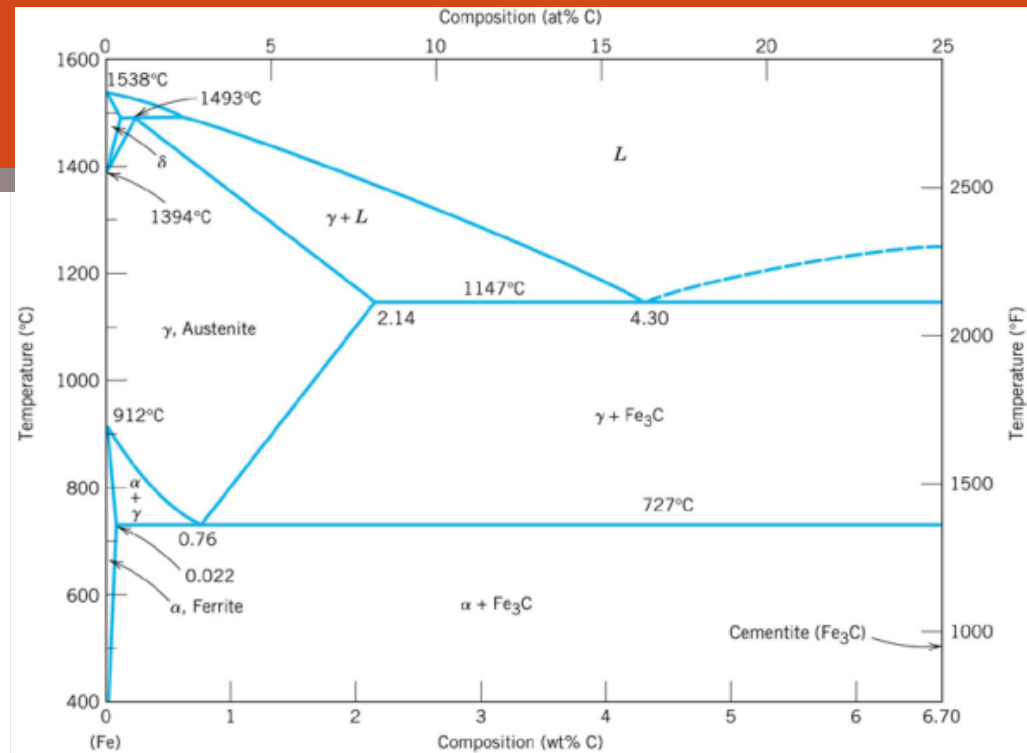


แผนภาพของเฟส

Phase Diagram



แผนภูมิของเฟส (Phase Diagram) มีความสำคัญในการออกแบบ และควบคุมกระบวนการทางความร้อน (heat treatment) ซึ่งแผนภูมิของเฟสจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างผลึกกับคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ จุดหลอมเหลว โดยจะแปรตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความดัน และส่วนผสม

วัตถุประสงค์

ในระบบที่ประกอบด้วยโลหะ 2 ชนิด (Binary phase diagram) ที่มีการกำหนดให้อุณหภูมิคงที่ สามารถบอกได้ว่ามีเฟสใดปรากฏบ้าง ส่วนผสมแต่ละเฟสเป็นเท่าไร และมีสัดส่วนของน้ำหนักของแต่ละเฟสเป็นเท่าไร

ความสามารถในการละลาย (Solubility Limit)

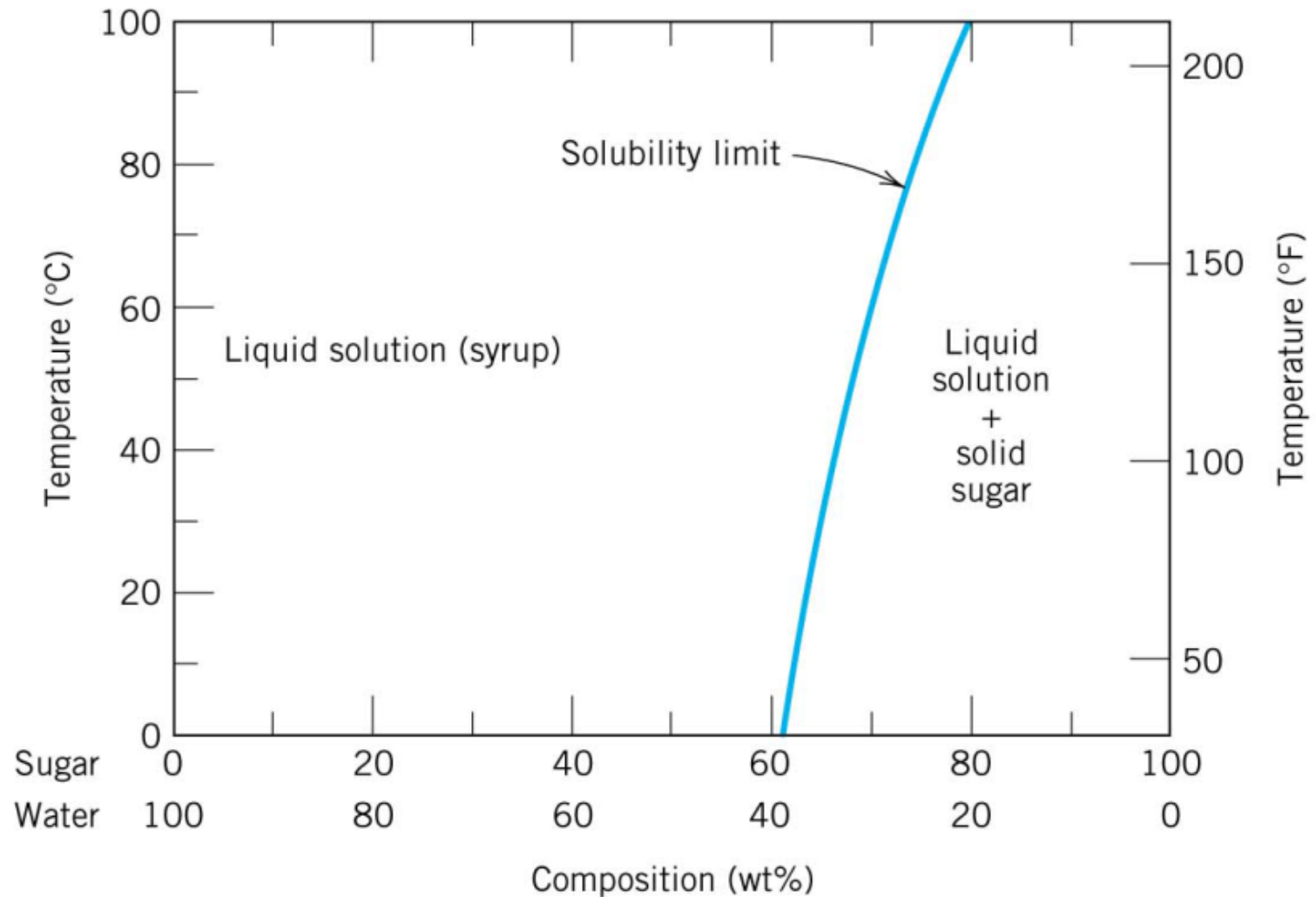


Figure 9.1 The solubility of sugar in a sugar-water syrup.

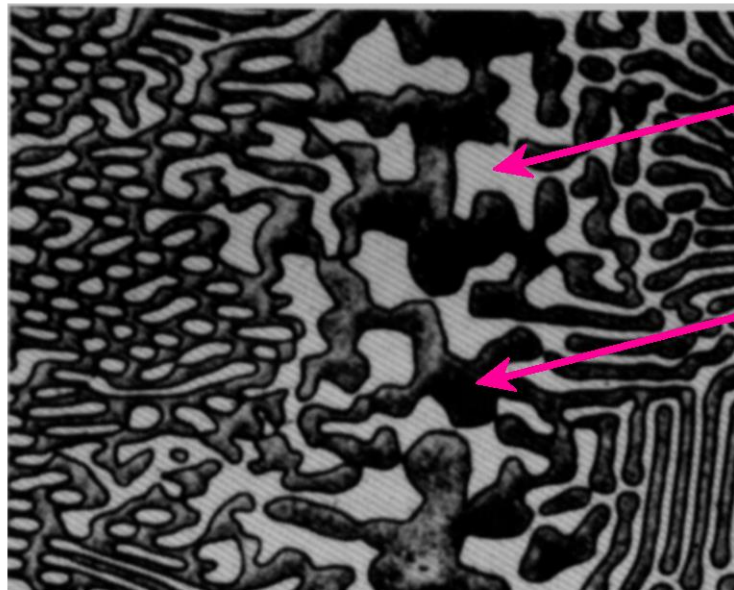
เฟส (Phase)

องค์ประกอบ และเฟส (Components and Phases)

องค์ประกอบ (Components) หมายถึง ธาตุหรือสารประกอบที่มาผสมด้วยกัน
เช่น Al และ Cu

เฟส (Phases) หมายถึงส่วนที่เป็นเนื้อเดียวกันในเชิงกายภาพ และแตกต่างจาก
ส่วนอื่นในระบบ เช่น α และ β

Aluminum-Copper
Alloy



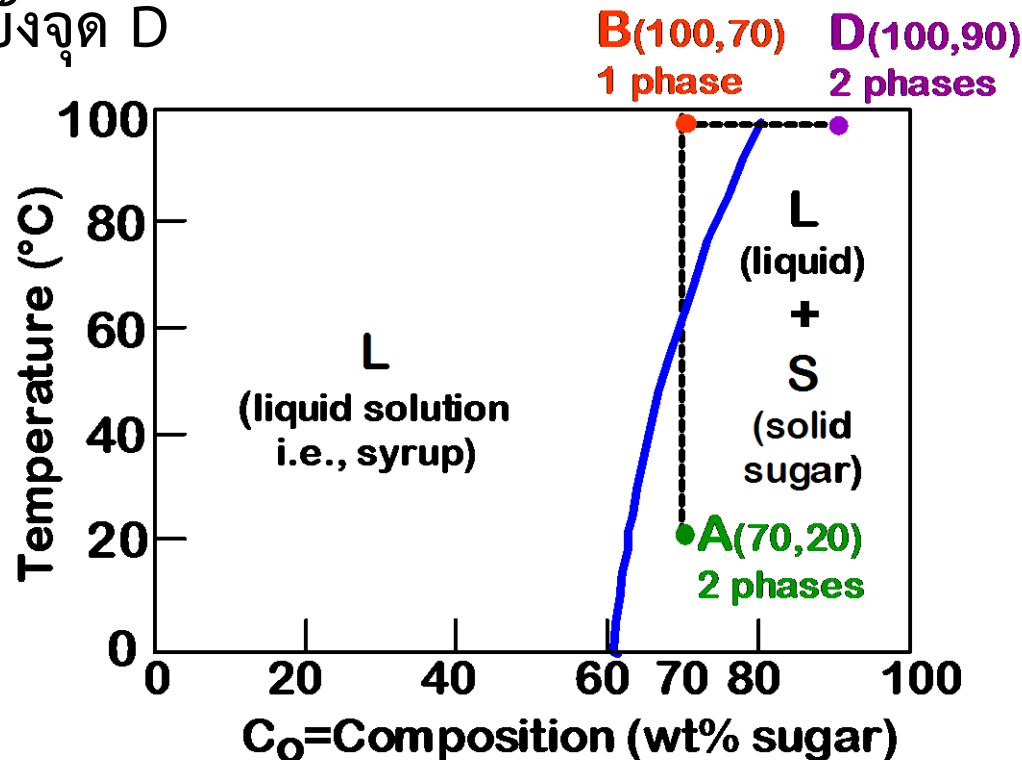
β (lighter
phase)

α (darker
phase)

ผลกระทบของอุณหภูมิ และส่วนผสม

(Effect of T & Composition (C_o))

- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสามารถเปลี่ยนจำนวนของเฟสได้ เช่น จากจุด A ไปยังจุด B
- การเปลี่ยนแปลงของส่วนผสมสามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนของเฟสได้ เช่น จากจุด B ไปยังจุด D



สมดุลของเฟส (PHASE EQUILIBRIUM)

แผนภาพของเฟสมักจะถูกสร้างขึ้นในสภาวะสมดุล คือจะ不会有การเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาเปลี่ยนไป คำว่าสมดุลนั้นจะสามารถอธิบายได้ในรูปของพลังงานอิสระ (Free Energy) คือพลังงานที่อยู่ในของวัสดุ และมีลักษณะแปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากการไม่เป็นระเบียบของอะตอมหรือโมเลกุล (Entropy) ซึ่งระบบที่เกิดสมดุลนั้นจะมีค่าพลังงานอิสระที่น้อยที่สุด โดยมาจากปัจจัย 3 ปัจจัย

1. อุณหภูมิ (Temperature ; T)
2. ความดัน (Pressure ; P)
3. ส่วนผสม (Composition; C)

THE GIBBS PHASE RULE

เป็นการหาค่า Degree of Freedom คือจำนวนตัวแปรที่เราสามารถเลือกกำหนดค่าได้ (Independent Variable) และจะส่งผลไปยังตัวแปรอื่นๆในระบบ

จากกฎเกณฑ์ทาง Thermodynamic ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเฟสที่มีในภาวะสมดุลในระบบ, จำนวนที่น้อยที่สุดของส่วนผสม และระดับความอิสระ โดยทั้ง 3 ตัวแปรนี้จะได้ความสัมพันธ์ว่า GIBBS PHASE RULE

GIBB'S PHASE RULE (Pure Metal)

$$P + F = C + 2$$

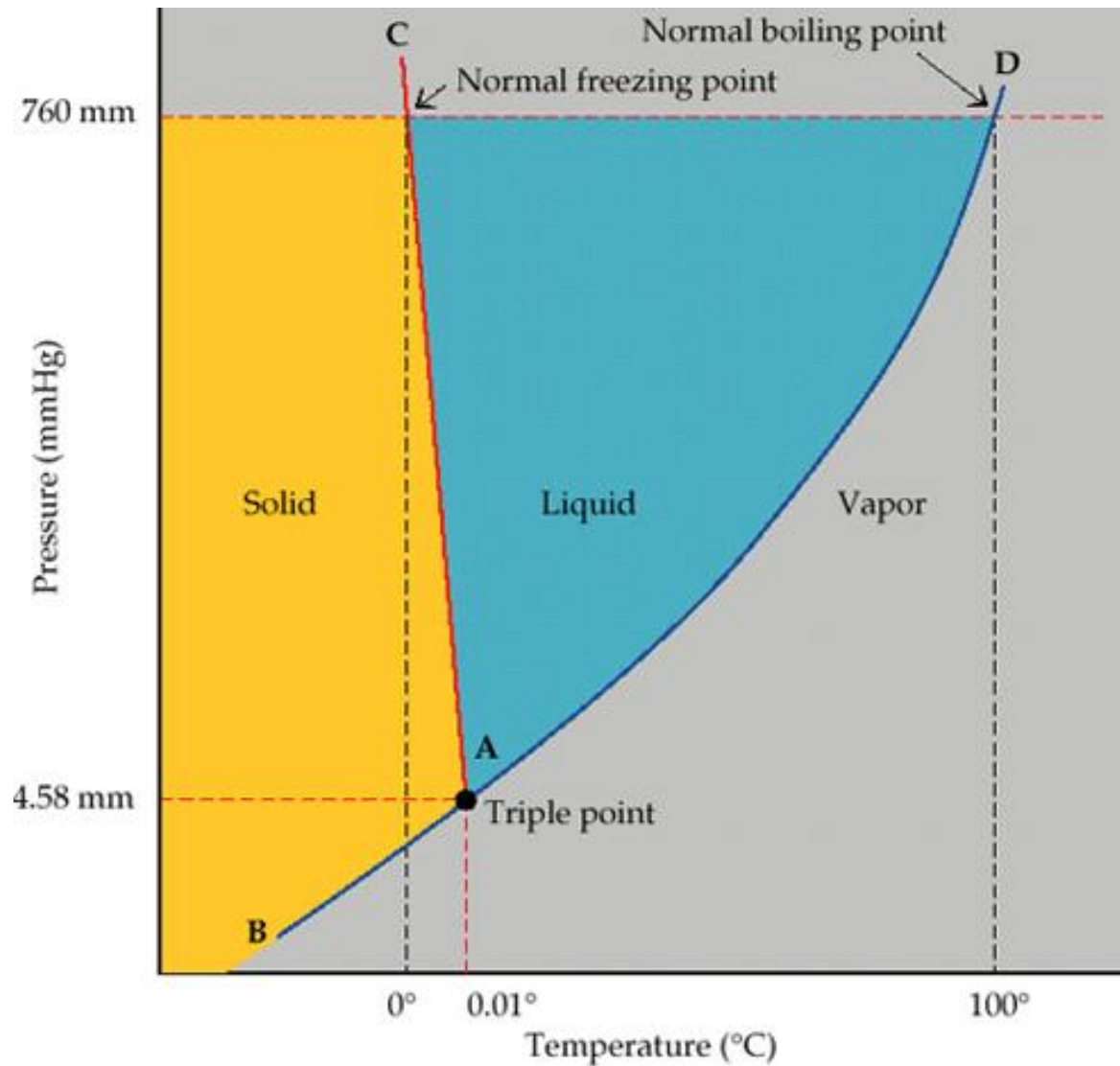
P = จำนวนของเฟสในระบบที่ปรากฏ

C = จำนวนองค์ประกอบในระบบ, component

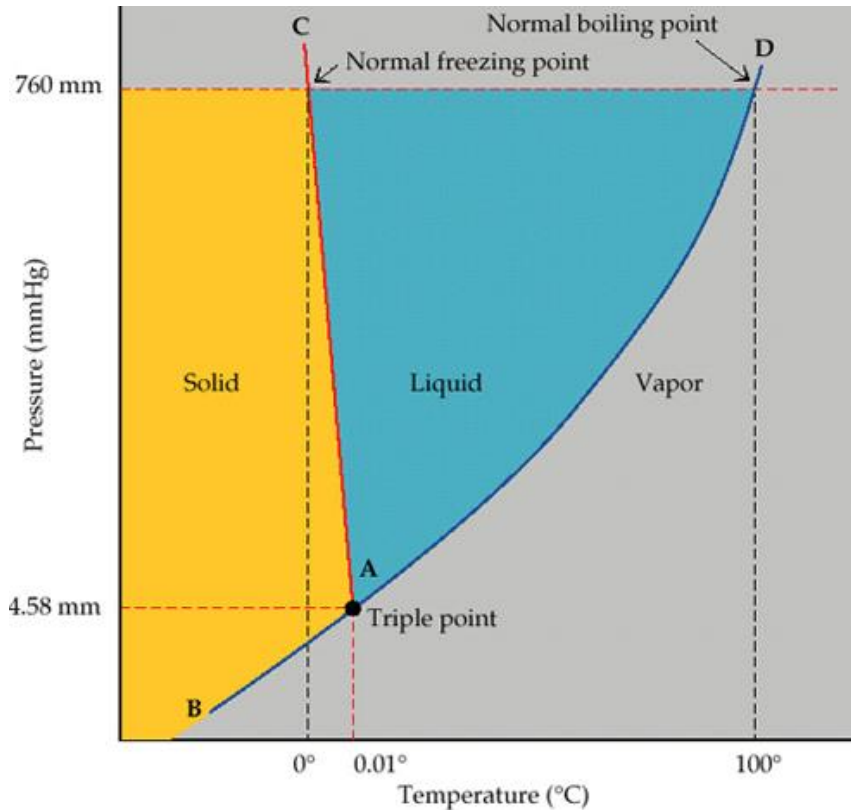
F = ระดับความอิสระ (degrees of freedom)

2 = ค่าความสามารถที่จะกำหนดความดันและอุณหภูมิ = ค่าคงที่

แผนภาพของธาตุบริสุทธิ์



เมื่อพิจารณาจากรูปที่จุด Triple point จะมี 3 phase และในระบบมี ส่วนผสมเดียวคือ น้ำ ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาระดับความอิสระได้โดย



$$P + F = C + 2$$

$$3 + F = 1 + 2$$

$$F = 0$$

สรุปได้ว่า ที่จุด Triple point ตัวแปรต่างๆไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิหรือความดันจะถูก กำหนดเป็นค่าคงที่ค่านี้เท่านั้น เราเรียกจุดนี้ว่า invariant point

บริเวณที่มี 2 เฟส จุดบนเส้นโค้งแยกแฉ่งระหว่างของเหลวและของแข็ง ; $P = 2$

$$P + F = C + 2$$

$$2 + F = 1 + 2$$

$$F = 1$$

บริเวณที่มี 1 เฟส จุดใดๆในบริเวณที่มีเฟสเดียว ; $P = 1$

$$P + F = C + 2$$

$$1 + F = 1 + 2$$

$$F = 2$$

แผนภาพเฟสของระบบ 2 ธาตุ

(Phase Diagram of Binary System)

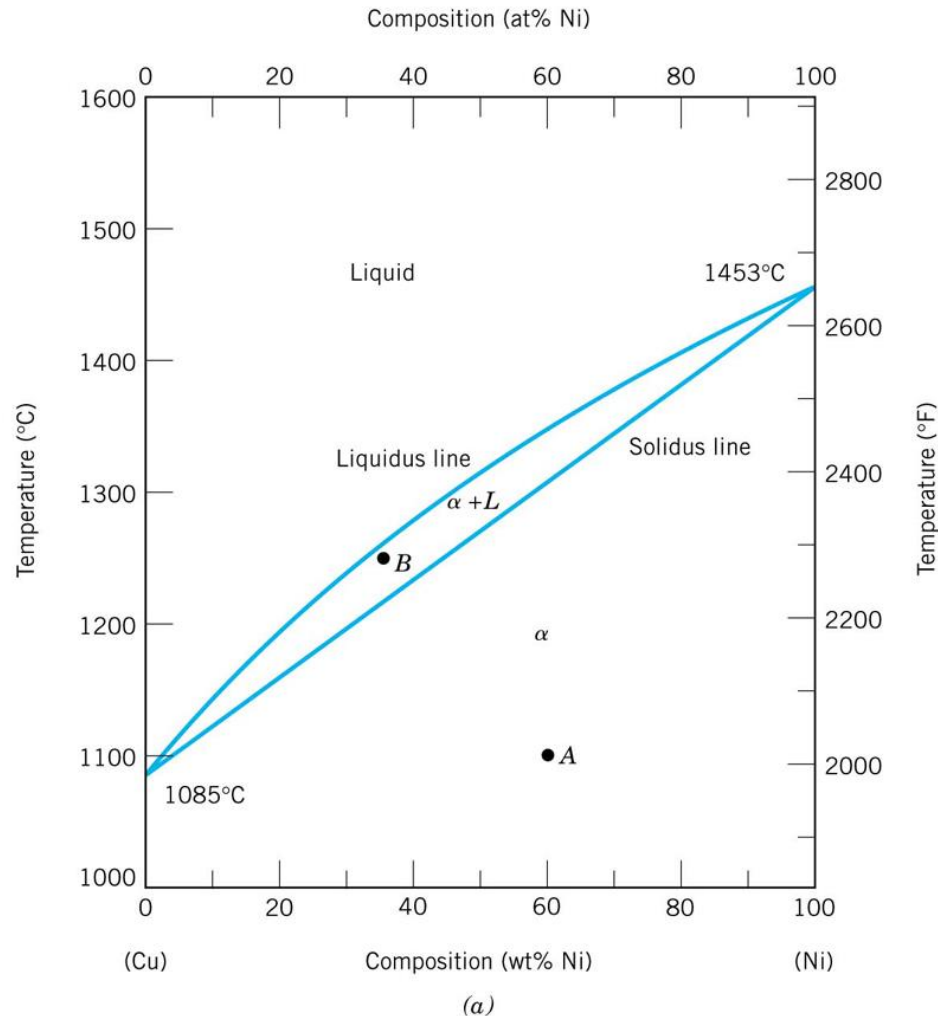
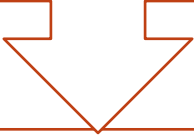


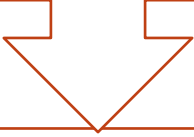
Figure 9.2 The copper-nickel phase diagram

การตีความจากแผนภูมิของเฟส

1. ประเภทของ Phase ที่ปรากฏอยู่



2. ส่วนผสมของ Phase ที่ปรากฏอยู่นั้น (Phase Composition)



3. ปริมาณหรือสัดส่วนของ Phase ที่ปรากฏอยู่ (Phase Amounts)

How to build phase diagram

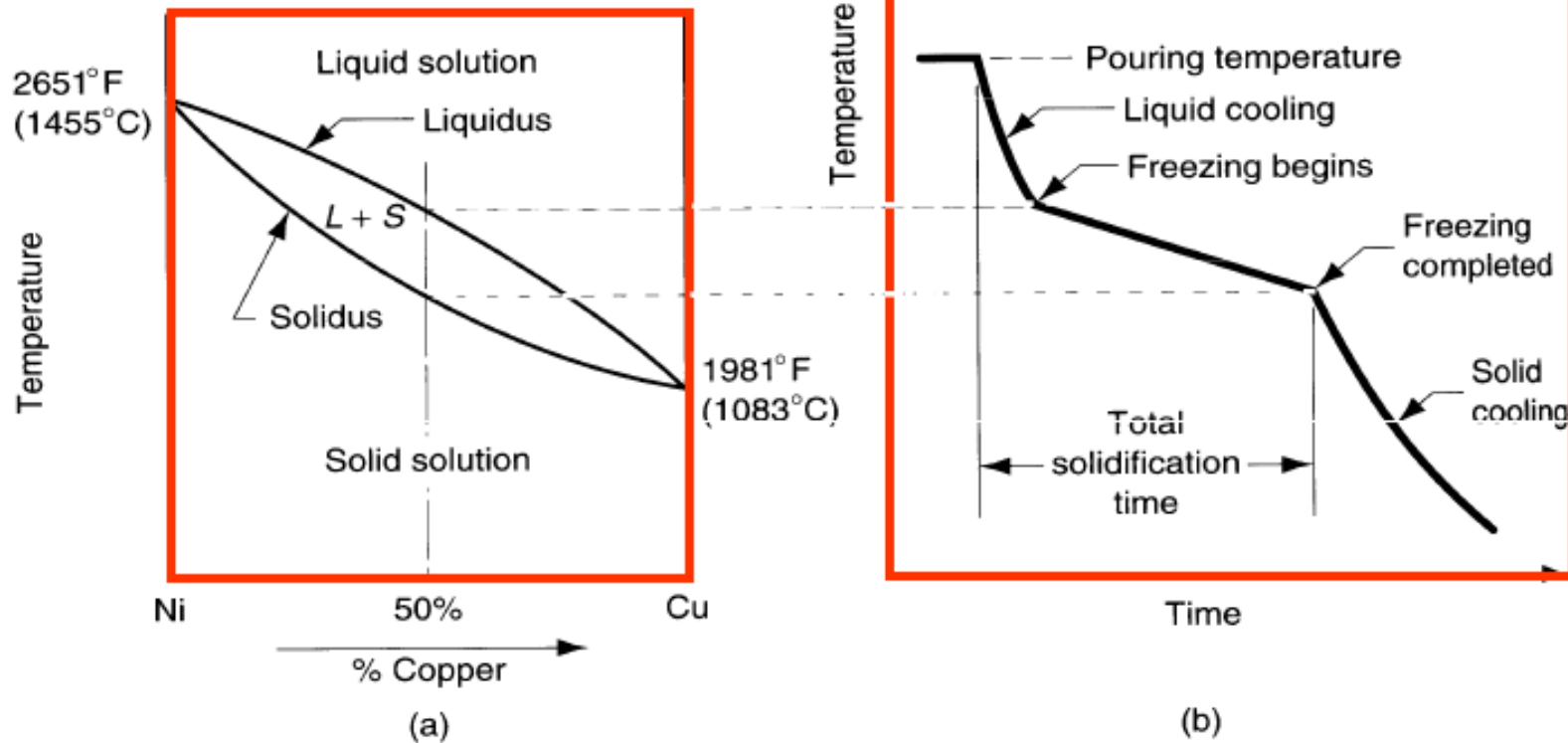
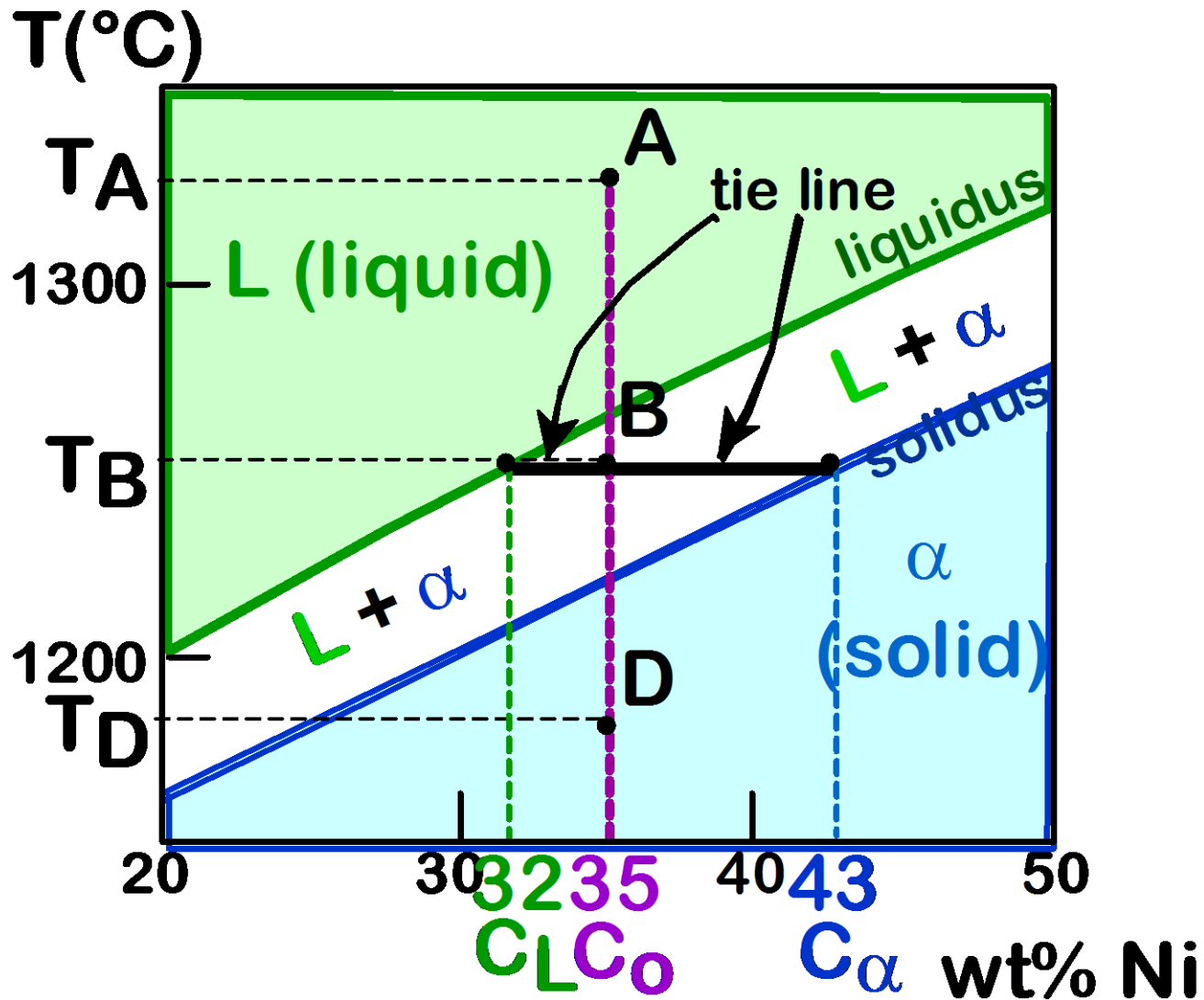
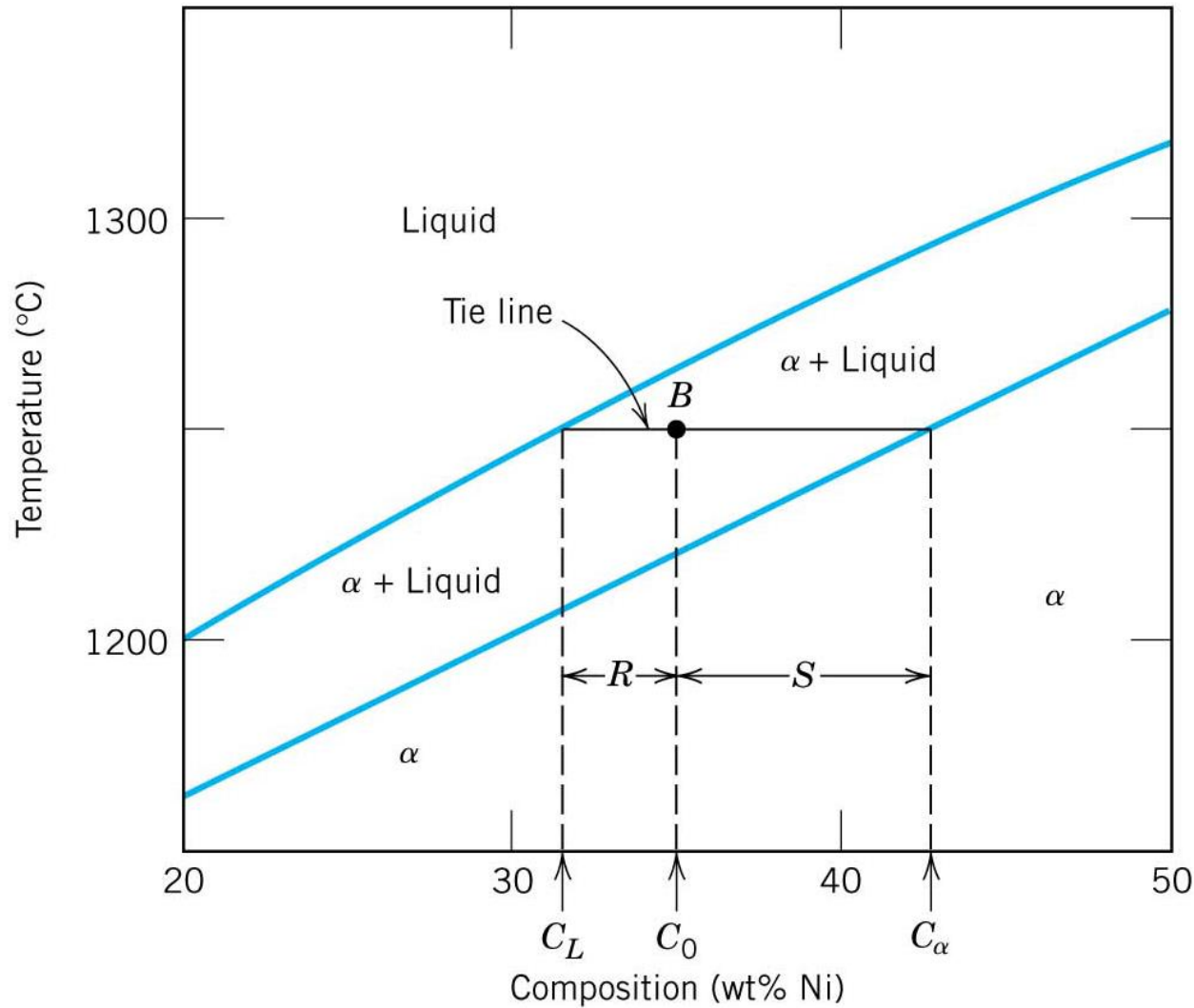


FIGURE 12.5 (a) Phase diagram for a copper–nickel alloy system and (b) associated cooling curve for a 50%Ni–50%Cu composition during casting.

ส่วนผสมของเฟส (Composition of phases)



ปริมาณหรือสัดส่วนโดยน้ำหนักของเฟส (WEIGHT FRACTIONS OF PHASES)

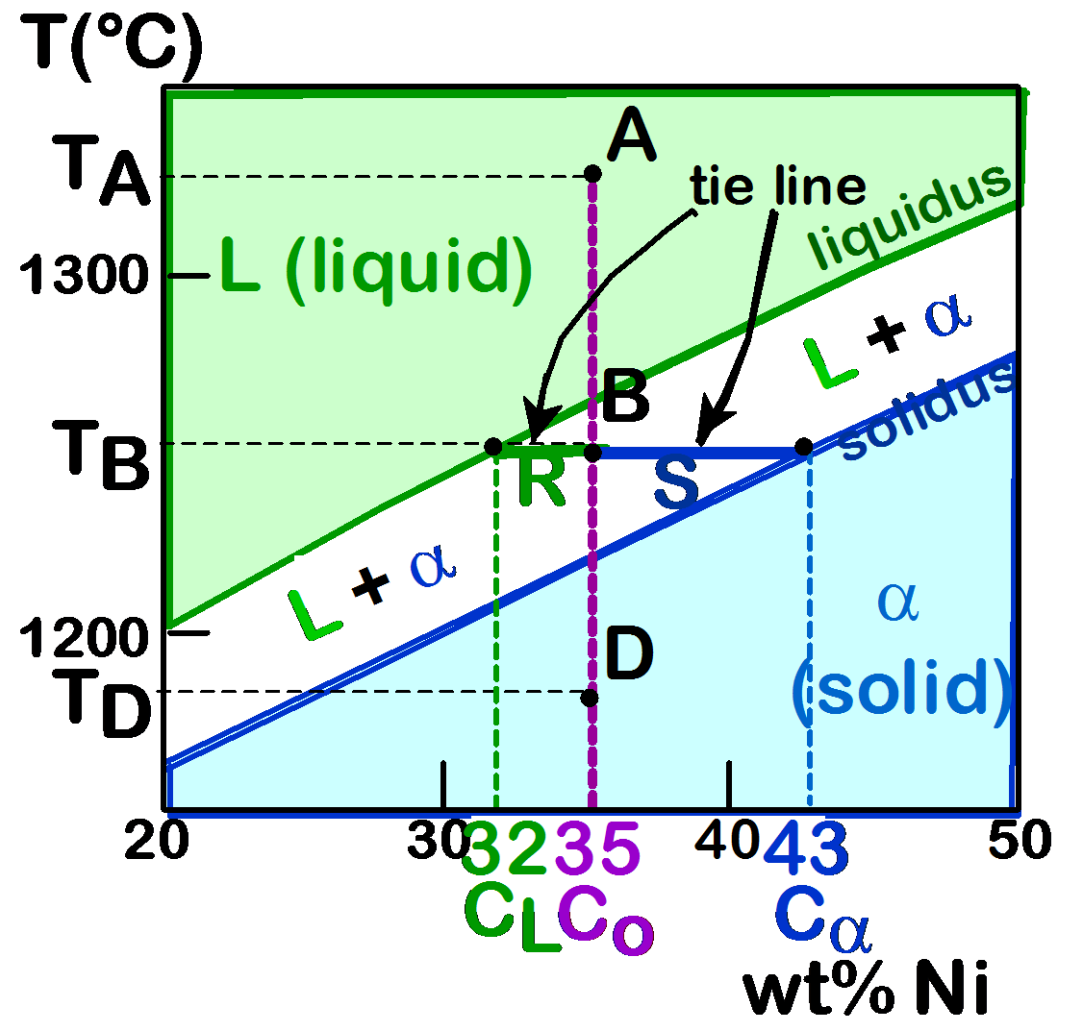


$$W_L = \frac{S}{R + S}$$

= 73wt%

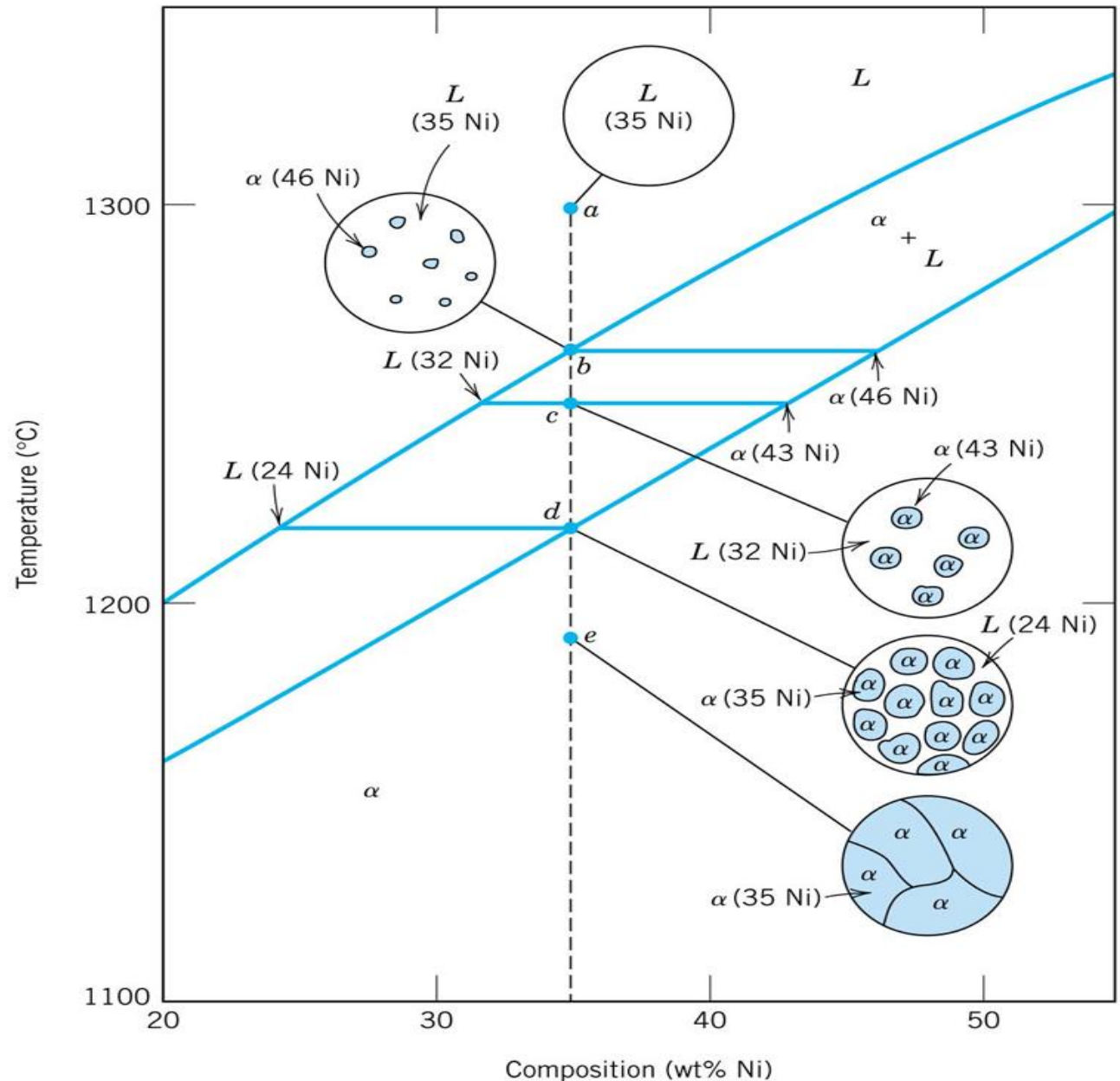
$$W_\alpha = \frac{R}{R + S}$$

= 27wt%



การเปลี่ยนโครงสร้างของโลหะผสม

FIGURE 9.3 Schematic representation of the development of microstructure during the equilibrium solidification of a 35 wt% Ni–65 wt% Cu alloy.



ผลกระทบของส่วนผสมต่อคุณสมบัติทางกล

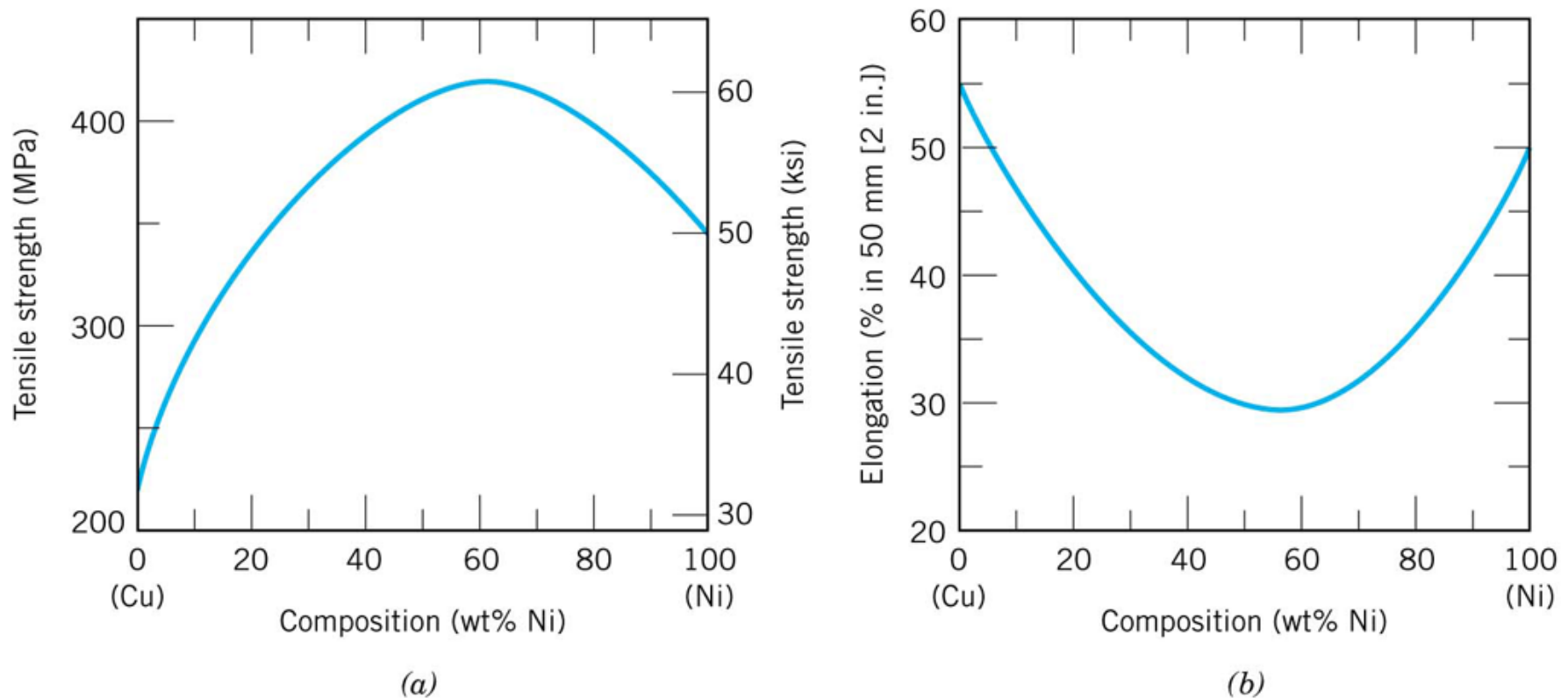
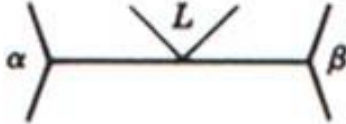
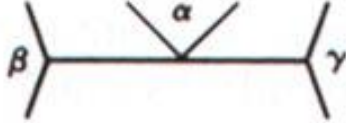
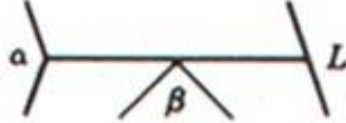
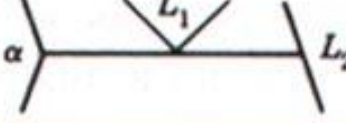


FIGURE 9.5 For the copper–nickel system, (a) tensile strength versus composition, and (b) ductility (%EL) versus composition at room temperature. A solid solution exists over all compositions for this system.

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนแปลงเฟสที่อุณหภูมิคงที่

TABLE 8.1 Types of Three-Phase Invariant Reactions Occurring in Binary Phase Diagrams

Name of reaction	Equation	Phase-diagram characteristic
Eutectic	$L \xrightarrow{\text{cooling}} \alpha + \beta$	
Eutectoid	$\alpha \xrightarrow{\text{cooling}} \beta + \gamma$	
Peritectic	$\alpha + L \xrightarrow{\text{cooling}} \beta$	
Peritectoid	$\alpha + \beta \xrightarrow{\text{cooling}} \gamma$	
Monotectic	$L_1 \xrightarrow{\text{cooling}} \alpha + L_2$	

ระบบยูเทคติก BINARY EUTECTIC

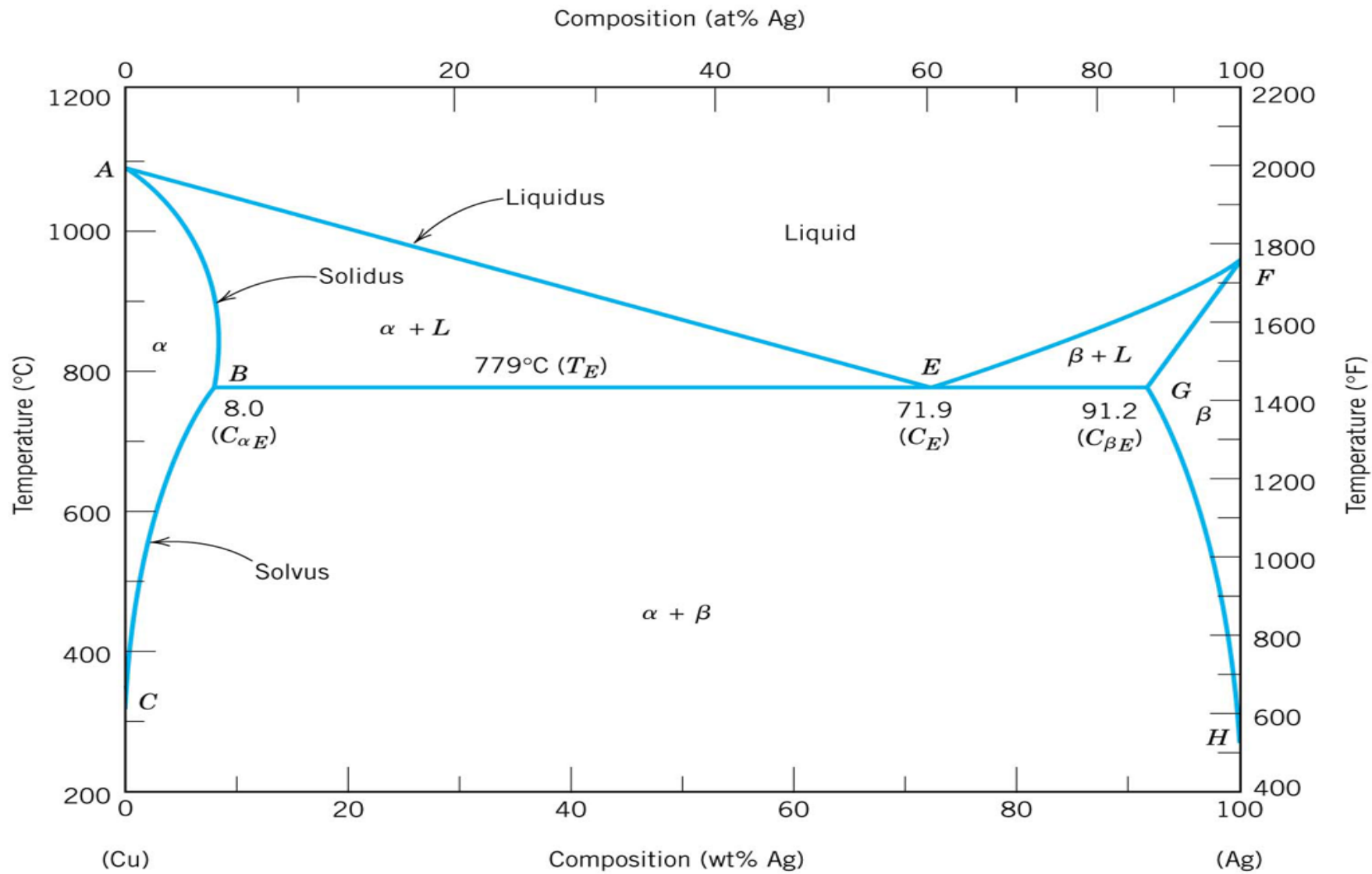
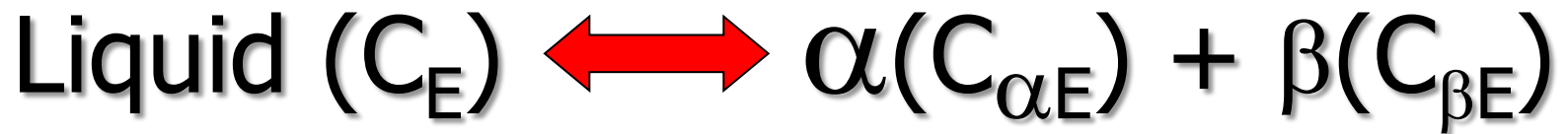


FIGURE 9.6 The copper–silver phase diagram. [Adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd edition, Vol. 1, T. B. Massalski (Editor-in-Chief), 1990. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH.]



หรือ อาจอธิบายได้ว่าในขณะที่เกิดการแข็งตัวของเหลว 1 เฟส เปลี่ยนเป็นของแข็ง 2 เฟส ได้แก่ของแข็ง α และของแข็ง β ณ อุณหภูมิ T_E และจะเกิดย้อนกลับถ้าเราเพิ่มอุณหภูมิขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวนี้นี้เรียกว่าปฏิกิริยายูเทคติก Eutectic Reaction (Eutectic หมายถึง ง่ายต่อการถูกหลอมเหลว)

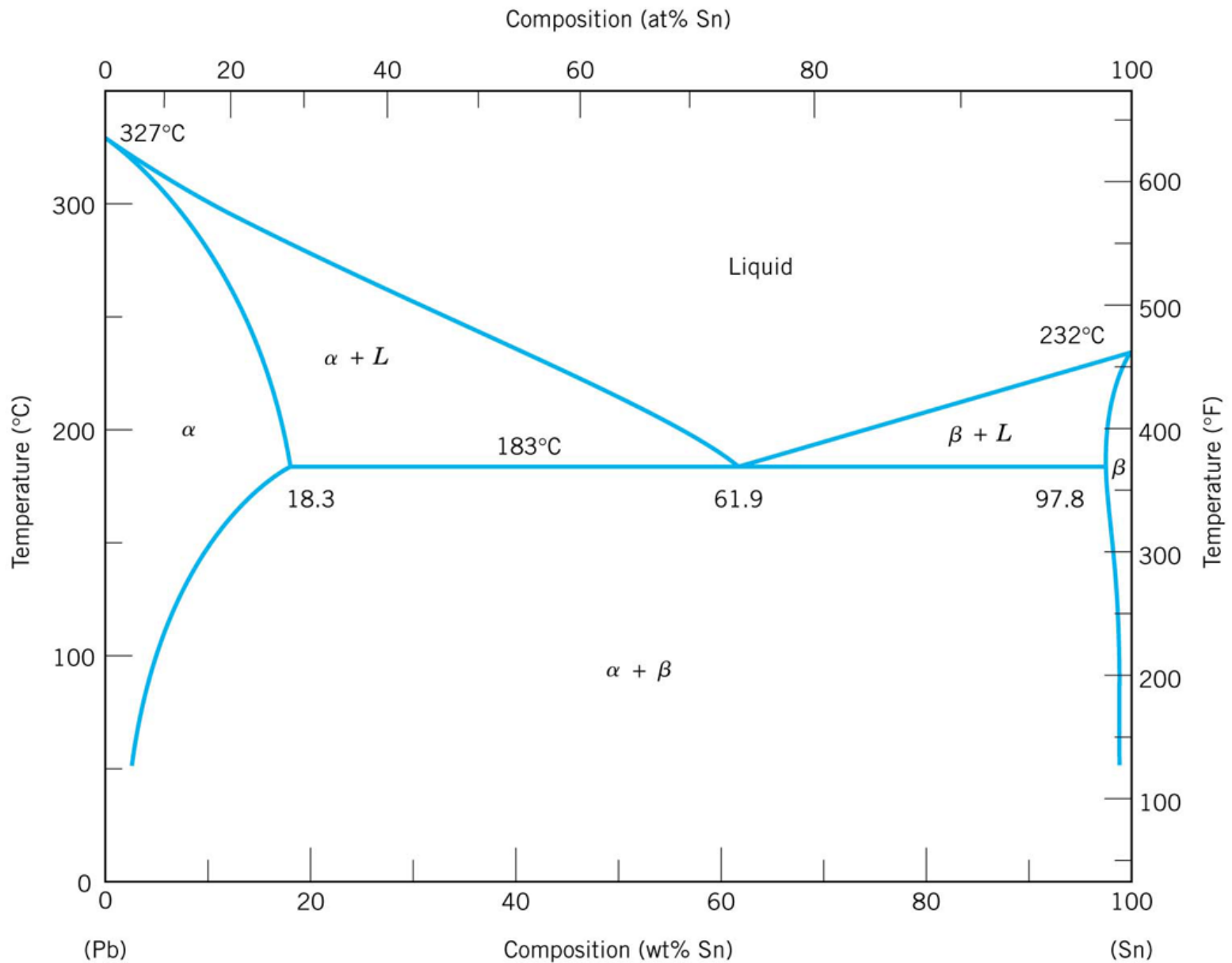


FIGURE 9.7 The lead–tin phase diagram. [Adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd edition, Vol. 3, T. B. Massalski (Editor-in-Chief), 1990. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH.]

การเปลี่ยนโครงสร้างของโลหะผสมในระบบ Eutectic

กรณี 1

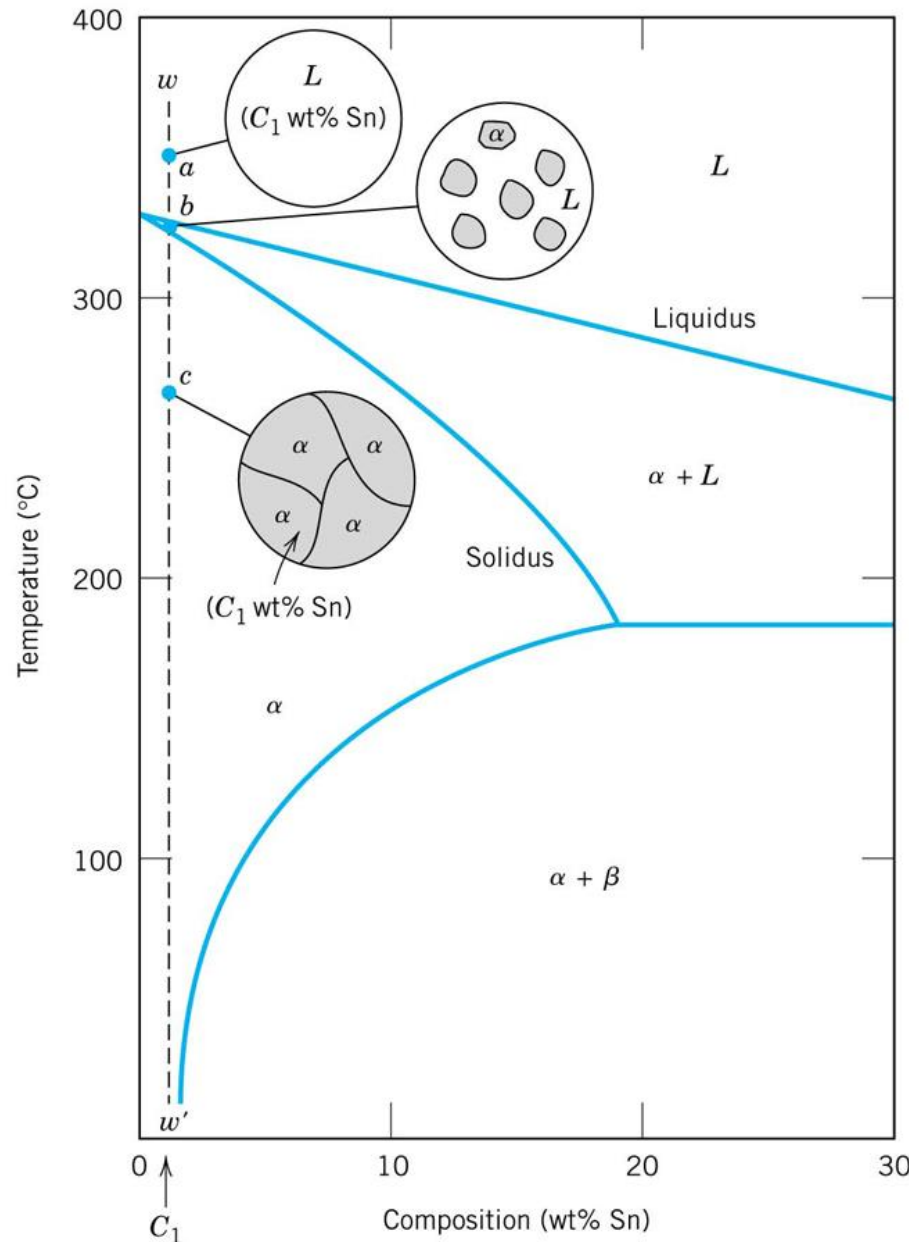


FIGURE 9.9 Schematic representations of the equilibrium microstructures for a lead-tin alloy of composition C_1 as it is cooled from the liquid-phase region.

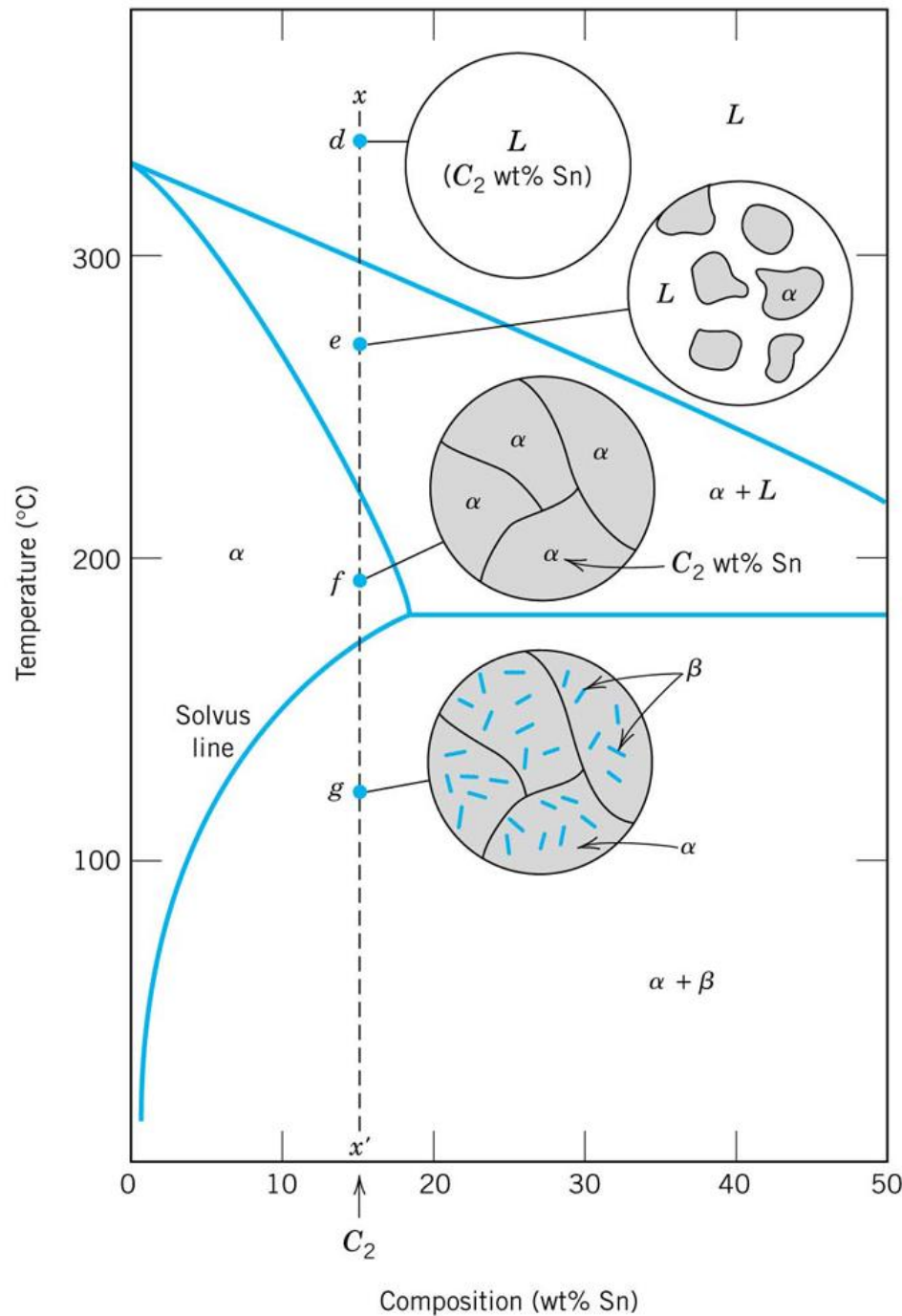
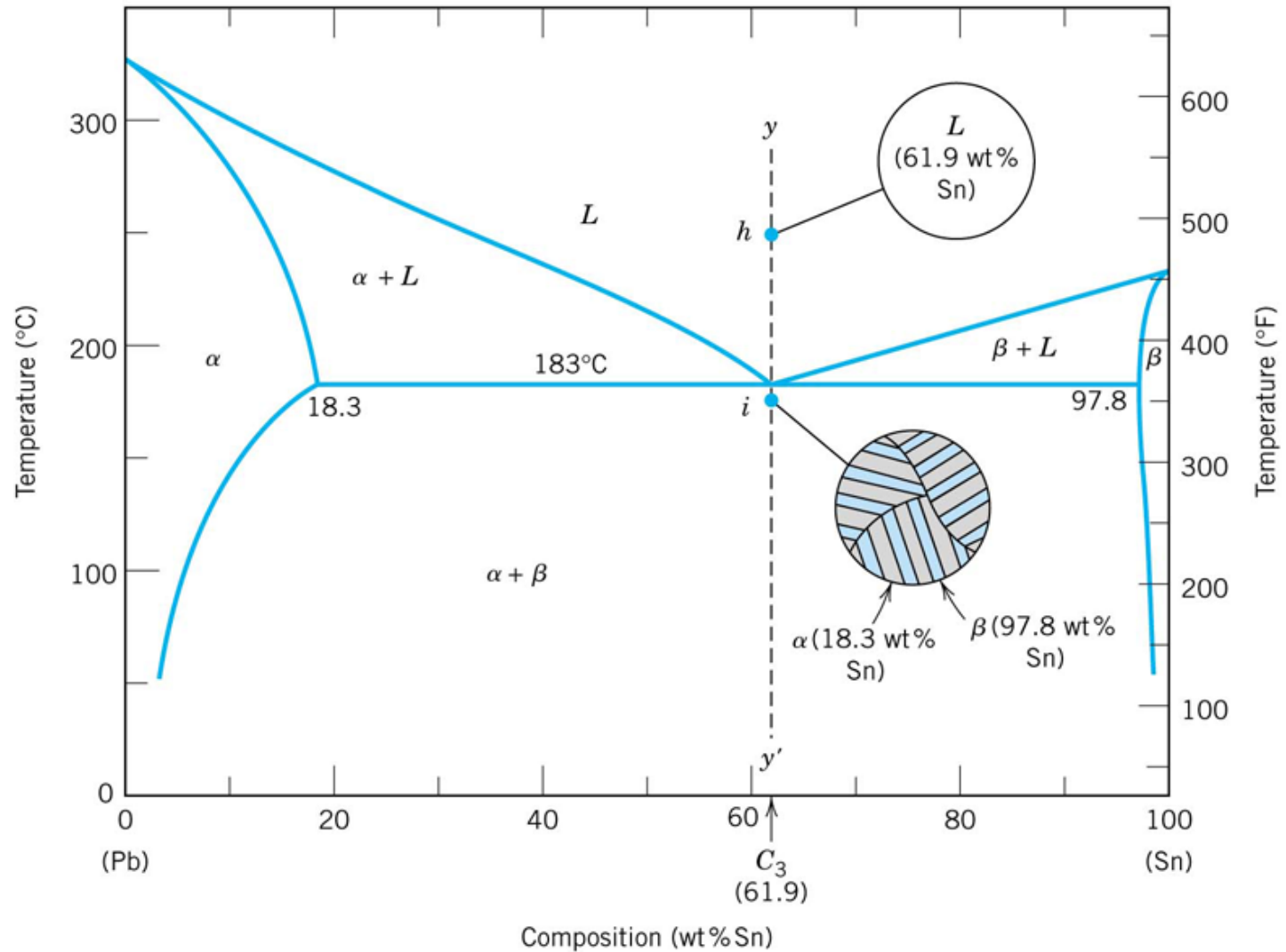


FIGURE 9.10 Schematic representations of the equilibrium microstructures for a lead–tin alloy of composition C_2 as it is cooled from the liquid-phase region.

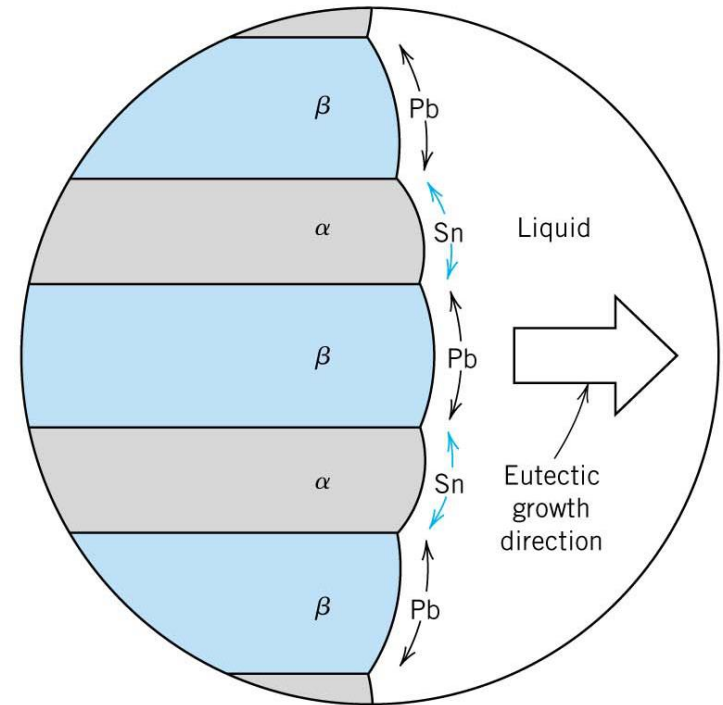
กรณี 3

FIGURE 9.11

Schematic representations of the equilibrium microstructures for a lead–tin alloy of eutectic composition C_3 above and below the eutectic temperature.



โครงสร้างยูเทคติก



รูปถ่ายโครงสร้าง Eutectic แสดงถึงการเรียงตัวสลับกัน (Lamellae) ซึ่งสารละลายของแข็ง α คือชั้นที่เป็นสีทึบ ส่วนสารละลายของแข็ง β คือชั้นที่เป็นสีสว่าง (กำลังขยาย 375x)

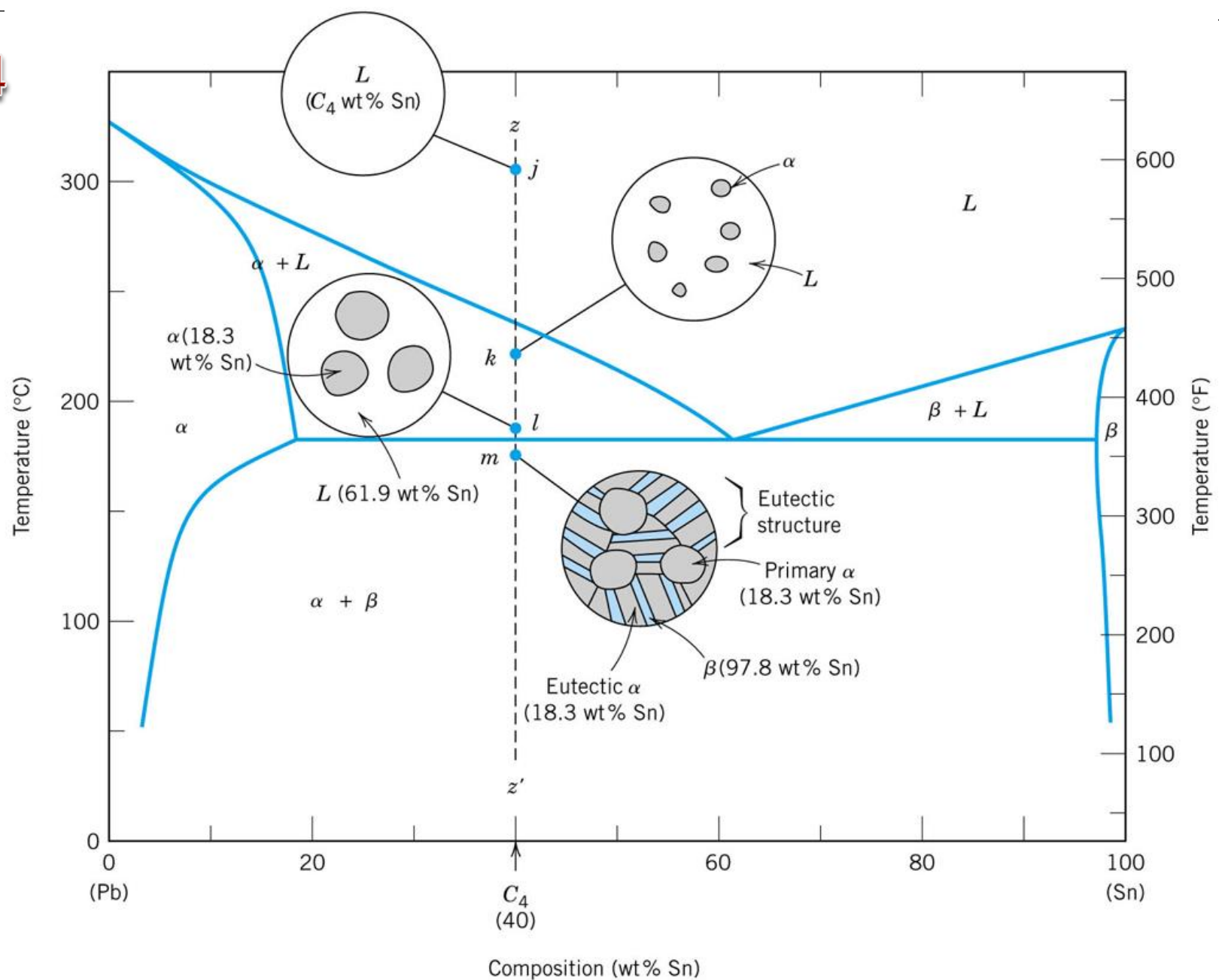


FIGURE 9.14 Schematic representations of the equilibrium microstructures for a lead-tin alloy of composition C_4 as it is cooled from the liquid-phase region.

โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม 50wt%Sn-50wt%Pb

ประกอบด้วย

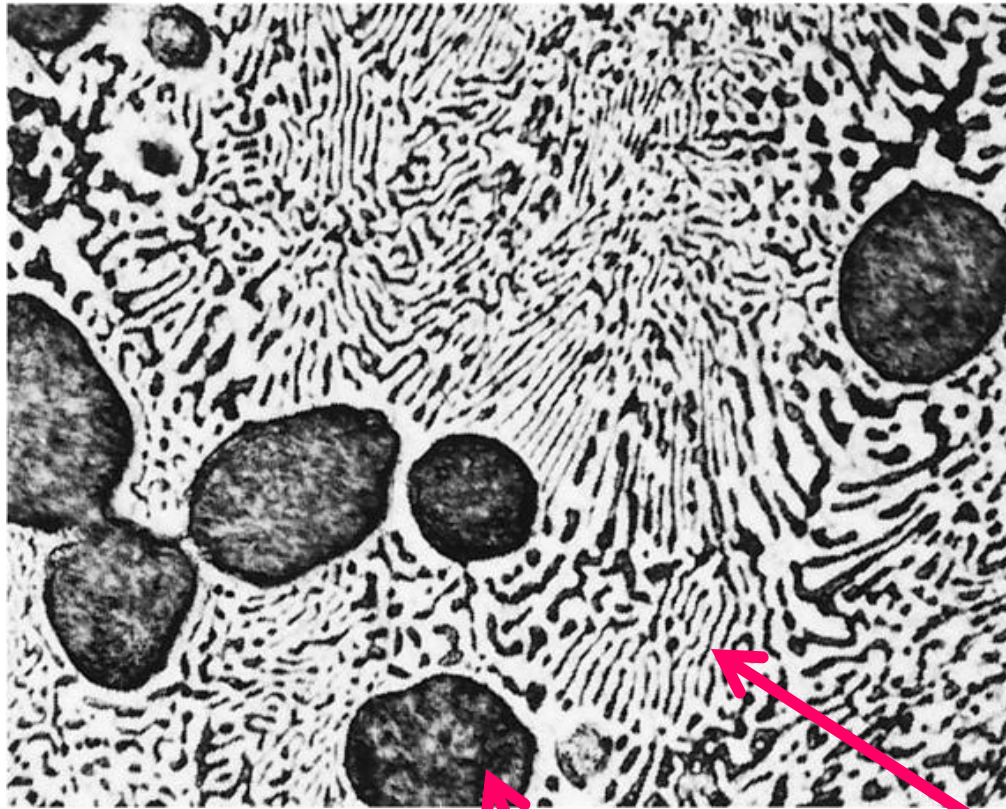
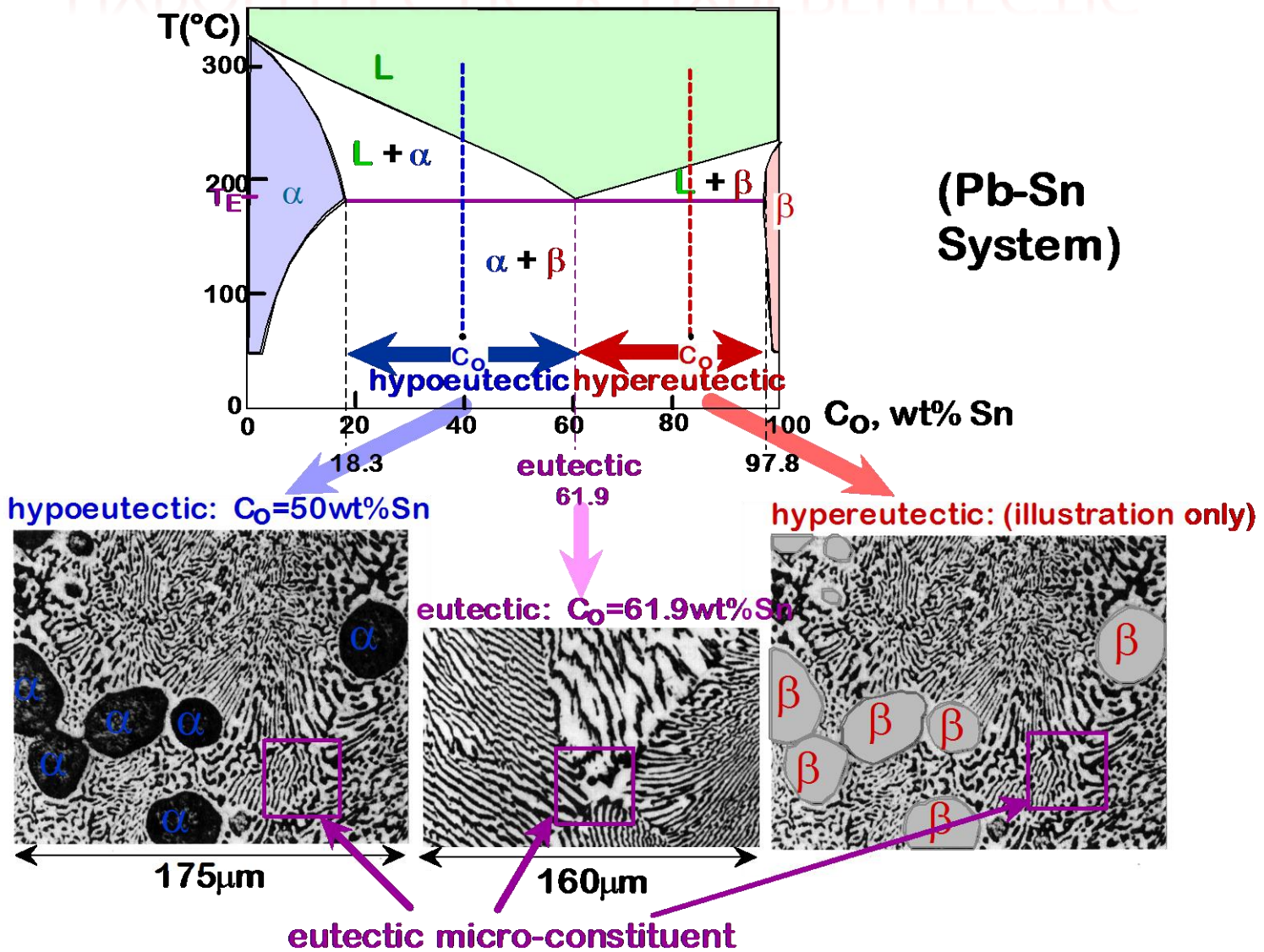


FIGURE 9.15 Photomicrograph showing the microstructure of a lead-tin alloy of composition 50 wt% Sn-50 wt% Pb. This microstructure is composed of a primary lead-rich α phase (large dark regions) within a lamellar eutectic structure consisting of a tin-rich β phase (light layers) and a lead-rich α phase (dark layers). 400 $\times$. (Reproduced with permission from *Metals Handbook*, 9th edition, Vol. 9, *Metallography and Microstructures*, American Society for Metals, Materials Park, OH, 1985.)

Primary α

Eutectic structure

HYPOEUTECTIC & HYPEREUTECTIC



การคำนวณหาปริมาณหรือสัดส่วนของโครงสร้างยูเทคติก

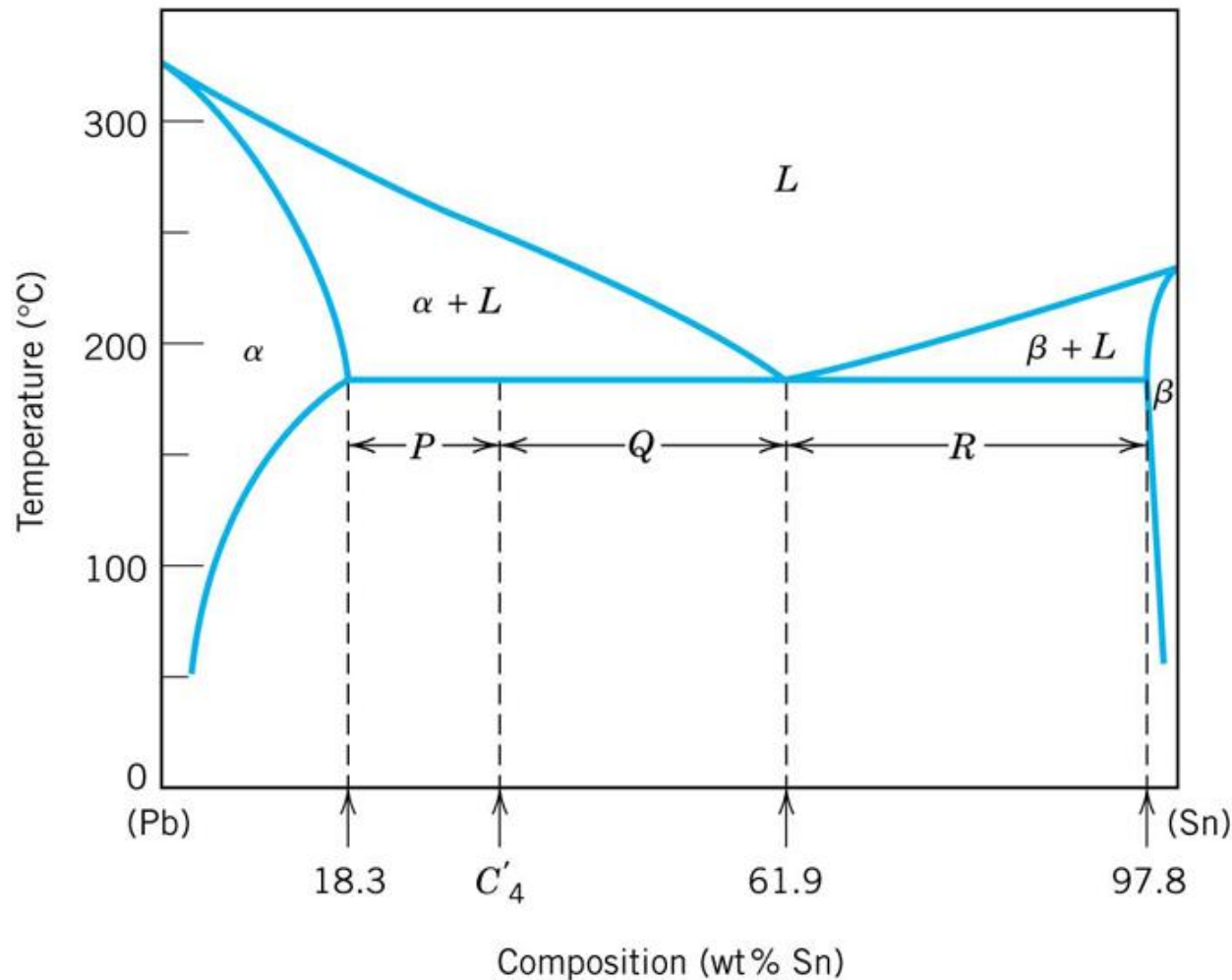


FIGURE 9.16 The lead–tin phase diagram used in computations for relative amounts of primary α and eutectic microconstituents for an alloy of composition C'_4 .

$$W_e = W_L = \frac{P}{P + Q}$$

การคำนวณหาปริมาณหรือสัดส่วนของ Primary α

$$W_{\alpha'} = \frac{Q}{P + Q}$$

W_e = ปริมาณหรือสัดส่วนของโครงสร้าง Eutectic

W_L = ปริมาณหรือสัดส่วนของเหลวก่อนเกิดปฏิกิริยา

$W_{\alpha'}$ = ปริมาณหรือสัดส่วนของโครงสร้าง Primary α

การคำนวณหาปริมาณหรือสัดส่วนของเฟสสารละลายของแข็ง

$$W_{\alpha} = \frac{Q + R}{P + Q + R} = \frac{97.8 - \dot{C}_4}{97.8 - 18.3}$$

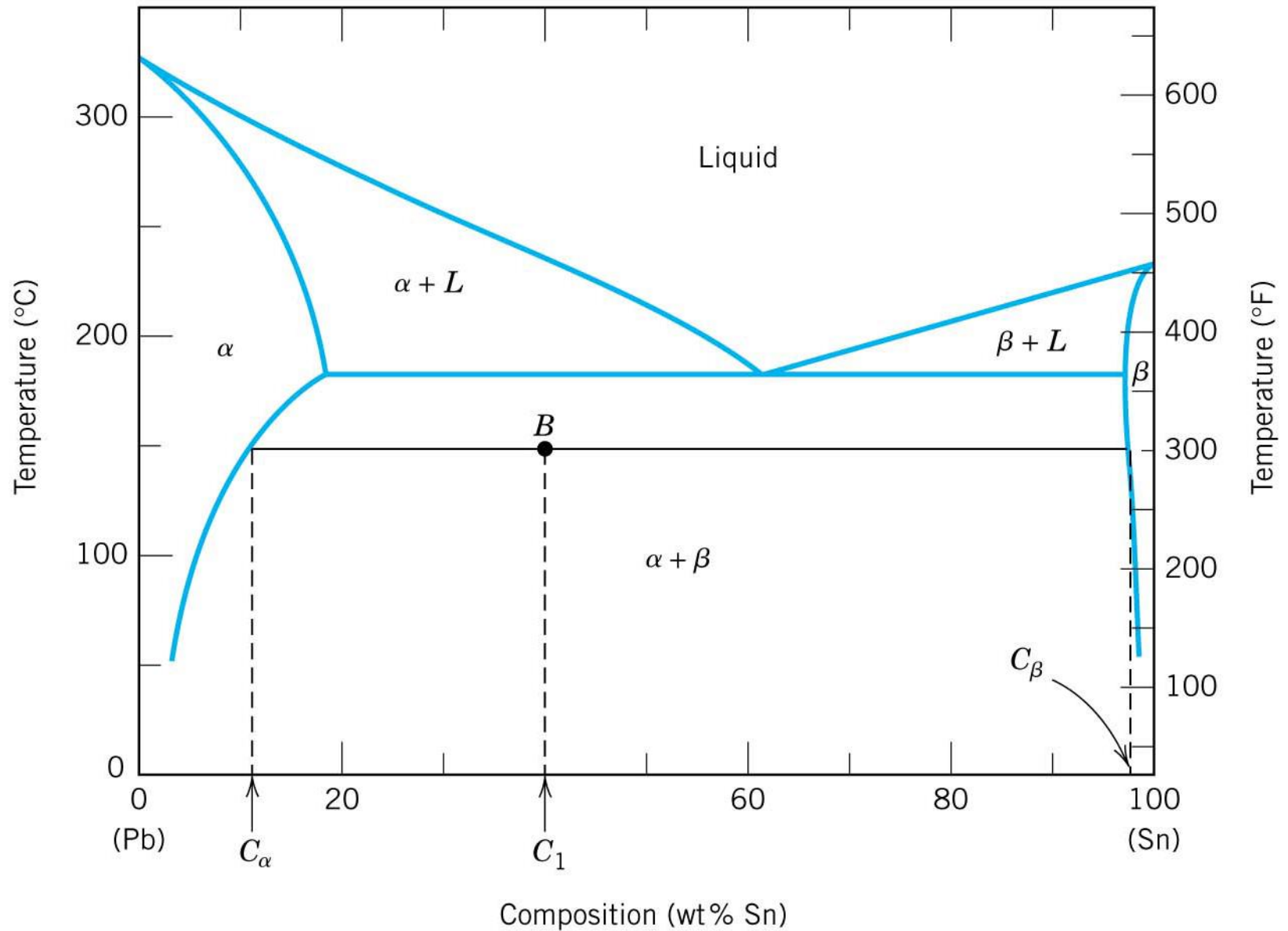
$$W_{\beta} = \frac{P}{P + Q + R} = \frac{\dot{C}_4 - 18.3}{97.8 - 18.3}$$

ตัวอย่าง

โลหะผสมมีส่วนผสม 75 wt% Sn - 25 wt% Pb ณ อุณหภูมิ 150°C จงหาว่า

- (a) มีเฟส (phase) ใดปรากฏบ้าง
- (b) เฟสที่ปรากฏนั้นมีส่วนผสมทางเคมีเท่าไร
- (c) ให้คำนวณหาปริมาณของ phase ต่างๆ

พิจารณาหาจุดตัด ระหว่างส่วนผสม (75wt% Sn) ที่อุณหภูมิ 150 °C จากรูปด้านล่าง

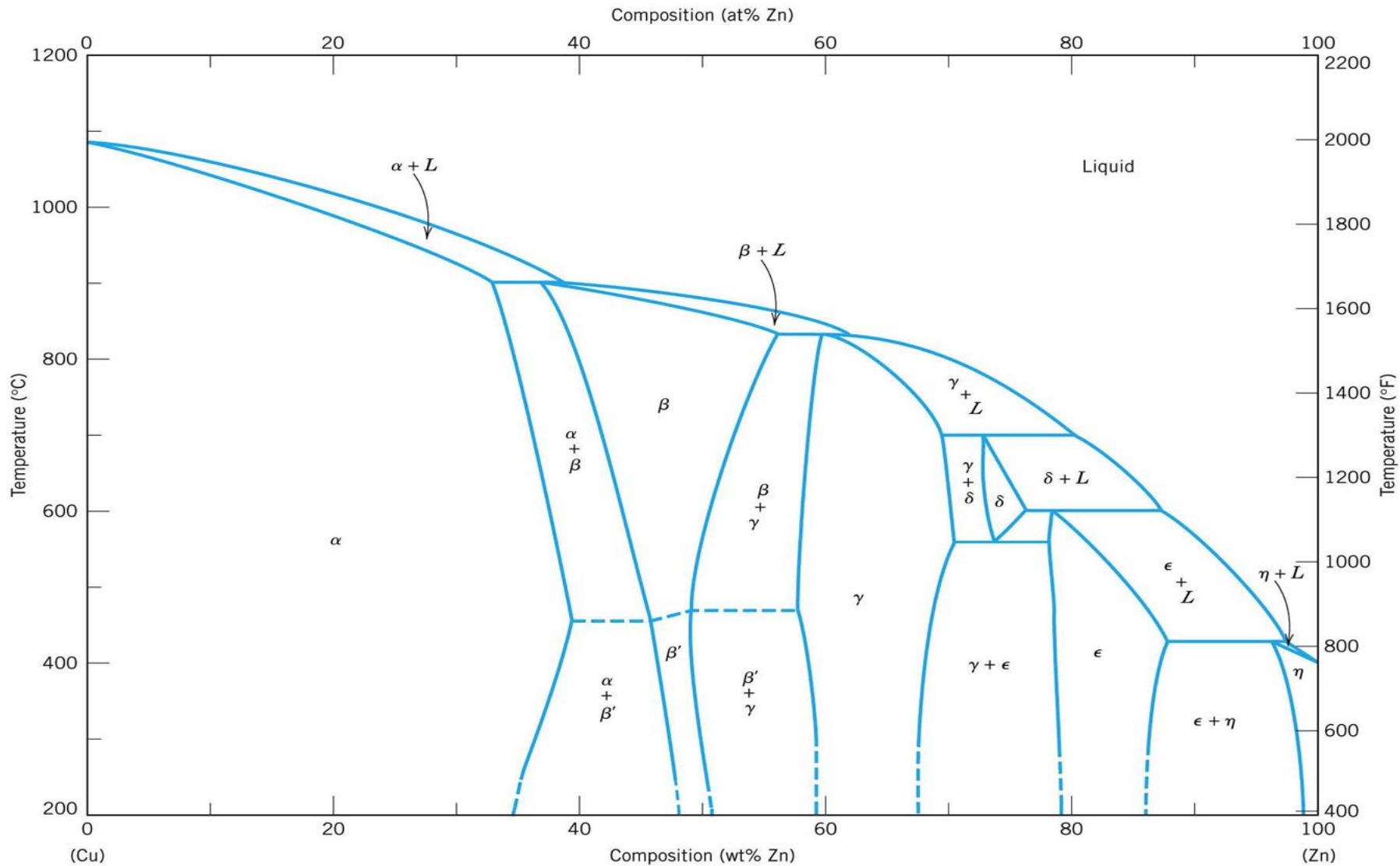


- (a) จะมีเฟส α กับ β
- (b) C_α (10 wt%-Sn – 90 wt% Pb)
 C_β (98 wt%-Sn – 2 wt% Pb)
- (c) ปริมาณเฟส α =
ปริมาณเฟส β =

ตัวอย่าง 2

โลหะผสมหนึ่งในระบบ Pb-Sn มีเฟส α และ β ปรากฏที่อุณหภูมิ 180 °C (อุณหภูมิยูเทคติกเท่ากับ 183 °C) โดยมีปริมาณของ α เท่ากับ 35% โดยน้ำหนัก จงหาส่วนผสมของโลหะผสม และแสดงความคิดเห็นว่ามีเฟส primary ชนิดใดปรากฏ พร้อมประมาณปริมาณของเฟส primary และสเก็ตภาพโครงสร้างจุลภาคที่ปรากฏ ณ อุณหภูมิ 100 °C

แผนภาพของเฟสในระบบ Cu-Zn ที่ปรากฏ INTERMEDIATE PHASES



แผนภาพของเฟสในระบบ Mg-Pb ที่ปรากฏสารประกอบ (compound)

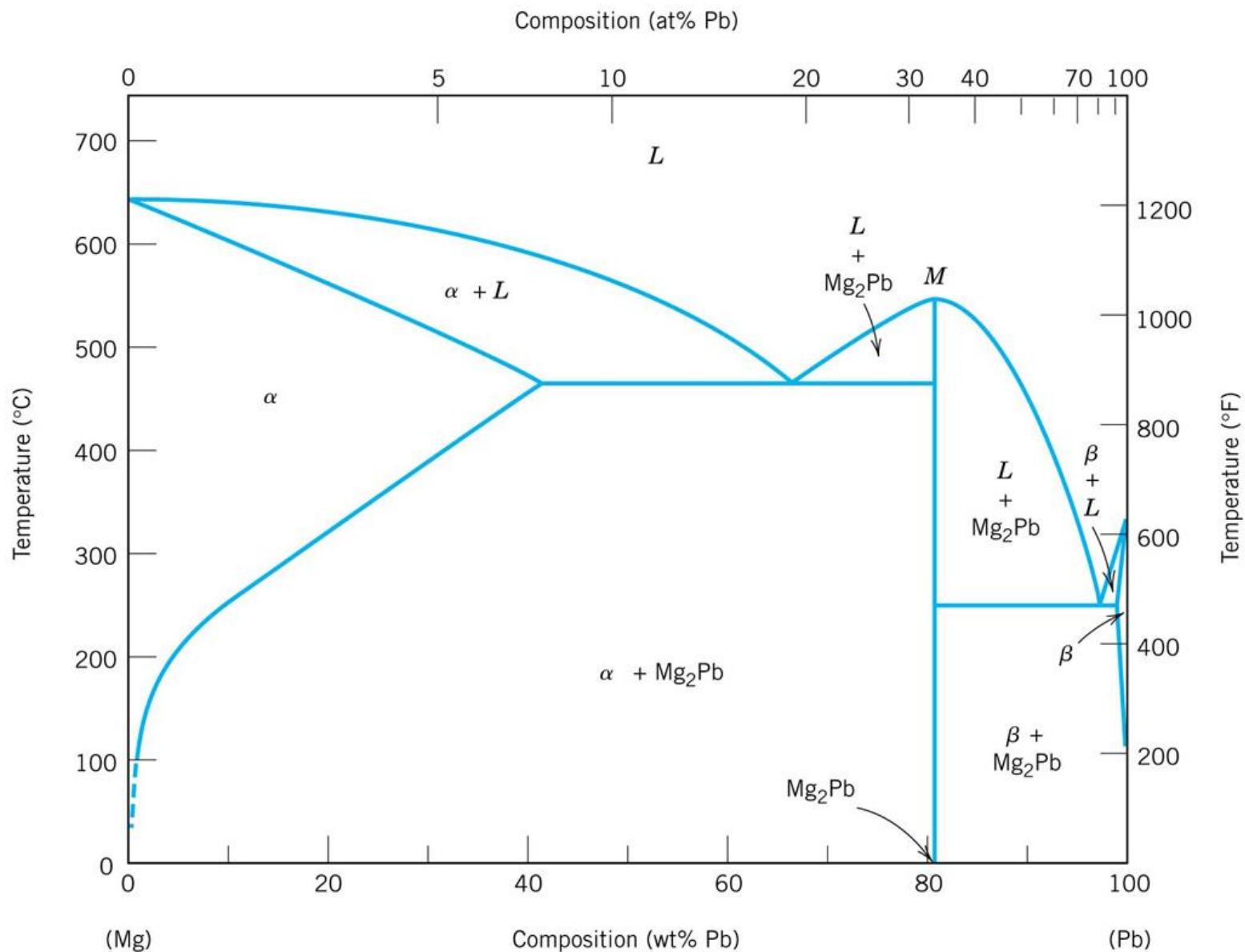
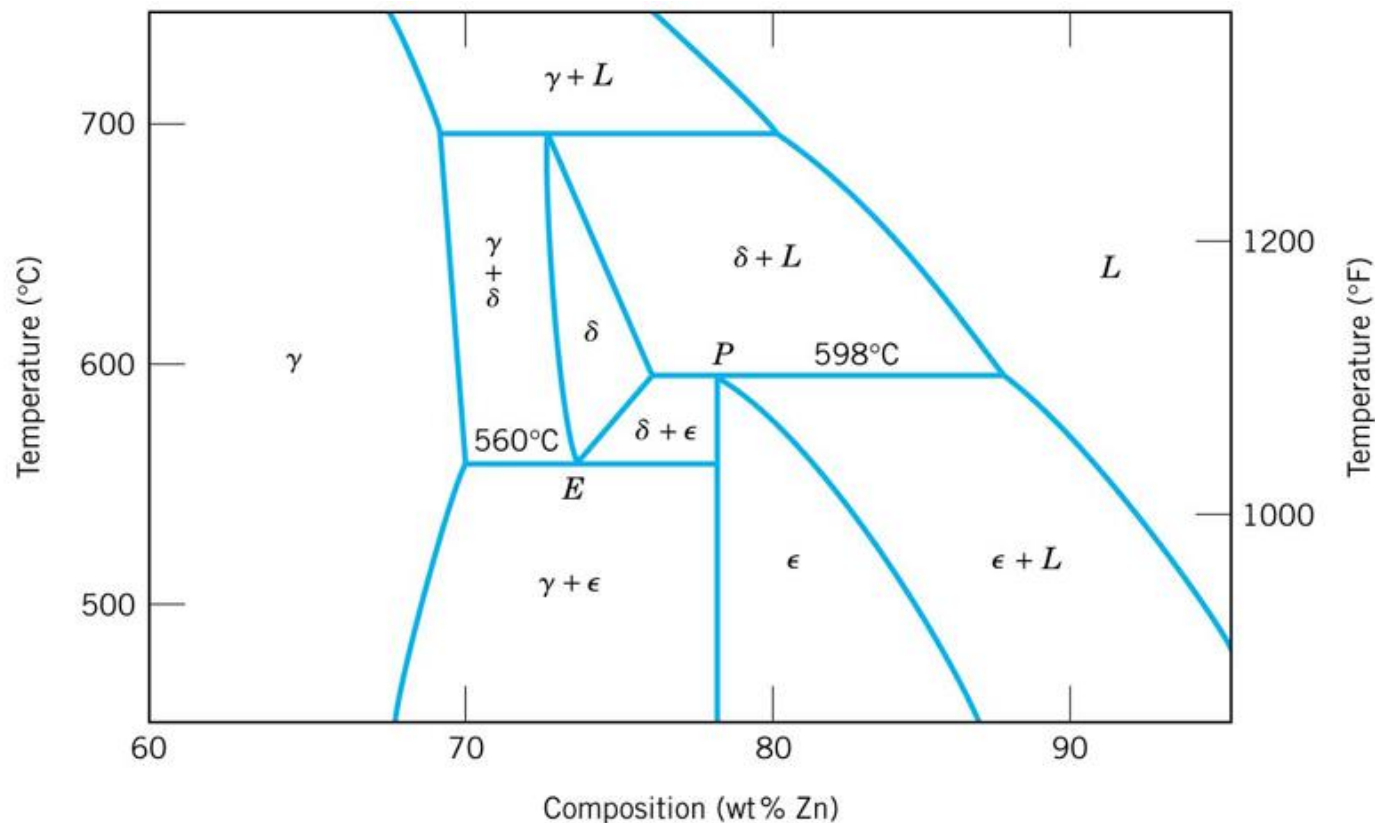


FIGURE 9.19 A region of the copper–zinc phase diagram that has been enlarged to show eutectoid and peritectic invariant points, labeled *E* (560°C, 74 wt% Zn) and *P* (598°C, 78.6 wt% Zn), respectively.

[Adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd edition, Vol. 2, T. B. Massalski (Editor-in-Chief), 1990. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH.]



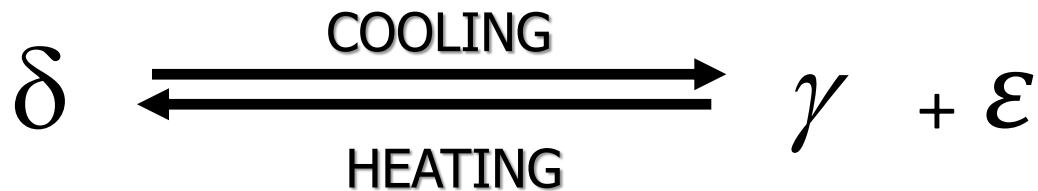
รูปที่ 9.19 ภาพขยายของ Phase Diagram ของโลหะผสม Cu – Zn

แสดงจุด *E*; Eutectoid (560°C – 74 wt% Zn)

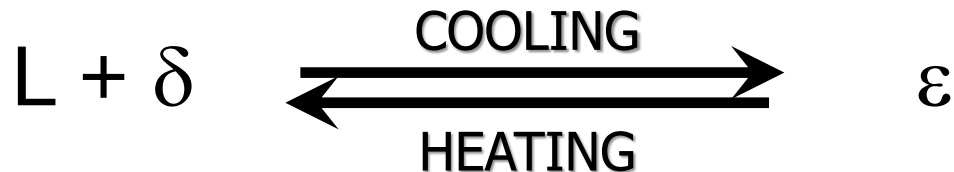
แสดงจุด *P*; Peritectic (598°C – 78.6 wt% Zn)

ปฏิกิริยา EUTECTOID และปฏิกิริยา PERITECTIC

ระบบยูเทคตอย (Eutectoid)



ระบบเพอริเทคติก (Peritectic)



CONGRUENT PHASE TRANSFORMATION

การเปลี่ยนเฟสโดยไม่มีการเปลี่ยนส่วนผสมทางเคมีนั้น เราเรียกว่า Congruent Transformation (ตัวอย่าง จุด M ในแผนภาพเฟสของระบบ Mg-Pb) และถ้าพิจารณาในทางกลับกัน การเปลี่ยนเฟสโดยที่ส่วนประกอบใดส่วนประกอบหนึ่งเปลี่ยนส่วนผสมทางเคมี เราก็เรียกว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบ Incongruent

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. A magnesium-lead alloy of mass 7.5 kg consists of a solid α phase that has a composition just **slightly below the solubility limit at 300°C**
 - (a) What mass of lead is in the alloy?
 - (b) If the alloy is heated to 400°C, how much more lead may be dissolved in the α phase without exceeding the solubility limit of this phase?
2. พิจารณาโลหะผสมหนึ่งในระบบ Cu-Ag ที่อุณหภูมิ 777°C ประกอบด้วย primary α และโครงสร้าง Eutectic พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 0.73 และ 0.27 ตามลำดับ จงหาส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสม