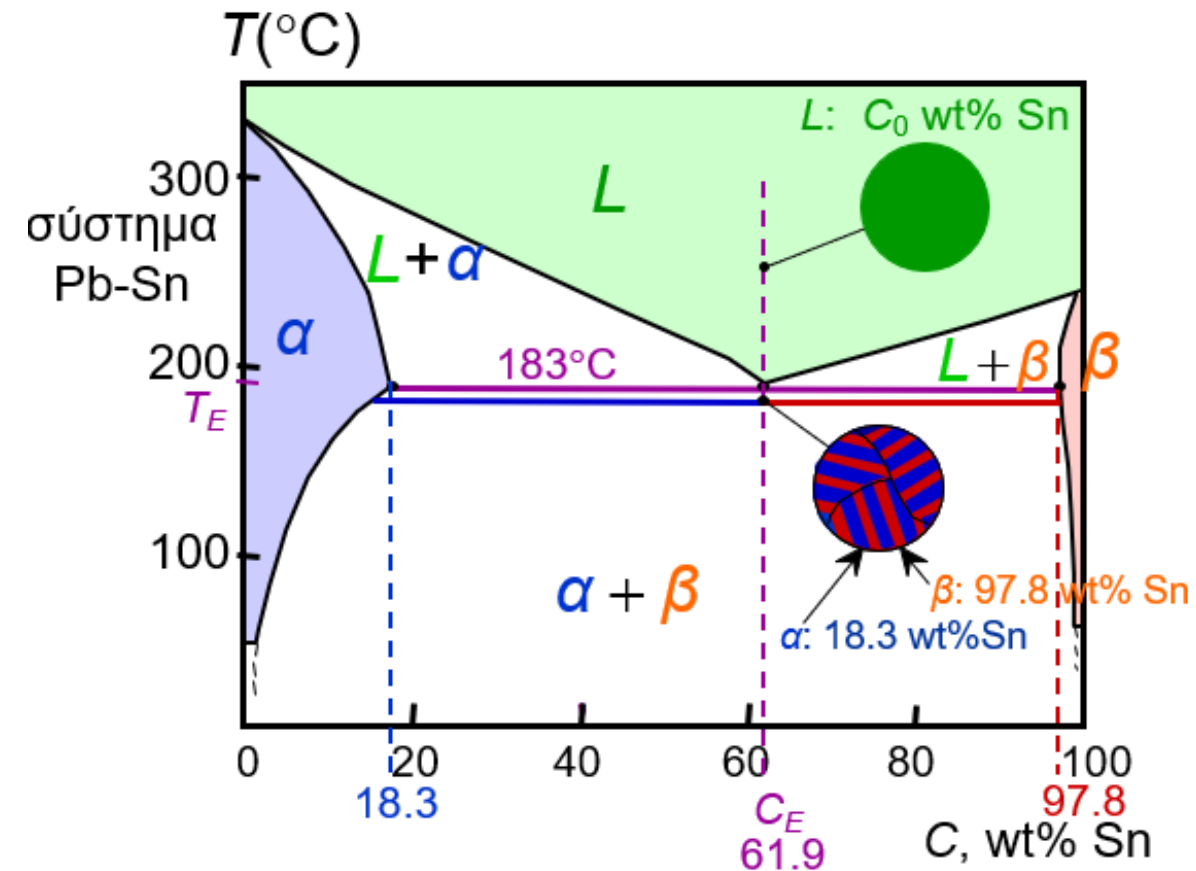
- Στο σύστημα Pb–Sn αυτό αντιστοιχεί περίπου σε:
61.9 wt% Sn
- Κατά την ψύξη, το κράμα παραμένει πλήρως υγρό μέχρι τη θερμοκρασία ευτηκτικού:

$$T_E = 183^\circ\text{C}$$

- Στους 183 °C συμβαίνει η ευτηκτική αντίδραση:



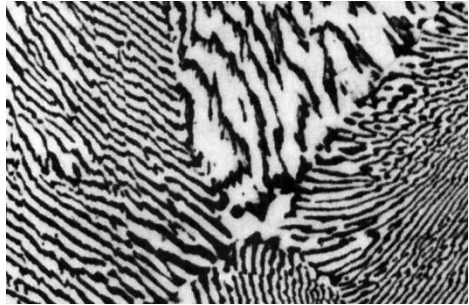
Αποτέλεσμα: ανάπτυξη ευτηκτικής μικροδομής (εναλλασσόμενη φυλλοειδής δομή - εναλλάξ στρώματα των φάσεων α και β)



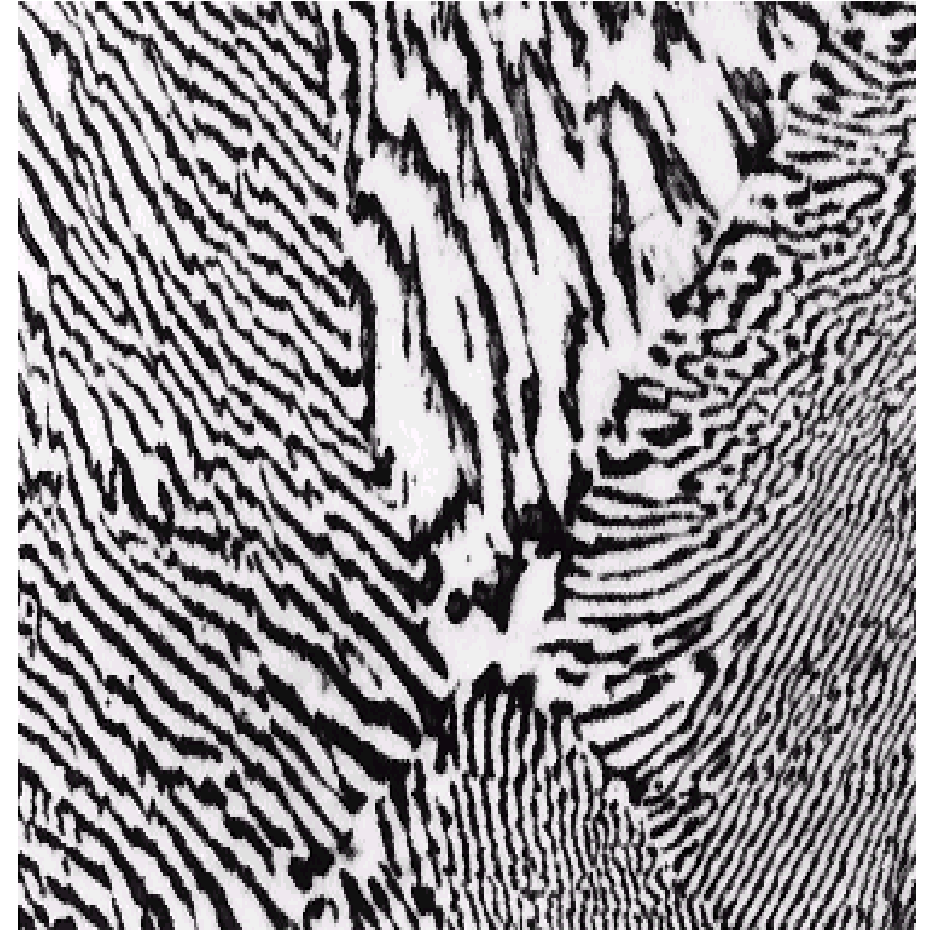
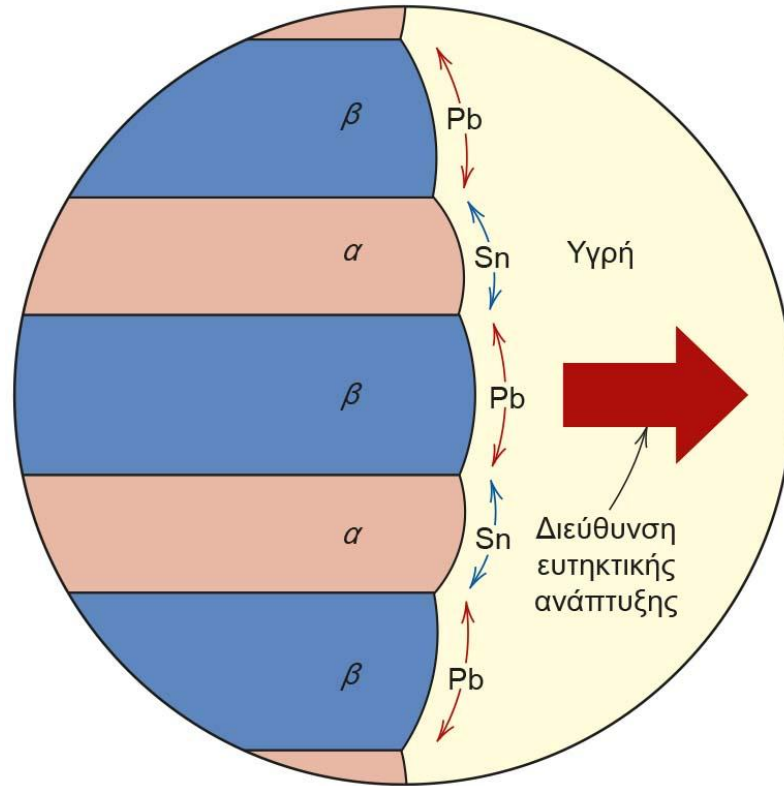
Διαγράμματα Φάσεων

□ Λαμελοειδής ευτηκτική δομή

Μικροφωτογραφία
ευτηκτικής μικροδομής
σε κράμα Pb-Sn



160 μm



Διαγράμματα Φάσεων

Για κράματα Pb-Sn στα οποία $18.3 \text{ wt\% Sn} < C_0 < 61.9 \text{ wt\% Sn}$

Έχουμε σωματίδια φάσης α και ένα ευτηκτικό μικροσυστατικό

- Οριακά πάνω από την T_E :

$$C_\alpha = 18.3 \text{ wt\% Sn}$$

$$C_L = 61.9 \text{ wt\% Sn}$$

$$W_\alpha = \frac{S}{R + S} = 0.50$$

$$W_L = (1 - W_\alpha) = 0.50$$

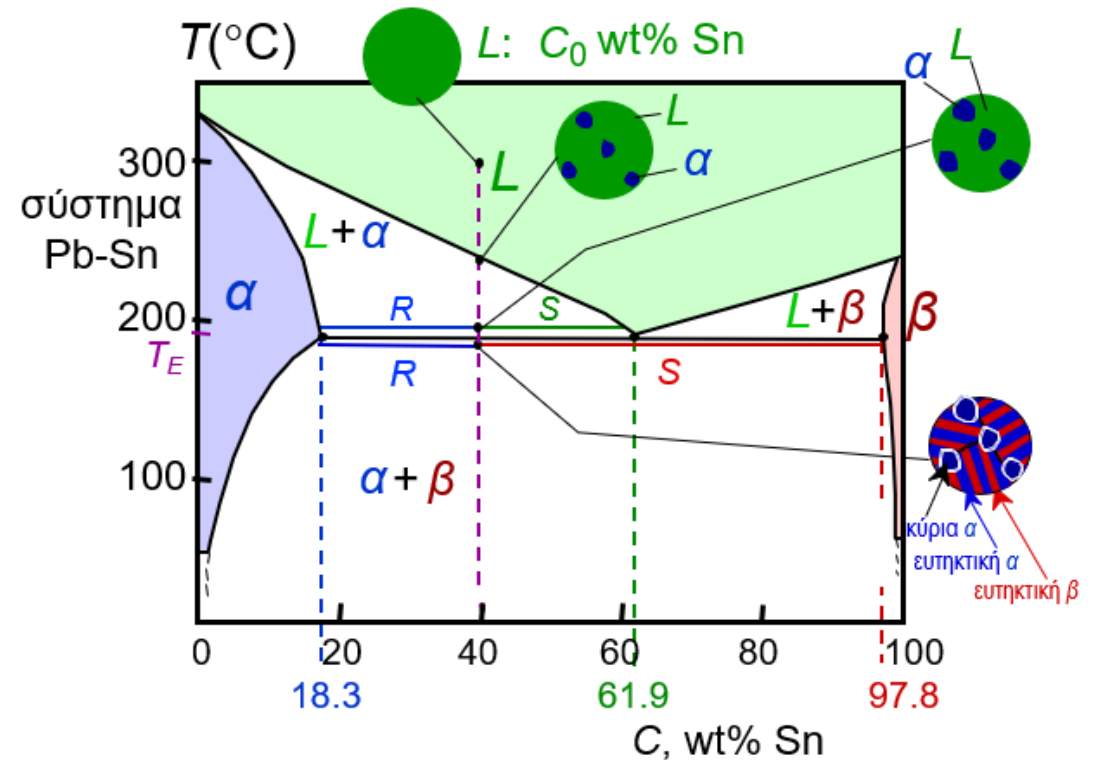
- Οριακά κάτω από την T_E :

$$C_\alpha = 18.3 \text{ wt\% Sn}$$

$$C_\beta = 97.8 \text{ wt\% Sn}$$

$$W_\alpha = \frac{S}{R + S} = 0.73$$

$$W_\beta = 0.27$$



- Άρα δεν στερεοποιείται όλο το κράμα με τον ίδιο τρόπο.
 - πρώτα σχηματίζονται μεγάλοι πρωτογενείς κόκκοι α ,
 - και μετά το υγρό που απομένει στερεοποιείται ευτηκτικά ως $\alpha + \beta$.

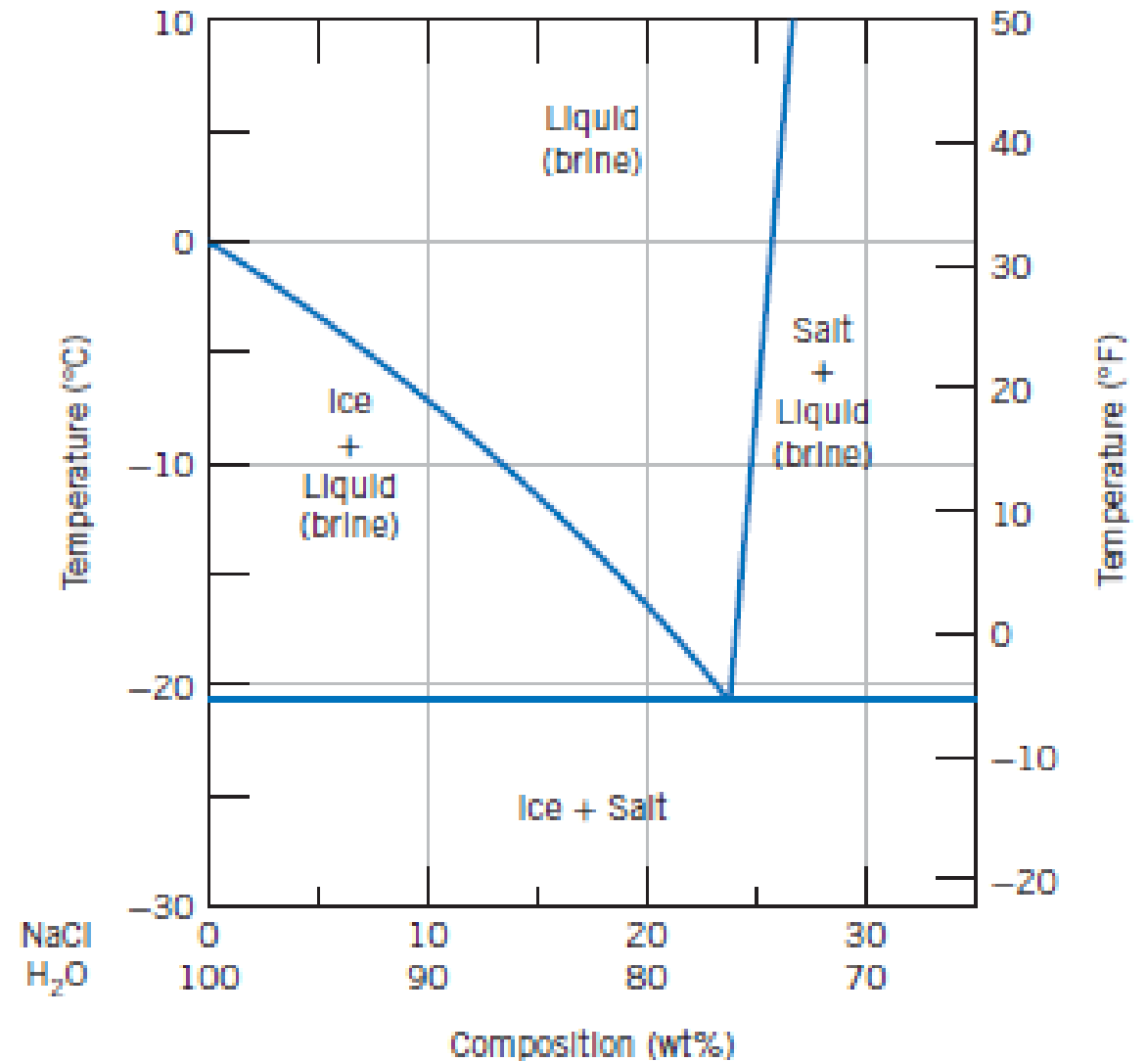
Διαγράμματα Φάσεων

Άσκηση:

Το παρακάτω διάγραμμα αποτελεί τμήμα του διαγράμματος φάσεων του συστήματος $H_2O-NaCl$.

(α) Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα, να εξηγήσετε σύντομα γιατί η προσθήκη αλατιού πάνω σε πάγο που βρίσκεται σε θερμοκρασία μικρότερη από $0^\circ C$ μπορεί να προκαλέσει τήξη του πάγου.

(β) Σε ποια θερμοκρασία το αλάτι παύει να είναι αποτελεσματικό στην τήξη του πάγου;



Απάντηση:

(α) Το καθαρό νερό παγώνει στους 0°C

Όταν προστίθεται NaCl, μεταβάλλεται η σύσταση του συστήματος και το σημείο τήξης του νερού μειώνεται. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι για ορισμένες συγκεντρώσεις NaCl (0-23wt% NaCl) μπορεί να υπάρχει υγρή φάση ακόμη και κάτω από τους 0°C .

Άρα, όταν ρίχνουμε αλάτι στον πάγο μέρος του πάγου λιώνει, σχηματίζεται υγρό διάλυμα νερού-αλατιού, και το νέο διάλυμα έχει χαμηλότερη θερμοκρασία πήξης από το καθαρό νερό.

Γι' αυτό το αλάτι βοηθά στην τήξη του πάγου σε θερμοκρασίες κάτω από 0°C .

(β) Από το διάγραμμα, η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία μπορεί να υπάρξει υγρή φάση είναι περίπου -20°C (ευτηκτική θερμοκρασία του συστήματος).

Κάτω από αυτή τη θερμοκρασία υπάρχουν μόνο στερεές φάσεις πάγος και στερεό NaCl.

Άρα κάτω από περίπου -20°C το αλάτι δεν μπορεί πλέον να προκαλέσει τήξη του πάγου.

Διαγράμματα Φάσεων

Άσκηση:

Είναι δυνατόν να υπάρχει κράμα χαλκού–νικελίου (Cu–Ni) που, σε ισορροπία, να αποτελείται από:

- υγρή φάση σύστασης:

$20 \text{ wt}\% \text{ Ni} - 80 \text{ wt}\% \text{ Cu}$

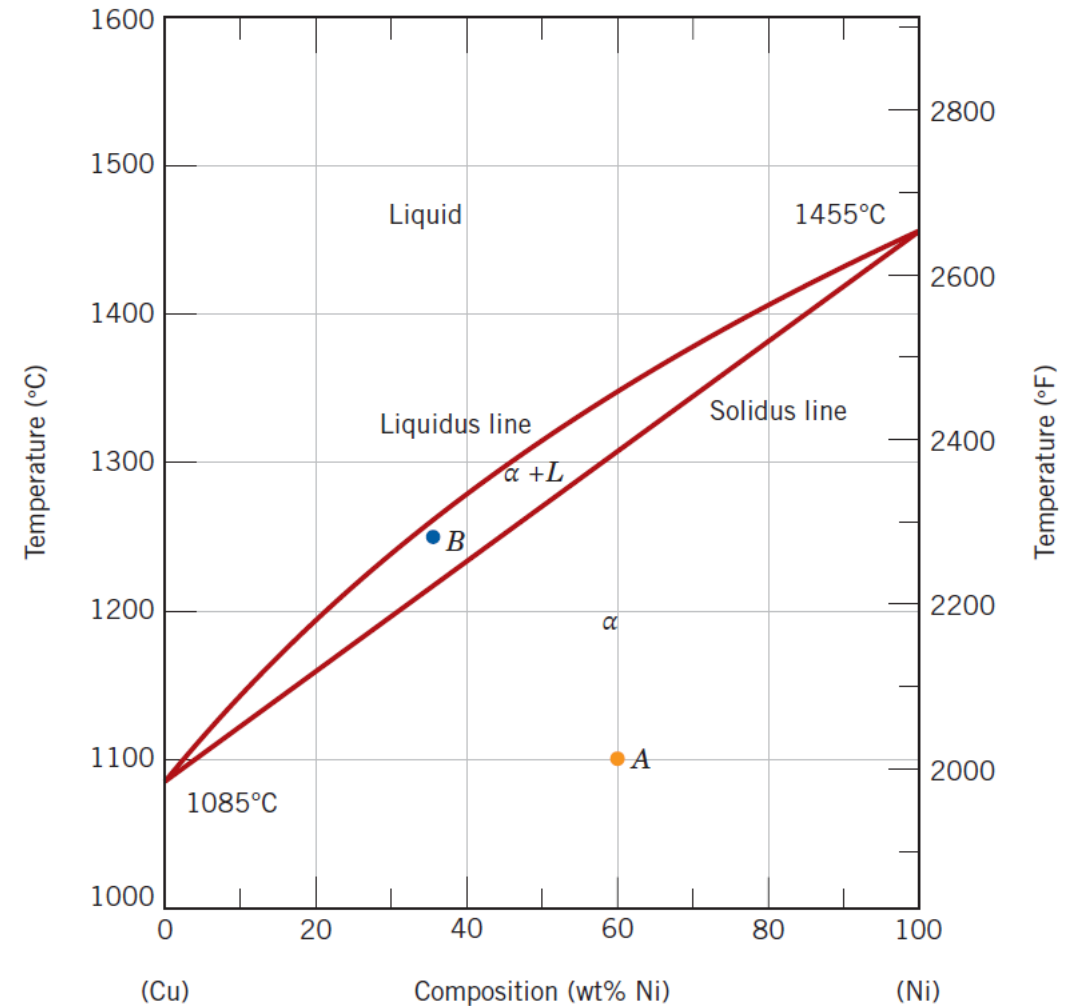
και ταυτόχρονα από:

- στερεή φάση α σύστασης:

$37 \text{ wt}\% \text{ Ni} - 63 \text{ wt}\% \text{ Cu}$

Αν ναι, ποια θα είναι περίπου η θερμοκρασία του κράματος;

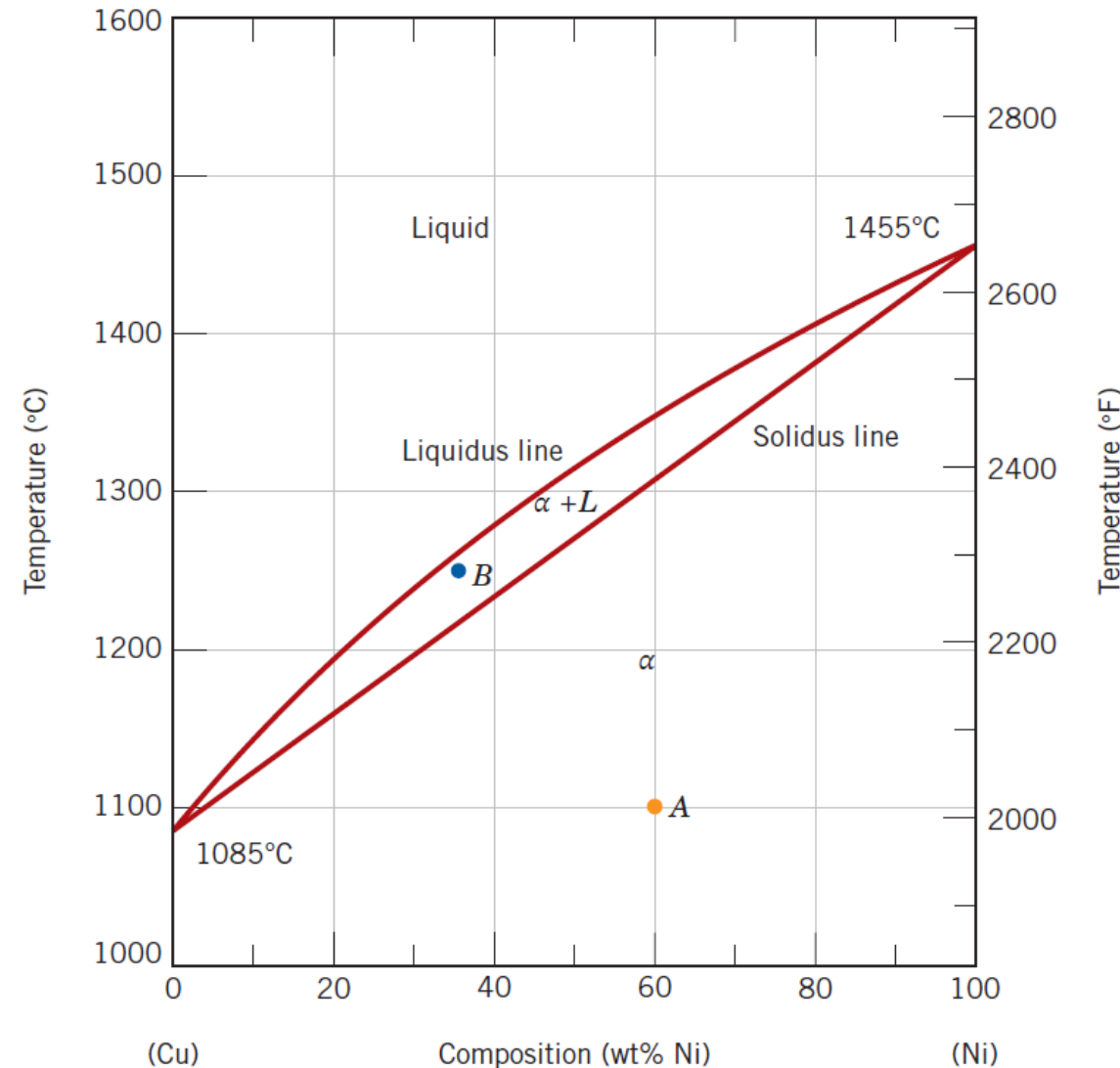
Αν όχι, να εξηγηθεί γιατί.



Διαγράμματα Φάσεων

Απάντηση:

Δεν είναι δυνατόν να υπάρχει τέτοιο κράμα Cu–Ni σε ισορροπία. Για να συνυπάρχουν οι φάσεις L και α , πρέπει οι δύο συστάσεις να ανήκουν στην ίδια συνδετική γραμμή μέσα στην περιοχή $L + \alpha$. Αλλά στο διάγραμμα: το 20% liquidus αντιστοιχεί περίπου σε 1200°C , ενώ το 37% solidus αντιστοιχεί περίπου σε 1230°C . Δεν είναι ίδια θερμοκρασία. Άρα δεν υπάρχει μία κοινή συνδετική γραμμή που να τα ενώνει, οπότε αυτές οι δύο φάσεις δεν μπορούν να συνυπάρχουν σε ισορροπία.



Διαγράμματα Φάσεων

Άσκηση:

Κράμα χαλκού–νικελίου σύστασης:

$70 \text{ wt\% Ni} - 30 \text{ wt\% Cu}$

θερμαίνεται αργά ξεκινώντας από θερμοκρασία:

1300°C

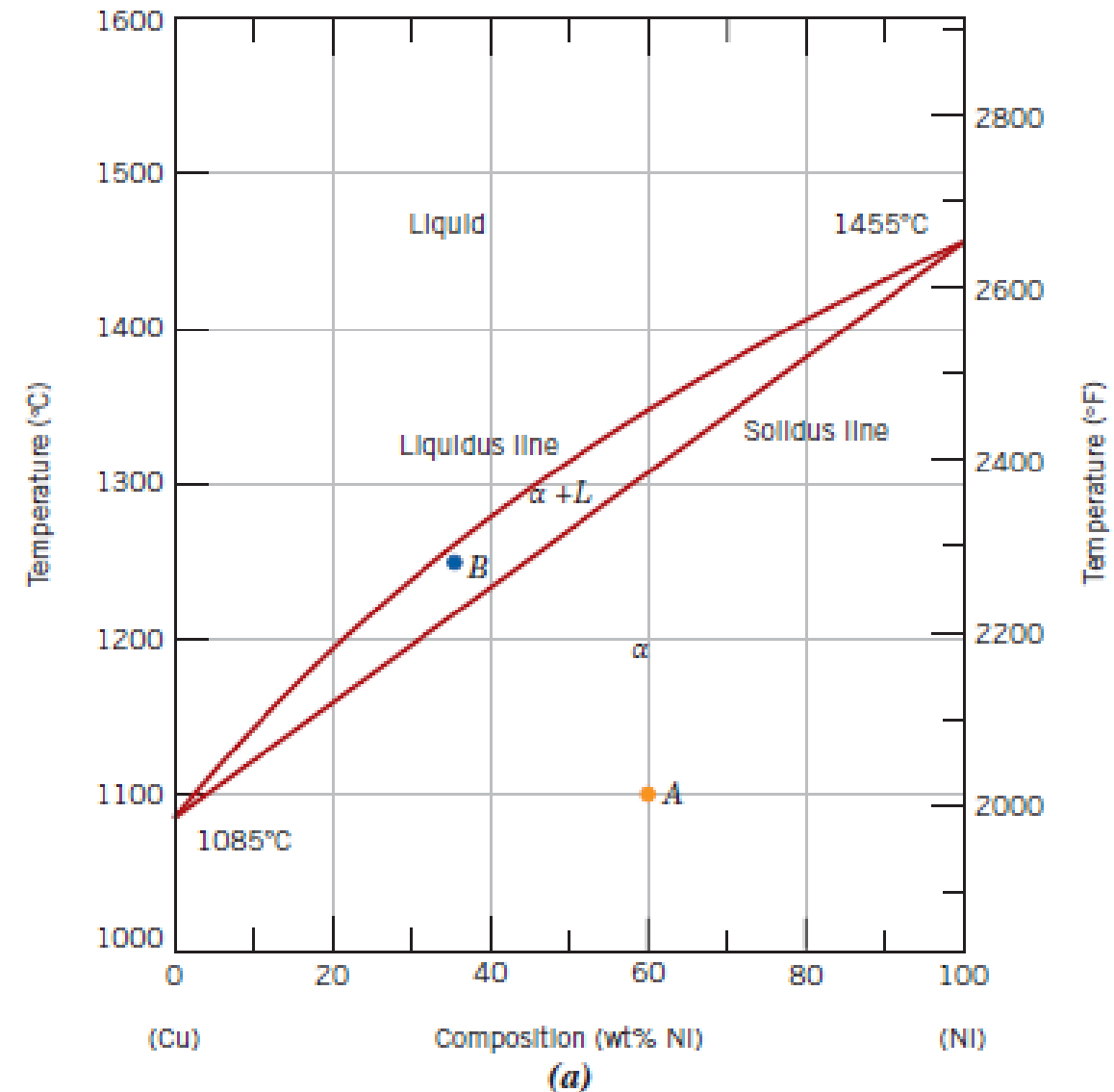
Να προσδιοριστούν:

(α) Σε ποια θερμοκρασία εμφανίζεται η πρώτη υγρή φάση;

(β) Ποια είναι η σύσταση της πρώτης υγρής φάσης που σχηματίζεται;

(γ) Σε ποια θερμοκρασία ολοκληρώνεται η τήξη του κράματος;

(δ) Ποια είναι η σύσταση της τελευταίας στερεής φάσης που παραμένει πριν από την πλήρη τήξη;



Διαγράμματα Φάσεων

(α) Θερμοκρασία εμφάνισης της πρώτης υγρής φάσης

Κατά τη θέρμανση, η πρώτη υγρή φάση εμφανίζεται όταν το κράμα φτάσει την καμπύλη solidus.

Για:

$$C_0 = 70 \text{ wt\% Ni}$$

από το διάγραμμα προκύπτει περίπου:

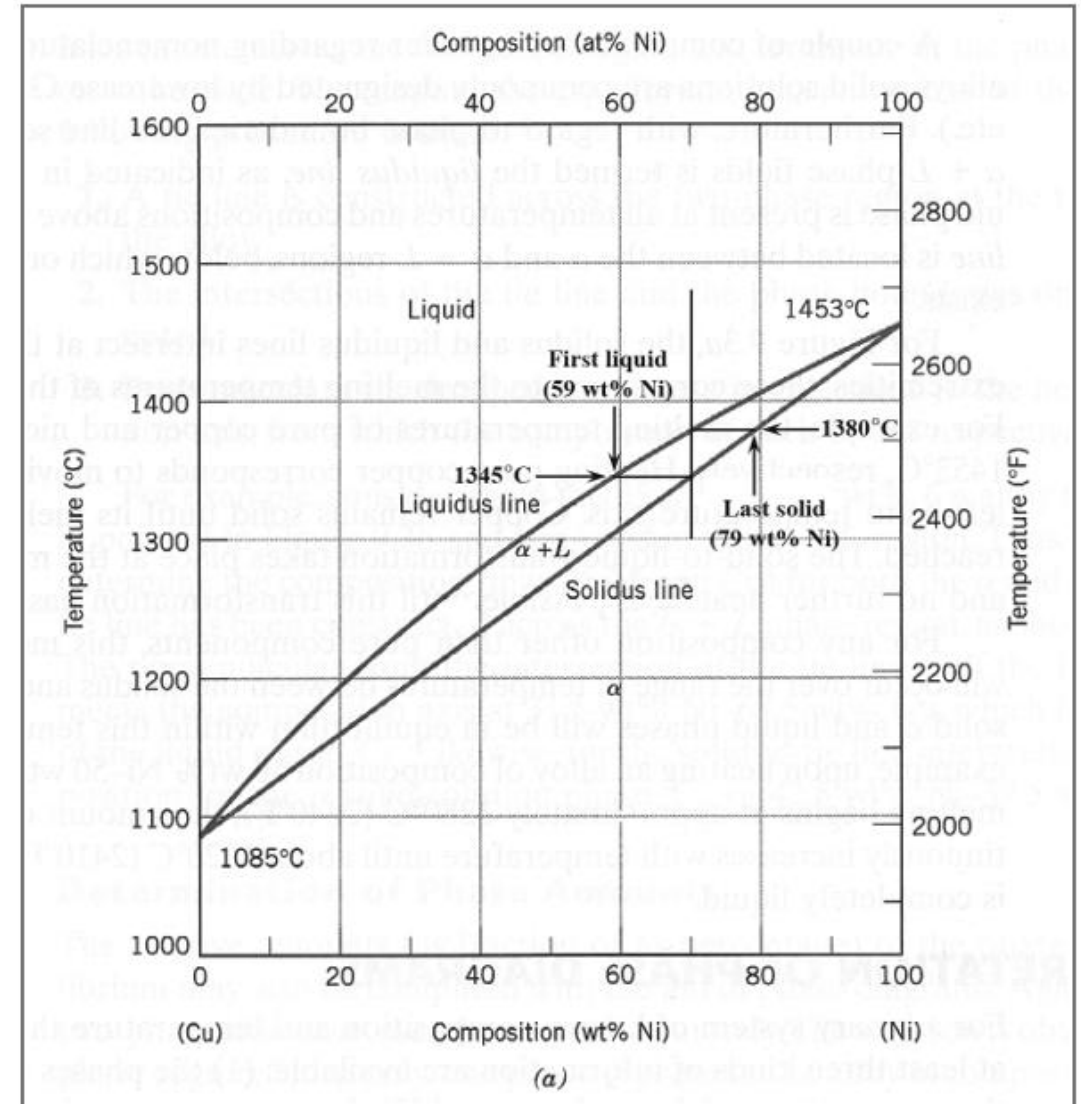
$$T = 1345^\circ\text{C}$$

(β) Στη θερμοκρασία όπου αρχίζει η τήξη:

τραβάμε οριζόντια συνδετική γραμμή, και βρίσκουμε την τομή με τη liquidus.

Από το διάγραμμα:

$$C_L = 59 \text{ wt\% Ni}$$



Διαγράμματα Φάσεων

(γ) Θερμοκρασία πλήρους τήξης

Η πλήρης τήξη συμβαίνει όταν το κράμα φτάσει την καμπύλη liquidus.

Για:

$$70 \text{ wt\% Ni}$$

από το διάγραμμα:

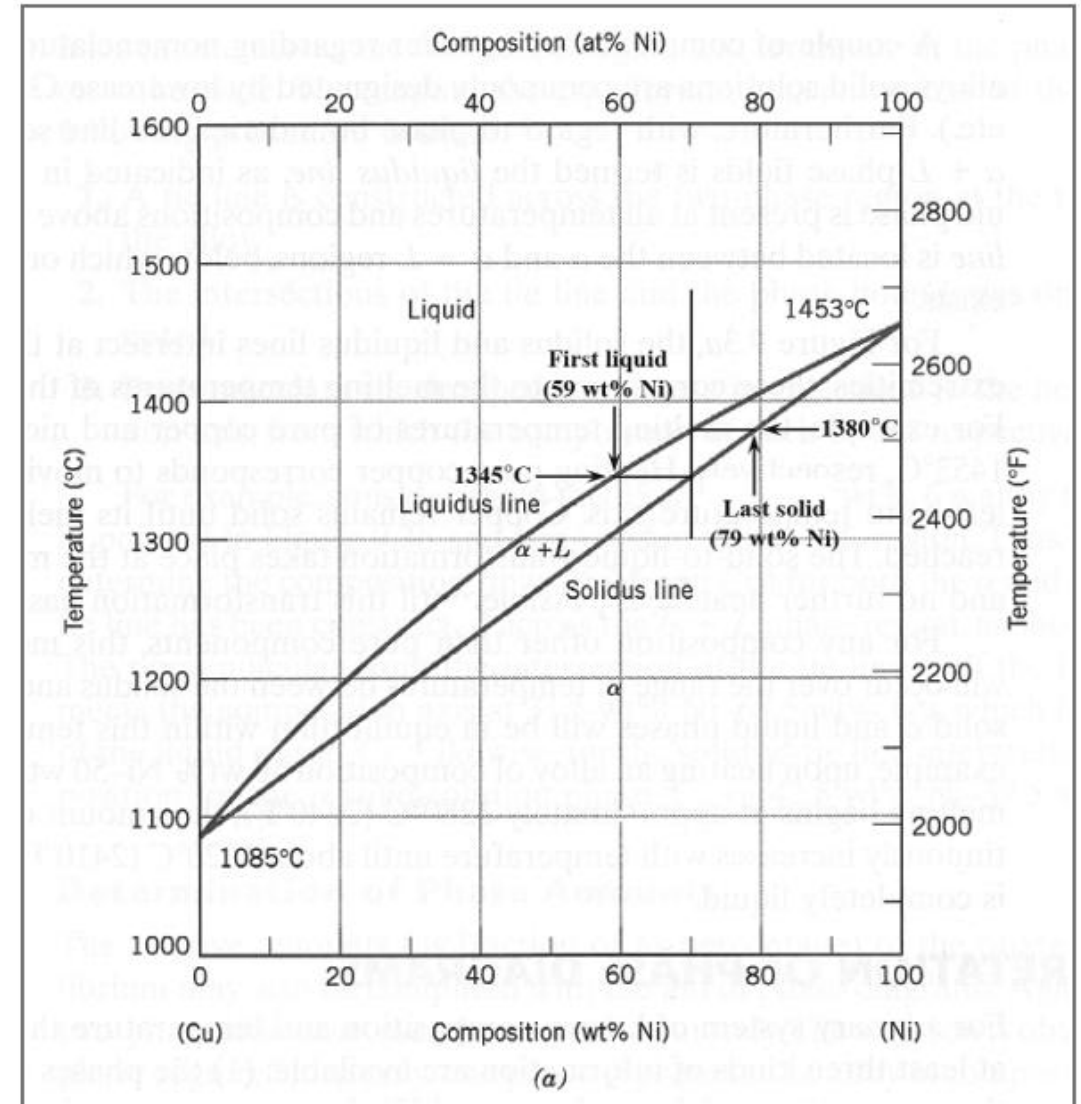
$$T = 1380^\circ\text{C}$$

(δ) Σύσταση της τελευταίας στερεής φάσης πριν από την πλήρη τήξη

Στη θερμοκρασία πλήρους τήξης:
τραβάμε οριζόντια συνδετική γραμμή,
και βρίσκουμε την τομή με τη solidus.

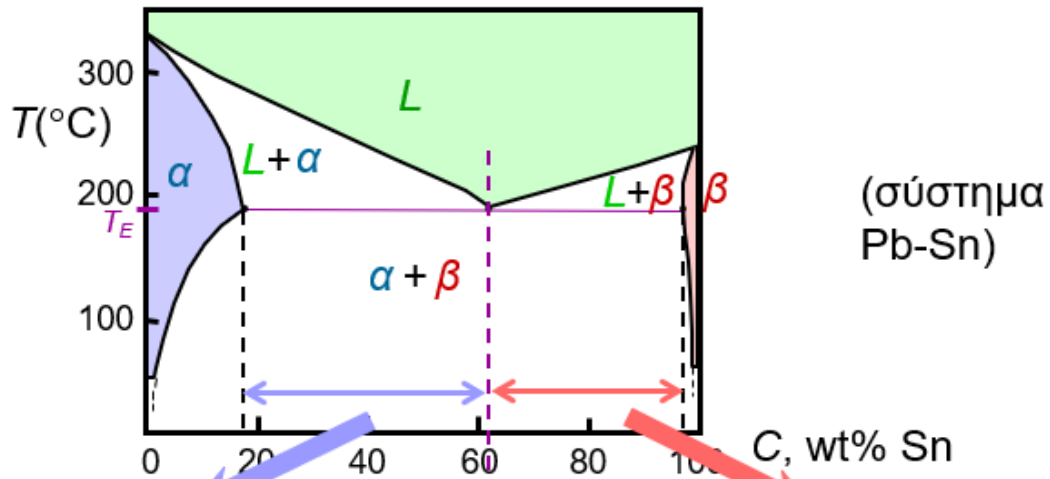
Από το διάγραμμα:

$$C_\alpha = 79 \text{ wt\% Ni}$$



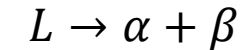
Διαγράμματα Φάσεων

□ Υποευτηκτικά & υπereυτηκτικά συστήματα



(σύστημα Pb-Sn)

Σε **61.9 wt% Sn** και θερμοκρασία περίπου **183°C**
Εκεί συμβαίνει η ευτηκτική αντίδραση:



Δηλαδή το υγρό στερεοποιείται ταυτόχρονα σε δύο στερεές φάσεις ($\alpha + \beta$)

▪ Υποευτηκτικό κράμα (αριστερά)

Για παράδειγμα

$$C_0 = 50 \text{ wt\% Sn}$$

δηλαδή σύσταση μικρότερη από 61.9 wt% Sn.

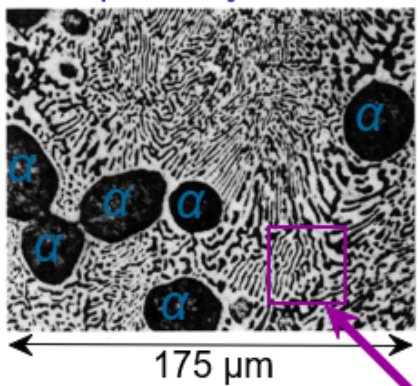
Άρα το κράμα λέγεται **υποευτηκτικό**

▪ Υπερευτηκτικό κράμα (δεξιά)

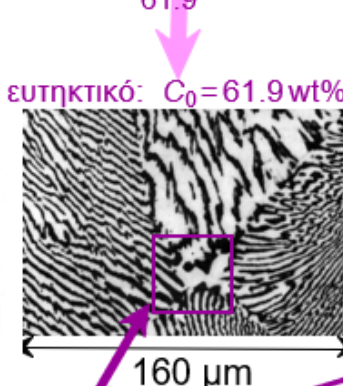
Εδώ η σύσταση είναι μεγαλύτερη από 61.9 wt% Sn.

Άρα **υπερευτηκτικό**

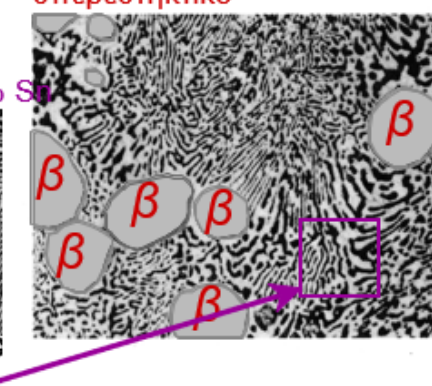
υποευτηκτικό: $C_0 = 50 \text{ wt\% Sn}$



ευτηκτικό: $C_0 = 61.9 \text{ wt\% Sn}$



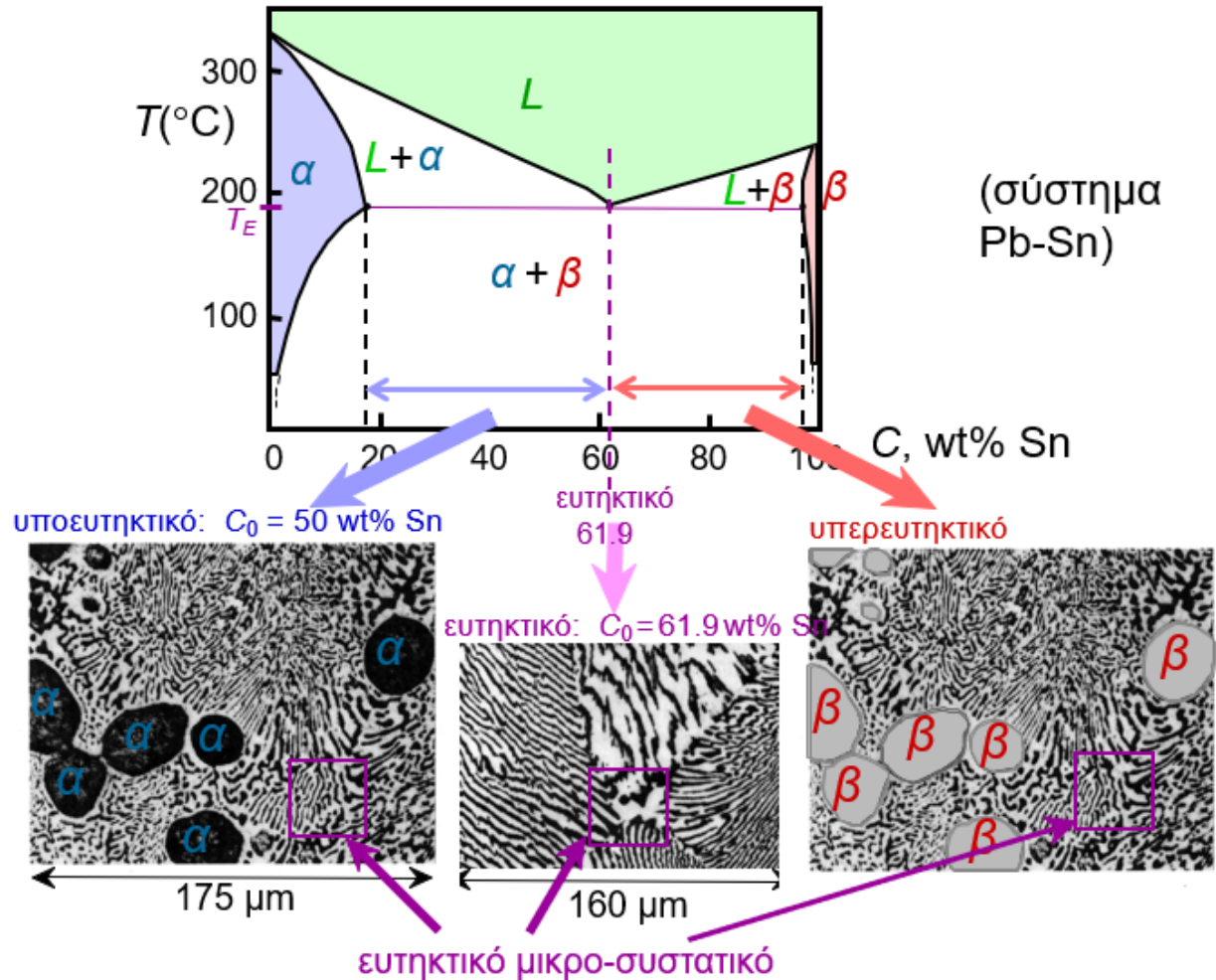
υπερευτηκτικό



ευτηκτικό μικρο-συστατικό

Διαγράμματα Φάσεων

□ Υποευτηκτικά & υπereυτηκτικά συστήματα



➤ Μικροδομή για $C_0 = 50\%$

Υψηλή θερμοκρασία

Το σημείο $C_0 = 50\%$ βρίσκεται στην περιοχή L
Άρα έχουμε **μόνο υγρό**.

Κατά την ψύξη

Η κατακόρυφη γραμμή του C_0 συναντά τη liquidus.
Μπαίνουμε στην περιοχή

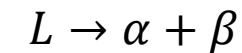
$$L + \alpha$$

Άρα αρχίζει να σχηματίζεται **πρωτογενής α** ,
ενώ υπάρχει ακόμα υγρό

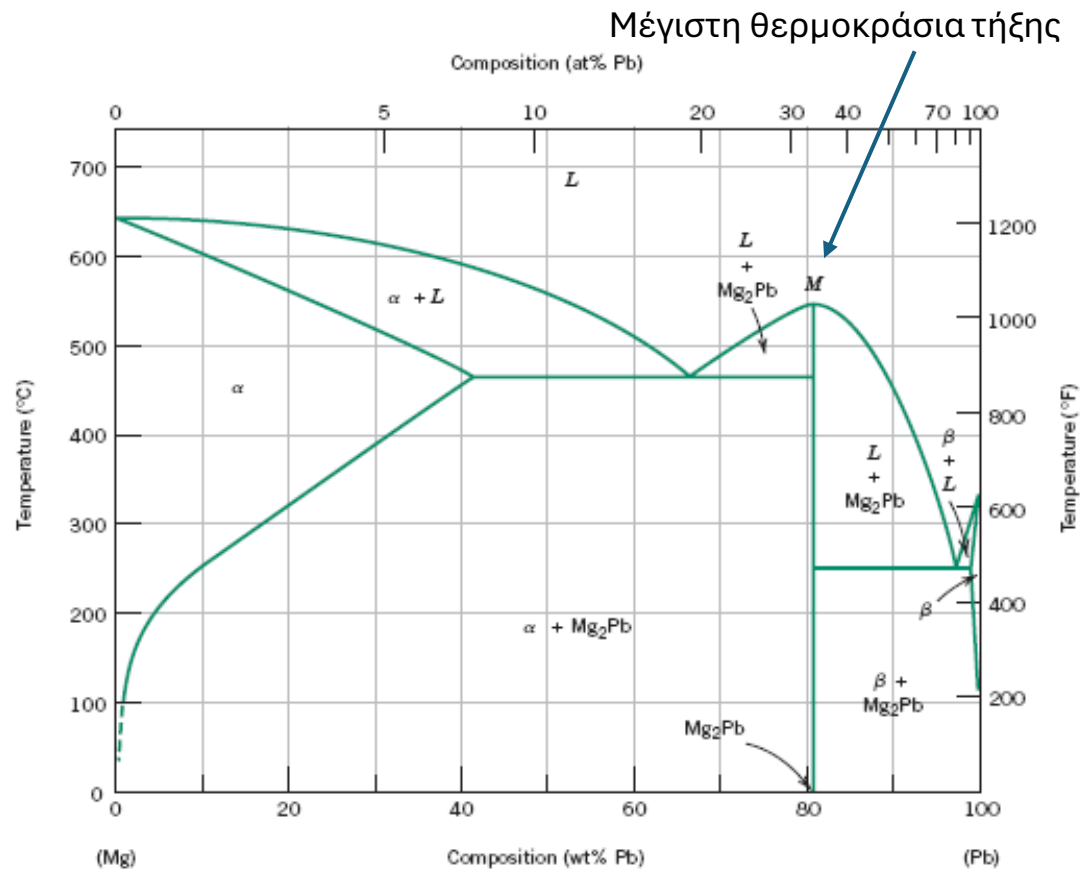
Στην ευτηκτική θερμοκρασία

Φτάνουμε στους T_E

Το υπόλοιπο υγρό έχει πλέον ευτηκτική σύσταση και γίνεται:



Διαγράμματα Φάσεων



□ Διαμεταλλικές ενώσεις

Είναι ενώσεις που σχηματίζονται μεταξύ δύο μετάλλων και έχουν:

- συγκεκριμένη χημική σύσταση,
- συγκεκριμένη κρυσταλλική δομή

Δεν είναι απλά στερεά διαλύματα όπως οι φάσεις α ή β .

Στο διάγραμμα Mg–Pb εμφανίζεται η ένωση:

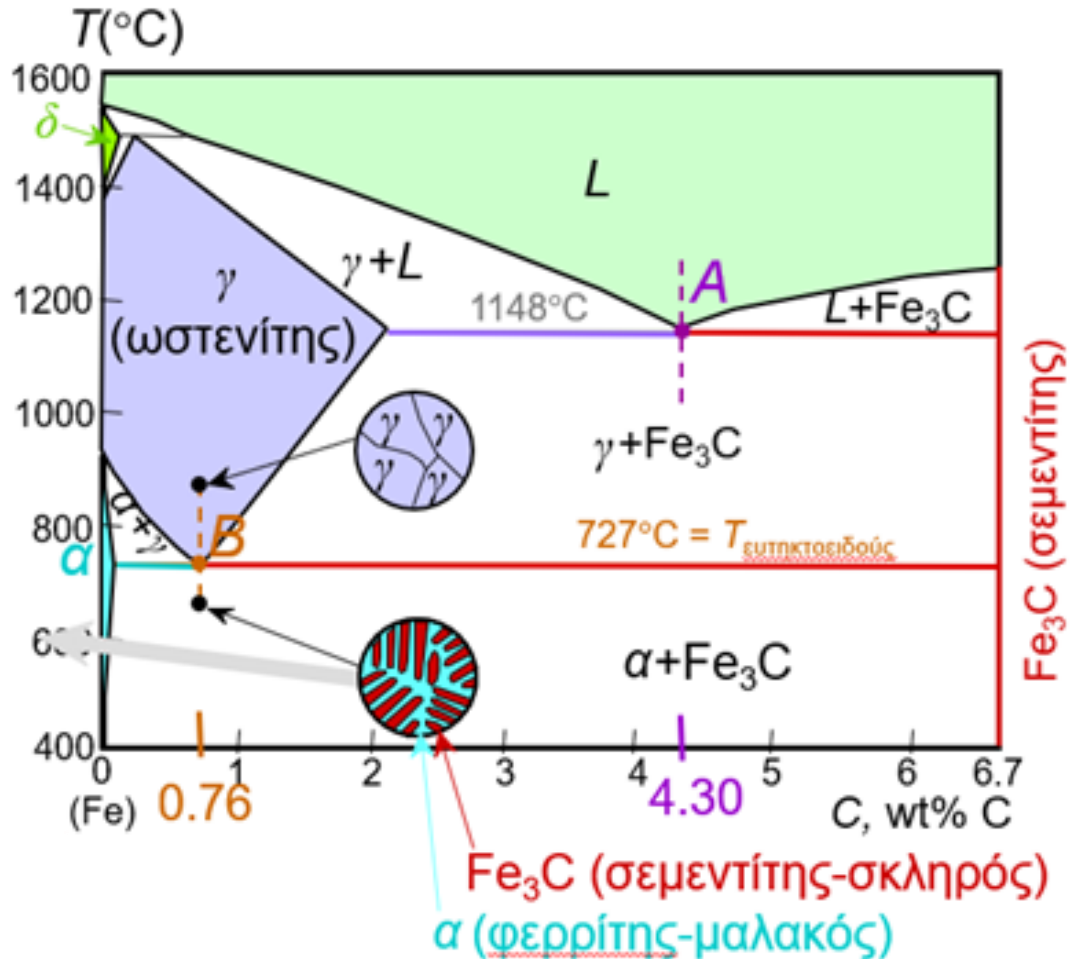
Mg_2Pb (διμαγνήσιο μολύβδου)

η **διαμεταλλική ένωση έχει σταθερή σύσταση**

οπότε εμφανίζεται σαν **γραμμή και όχι σαν επιφάνεια**

Διαγράμματα Φάσεων

□ Διαγράμμα φάσεων σιδήρου-άνθρακα



□ Οι βασικές φάσεις

α (φερρίτης)

- BCC δομή
- πολύ μικρή διαλυτότητα άνθρακα,
- μαλακή και όλκιμη φάση.

γ (ωστενίτης)

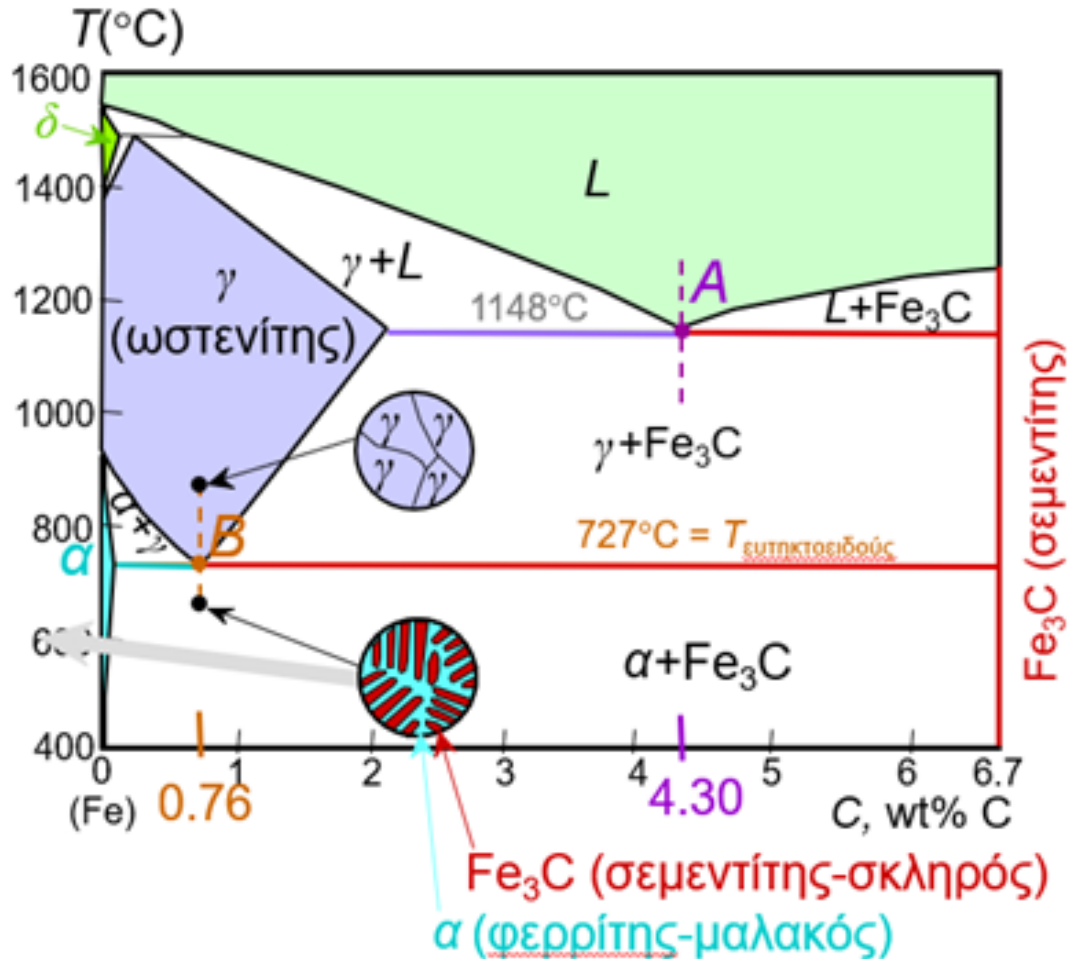
- FCC δομή
- διαλύει περισσότερο άνθρακα σε σχέση με φερρίτη

Fe_3C (σεμεντίτης)

- διαμεταλλική ένωση
- πολύ σκληρή και εύθραυστη

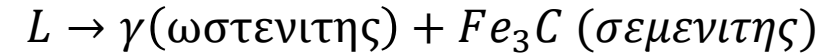
Διαγράμματα Φάσεων

□ Διαγράμμα φάσεων σιδήρου-άνθρακα



➤ **Ευτηκτικό σημείο A** ($T = 1148^\circ\text{C}$, $C = 4.3\text{ wt}\%$)

Στο σημείο A έχουμε:



➤ **Ευτηκτοειδές σημείο B** ($T = 727^\circ\text{C}$, $C = 0.76\text{ wt}\%$)

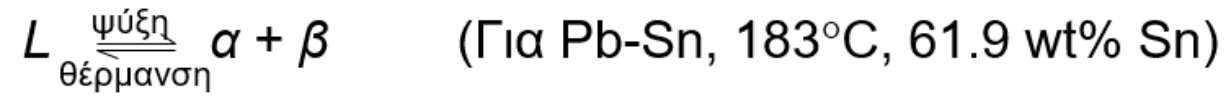
Αυτό είναι το πιο σημαντικό σημείο για τους χάλυβες.
Στο σημείο B έχουμε:



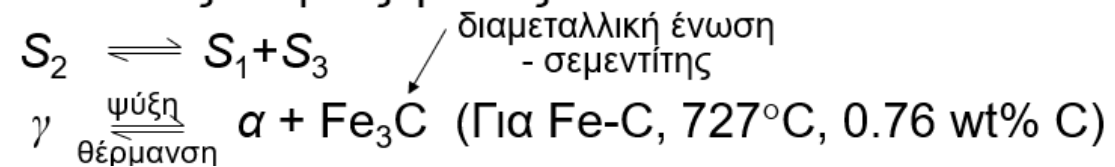
Ο περλίτης είναι μικροδομή που αποτελείται από:
φερρίτη (α) και σεμεντίτη (Fe_3C) που δίνει:
καλή αντοχή και σχετικά καλή ολκιμότητα

Διαγράμματα Φάσεων

- **Ευτηκτικό** – μετασχηματισμός υγρού σε δύο στερεές φάσεις



- **Ευτηκτοειδές** – μετασχηματισμός μιας στερεάς φάσης σε δύο άλλες στερεές φάσεις

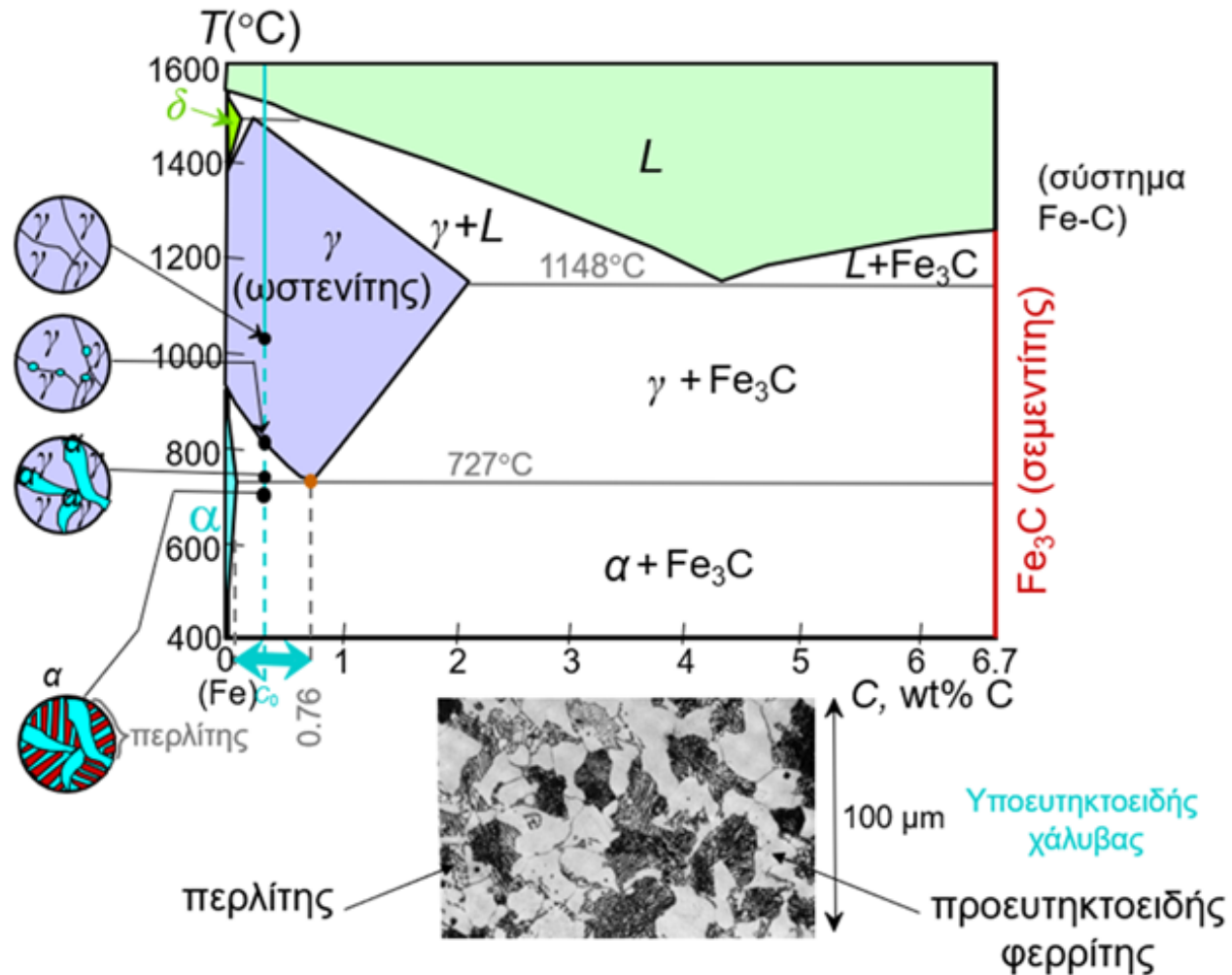


- **Περιτηκτικό** - μετασχηματισμός υγρού και μιας στερεάς φάσης σε μία δεύτερη στερεά φάση



Διαγράμματα Φάσεων

□ Υποευτηκτοειδής χάλυβας ($C_0 < 0.76 \text{ wt\% C}$)



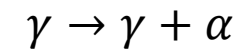
1. Αρχικά έχουμε ωστενίτη γ

Σε υψηλές θερμοκρασίες το υλικό είναι:

δηλαδή μονοφασικός ωστενίτης.

2. Πριν τους 727°C αρχίζει να σχηματίζεται φερρίτης α

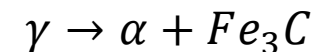
Κατά την ψύξη μέρος του ωστενίτη μετατρέπεται σε φερρίτη:



Άρα συνυπάρχουν

ωστενίτης (γ) και προευτηκτοειδής φερρίτης (α).

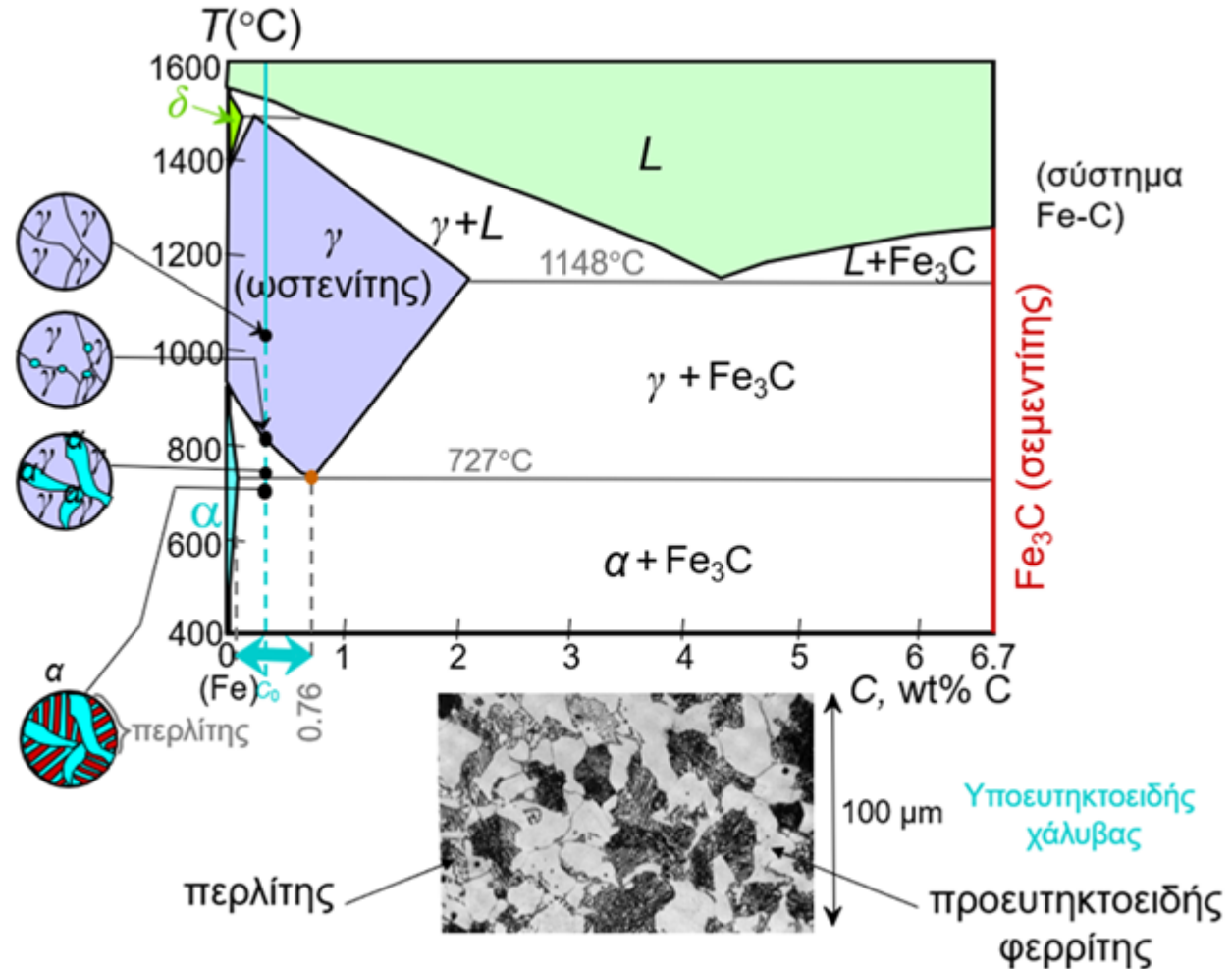
3. Στους 727°C ο υπόλοιπος ωστενίτης αποκτά σύσταση 0.76 wt% C και μετατρέπεται σε περλίτη:



Το Fe₃C έχει σταθερή στοιχειομετρία, αντιστοιχεί σε 6.7 wt% C- δηλαδή σε μία συγκεκριμένη σύσταση

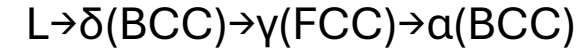
Διαγράμματα Φάσεων

□ Υποευτηκτοειδής χάλυβας ($C_0 < 0.76 \text{ wt\% C}$)



Τι συμβαίνει κατά την ψύξη;

Κατά την ψύξη:



Φάσεις του συστήματος Fe-C

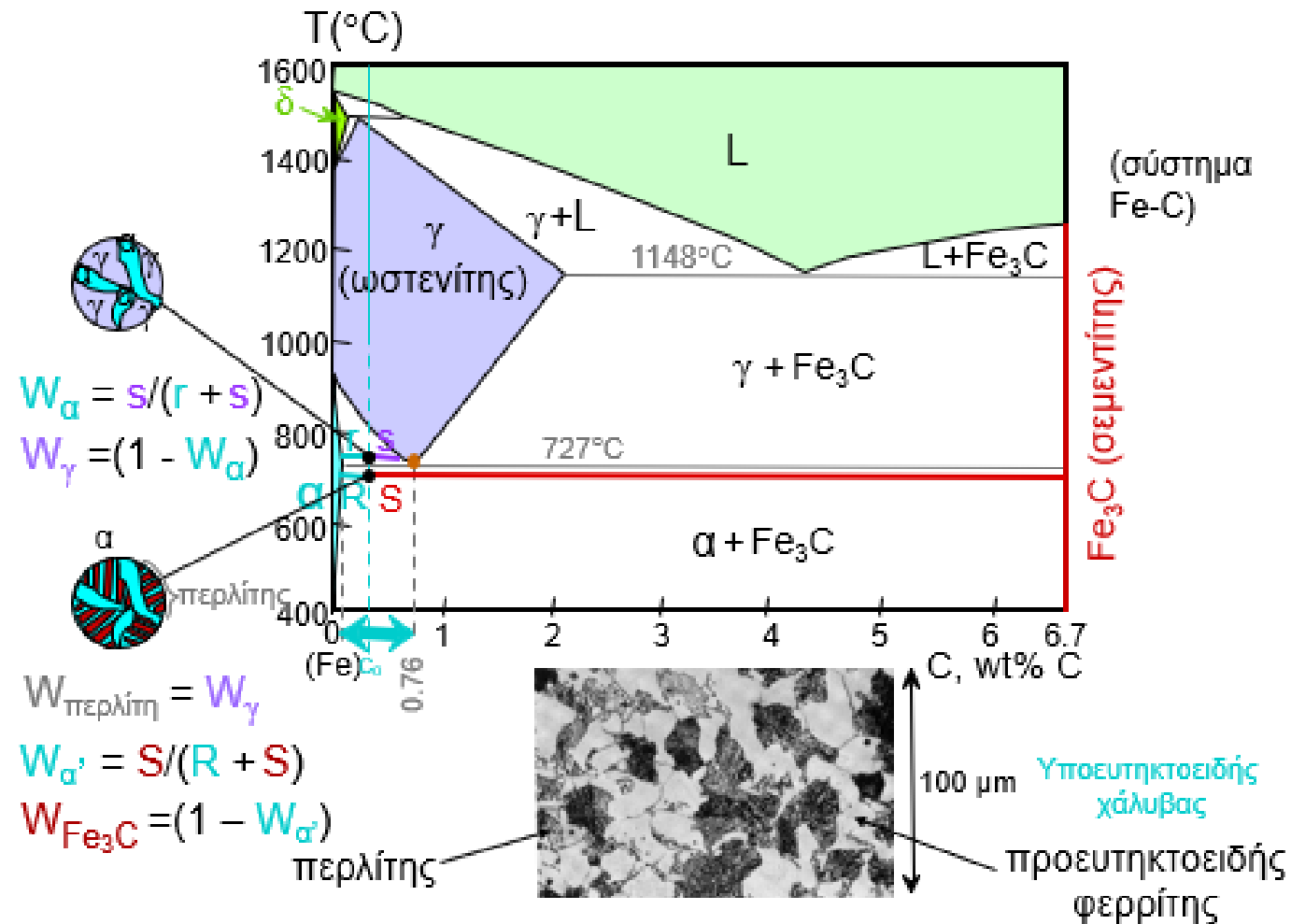
- **δ-φερρίτης**
κρυσταλλική δομή BCC
σταθερός σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες
- **γ-ωστενίτης**
κρυσταλλική δομή FCC
σταθερός σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες
διαλύει μεγαλύτερη ποσότητα C
- **α-φερρίτης**
κρυσταλλική δομή BCC
σταθερός σε χαμηλές θερμοκρασίες
πολύ μικρή διαλυτότητα C

Τελική μικροδομή υποευτηκτοειδούς χάλυβα:

προευτηκτοειδής φερρίτης (α) και περλίτης ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)

Διαγράμματα Φάσεων

- Υποευτηκτοειδής χάλυβας ($C_0 < 0.76 \text{ wt\% C}$)



Ακριβώς πάνω από τους 727°C στην περιοχή γ (ωστενίτης) + α (φερρίτης)

Κλάσμα φερρίτη

$$W_\alpha = \frac{s}{r+s}$$

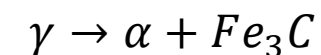
Κλάσμα ωστενίτη

$$W_\gamma = 1 - W_\alpha$$

Στους 727°C - Ο φερρίτης (α) που έχει ήδη σχηματιστεί μένει ως έχει. Ο ήδη σχηματισμένος φερρίτης δεν συμμετέχει στον ευτηκτοειδή μετασχηματισμό.

$$W_{\text{περλίτη}} = W_\gamma$$

Ο υπόλοιπος ωστενίτης όμως **δεν είναι πλέον σταθερός** και μετατρέπεται σε:



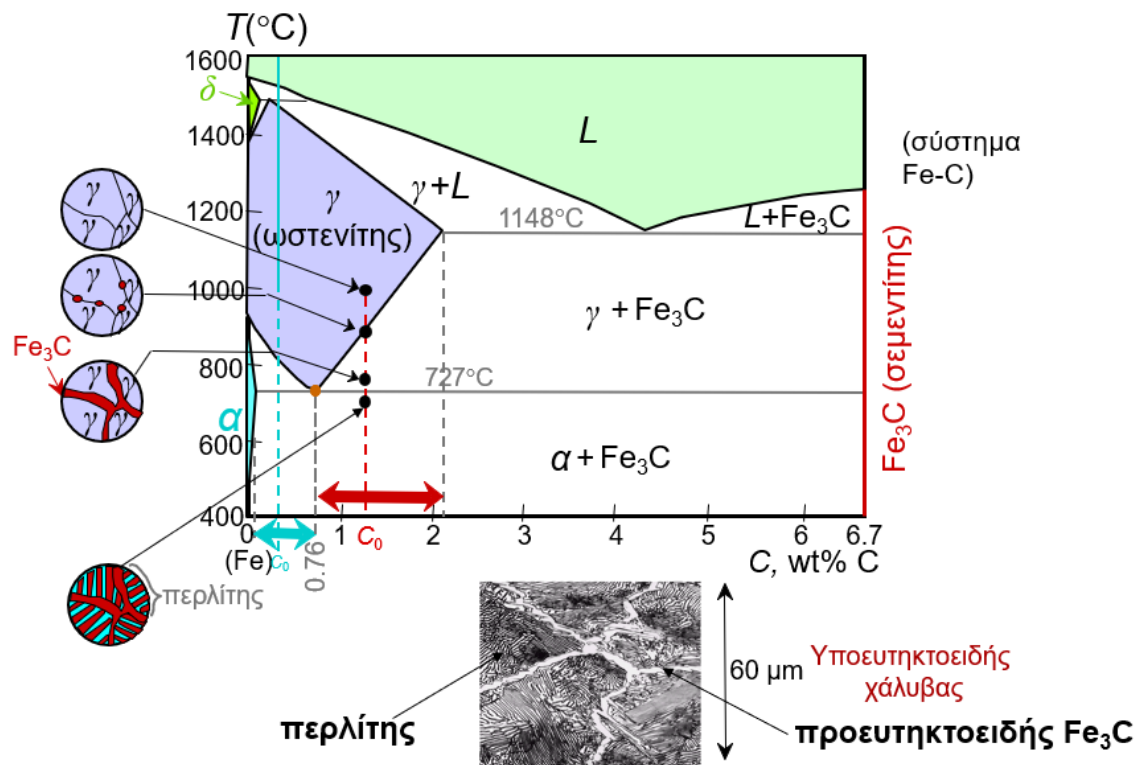
Διαγράμματα Φάσεων

□ Υπερευθηκτοειδής χάλυβας

δηλαδή όταν:

$$0.76 < C_0 < 2.14 \text{ wt\% C}$$

Άρα η σύσταση είναι **δεξιά του ευθηκτοειδούς σημείου**.



□ Υπερευθηκτοειδής

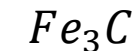
σχηματίζει πρώτα Fe_3C ενώ στην υποευθηκτοειδής πρώτα α

1. Υψηλές θερμοκρασίες

Έχουμε μόνο γ (ωστενίτη)

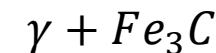
2. Πριν τους 727°C

Ο ωστενίτης δεν μπορεί να κρατήσει τόσο πολύ άνθρακα. Επειδή τώρα το κράμα έχει **πολύ άνθρακα**, αρχίζει να σχηματίζεται:



Δηλαδή προευθηκτοειδής σεμεντίτης.

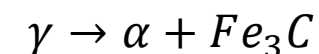
Άρα έχουμε περιοχή:



3. Στους 727°C

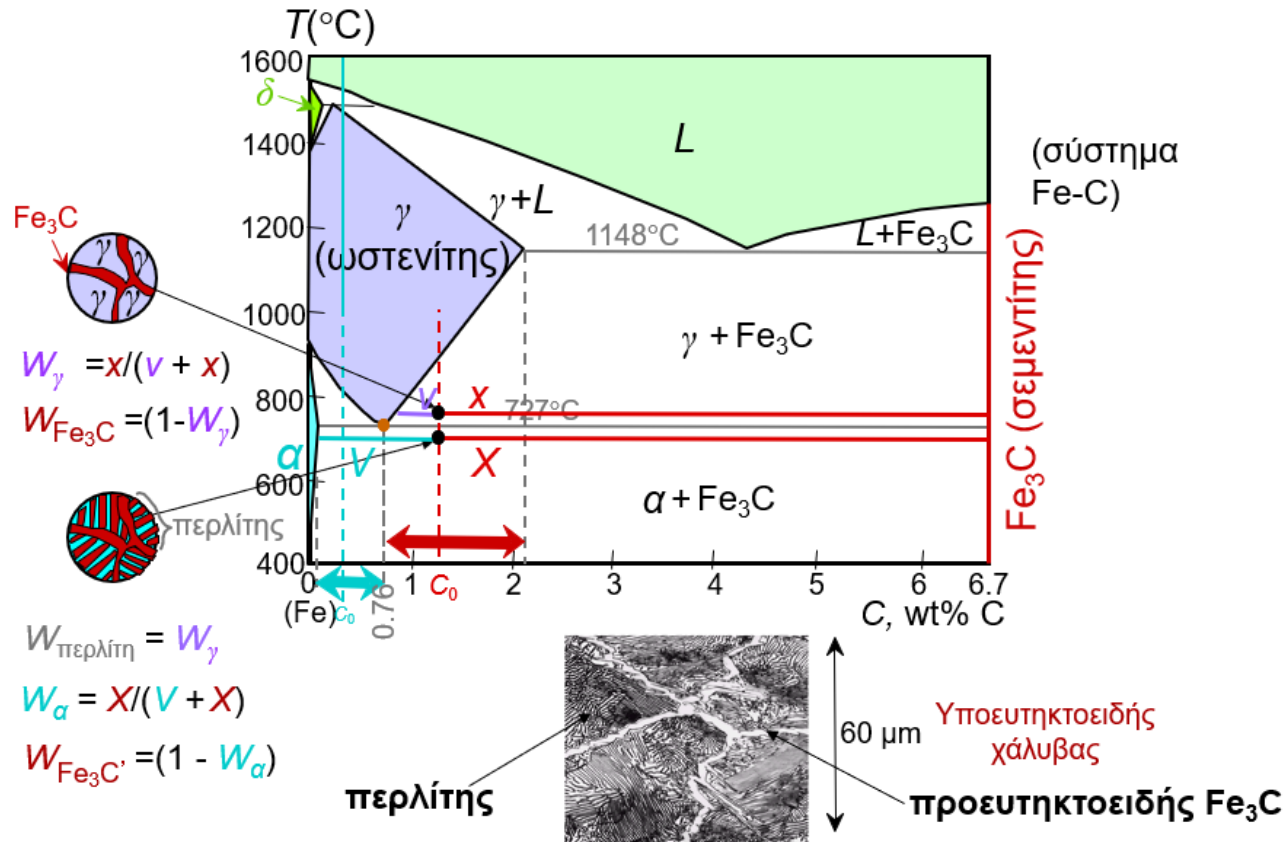
Ο υπόλοιπος ωστενίτης (γ):

μετατρέπεται σε περλίτη



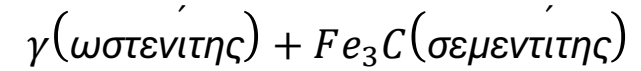
Διαγράμματα Φάσεων

- Υπερευθηκτοειδής χάλυβας - $C_0 > 0.76 \text{ wt\% C}$



Πάνω από τους 727 $^{\circ}\text{C}$

Η περιοχή είναι:



Άρα έχει ήδη σχηματιστεί:

προευθηκτοειδής σεμεντίτης.

- Κλάσμα ωστενίτη

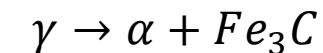
$$W_{\gamma} = \frac{x}{v+x}$$

- Κλάσμα σεμεντίτη

$$W_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - W_{\gamma}$$

Στους 727 $^{\circ}\text{C}$

Ο ωστενίτης δεν είναι πλέον σταθερός και μετατρέπεται



Δηλαδή περλίτη

Άρα:

$$W_{\text{περλίτη}} = W_{\gamma}$$

Τελική μικροδομή - μίγμα:

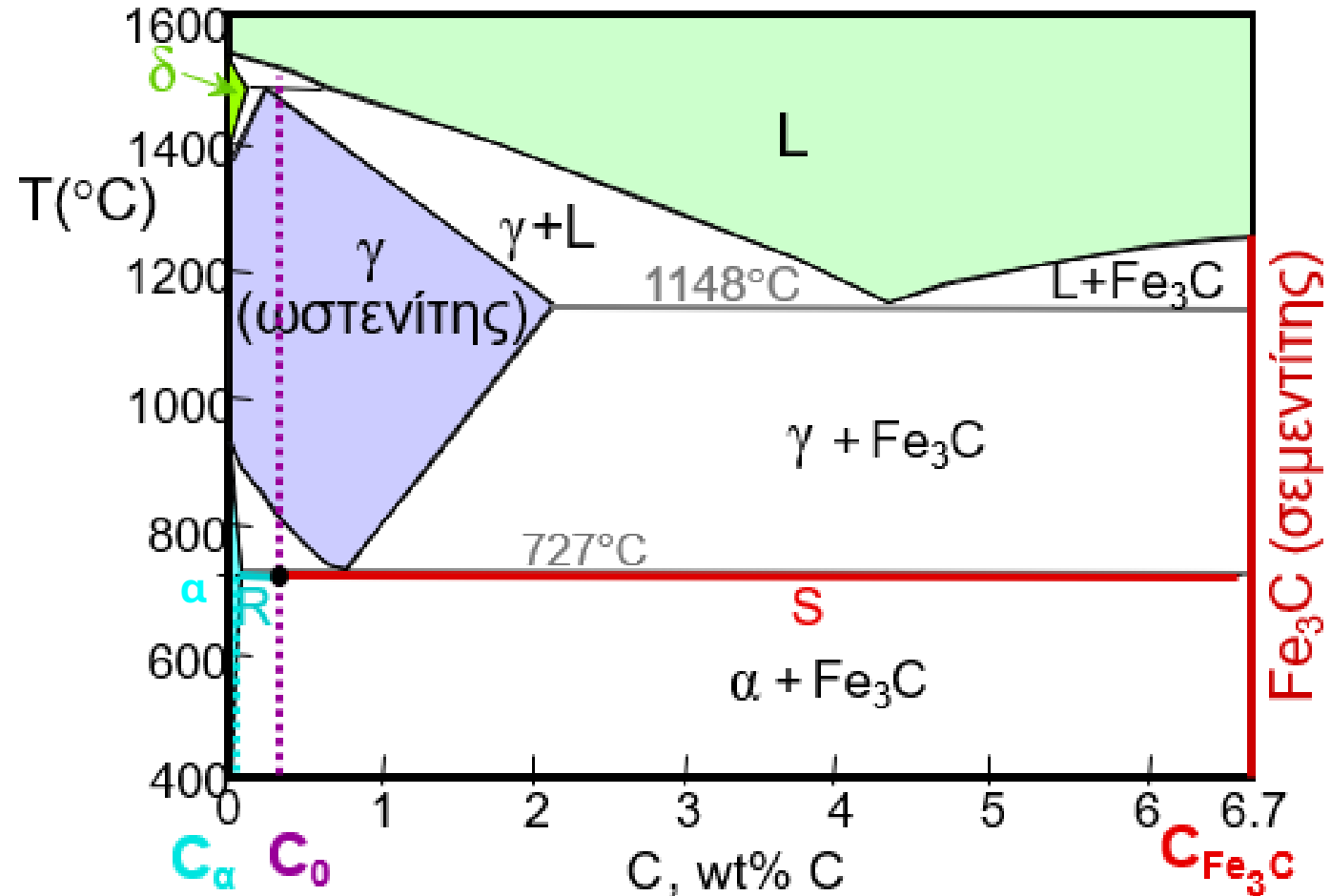
περλίτης + προευθηκτοειδής Fe_3C

Διαγράμματα Φάσεων

Άσκηση:

Για έναν χάλυβα με σύσταση **99.6 wt% Fe – 0.40 wt% C**, σε θερμοκρασία οριακά κάτω από την ευτηκτοειδή, να προσδιοριστούν τα ακόλουθα:

- Οι συστάσεις του σεμενίτη (Fe_3C) και του α -φερρίτη.
- Η ποσότητα (σε γραμμάρια) του σεμενίτη που σχηματίζεται σε 100 g χάλυβα.
- Οι ποσότητες περλίτη και προευτηκτοειδή φερρίτης (α) στα 100 g χάλυβα.



Διαγράμματα Φάσεων

Απάντηση:

(α) οριακά κάτω από την ευτηκτοειδή, η μικροδομή είναι $\alpha + Fe_3C$

Σεμεντίτης $Fe_3C = 6.70 \text{ wt\% C}$

α -φερρίτης $C_\alpha \sim 0.022 \text{ wt\% C}$

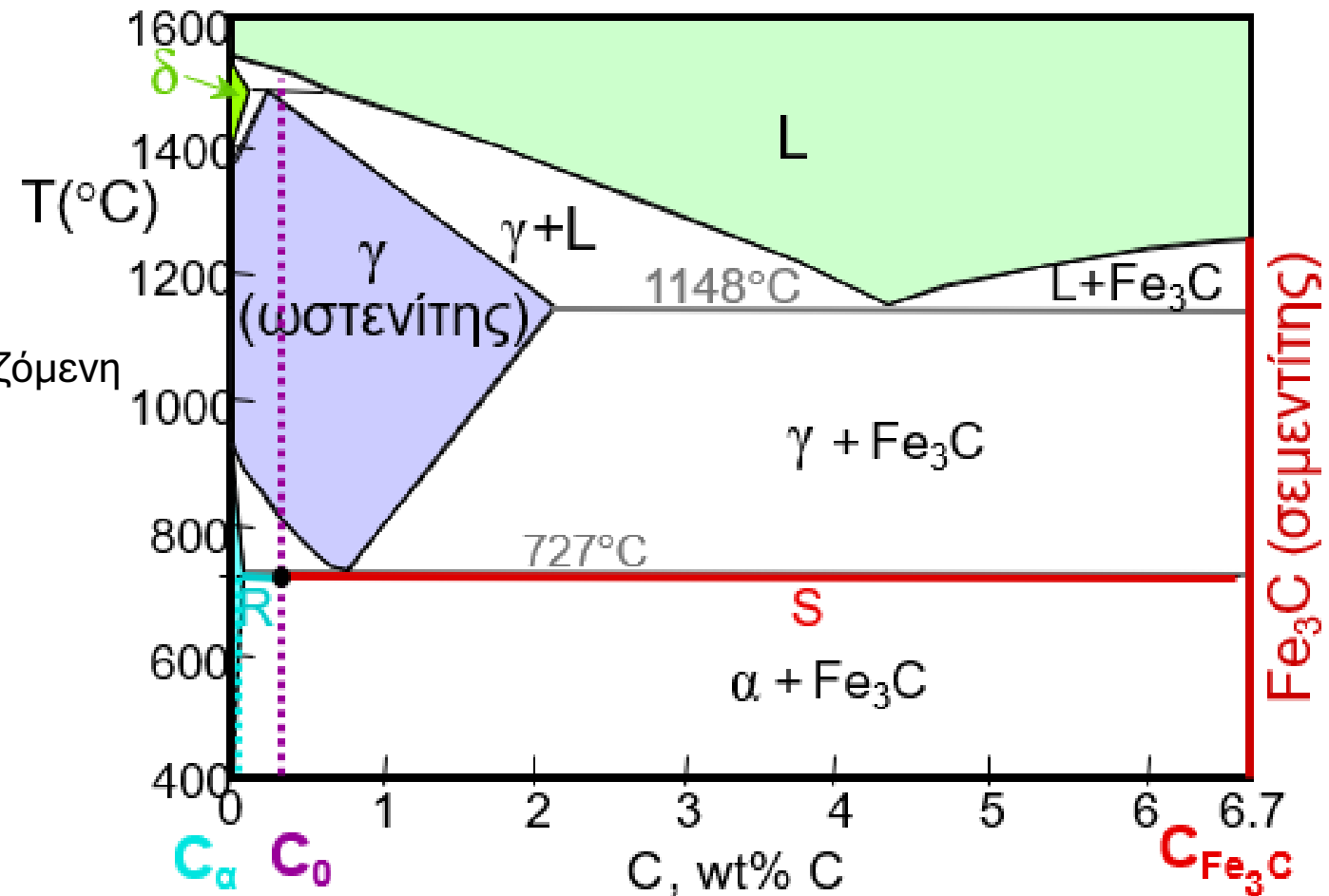
(β) Εφαρμόζοντας τον κανόνα του μοχλού με την απεικονιζόμενη συνδετική γραμμή

$$W_{Fe_3C} = \frac{R}{R+S} = \frac{C_0 - C_\alpha}{C_{Fe_3C} - C_\alpha}$$
$$= \frac{0.40 - 0.022}{6.70 - 0.022} = 0.057$$

Ποσότητα Fe_3C στα 100 g χάλυβα

$$= (100 \text{ g})W_{Fe_3C}$$

$$= (100 \text{ g})(0.057) = 5.7 \text{ g}$$



Διαγράμματα Φάσεων

(γ) Λίγο πάνω από τους 727°C το κράμα βρίσκεται στην περιοχή:



Άρα εφαρμόζουμε **κανόνα μοχλού**

Συνολική σύσταση

$$C_0 = 0.40\%$$

Σύσταση φερρίτη

$$C_\alpha \sim 0.022\%$$

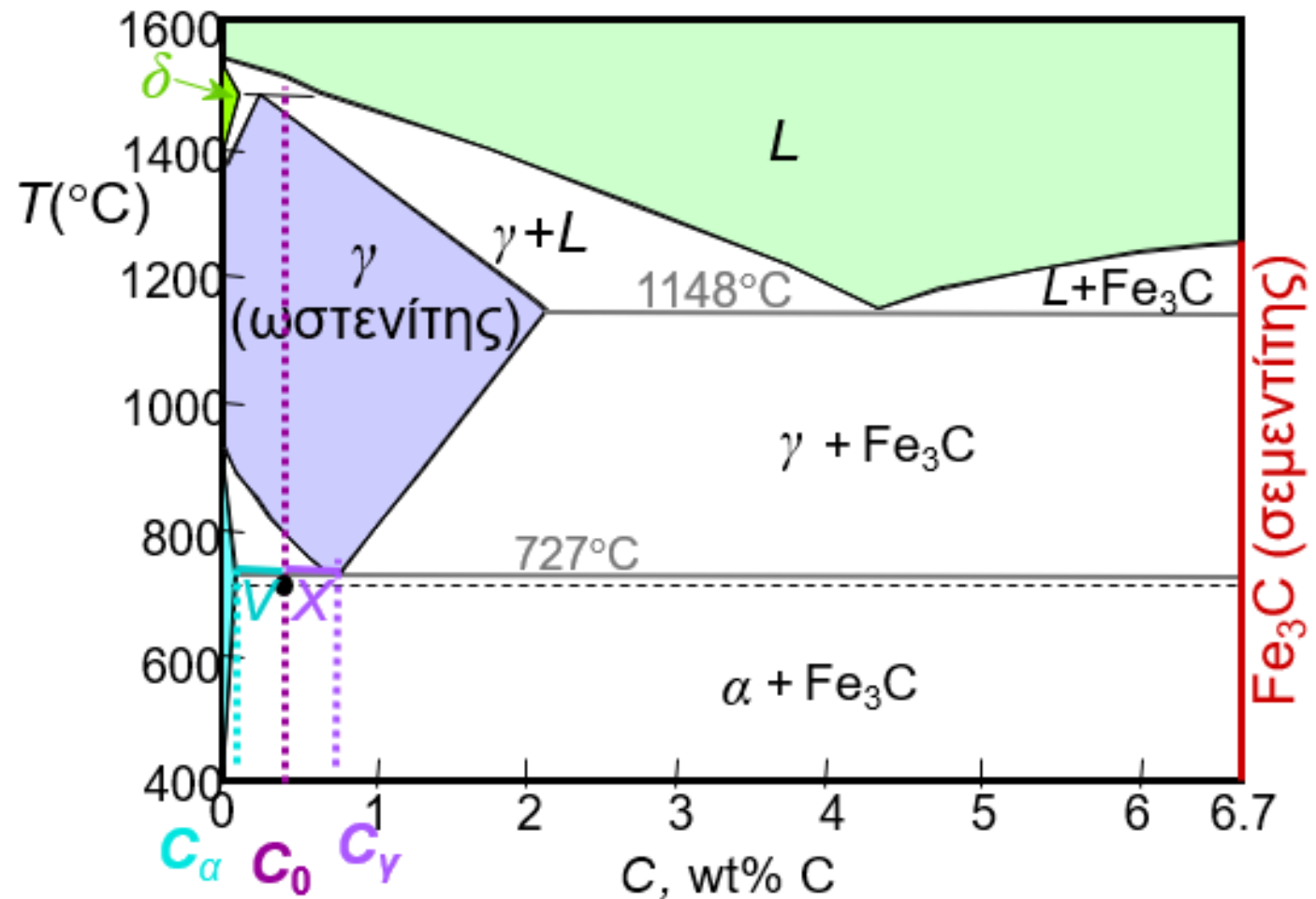
Σύσταση ωστενίτη

$$C_\gamma = 0.76\%$$

Κλάσμα ωστενίτη

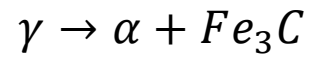
$$W_\gamma = \frac{V}{V + X} = \frac{C_0 - C_\alpha}{C_\gamma - C_\alpha} = \frac{0.40 - 0.022}{0.76 - 0.022}$$

$$W_\gamma = 0.512$$



Διαγράμματα Φάσεων

(γ) Στους 727°C:



όλος ο ωστενίτης γίνεται **περλίτης**

Άρα:

$$W_{\text{περλίτη}} = W_{\gamma}$$

άρα

$$W_{\text{περλίτη}} = 0.512$$

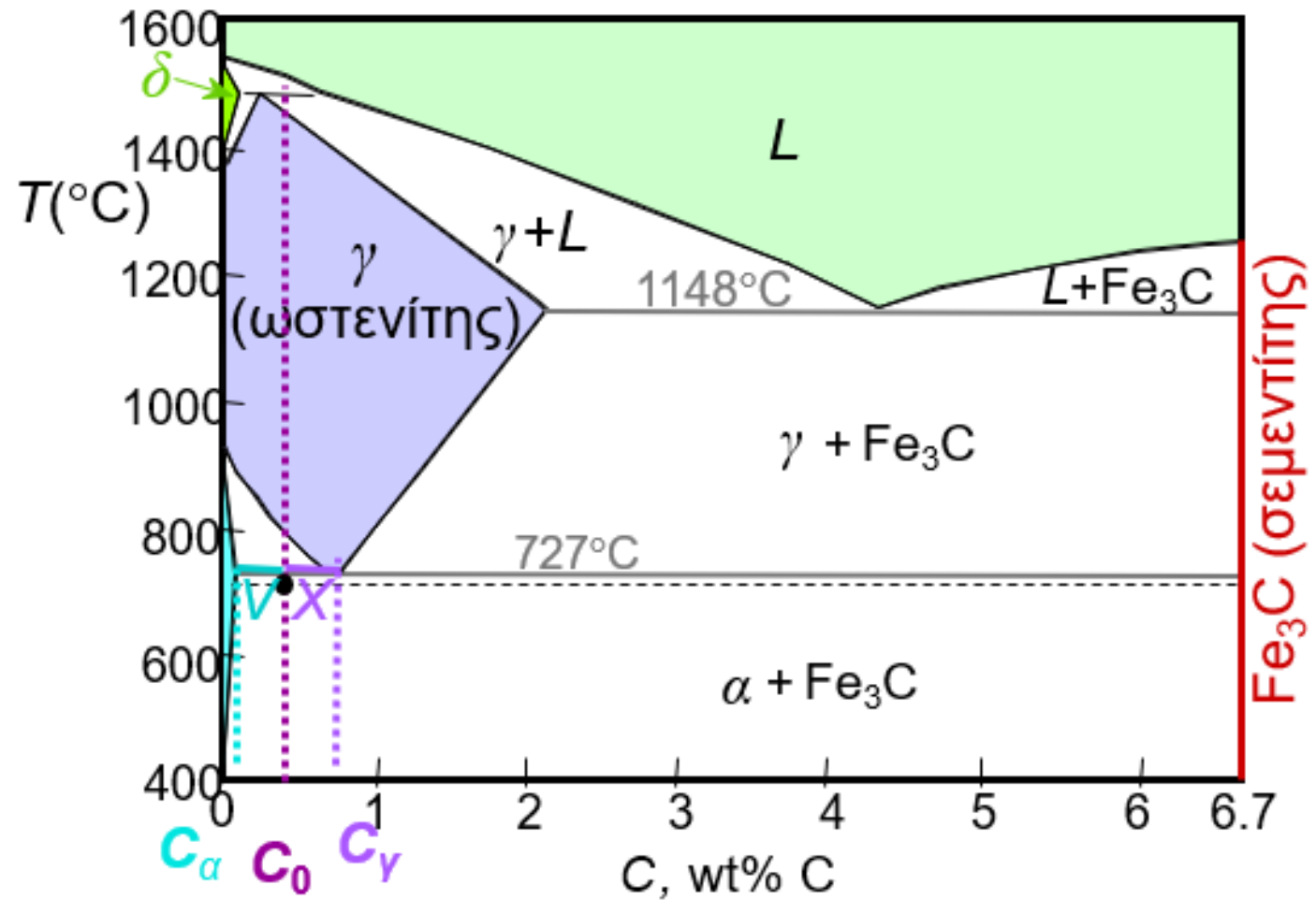
Κλάσμα προευτηκτοειδούς φερρίτη

$$W_{\alpha} = 1 - W_{\gamma}$$

$$W_{\alpha} = 1 - 0.512 = 0.488$$

δηλαδή

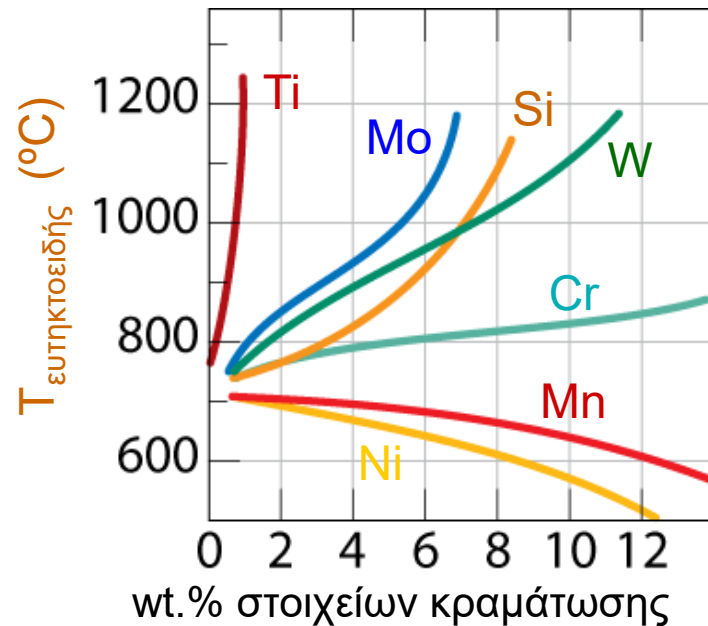
Προευτηκτοειδής φερρίτης 48.8%



Διαγράμματα Φάσεων

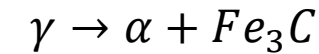
□ Κραμάτωση με άλλα στοιχεία

- Μεταβολή της $T_{\text{ευτηκτοειδούς}}$:



Κατακόρυφος άξονας $T_{\text{ευτηκτοειδής}}$

δηλαδή η θερμοκρασία του ευτηκτοειδούς μετασχηματισμού:



που στον απλό ανθρακούχο χάλυβα είναι:

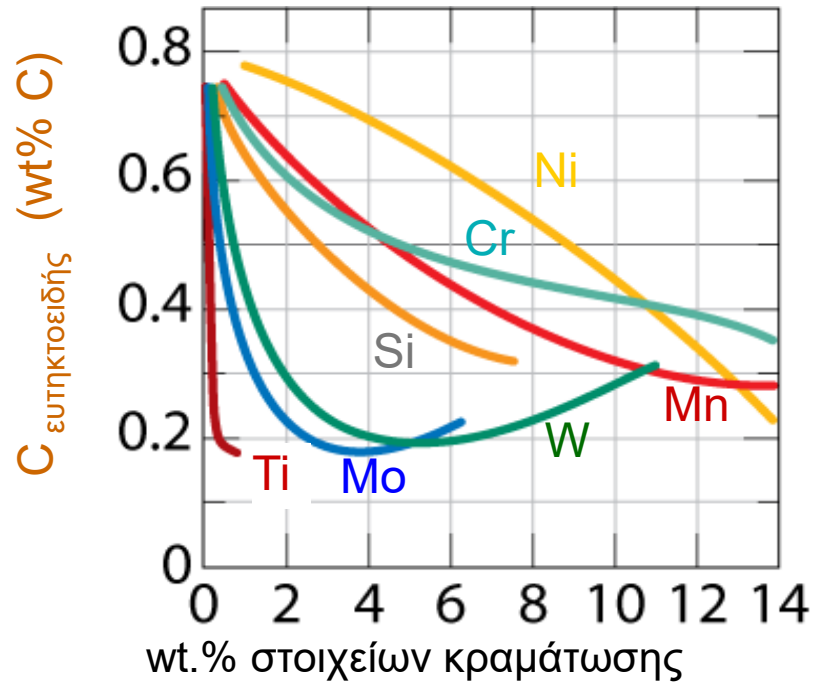
$$727^\circ C$$

- **Καμπύλες που ανεβαίνουν** → αυξάνουν την ευτηκτοειδή θερμοκρασία → γίνεται σε μεγαλύτερη θερμοκρασία →
- **Καμπύλες που κατεβαίνουν (Mn, Ni)** → μειώνουν την ευτηκτοειδή θερμοκρασία.
- Ni και Mn σταθεροποιούν περισσότερο τον ωστενίτη γ , οπότε ο ωστενίτης παραμένει σταθερός μέχρι χαμηλότερες θερμοκρασίες.
Ο ωστενίτης συνδυάζει καλή ολκιμότητα και καλή αντοχή.

Διαγράμματα Φάσεων

□ Κραμάτωση με άλλα στοιχεία

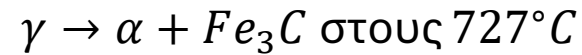
- Μεταβολή της $C_{\text{ευτηκτοειδούς}}$:



Στο απλό σύστημα Fe–C είναι:

$$0.76 \text{ wt}\%C$$

δηλαδή η σύσταση όπου γίνεται:



- Χωρίς κραμάτωση:

$$C_E = 0.76\%$$

- Με κραμάτωση μπορεί να γίνει:

$$0.4\%, 0.3\%, 0.2\%$$

ανάλογα με το στοιχείο.

Αυτό σημαίνει ότι **χρειάζεται λιγότερος άνθρακας** για να έχουμε ευτηκτοειδή συμπεριφορά.

Ο άνθρακας γενικά:

αυξάνει σκληρότητα και αντοχή,
αλλά κάνει τον χάλυβα:

- πιο ψαθυρό,
- πιο δύσκολο στην κατεργασία.

Διαγράμματα Φάσεων

Άσκηση:

Είναι δυνατόν να έχουμε κράμα χαλκού–αργύρου σύστασης:

$$50 \text{ wt\% Ag} - 50 \text{ wt\% Cu}$$

το οποίο σε ισορροπία να αποτελείται από δύο φάσεις α και β , με κλάσματα μάζας:

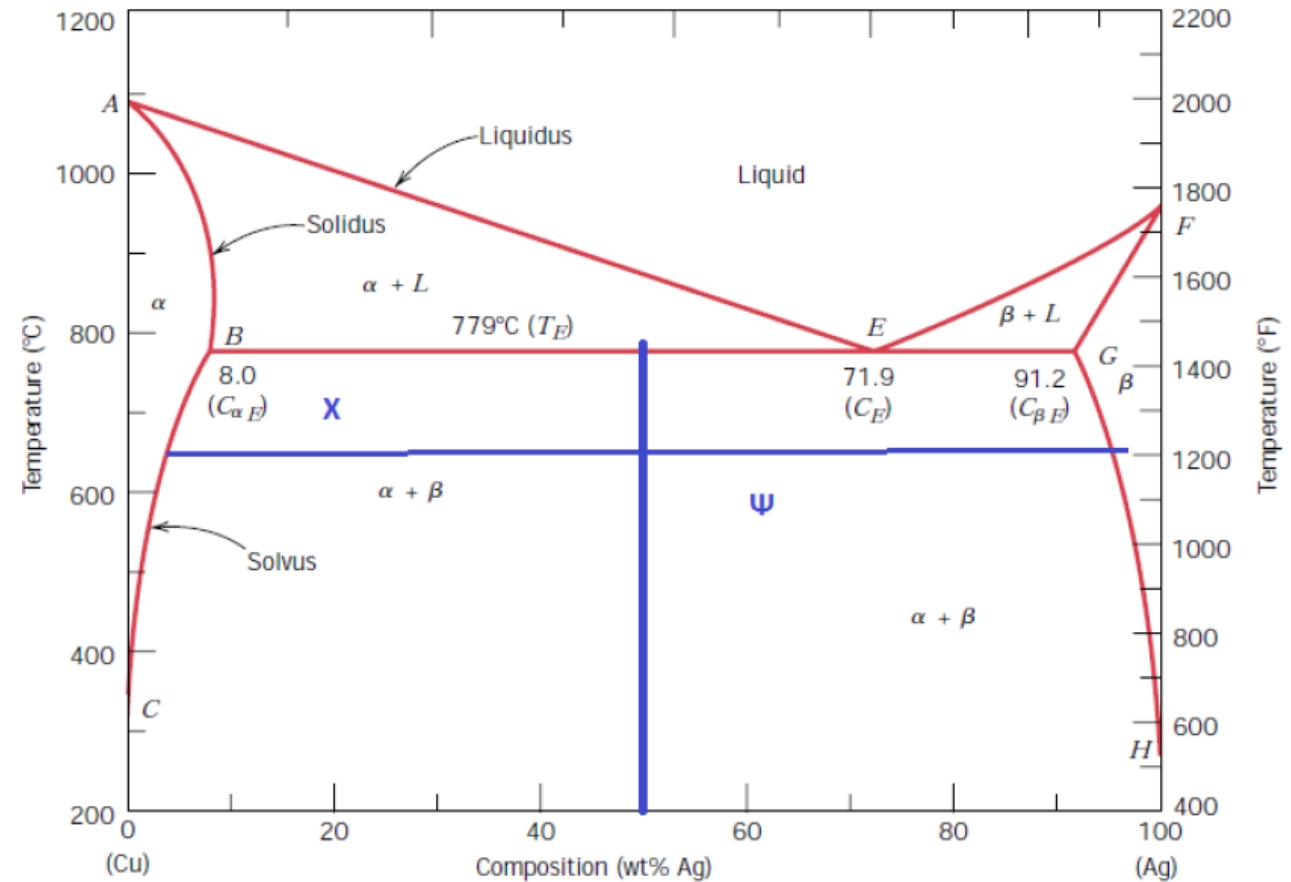
$$W_{\alpha} = 0.60$$

και

$$W_{\beta} = 0.40$$

Αν ναι, να υπολογιστεί κατά προσέγγιση η θερμοκρασία του κράματος.

Αν όχι, να εξηγηθεί γιατί δεν είναι δυνατό.



Διαγράμματα Φάσεων

Άσκηση:

Στην περιοχή $\alpha + \beta$ εφαρμόζουμε τον κανόνα του μοχλού:

$$W_{\alpha} = \frac{C_{\beta} - C_0}{C_{\beta} - C_{\alpha}}$$

$$W_{\beta} = \frac{C_0 - C_{\alpha}}{C_{\beta} - C_{\alpha}}$$

Από το διάγραμμα, στη θερμοκρασία περίπου 650°C (η μπλε συνδετική):

- $C_{\alpha} \sim 5 \text{ wt\% Ag}$
- $C_{\beta} \sim 95 \text{ wt\% Ag}$

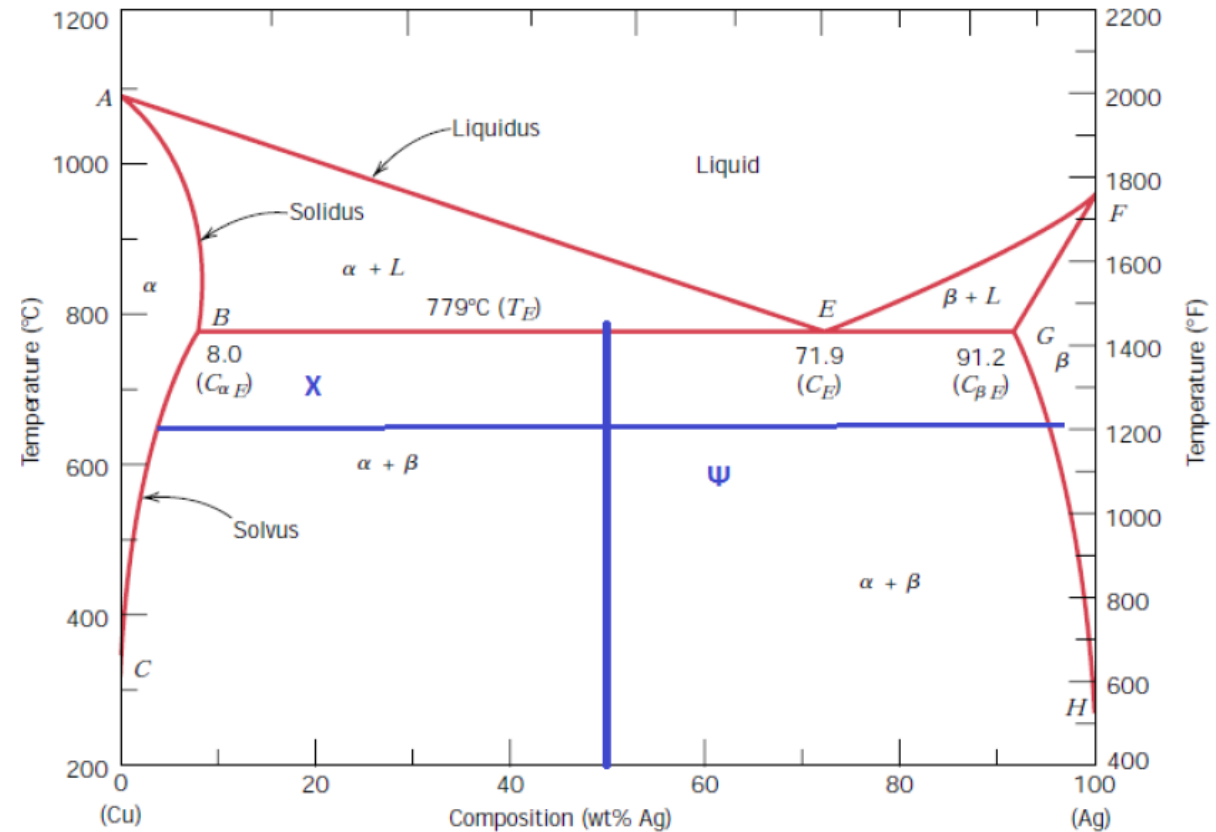
Άρα:

$$W_{\alpha} = \frac{95 - 50}{95 - 5} = \frac{45}{90} = 0.50$$

$$\text{και } W_{\beta} = 0.50$$

Δεν είναι δυνατό να υπάρχει κράμα $50 \text{ wt\% Ag} - 50 \text{ wt\% Cu}$

που σε ισορροπία να αποτελείται από φάσεις $\alpha + \beta$ με $W_{\alpha} = 0.60, W_{\beta} = 0.40$



Διαγράμματα Φάσεων

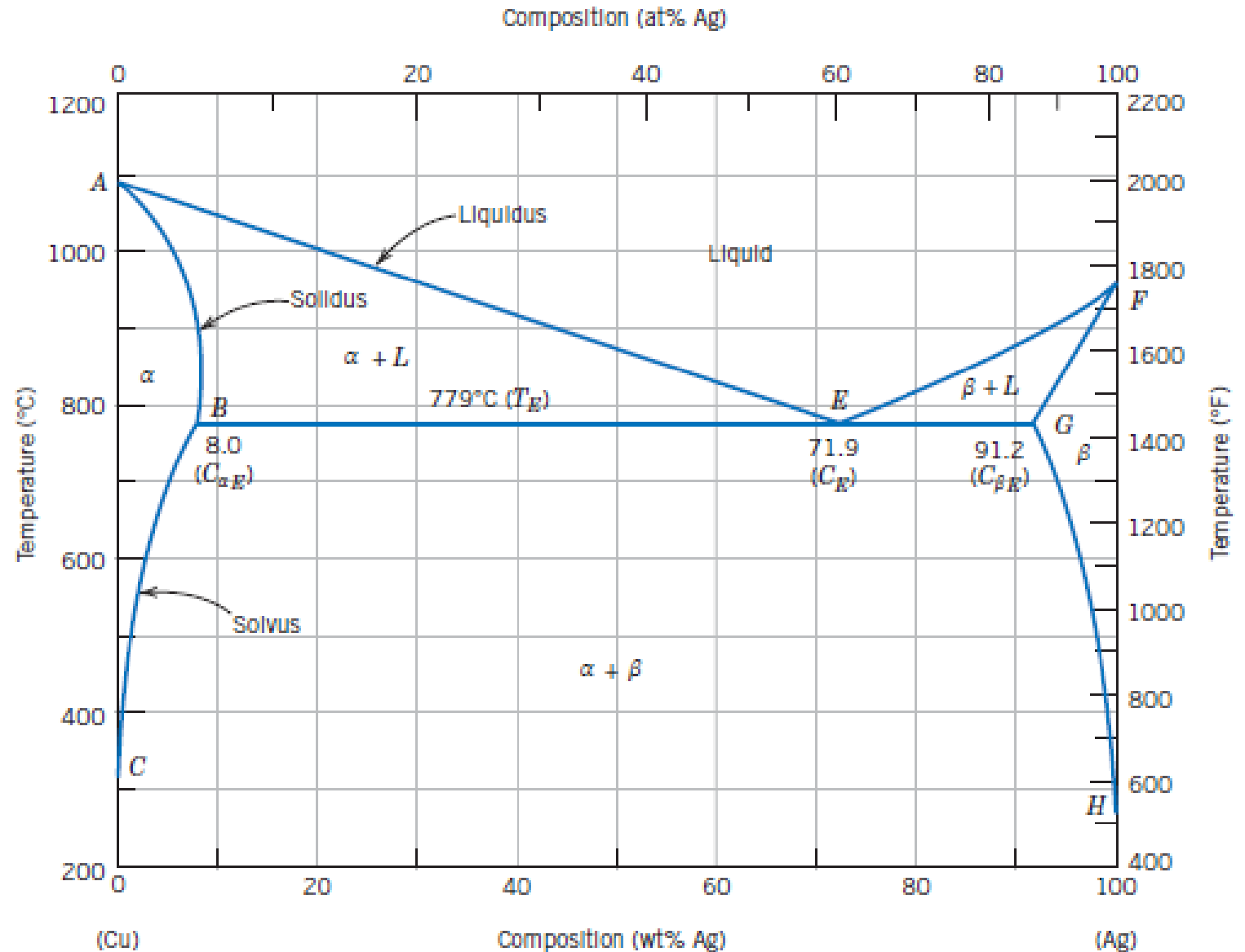
Άσκηση:

Για κράμα χαλκού–αργύρου με σύσταση 25 wt% Ag – 75 wt% Cu σε θερμοκρασία 775°C να υπολογιστούν:

(α) Τα κλασματικά ποσοστά μάζας των φάσεων α και β.

(β) Τα κλασματικά ποσοστά μάζας της πρωτογενούς α και του ευτηκτικού μικροσυστατικού.

(γ) Το κλασματικό ποσοστό μάζας της ευτηκτικής α.



Διαγράμματα Φάσεων

Από το διάγραμμα:

$$C_E = 71.9 \text{ wt\% Ag}$$

$$C_{\alpha E} = 8.0 \text{ wt\% Ag}$$

$$C_{\beta E} = 91.2 \text{ wt\% Ag}$$

Η σύσταση είναι υποευτηκτική επειδή:

$$C_0 = 25 < 71.9$$

Άρα η τελική μικροδομή είναι:

πρωτογενής α + ευτηκτικό ($\alpha + \beta$)

(α) Κλασματικά ποσοστά α και β

Εφαρμόζουμε τον κανόνα του μοχλού στην περιοχή

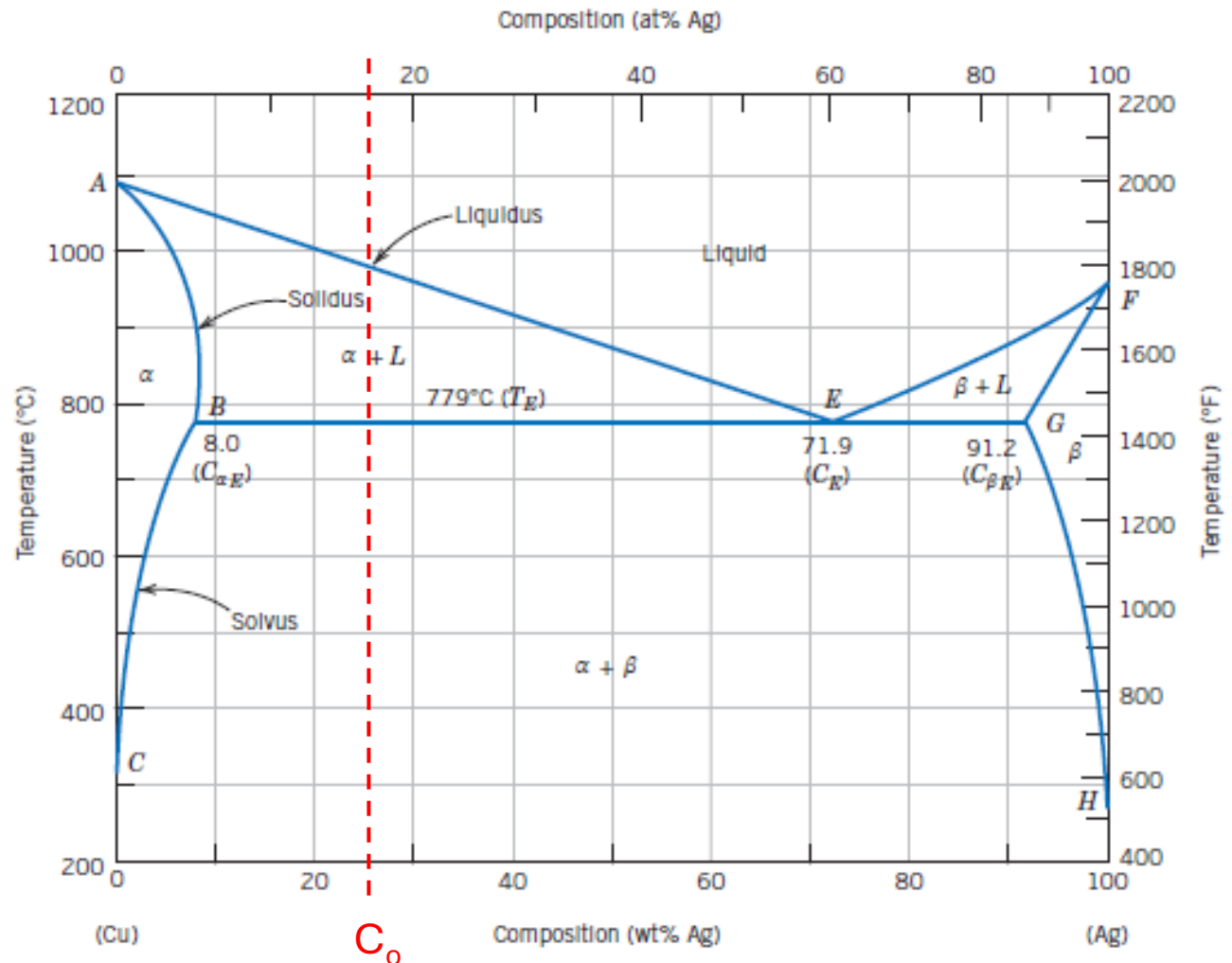
$\alpha + \beta$:

Για τη φάση α :

$$W_\alpha = \frac{C_{\beta E} - C_0}{C_{\beta E} - C_{\alpha E}}$$
$$W_\alpha = \frac{91.2 - 25}{91.2 - 8.0}$$
$$W_\alpha = \frac{66.2}{83.2} = 0.796$$

Άρα:

$$W_\alpha = 79.6\%$$



Διαγράμματα Φάσεων

Για τη φάση β:

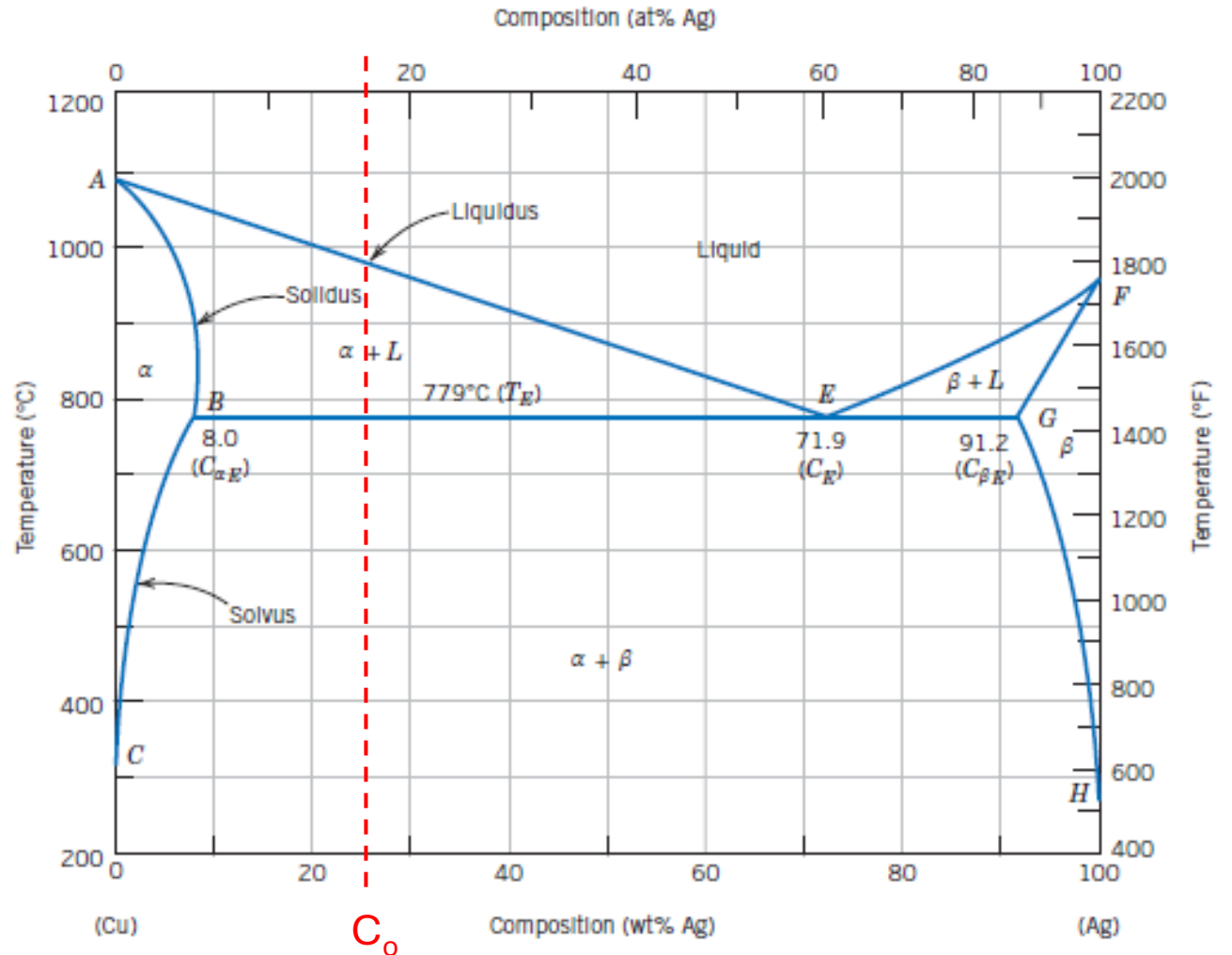
$$W_{\beta} = \frac{C_0 - C_{\alpha E}}{C_{\beta E} - C_{\alpha E}}$$

$$W_{\beta} = \frac{25 - 8.0}{91.2 - 8.0}$$

$$W_{\beta} = \frac{17}{83.2} = 0.204$$

Άρα:

$$W_{\beta} = 20.4\%$$



Διαγράμματα Φάσεων

(β) Πρωτογενής α και ευτηκτικό μικροσυστατικό

Η συνδετική γραμμή είναι η οριζόντια από το B έως το E
Λίγο πάνω από την ευτηκτική θερμοκρασία έχουμε περιοχή:

$$L + \alpha$$

Πρωτογενής α

$$W_{\alpha\text{-πρωτ.}} = \frac{C_E - C_0}{C_E - C_{\alpha E}}$$

$$W_{\alpha\text{-πρωτ.}} = \frac{71.9 - 25}{71.9 - 8} = 0.734$$

Άρα:

$$73.4\%$$

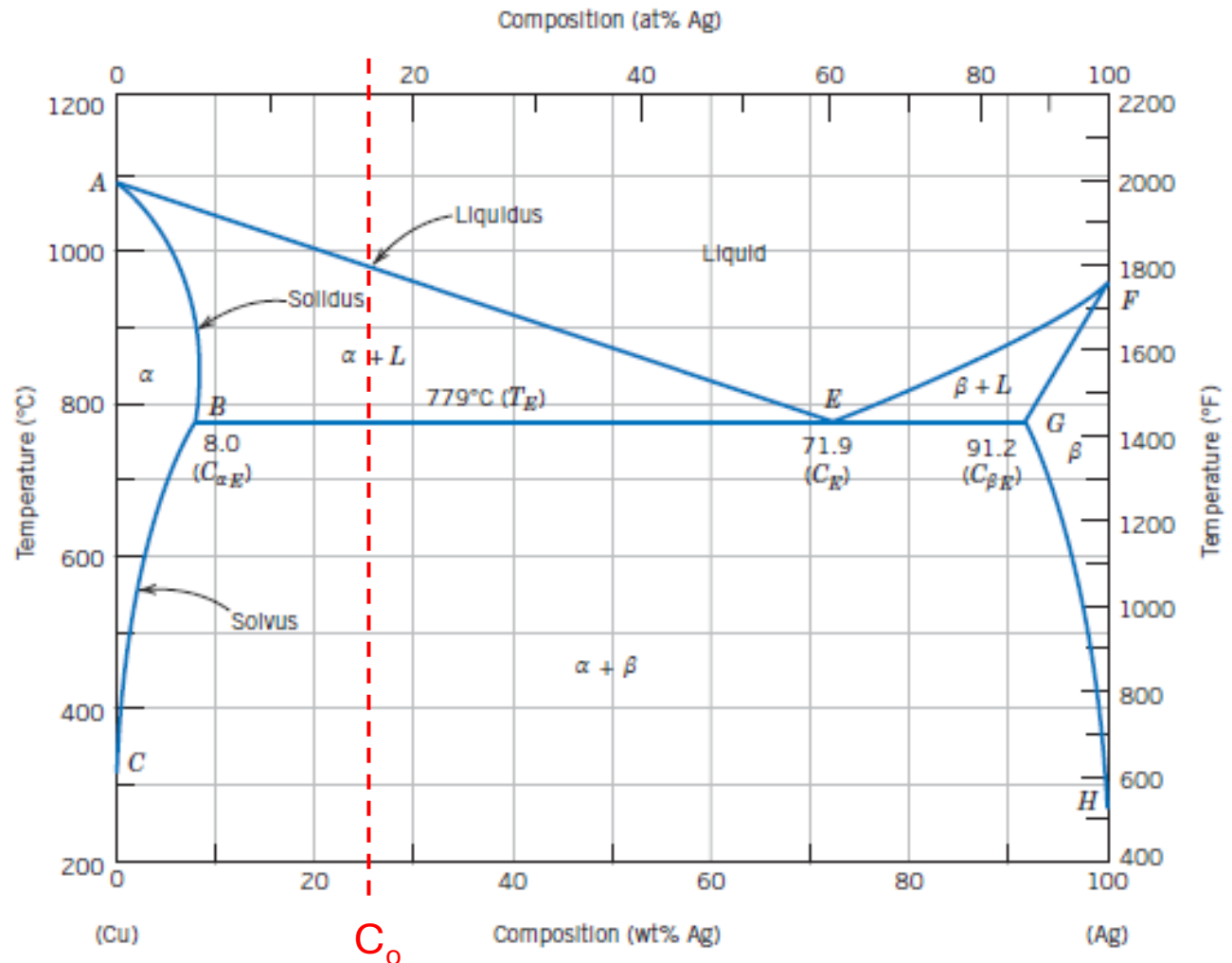
Ευτηκτικό μικροσυστατικό

$$W_E = \frac{C_0 - C_{\alpha E}}{C_E - C_{\alpha E}}$$

$$W_E = \frac{25 - 8}{71.9 - 8} = 0.266$$

Άρα:

$$26.6\%$$



Διαγράμματα Φάσεων

(γ) Κλασματικό ποσοστό μάζας ευτηκτικού α

Μέσα στο ευτηκτικό μικροσυστατικό εφαρμόζουμε ξανά τον κανόνα μοχλού. Η συνδετική είναι από το B έως το G

Ποσοστό α μέσα στο ευτηκτικό

$$\begin{aligned}W_{\alpha}^{eut} &= \frac{C_{\beta E} - C_E}{C_{\beta E} - C_{\alpha E}} \\&= \frac{91.2 - 71.9}{91.2 - 8} \\&= \frac{19.3}{83.2} = 0.232\end{aligned}$$

Άρα η ευτηκτική φάση α αποτελεί το 23.2% του ευτηκτικού.

Το ευτηκτικό μικροσυστατικό όμως είναι μόνο:

$$W_E = 0.266$$

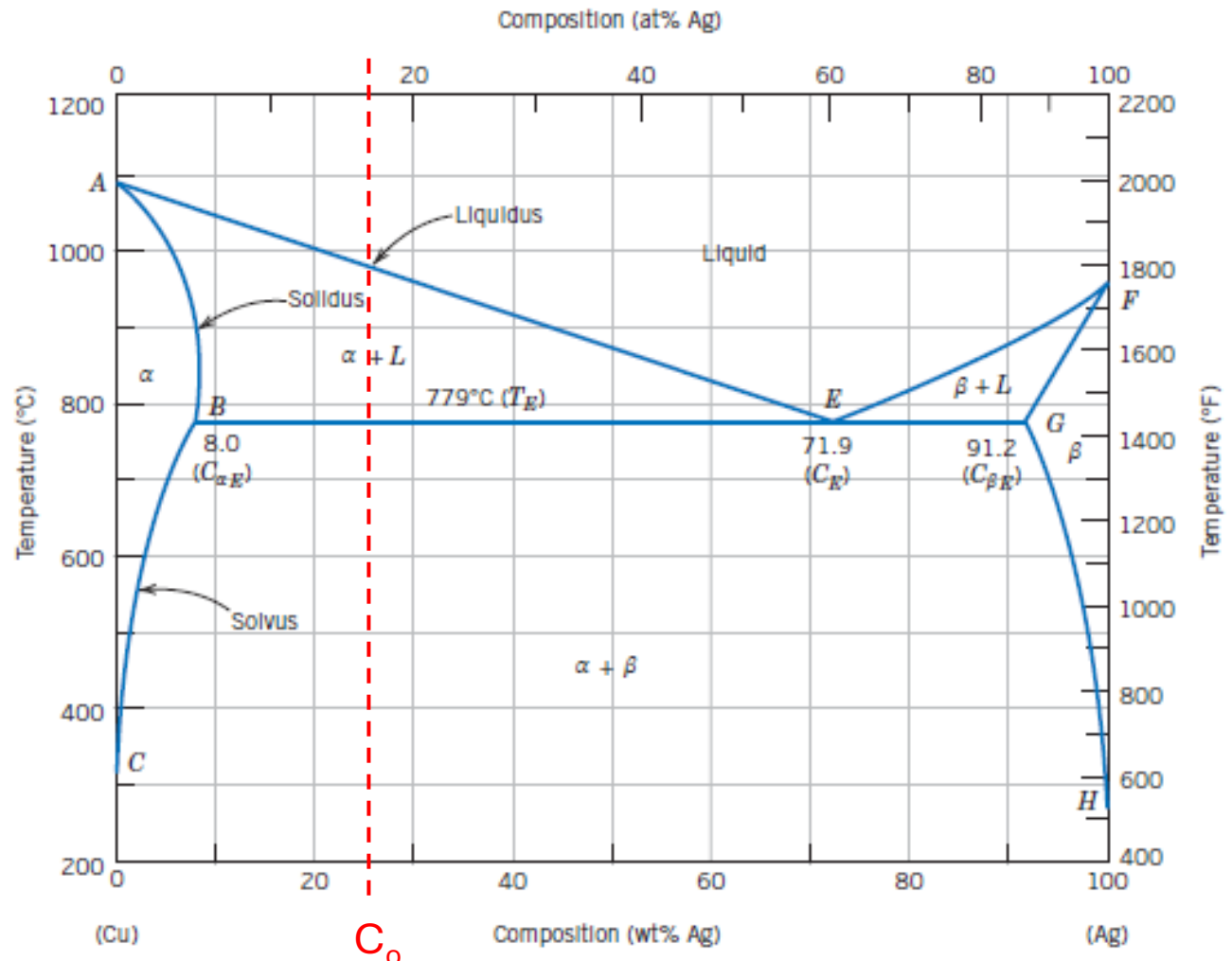
δηλαδή 26.6% του συνολικού κράματος.

Άρα η ευτηκτική α στο συνολικό κράμα είναι:

$$\begin{aligned}0.266 \times 0.232 \\= 0.062\end{aligned}$$

δηλαδή:

$$6.2\%$$



Figures adapted from:

Materials Science and Engineering: An Introduction (W. D. Callister Jr. & D. Rethwisch),
10th ed., Chapter 9.