

# Chapter 9: Faz Diyagramları

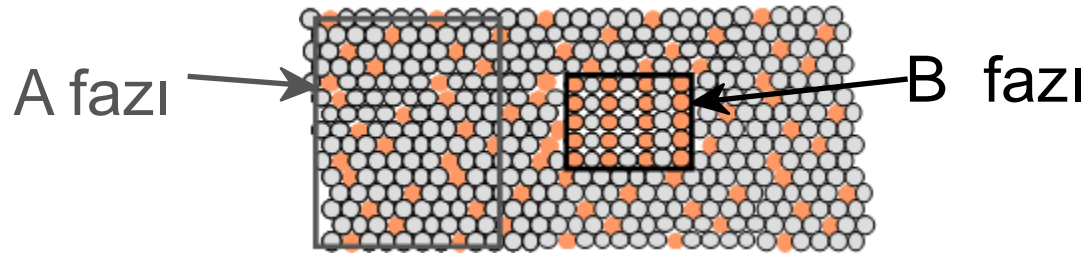
- İki elementi birleştirdiğimizde...  
ortaya çıkan denklik durumu nedir?
- genel olarak aşağıdakileri belirlersek...
  - kompozisyon (örn., ağ% Cu - ağı% Ni), ve
  - sıcaklık ( $T$ )

şunlara cevap buluruz...

Kaç tane faz oluşur?

Fazların kompozisyonu ne olur?

Her fazın miktarı nedir?



- Nikel atomu
- Bakır atomu



# Faz Dengesi: Çözünürlük Sınırı

- **Çözelti** – katı, sıvı yada gaz çözeltileri, tek faz
- **Karışım** – birden fazla karışım

Adapted from Fig. 9.1,  
Callister & Rethwisch 8e.

- **Çözünürlük Sınırı:**  
Tek faz oluşturacak  
maksimum konsantrasyon.

Soru: **20°C** deki şekerin sudaki  
çözünürlük sınırı nedir?

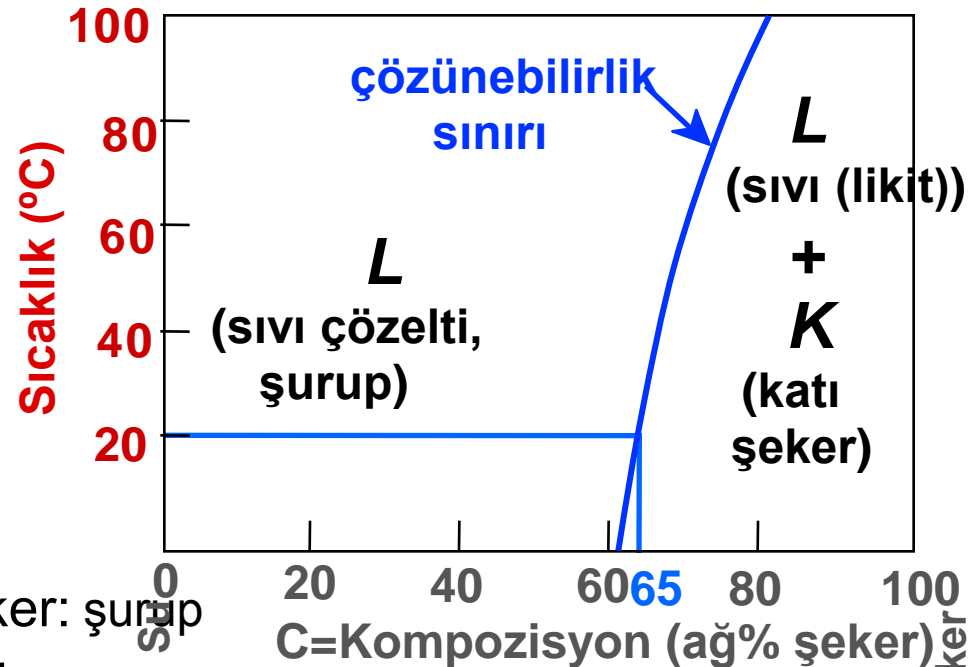
Cevap: **ağ%65 şeker.**

20°C de, eğer  $C < \text{ağ\% } 65$  şeker: şurup

20°C de, eğer  $C > \text{ağ\% } 65$  şeker:

şurup + şeker

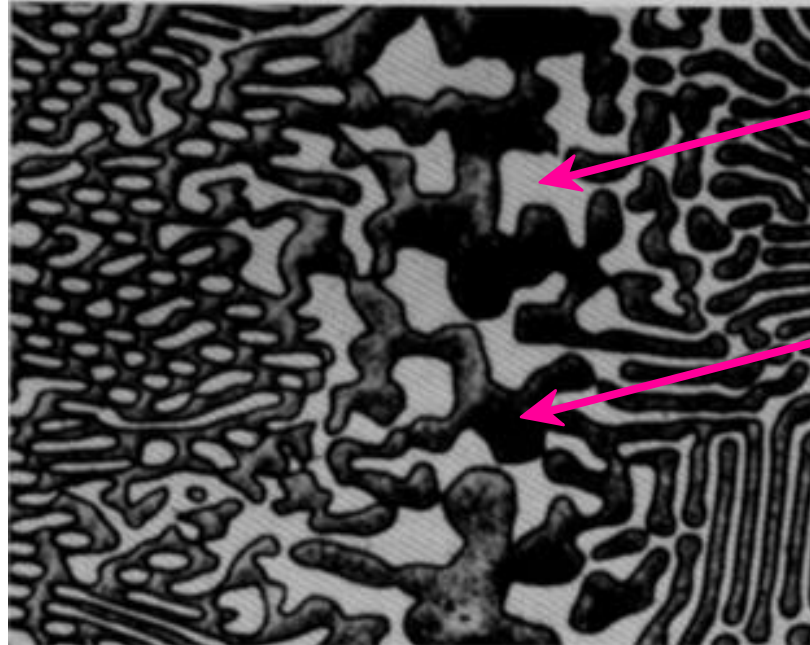
Şeker/Su faz diyagramı



# Bileşenler ve Fazlar

- **Bileşenler:**  
Alaşımında bulunan elementler veya bileşikler  
(örn., Al ve Cu)
- **Fazlar:**  
birbirinden fiziksel veya kimyasal ayrı oluşan bölgeler  
(örn.,  $\alpha$  ve  $\beta$ ).

Al-Cu  
Alaşımı



$\beta$  (açık  
faz)

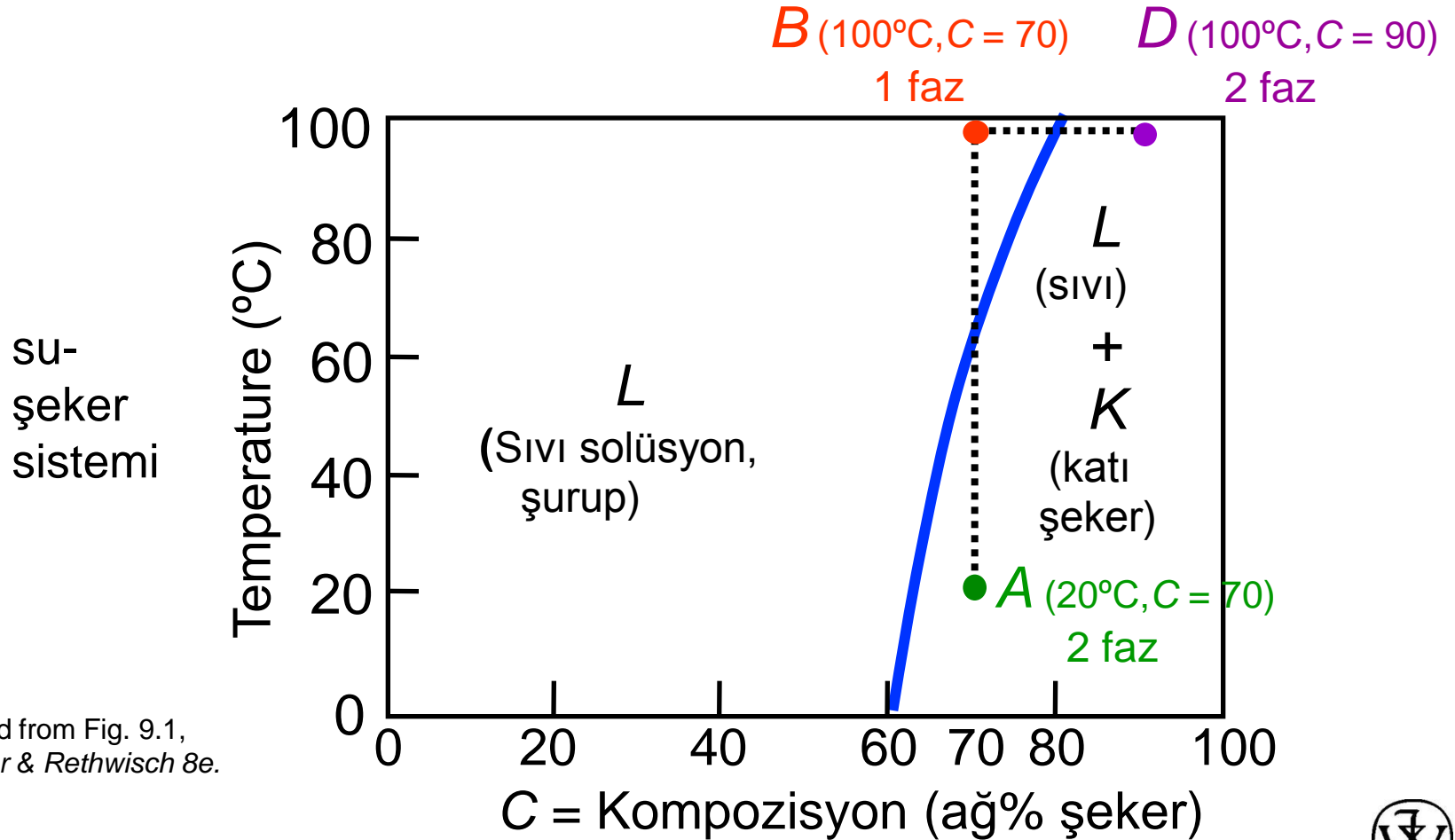
$\alpha$  (koyu  
faz)

Adapted from chapter-  
opening photograph,  
Chapter 9, *Callister,  
Materials Science &  
Engineering: An  
Introduction, 3e.*



# Sıcaklık ve Kompozisyonun Etkisi

- $T$  yi değiştirmek faz sayısını değiştirebilir:  $A$  dan  $B$  ye.
- $C$  yi değiştirmek faz sayısını değiştirebilir  $B$  den  $D$  ye.



Adapted from Fig. 9.1,  
Callister & Rethwisch 8e.



# Katı Çözünürlük Kriterleri

Basit Sistem (ör., Ni-Cu solüsyonu)

	Kristal Yapı	Elektronegativiteler	$r$ (nm)
Ni	YMK	1.9	0.1246
Cu	YMK	1.8	0.1278

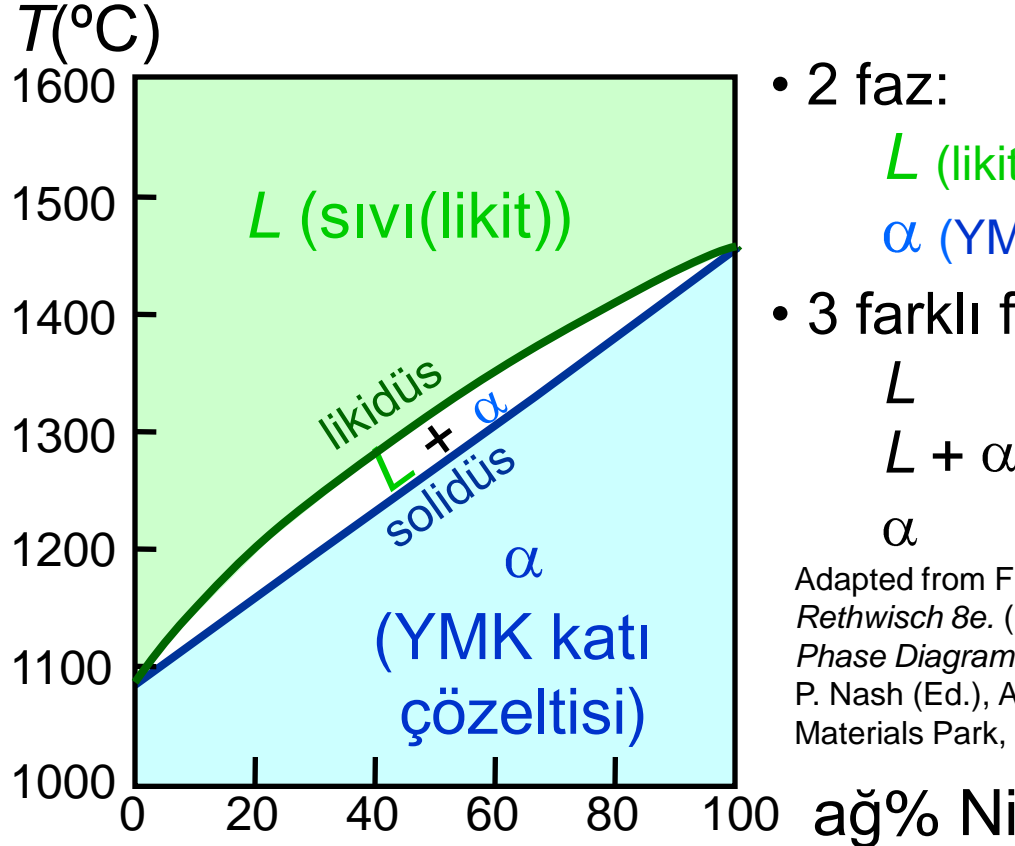
- Her ikisi aynı yapıya sahiptir (YMK) ve benzer elektronegativiteye ve atom yarıçapına sahiptir.([W. Hume – Rothery kuralı](#)) bunlar sağlanırsa yüksek çözünürlük olur.
- Ni ve Cu birbirinin içinde her kompozisyonda çözünür.



# Faz Diyagramları

- Fazları  $T$ ,  $C$ , ve  $P$  nin fonksiyonu olarak gösterirler.
- Bu ders için (MAK211):
  - ikili sistem: sadece 2 bileşen.
  - bağımsız değişken:  $T$  ve  $C$  ( $P = 1$  atm, hemen hemen her uygulamada).

Cu-Ni  
Sistemi için  
Faz  
Diyagramı



- 2 faz:

$L$  (likit-sıvı)

$\alpha$  (YMK katı çözeltisi)

- 3 farklı faz bölgesi:

$L$

$L + \alpha$

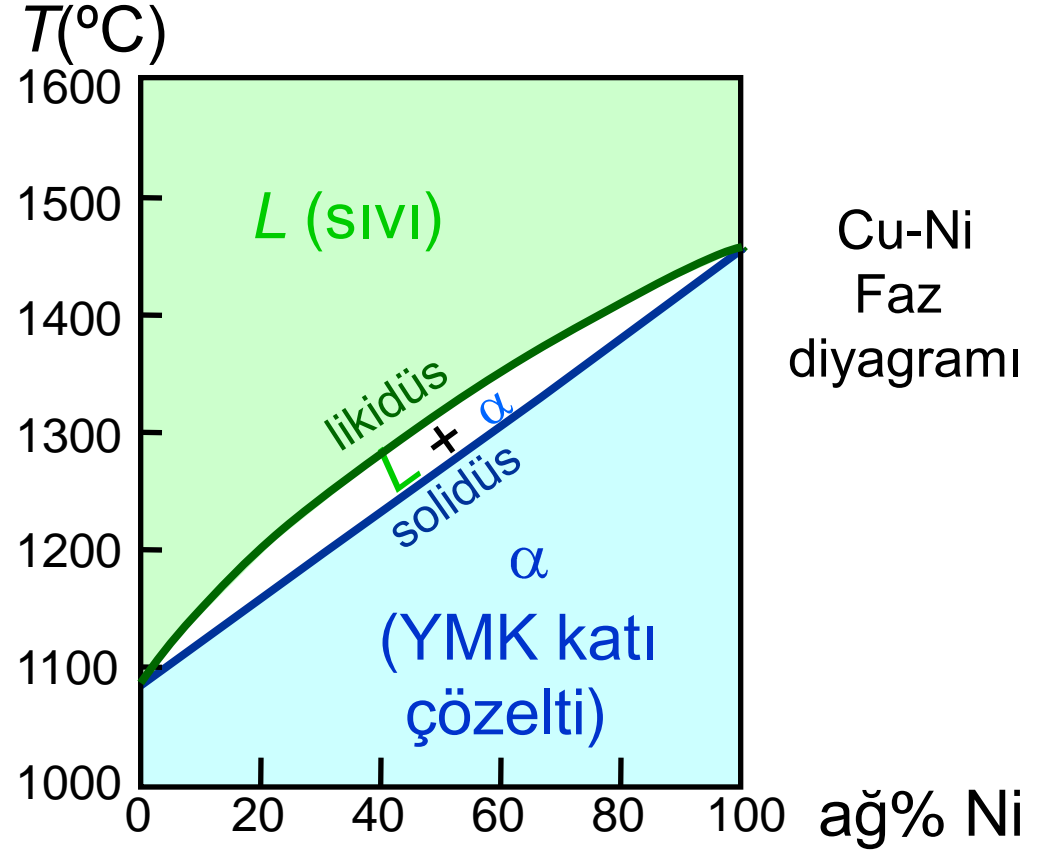
$\alpha$

Adapted from Fig. 9.3(a), Callister & Rethwisch 8e. (Fig. 9.3(a) is adapted from *Phase Diagrams of Binary Nickel Alloys*, P. Nash (Ed.), ASM International, Materials Park, OH (1991).



# İkili İzomorfik Faz Diyagramları

- Faz Diyagramı:  
Cu-Ni sistemi.
- Sistem:
  - ikili
  - 2 bileşen:  
Cu ve Ni.
  - izomorfikbir bileşenin diğerinde tam çözünmesi;  $\alpha$  fazı alanı Ni ağı% 0 dan %100 e kadar yayılır



Adapted from Fig. 9.3(a), Callister & Rethwisch 8e. (Fig. 9.3(a) is adapted from *Phase Diagrams of Binary Nickel Alloys*, P. Nash (Ed.), ASM International, Materials Park, OH (1991).



# Faz Diyagramları:

## Sistemde var olan fazların saptanması

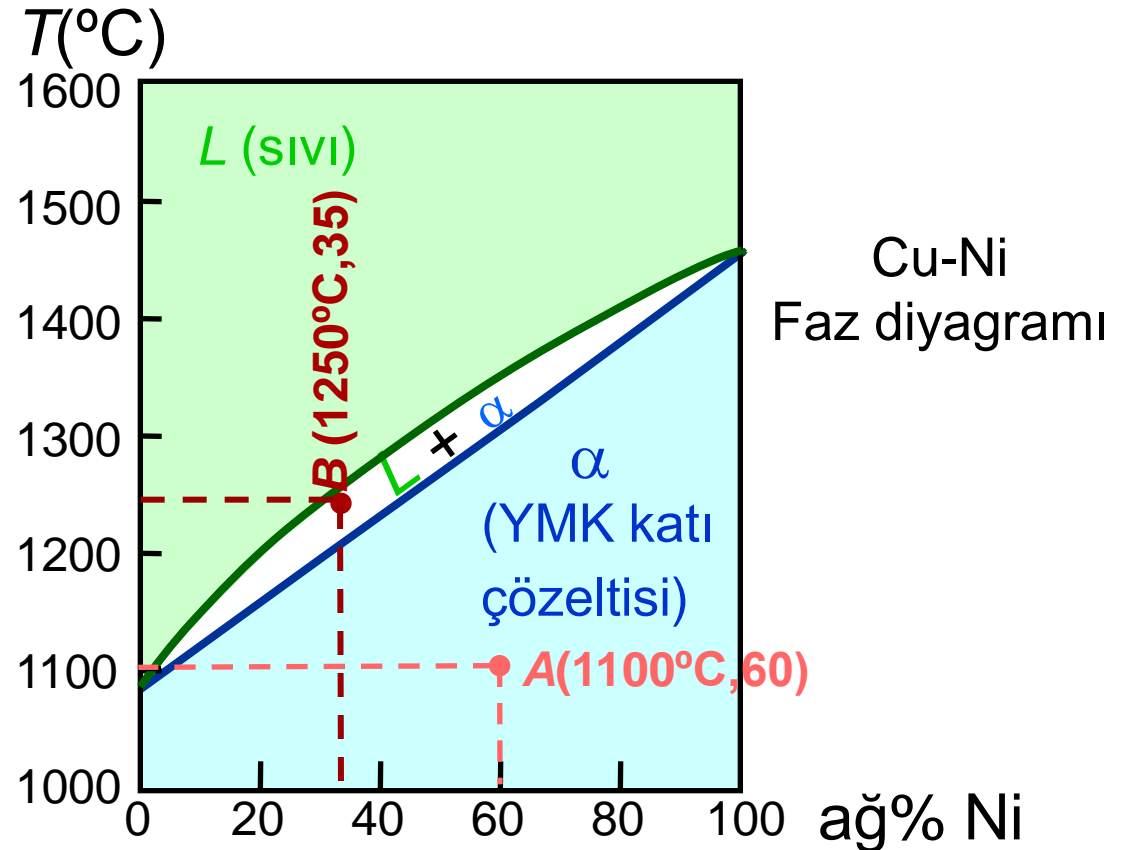
- Kural 1: Eğer  $T$  ve  $C_0$ 'ı biliyorsak :  
-- hangi fazın(fazların) olduğunu saptarız.

- Örnekler:

A(1100°C, ağı% 60 Ni):  
1 faz:  $\alpha$

B(1250°C, ağı% 35 Ni):  
2 faz:  $L + \alpha$

Adapted from Fig. 9.3(a), Callister & Rethwisch 8e. (Fig. 9.3(a) is adapted from *Phase Diagrams of Binary Nickel Alloys*, P. Nash (Ed.), ASM International, Materials Park, OH (1991).





# Faz Diyagramları:

## Faz Kompozisyonunun Saptanması

- Kural 2: Eğer  $T$  ve  $C_0$ 'ı biliyorsak :
  - her fazın kompozisyonunu saptarız

- Örnekler:

$C_0 = \text{ağ\% } 35 \text{ Ni}$  alalım

$T_A = 1320^\circ\text{C}$  de:

sadece sıvı ( $L$ ) bulunur

$C_L = C_0$  (= ağ% 35 Ni)

$T_D = 1190^\circ\text{C}$  de:

sadece katı ( $\alpha$ ) bulunur

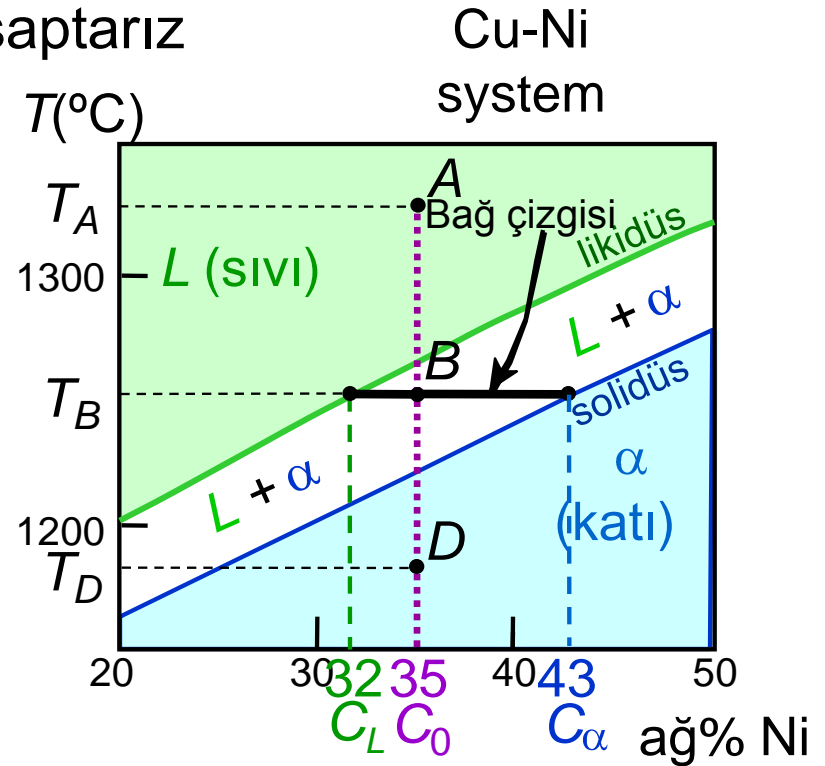
$C_\alpha = C_0$  (= ağ% 35 Ni)

$T_B = 1250^\circ\text{C}$  de:

Hem  $\alpha$  hemde  $L$  bulunur

$C_L = C_{\text{liküdüs}}$  (= ağ% 32 Ni)

$C_\alpha = C_{\text{solidüs}}$  (= ağ% 43 Ni)



# Faz Diyagramları:

## Faz Oranlarının Saptanması

- Kural 3: Eğer  $T$  ve  $C_0$ 'ı biliyorsak :
  - her fazın oranlarını saptarız
- Örnekler:

$C_0 = a\grave{g}\% 35$  Ni alalım

$T_A$  da: sadece sıvı ( $L$ ) bulunur

$$W_L = 1.00, W_\alpha = 0$$

$T_D$  da: sadece katı ( $\alpha$ ) bulunur

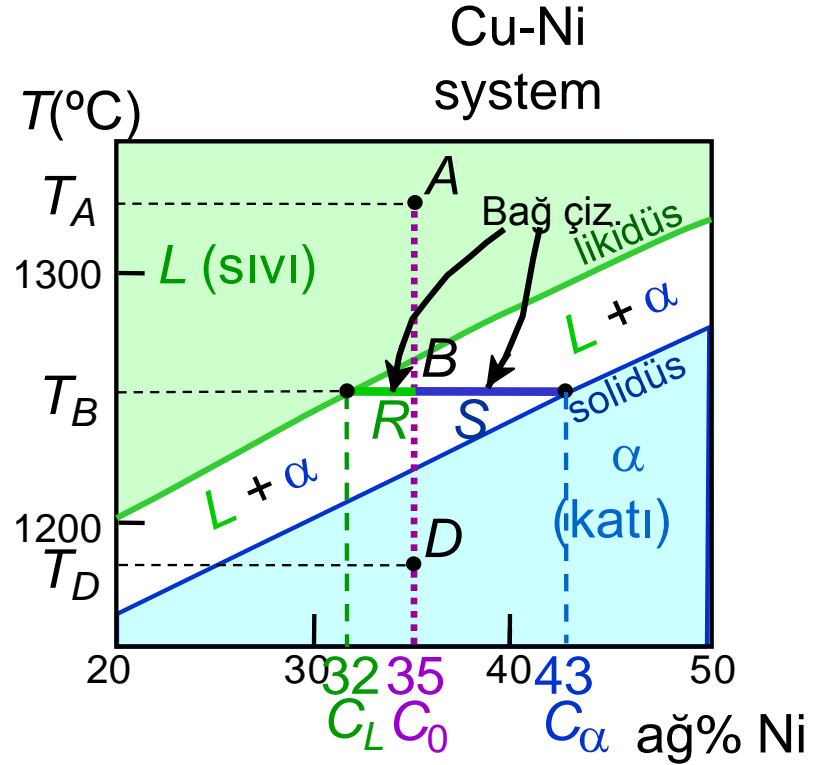
$$W_L = 0, W_\alpha = 1.00$$

$T_B$  da: hem  $\alpha$  hemde  $L$  bulunur

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

$$W_\alpha = \frac{R}{R+S} = 0.27$$

$$W_L = \frac{S}{R+S} = \frac{C_\alpha - C_0}{C_\alpha - C_L} \quad W_\alpha = \frac{R}{R+S} = \frac{C_0 - C_L}{C_\alpha - C_L}$$



*Kaldıraç Kuralı*

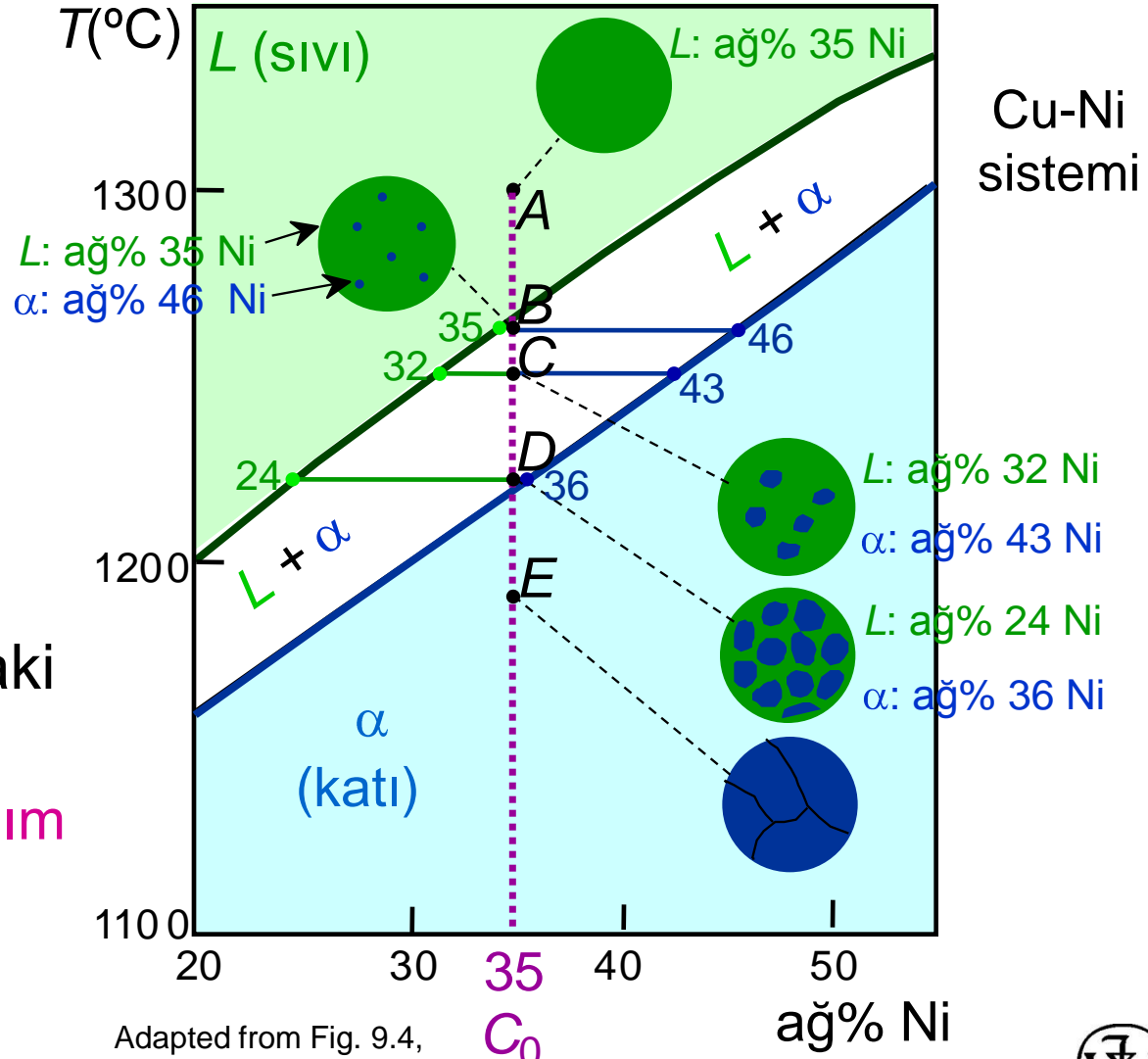


# İzomorfik Alaşımlarda Mikroyapı

## Örn: Cu-Ni Alaşımının soğutulması

- faz diyagramı:  
Cu-Ni sistemi.

- Ağırlıkça % 35 Ni ve %65 Cu içeren alaşımda dengeli katılaşma sırasındaki Mikroyapı oluşumu  
 $C_0 = \text{ağ\% 35 Ni alaşım}$



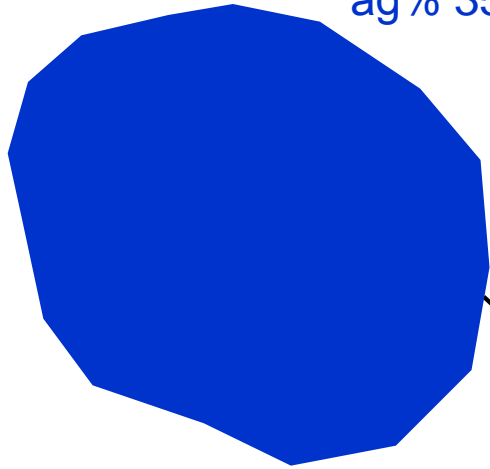
Adapted from Fig. 9.4,  
Callister & Rethwisch 8e.



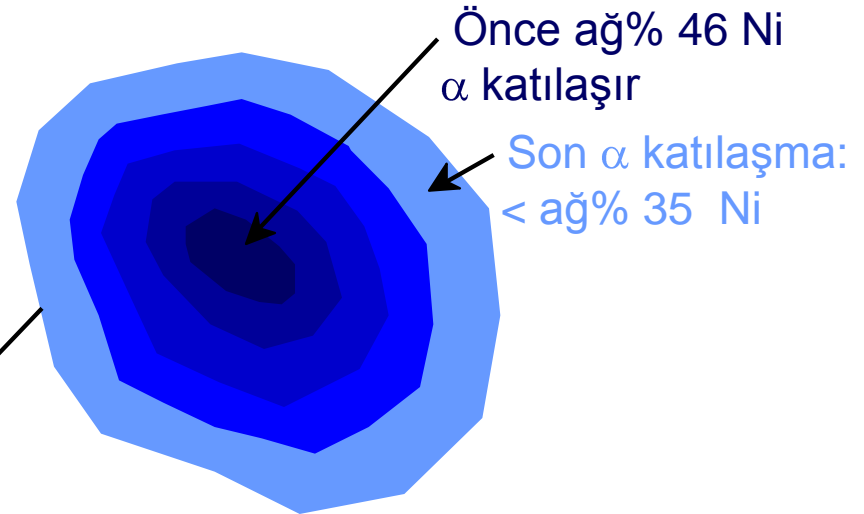
# Cored vs Equilibrium Structures

- $C_{\alpha}$  katılaşma süresince değişir.
- Cu-Ni durumu: İlk  $\alpha$  katılaşması  $C_{\alpha} = \text{ağ\% } 46 \text{ Ni}$  de olur.  
Son  $\alpha$  katılaşması  $C_{\alpha} = \text{ağ\% } 35 \text{ Ni}$  de olur.
- Yavaş soğutma hızı:  
Dengeli yapı oluşumu
- Hızlı soğutma hızı:  
Dengesiz (çekirdek) yapı oluşumu

aynı  $C_{\alpha}$ :  
ağ% 35 Ni



oluşumu



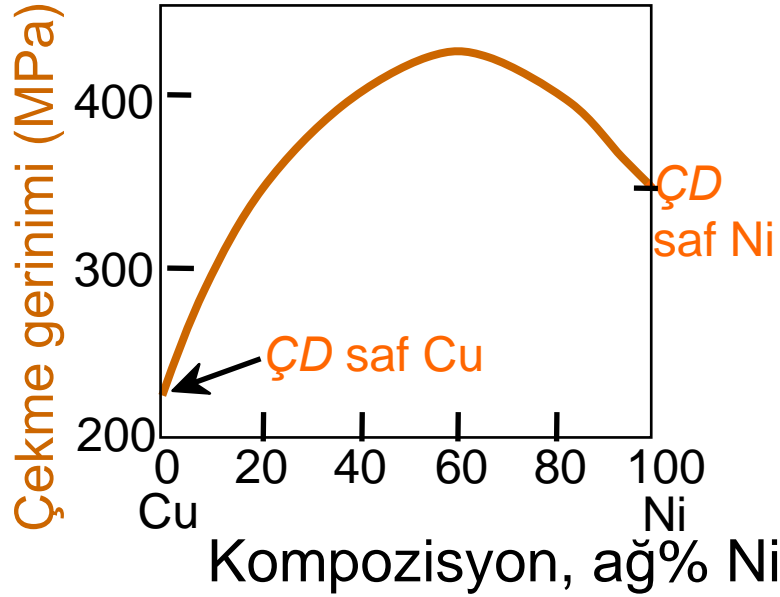
Önce ağ% 46 Ni  
 $\alpha$  katılaşır

Son  $\alpha$  katılaşma:  
< ağ% 35 Ni

# Mekanik Özellikler: Cu-Ni Sistemi

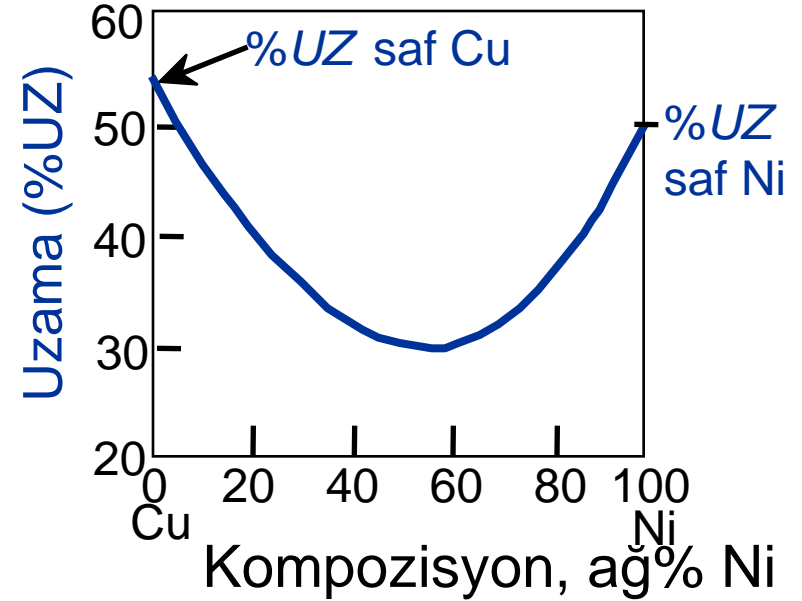
- Katı çözeltilerin dayanım arttırıcı etkisi:

-- Çekme Gerinimi ( $\zeta D$ )



Adapted from Fig. 9.6(a),  
Callister & Rethwisch 8e.

-- Esneklik (%UZ)



Adapted from Fig. 9.6(b),  
Callister & Rethwisch 8e.



$L(\text{ağ}\%71.9 \text{ Ag})$   $\alpha(8.0 \text{ wt}\% \text{ Ag}) + \beta(91.2 \text{ wt}\% \text{ Ag})$

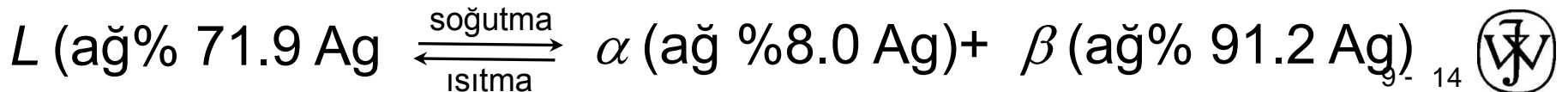
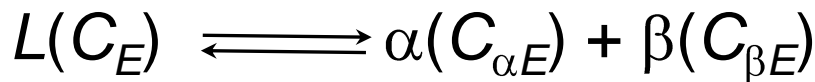
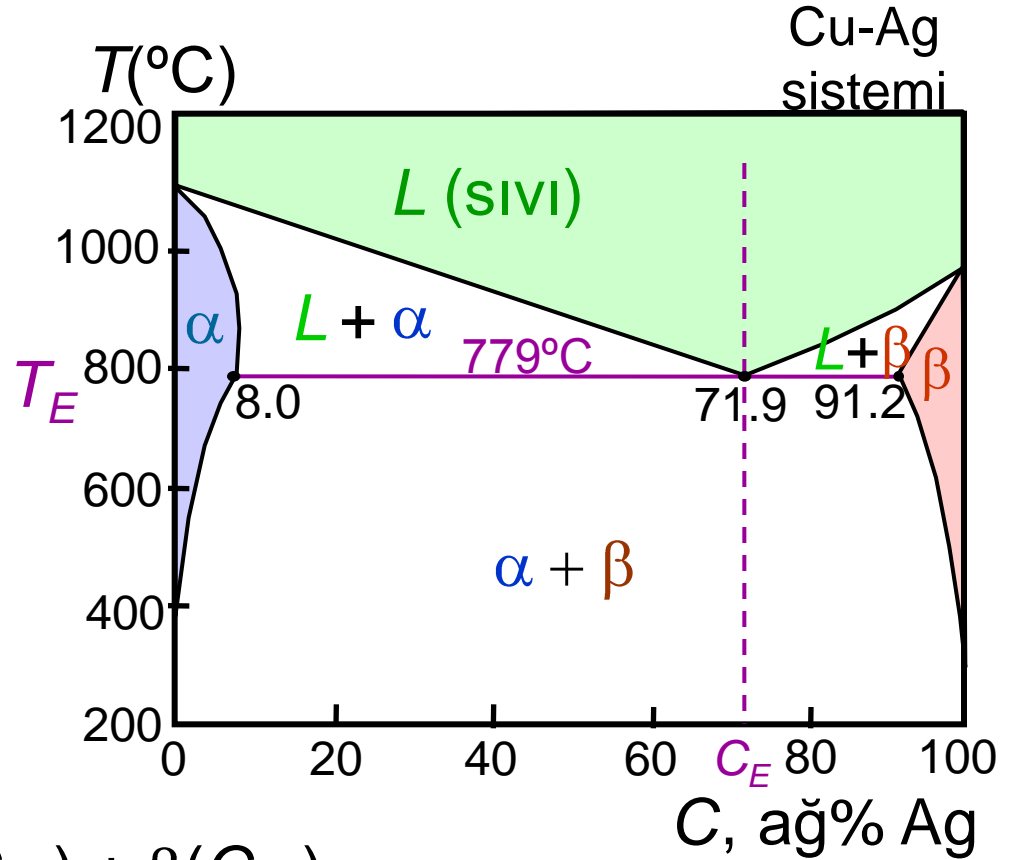
# İkili-Ötektik Sistemler

2 bileşen

Min. erime  $T$  de özel bir kompozisyon

Ör.: Cu-Ag sistemi

- 3 tek faz bölgesi ( $L, \alpha, \beta$ )
- Sınırlı çözünürlük:  
 $\alpha$ : Cu'ca zengin  
 $\beta$ : Ag'ce zengin
- $T_E$ :  $T_E$  altında sıvı yok
- $C_E$ :  $T_E$  sıcaklığındaki kompozisyon
- **Ötektik reaksiyon**



# Örn. 1: Pb-Sn Ötektik Sistemi

- 150°C de ağı% 40 Sn- ağı% 60 Pb alaşımı için:

-- fazları bulunuz.

**Cevap:**  $\alpha + \beta$

-- faz kompozisyonlarını bulunuz

**Cevap:**  $C_\alpha = \text{ağı% } 11 \text{ Sn}$

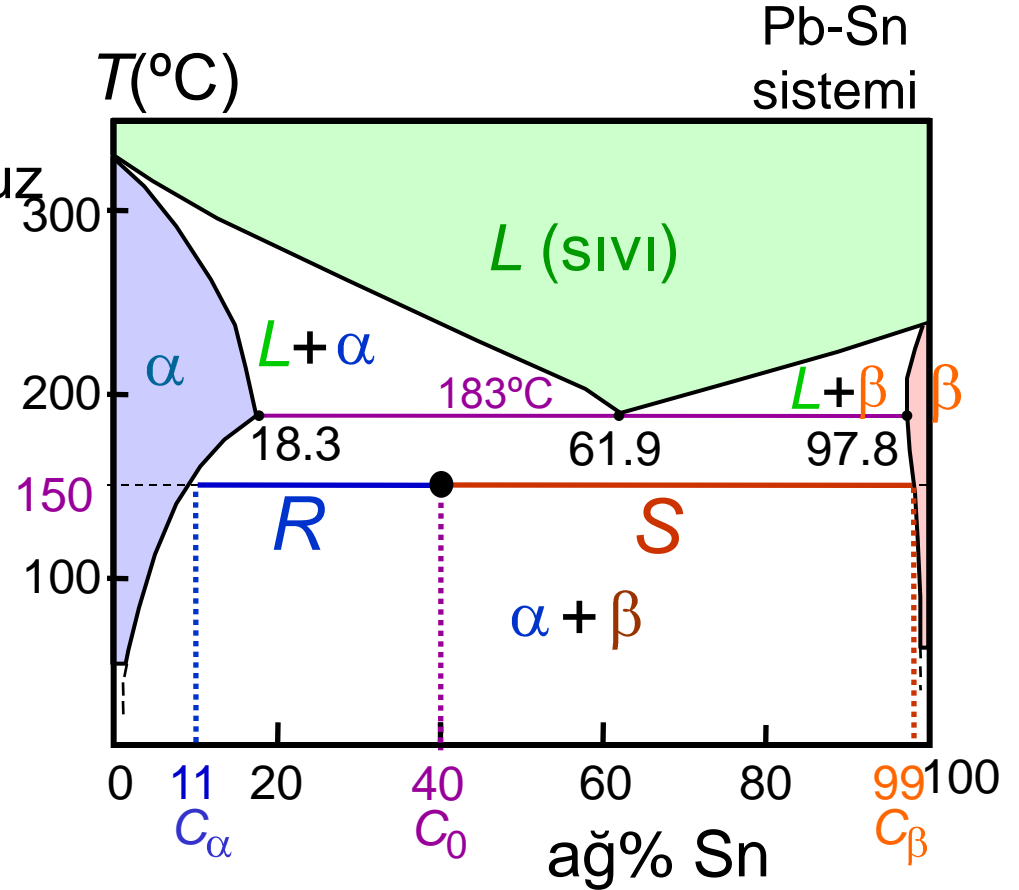
$C_\beta = \text{ağı% } 99 \text{ Sn}$

-- her fazın oranlarını bulunuz

**Cevap:**

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

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



Adapted from Fig. 9.8,  
Callister & Rethwisch 8e.



# Örn. 2: Pb-Sn Ötektik Sistemi

- 220°C de ağı% 40 Sn- ağı% 60 Pb alaşımı için:

-- fazları bulunuz. :

**Cevap:**  $\alpha + L$

- faz kompozisyonlarını bulunuz

**Cevap:**  $C_{\alpha} = \text{ağı% } 17 \text{ Sn}$

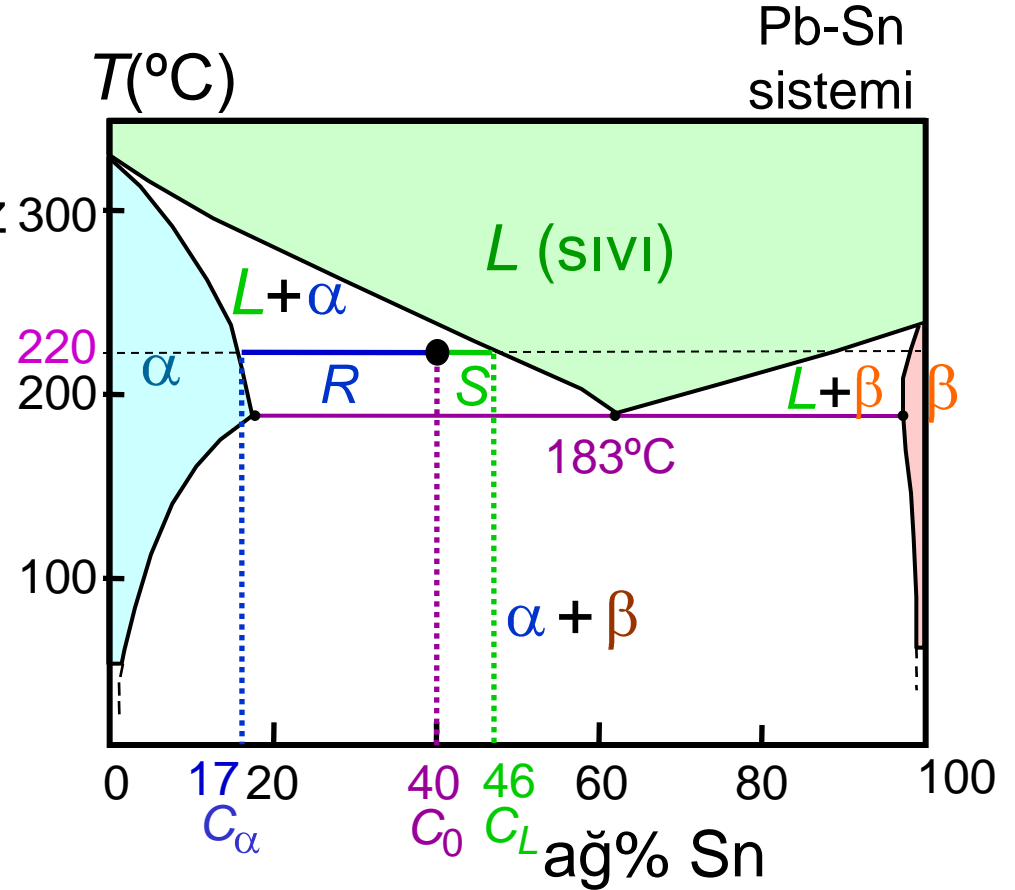
$C_L = \text{ağı% } 46 \text{ Sn}$

- her fazın oranlarını bulunuz

**Answer:**

$$W_{\alpha} = \frac{C_L - C_0}{C_L - C_{\alpha}} = \frac{46 - 40}{46 - 17} = \frac{6}{29} = 0.21$$

$$W_L = \frac{C_0 - C_{\alpha}}{C_L - C_{\alpha}} = \frac{23}{29} = 0.79$$



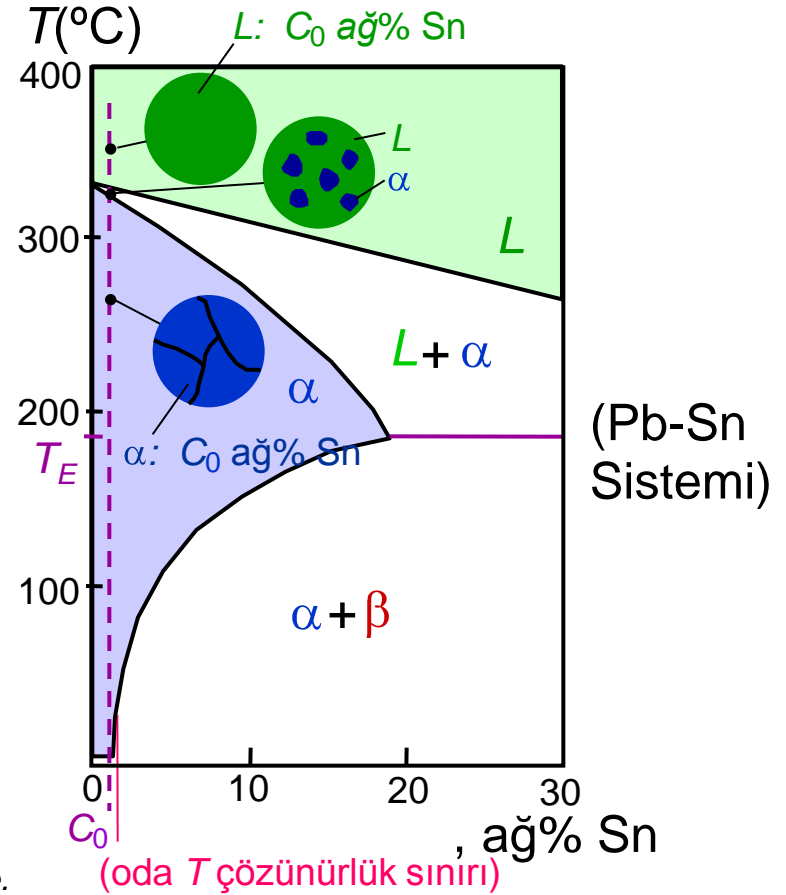
Adapted from Fig. 9.8,  
Callister & Rethwisch 8e.





# Ötektik Sistemlerde Mikroyapı Oluşumu I

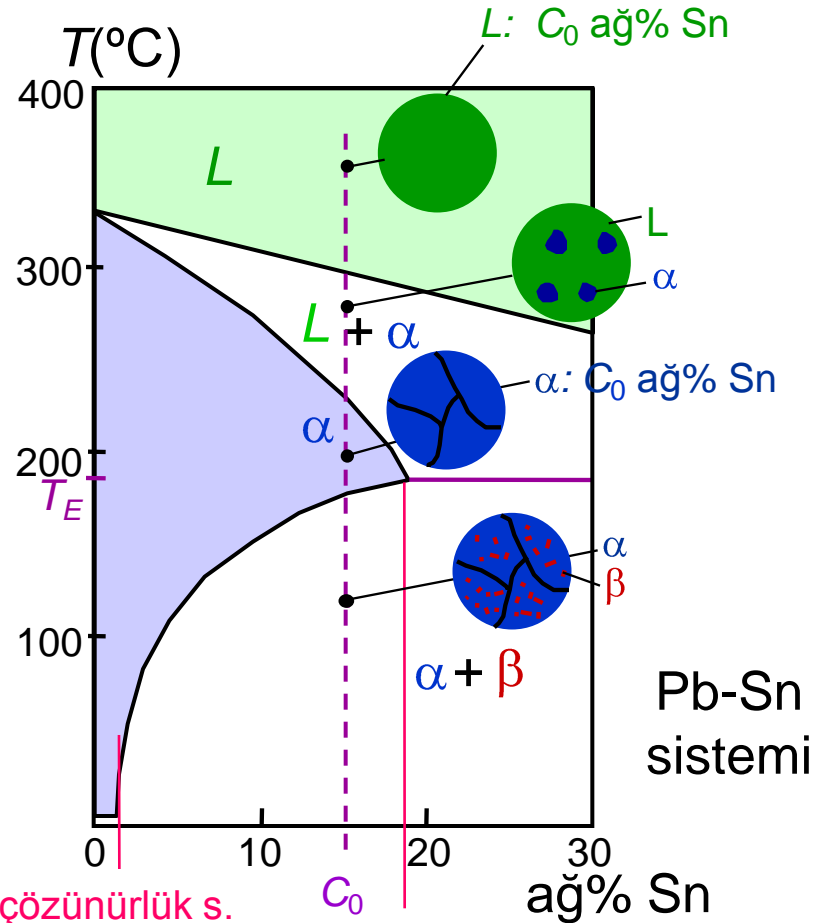
- Kompozisyonu  $C_0 < 2 \text{ wt\% Sn}$  olan alaşım için
- Sonuç: oda sıcaklığında -- taneleri  $\alpha$  fazına sahip,  $C_0$  kompozisyonunda polikristal yapı.



Adapted from Fig. 9.11,  
Callister & Rethwisch 8e.

# Ötektik Sistemlerde Mikroyapı Oluşumu II

- Kompozisyonu  
2 wt% Sn <  $C_0$  < 18.3 wt% Sn olan alaşım için
- Sonuç:  
 $\alpha$  +  $\beta$  bölgeleri arası sıcaklıkta --  $\alpha$  -fazi tanelerinin ve az miktarda  $\beta$ -fazi tanelerinin olduğu polikristal yapı.



Adapted from Fig. 9.12,  
Callister & Rethwisch 8e.

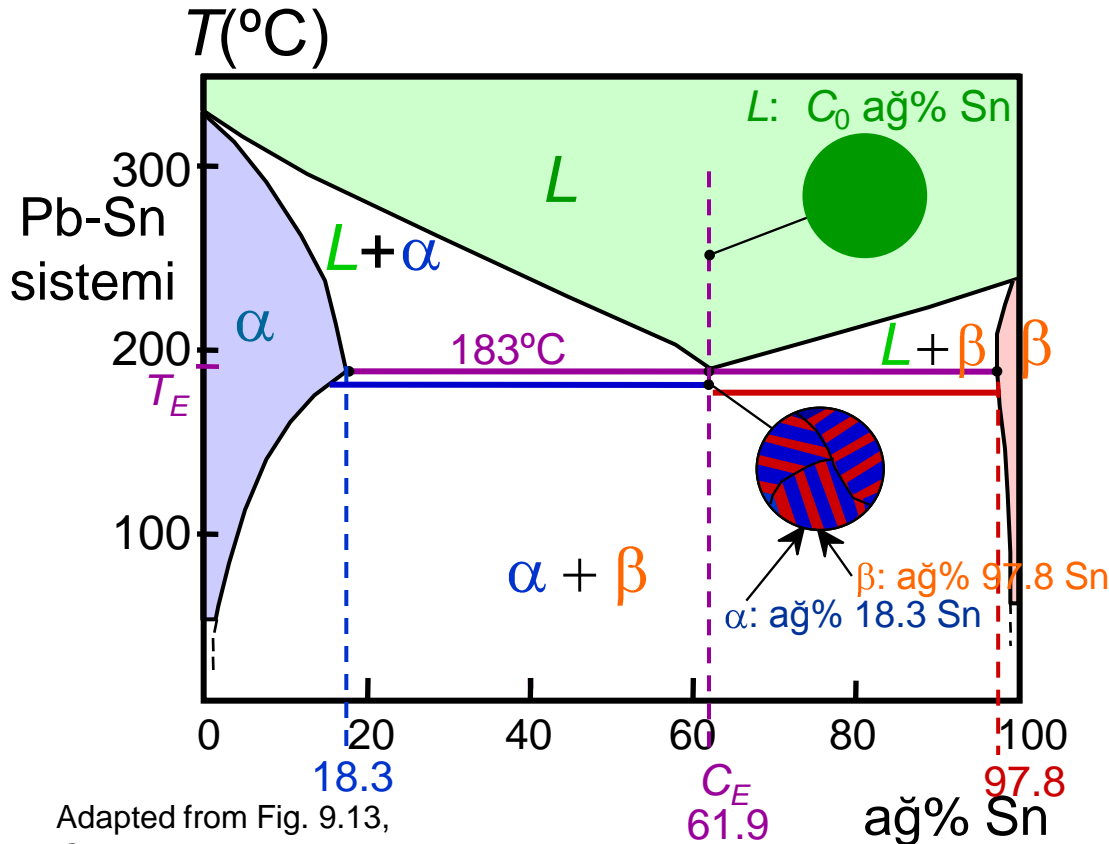
$T_{oda}$  çözünürlük s.

18.3  
( $T_E$  de çözünürlük s)



# Ötektik Sistemlerde Mikroyapı Oluşumu III

- Kompozisyonu  $C_0 = C_E$  olan alaşım için
- Sonuç: Ötektik mikroyapı (katmansal yapı)
  - $\alpha$  ve  $\beta$  fazlarında birbirini takip eden katmanlar.



Adapted from Fig. 9.13,  
Callister & Rethwisch 8e.

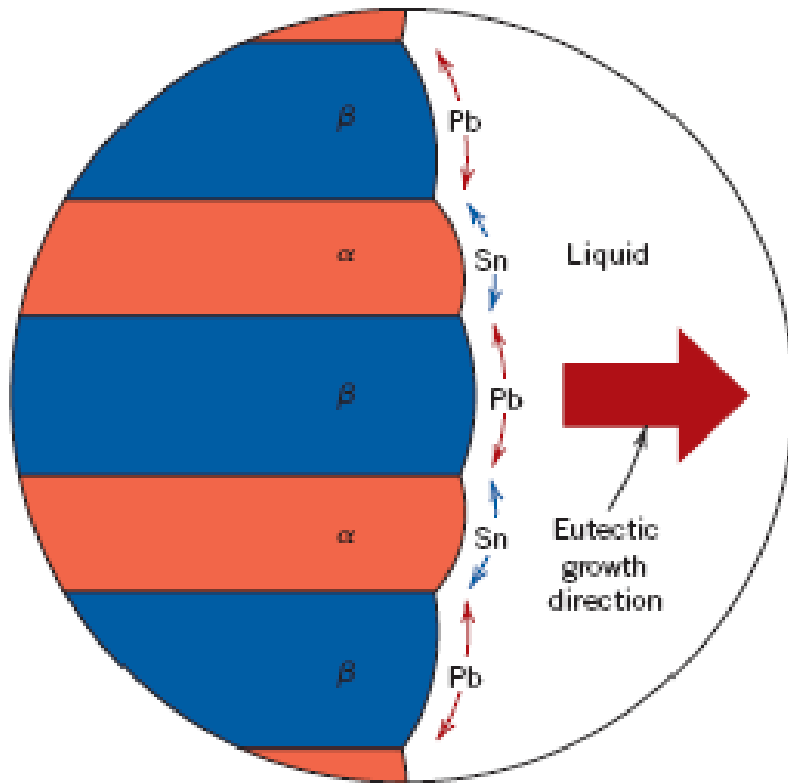
Pb-Sn ötektik mikroyapının  
mikrografisi.



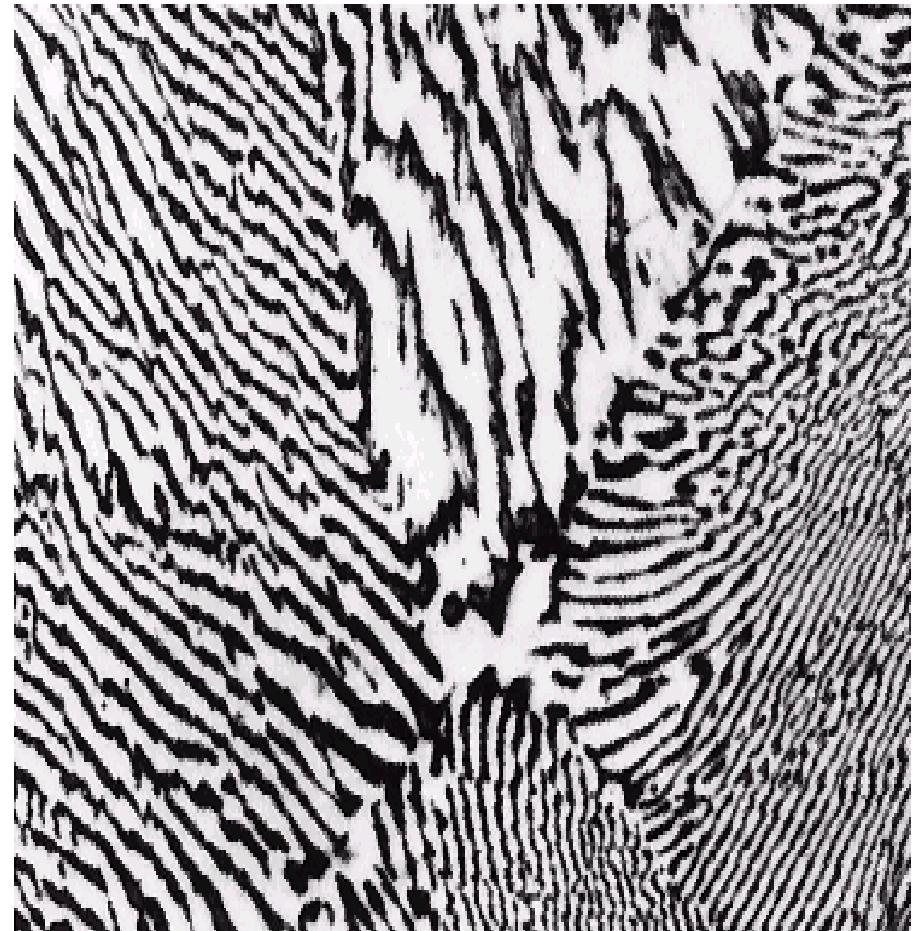
160  $\mu\text{m}$

Adapted from Fig. 9.14,  
Callister & Rethwisch 8e.

# Katmanlı Ötektik Yapı

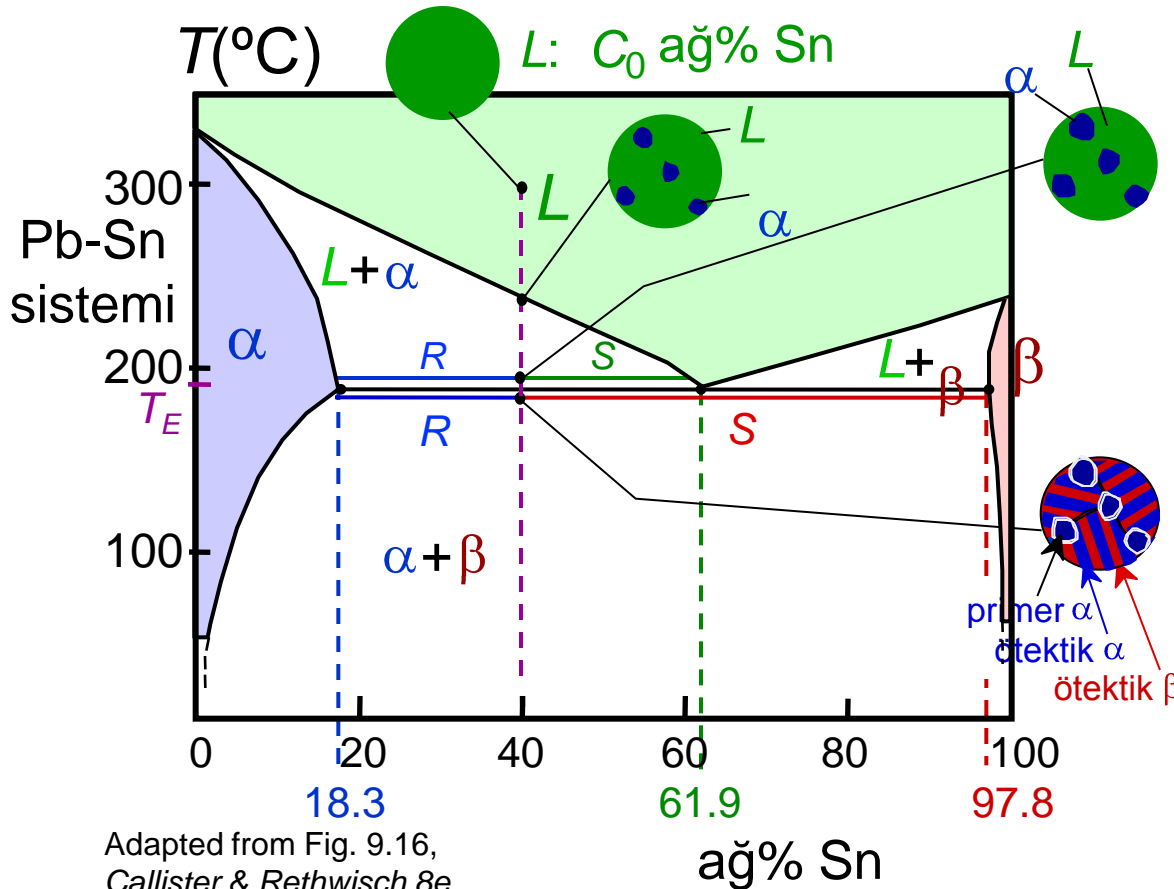


Adapted from Figs. 9.14 & 9.15, *Callister & Rethwisch 8e*.



# Ötektik Sistemlerde Mikroyapı Oluşumu IV

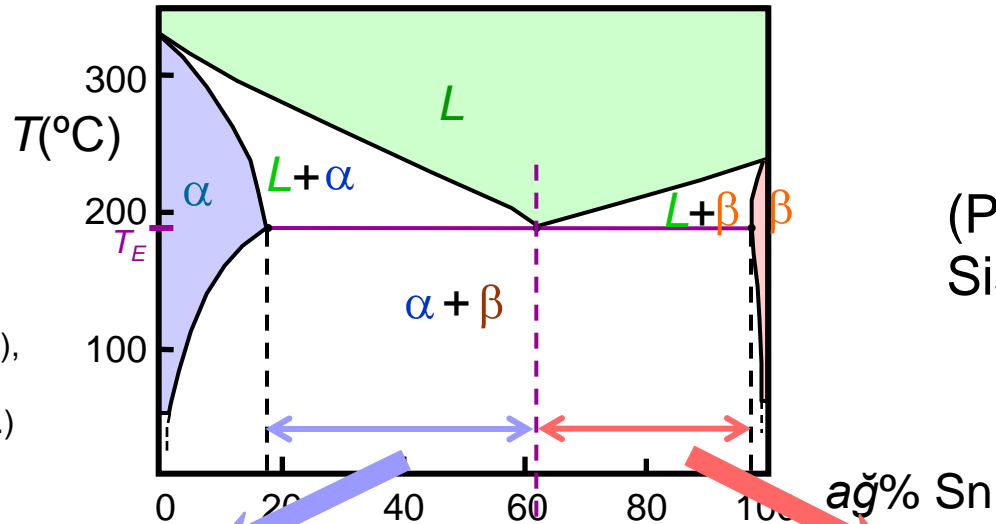
- Kompozisyonu  $ağ\%18.3 \text{ Sn} < C_0 < ağ\% 61.9 \text{ Sn}$  olan alaşım için
- Sonuç:  $\alpha$  fazı taneleri ve ötektik mikroçerikli yapı



- $T_E$  nin hemen üstünde :  
 $C_{\alpha} = ağ\%18.3 \text{ Sn}$   
 $C_L = ağ\% 61.9 \text{ Sn}$   
 $W_{\alpha} = \frac{S}{R+S} = 0.50$   
 $W_L = (1 - W_{\alpha}) = 0.50$
- $T_E$  nin hemen altında :  
 $C_{\alpha} = ağ\% 18.3 \text{ Sn}$   
 $C_{\beta} = ağ\% 97.8 \text{ Sn}$   
 $W_{\alpha} = \frac{S}{R+S} = 0.73$   
 $W_{\beta} = 0.27$

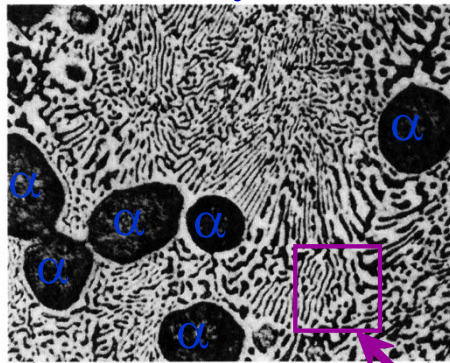
# Ötektik Altı & Ötektik Üstü Alaşımlar

Adapted from Fig. 9.8,  
*Callister & Rethwisch 8e.*  
 (Fig. 10.8 adapted from  
*Binary Phase Diagrams*,  
 2nd ed., Vol. 3, T.B.  
 Massalski (Editor-in-Chief),  
 ASM International,  
 Materials Park, OH, 1990.)



(Pb-Sn Sistemi)

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

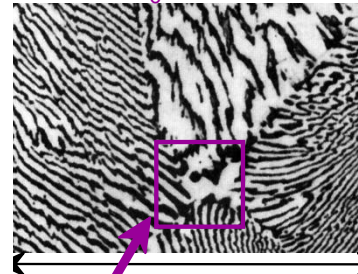


(Figs. 9.14 and 9.17  
 from *Metals Handbook*, 9th ed.,  
 Vol. 9,  
*Metallography and Microstructures*,  
 American Society for  
 Metals, Materials  
 Park, OH, 1985.)

Adapted from  
 Fig. 9.17, *Callister &  
 Rethwisch 8e.*

ötektik  
 61.9

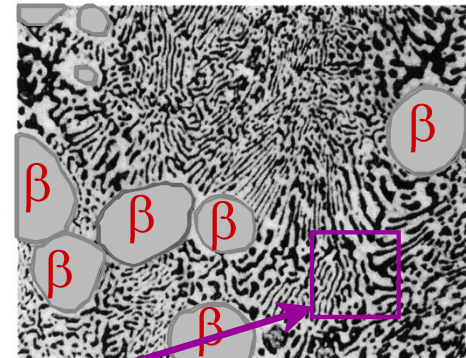
ötektik:  $C_0 = 61.9 \text{ wt\% Sn}$



Ötektik mikro oluşumlar

Adapted from Fig. 9.14,  
*Callister & Rethwisch 8e.*

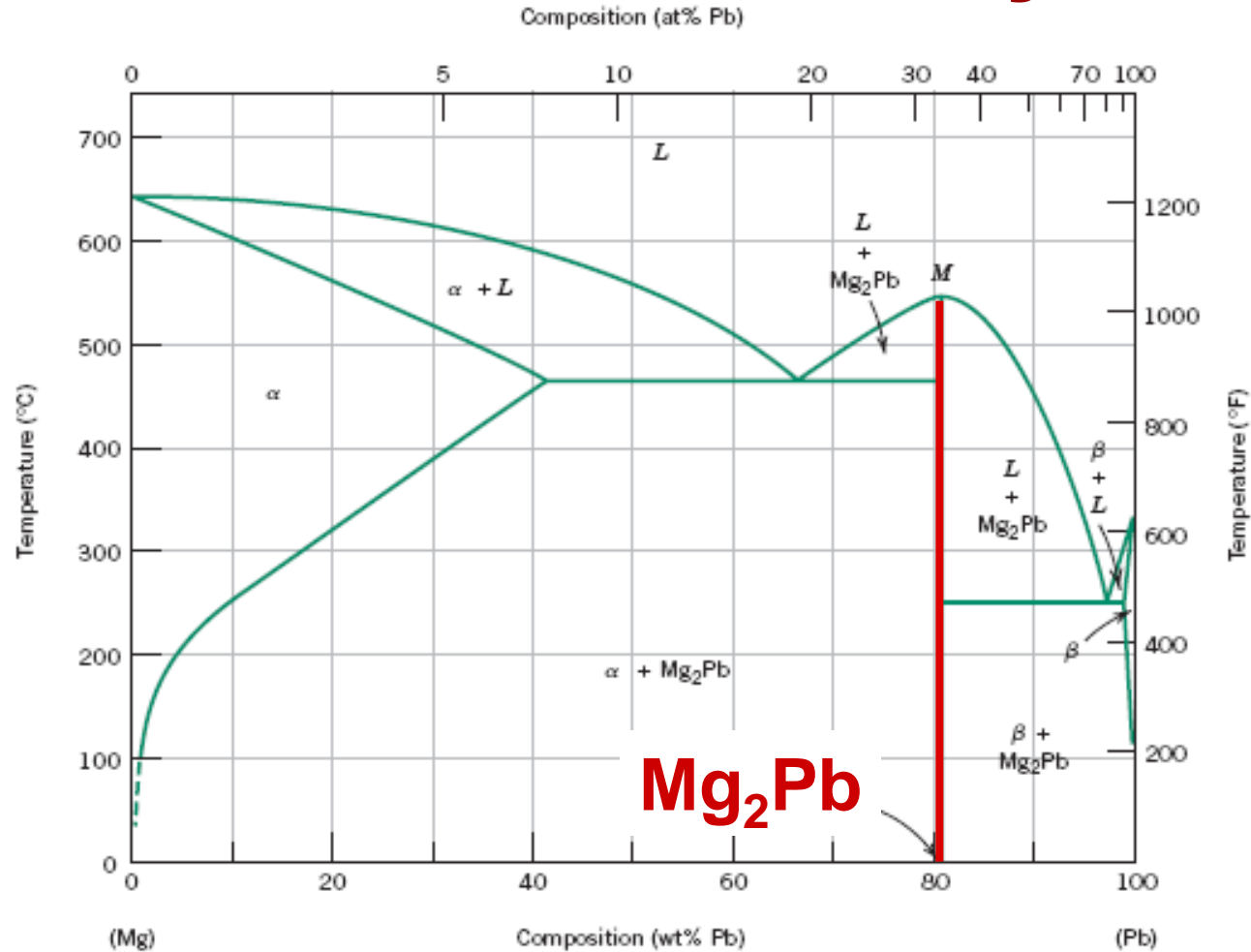
Ötektik üstü:



Adapted from Fig. 9.17,  
*Callister & Rethwisch 8e.*  
 (Illustration only)



# Metallerarası Bileşikler



Adapted from  
Fig. 9.20, Callister &  
Rethwisch 8e.

Note: metallerarası bileşikler diyagramlarda çizgi olarak gösterilir – alan olarak değil – çünkü bunlar belli kompozisyona sahip bileşiklerdir.



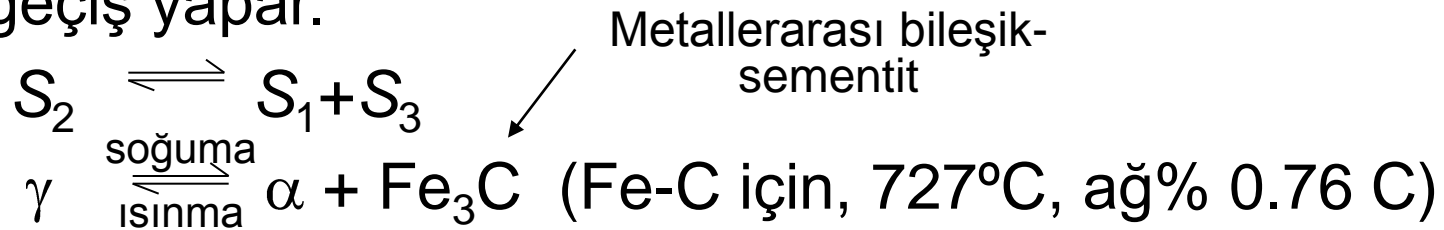
# Ötektik, Ötektoid, & Peritektik

- **Ötektik** – sıvıdan iki ayrı katı fazına geçiş



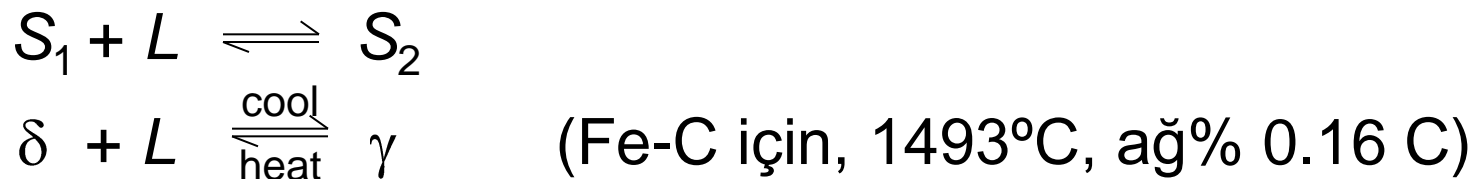
- **Ötektoid** – bir katı faz farklı iki faza

geçiş yapar.



- **Peritektik** – sıvı ve bir katı faz başka bir katı faza

geçiş yapar.

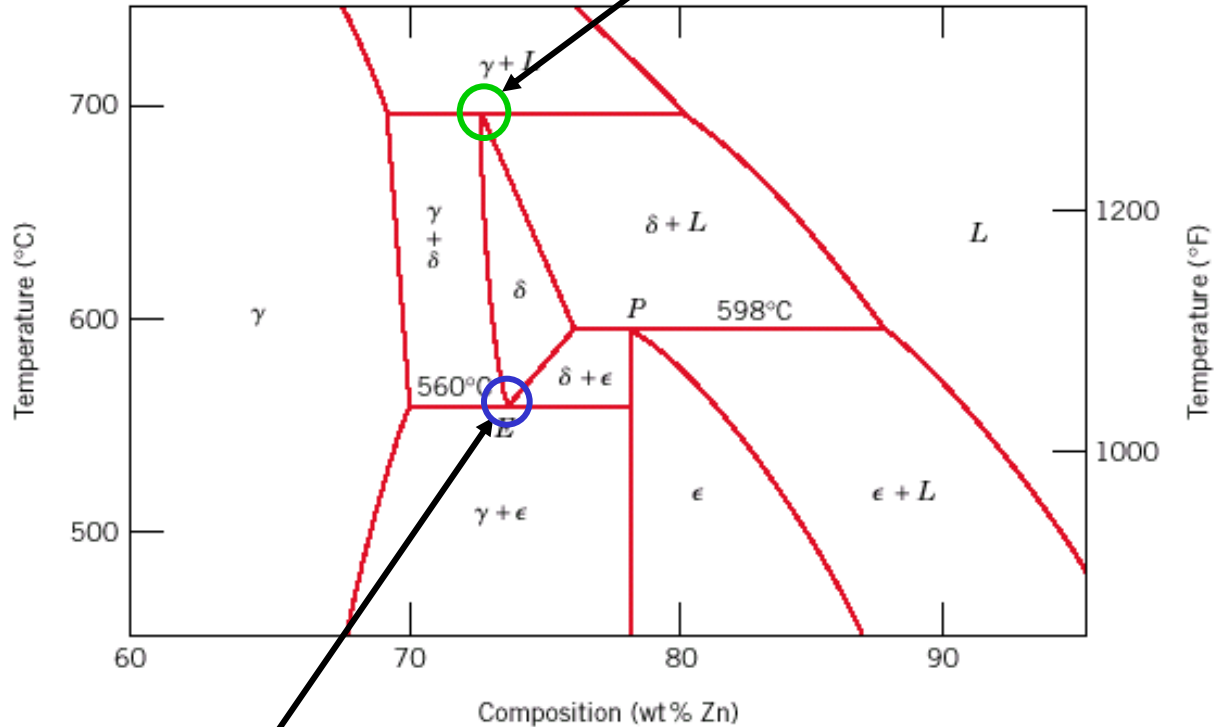




# Ötektoid ve Peritektik

## Cu-Zn Faz Diyagramı

Peritektik Geçiş  $\gamma + L \rightleftharpoons \delta$



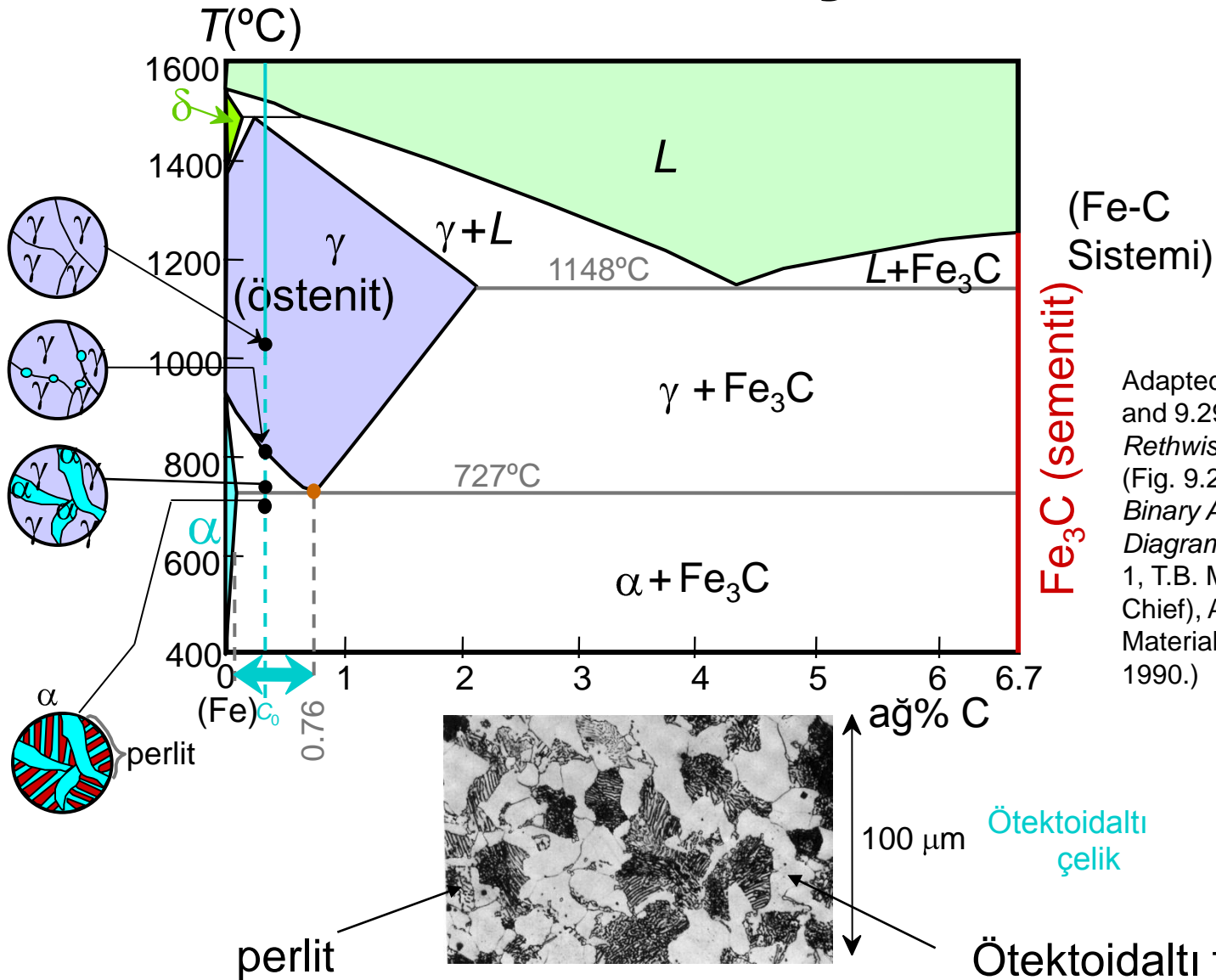
Ötektoid Geçiş  $\delta \rightleftharpoons \gamma + \epsilon$

Adapted from Fig. 9.21,  
Callister & Rethwisch 8e.





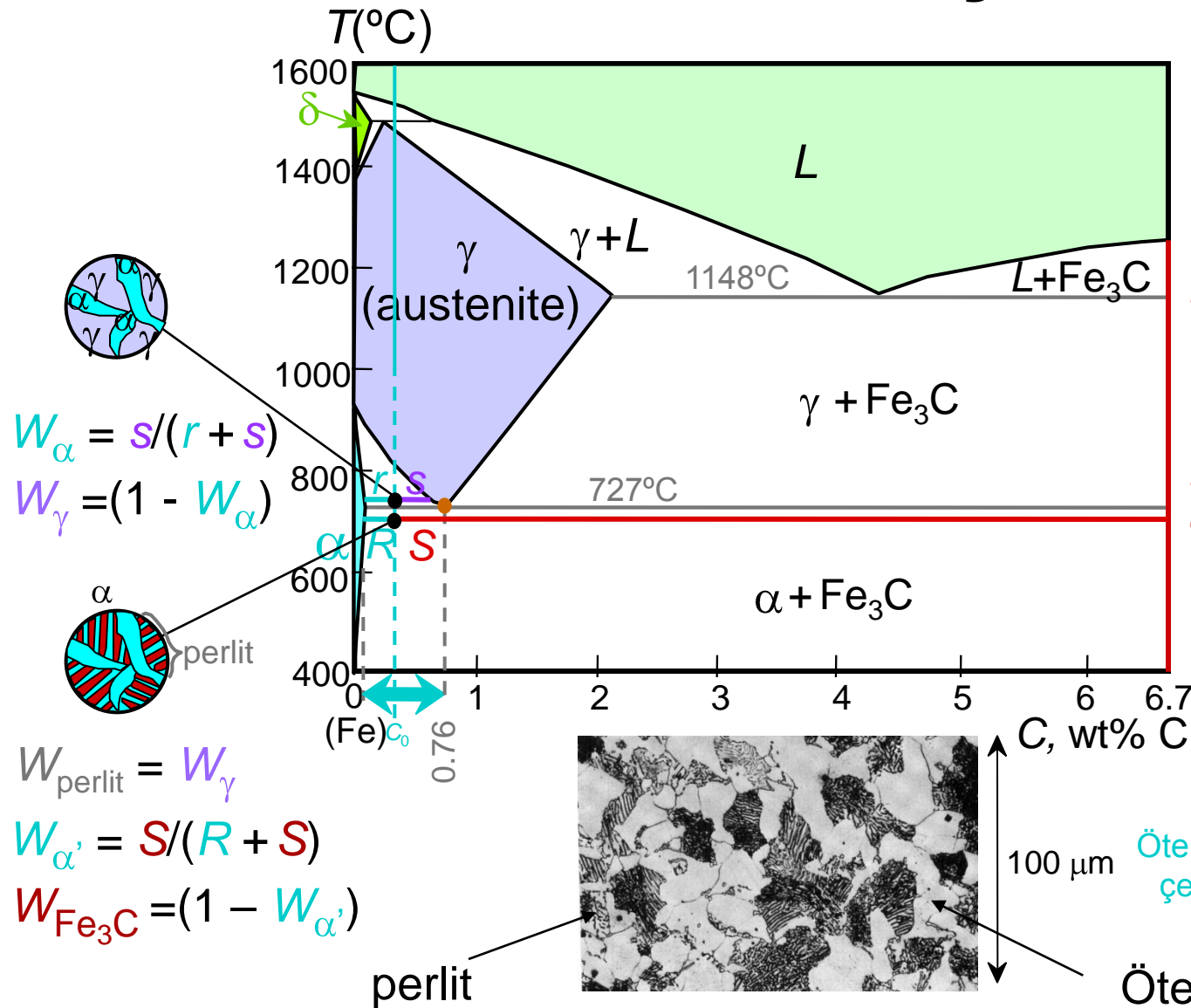
# Ötektoidalı Çelik



Adapted from Fig. 9.30, *Callister & Rethwisch 8e.*



# Ötektoidalı Çelik



(Fe-C Sistemi)

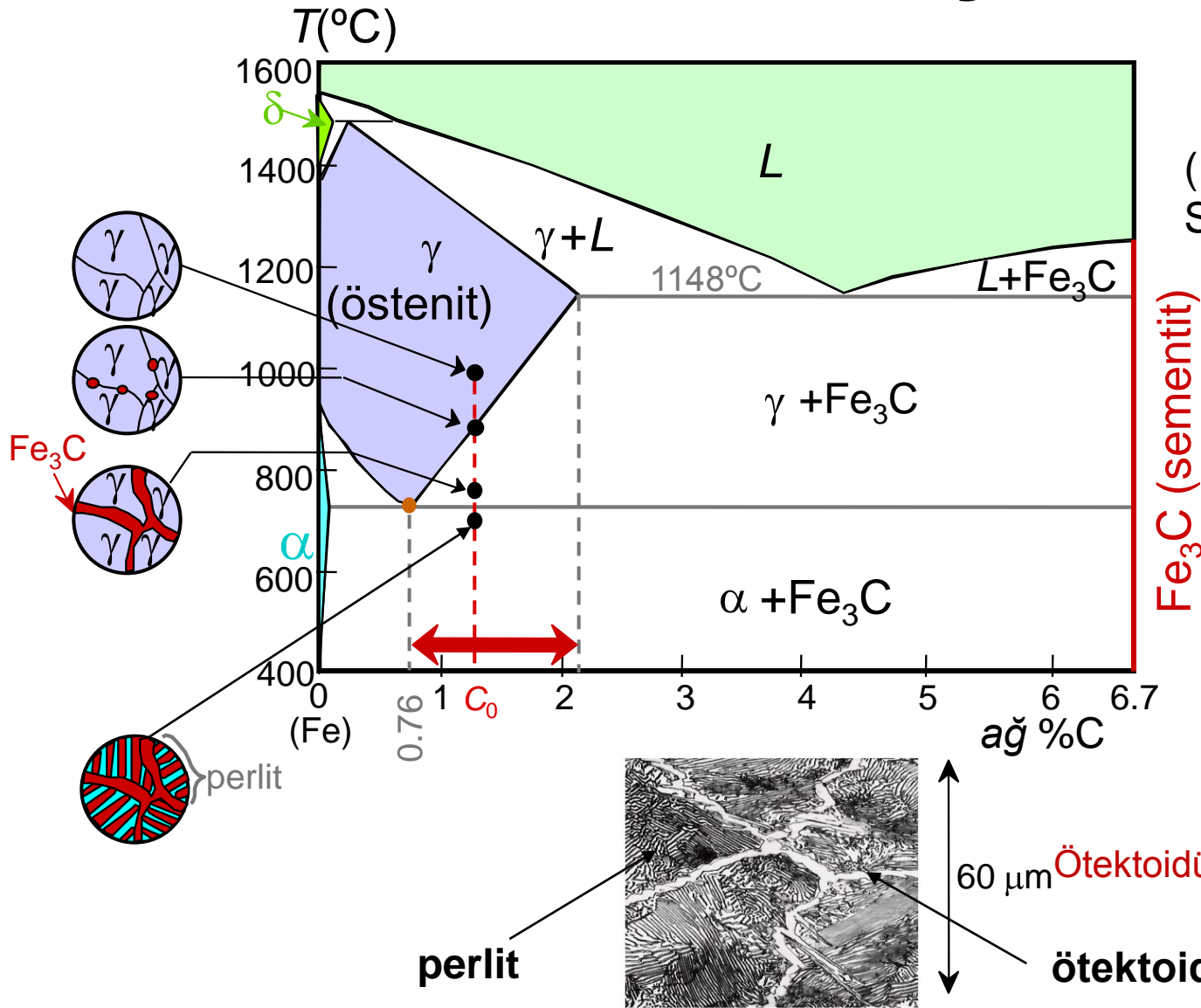
Fe<sub>3</sub>C (sementit)

Adapted from Figs. 9.24 and 9.29, Callister & Rethwisch 8e. (Fig. 9.24 adapted from Binary Alloy Phase Diagrams, 2nd ed., Vol. 1, T.B. Massalski (Ed.-in-Chief), ASM International, Materials Park, OH, 1990.)

Adapted from Fig. 9.30, Callister & Rethwisch 8e.



# Ötektoidüstü Çelik



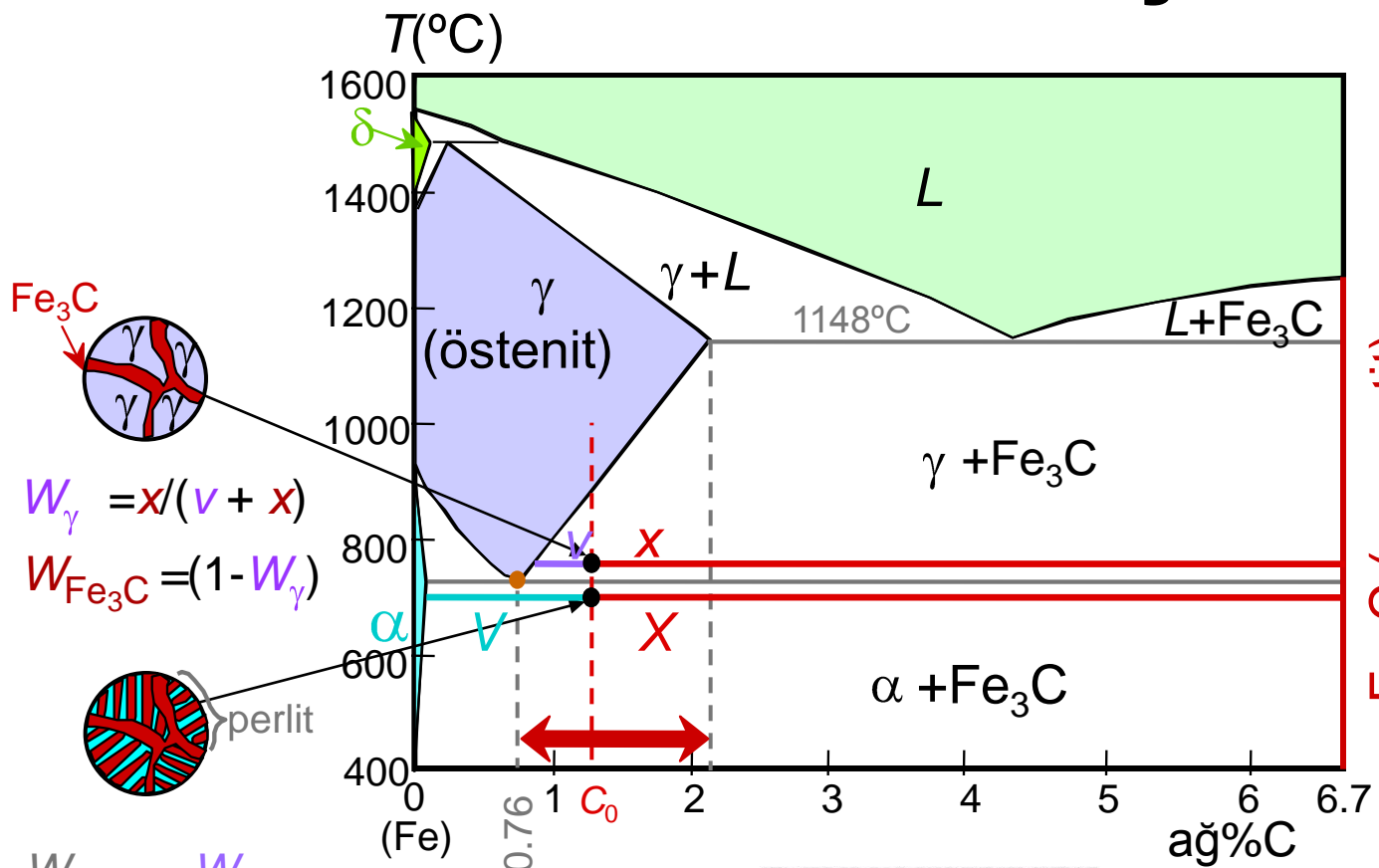
(Fe-C Sistemi)

Adapted from Figs. 9.24 and 9.32, Callister & Rethwisch 8e. (Fig. 9.24 adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd ed., Vol. 1, T.B. Massalski (Ed.-in-Chief), ASM International, Materials Park, OH, 1990.)

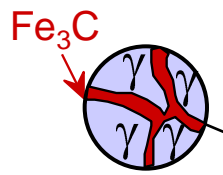
Adapted from Fig. 9.33, Callister & Rethwisch 8e.



# Ötektoidüstü Çelik



Adapted from Figs. 9.24 and 9.32, Callister & Rethwisch 8e. (Fig. 9.24 adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd ed., Vol. 1, T.B. Massalski (Ed.-in-Chief), ASM International, Materials Park, OH, 1990.)



$$W_{\gamma} = x / (v + x)$$

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



$$W_{\text{perlit}} = W_{\gamma}$$

$$W_{\alpha} = X / (V + X)$$

$$W_{\text{Fe}_3\text{C}'} = (1 - W_{\alpha})$$



perlit

60  $\mu\text{m}$

Ötektoidüstü Çelik

ötektoidaltı Fe<sub>3</sub>C

Adapted from Fig. 9.33, Callister & Rethwisch 8e.



# Örnek Problem

Ötektoidin hemen altındaki sıcaklıktaki ağırlık % 99.6 Fe- ağırlık % 0.40 C çelik için, aşağıdakileri bulunuz:

- $\text{Fe}_3\text{C}$  ve ferrit ( $\alpha$ ) kompozisyonu.
- 100 g çelikte oluşan sementit miktarı gram olarak.
- 100 g çelikteki perlit ve ötektoidaltı ferrit ( $\alpha$ ) miktarı.



# Örnek Problemin Çözümü

a) Ötektoidin hemen altındaki  $RS$  bağ çizgisini kullanarak

$$C_{\alpha} = \text{ağ\% } 0.022 \text{ C}$$

$$C_{\text{Fe}_3\text{C}} = \text{ağ\% } 6.70 \text{ C}$$

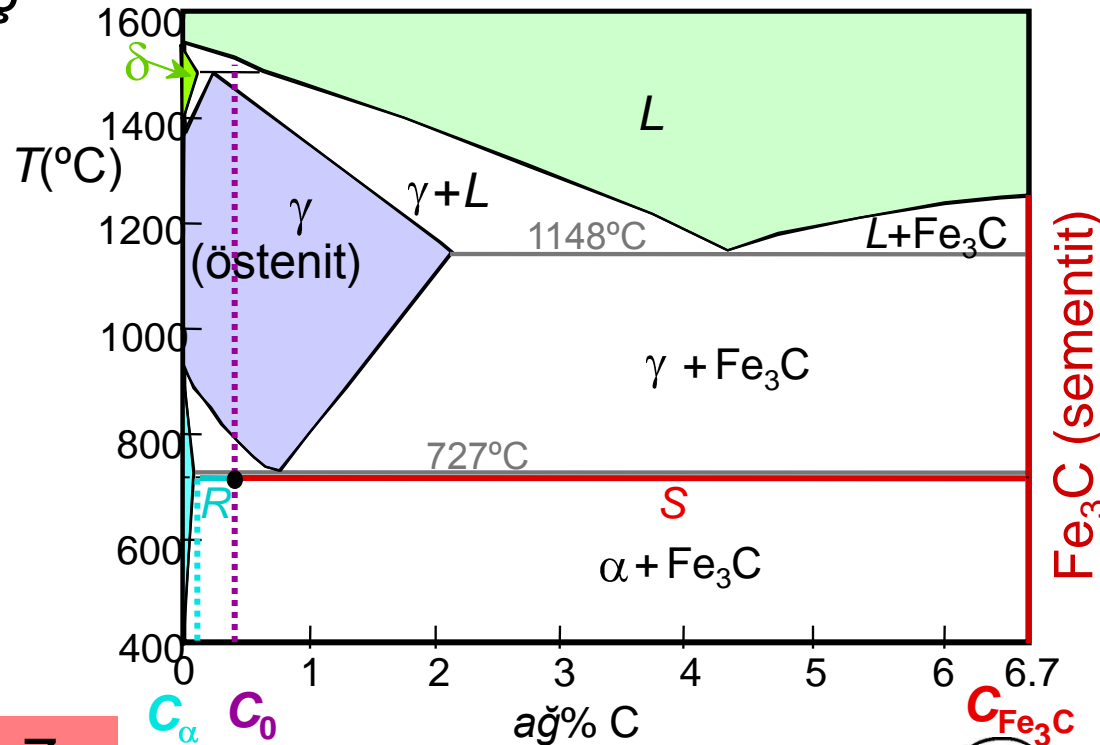
b) Bağ çizgisinde kaldıraç kuralını kullanarak

$$W_{\text{Fe}_3\text{C}} = \frac{R}{R+S} = \frac{C_0 - C_{\alpha}}{C_{\text{Fe}_3\text{C}} - C_{\alpha}}$$
$$= \frac{0.40 - 0.022}{6.70 - 0.022} = 0.057$$

100g çelikteki  $\text{Fe}_3\text{C}$

$$= (100 \text{ g}) W_{\text{Fe}_3\text{C}}$$

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





# Örnek Problemin Çözümü(devam)

c) VX bağı çizgisi gözönüne alınır

$$C_0 = \text{ağ\% } 0.40 \text{ C}$$

$$C_\alpha = \text{ağ\% } 0.022 \text{ C}$$

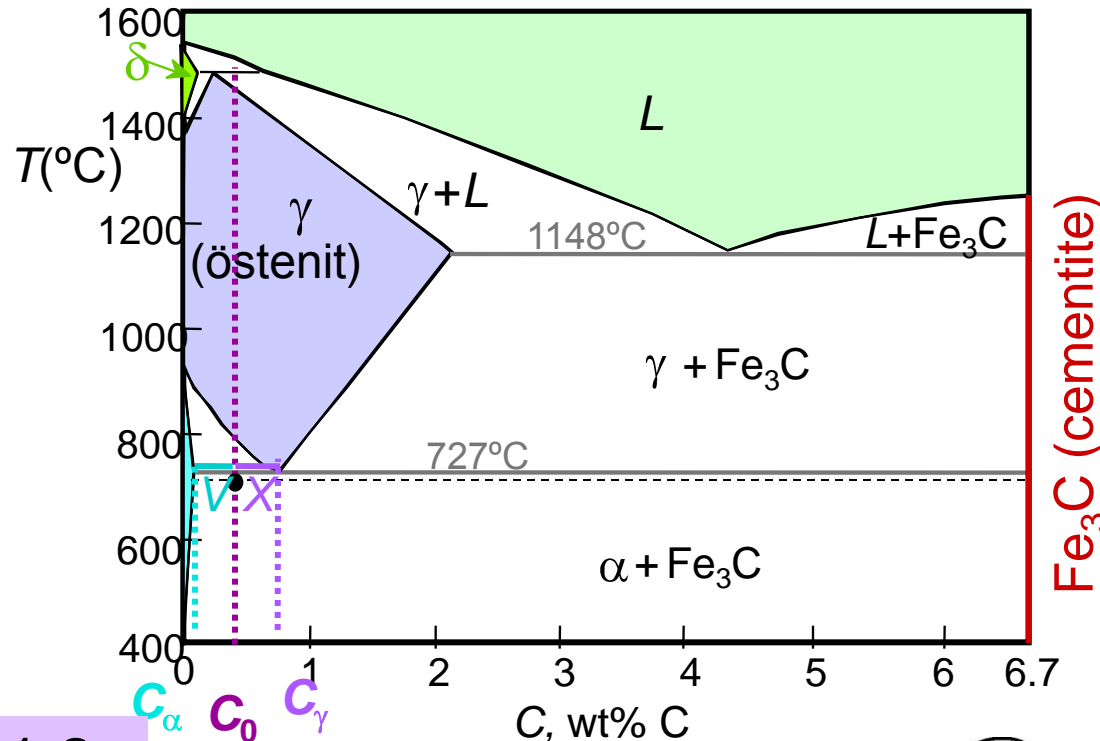
$$C_{\text{perlit}} = C_\gamma = \text{ağ\% } 0.76 \text{ C}$$

$$W_{\text{perlit}} = \frac{V}{V+X} = \frac{C_0 - C_\alpha}{C_\gamma - C_\alpha}$$
$$= \frac{0.40 - 0.022}{0.76 - 0.022} = 0.512$$

100 g daki perlit miktarı

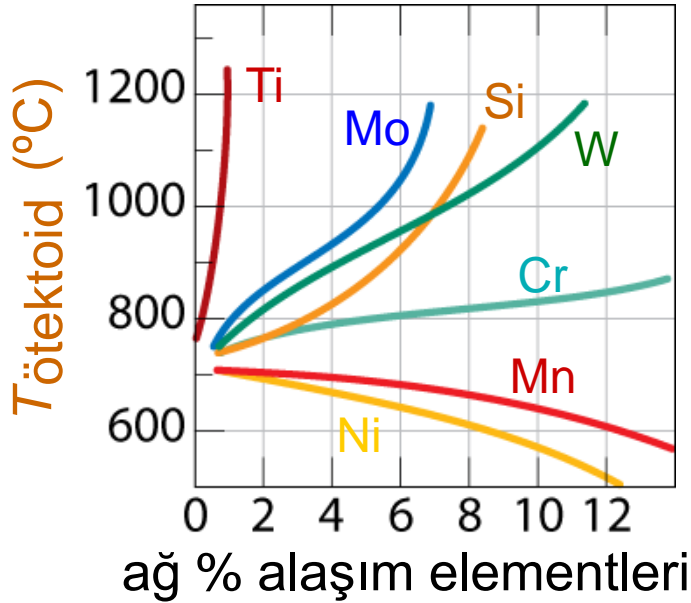
$$= (100 \text{ g}) W_{\text{perlit}}$$

$$= (100 \text{ g})(0.512) = 51.2 \text{ g}$$



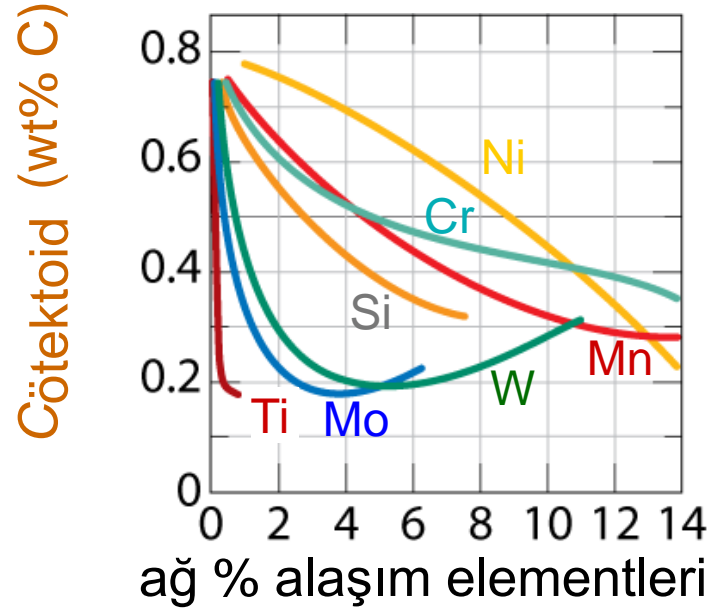
# Alaşıma diğer Elementlerin katkısı

- $T_{\text{ötektoid}}$  değişir:



Adapted from Fig. 9.34, Callister & Rethwisch 8e.  
(Fig. 9.34 from Edgar C. Bain, *Functions of the Alloying Elements in Steel*, American Society for Metals, 1939, p. 127.)

- $C_{\text{ötektoid}}$  değişir:



Adapted from Fig. 9.35, Callister & Rethwisch 8e.  
(Fig. 9.35 from Edgar C. Bain, *Functions of the Alloying Elements in Steel*, American Society for Metals, 1939, p. 127.)



# Özet

- **Faz diyagramları** verilen sıcaklık ve kompozisyonda şunların saptanmasına yarayan bir araçtır:
  - fazların sayısı ve ne oldukları,
  - her fazın kompozisyonu,
  - her fazın oranı
- Alaşımların mikroyapıları şunlara bağlıdır
  - kompozisyonu ve
  - soğutma hızının degeye ulaşırken ne şekilde uygulandığına.
- Faz diyagramlarındaki önemli faz geçişleri **ötektik**, **ötektoid**, and **peritektik**.

