

การประยุกต์ใช้ และกระบวนการของโลหะผสม (Applications and Processing of Metal Alloys)



Learning Objective

ประเด็นสำคัญ

- How are metal alloys classified and how are they used?
- What are some of the common fabrication techniques?
- How do properties vary throughout a piece of material that has been quenched, for example?
- How can properties be modified by post heat treatment?

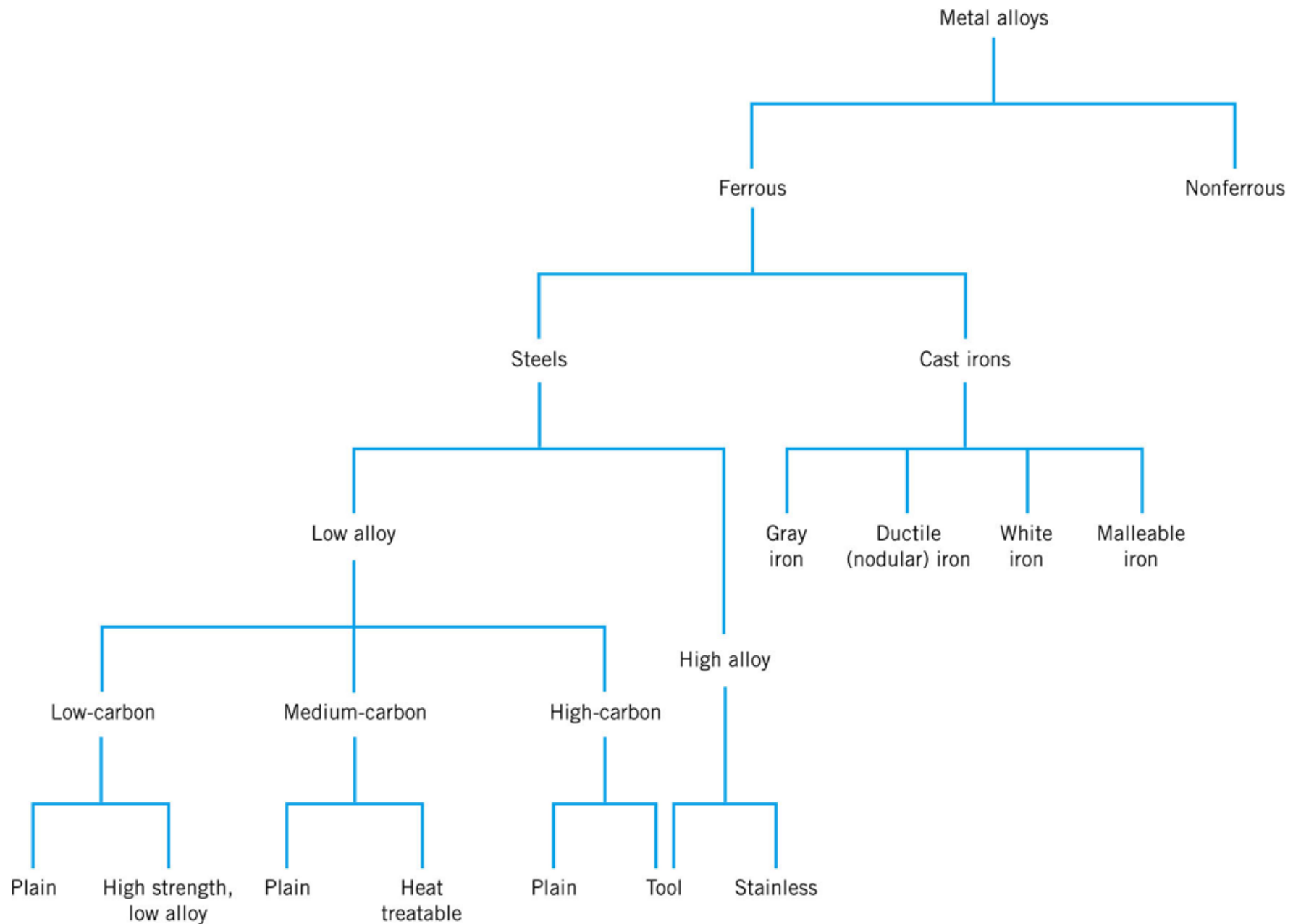


FIGURE 11.1 Classification scheme for the various ferrous alloys.

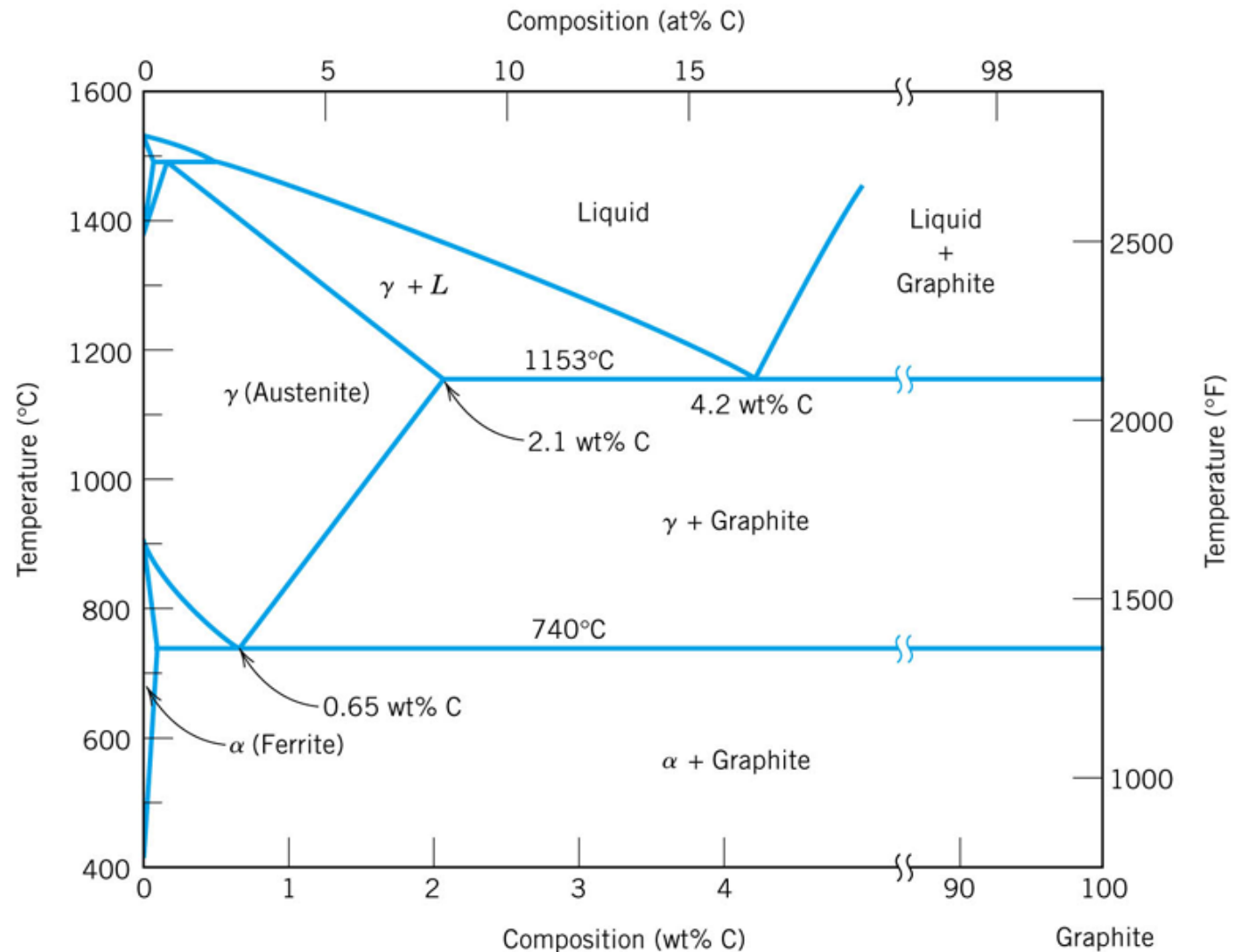
STEELS

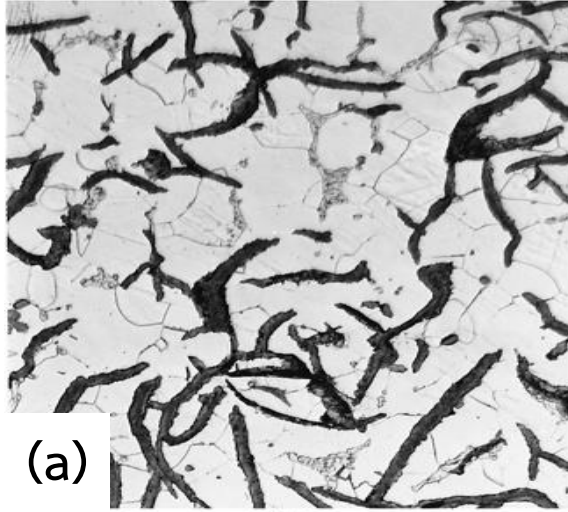
	Low Alloy				High Alloy		
	low carbon <0.25wt%C		med carbon 0.25-0.6wt%C		high carbon 0.6-1.4wt%C		
Name	plain	HSLA	plain	heat treatable	plain	tool	austenitic stainless
Additions	none	Cr, V Ni, Mo	none	Cr, Ni Mo	none	Cr, V, Mo, W	Cr, Ni, Mo
Example	1010	4310	1040	4340	1095	4190	304
Hardenability	0	+	+	++	++	+++	0
TS	-	0	+	++	+	++	0
EL	+	+	0	-	-	--	++
Uses	auto struc. sheet	bridges towers press. vessels	crank shafts bolts hammers blades	pistons gears wear applic.	wear applic.	drills saws dies	high T applic. turbines furnaces V. corros. resistant

increasing strength, cost, decreasing ductility

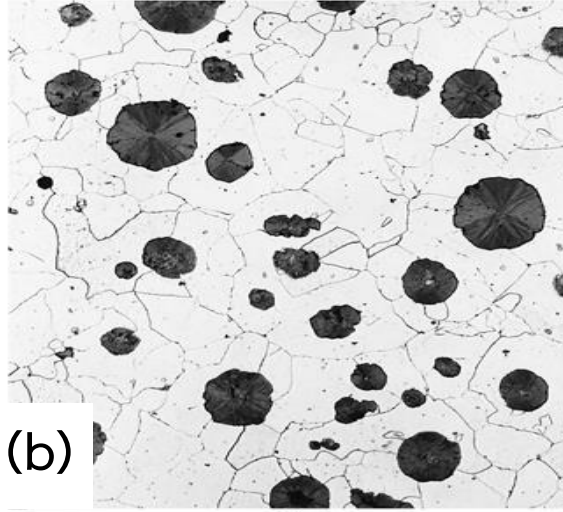
Cast Irons

FIGURE 11.2 The true equilibrium iron–carbon phase diagram with graphite instead of cementite as a stable phase. [Adapted from *Binary Alloy Phase Diagrams*, T. B. Massalski, (Editor-in-Chief), 1990. Reprinted by permission of ASM International, Materials Park, OH.]

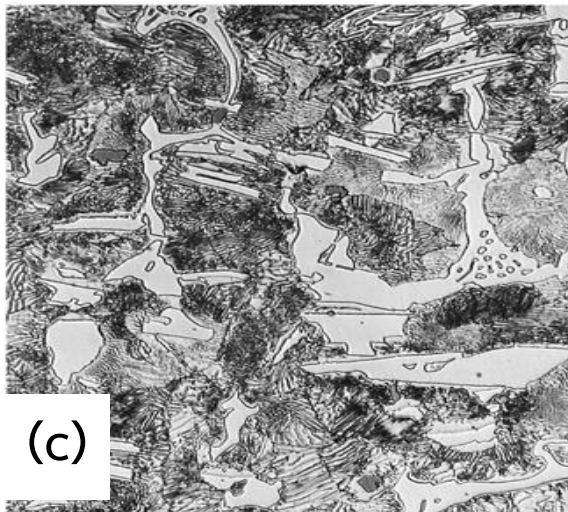




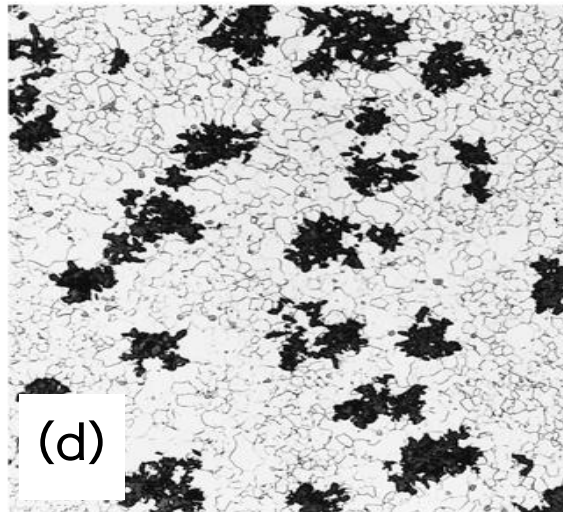
(a)



(b)



(c)



(d)

(a) Gray Iron

(b) Nodular or Ductile
Iron

(c) White Iron

(d) Malleable

FIGURE 11.3 Optical photomicrographs of various cast irons. (a) Gray iron: the dark graphite flakes are embedded in an α -ferrite matrix. 500 $\times$. [Courtesy of C. H. Brady, National Bureau of Standards, Washington, DC (now the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD).] (b) Nodular (ductile) iron: the dark graphite nodules are surrounded by an α -ferrite matrix. 200 $\times$. [Courtesy of C. H. Brady and L. C. Smith, National Bureau of Standards, Washington, DC (now the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD).] (c) White iron: the light cementite regions are surrounded by pearlite, which has the ferrite-cementite layered structure. 400 $\times$. (Courtesy of Amcast Industrial Corporation.) (d) Malleable iron: dark graphite rosettes (temper carbon) in an α -ferrite matrix. 150 $\times$. (Reprinted with permission of the Iron Castings Society, Des Plaines, IL.)

NONFERROUS ALLOYS

• Cu Alloys

Brass: Zn is subst. impurity
(costume jewelry, coins,
corrosion resistant)

Bronze: Sn, Al, Si, Ni are
subst. impurity
(bushings, landing
gear)

Cu-Be:
precip. hardened
for strength

• Ti Alloys

-lower ρ : 4.5g/cm^3

vs 7.9 for steel
-reactive at high T
-space applic.

• Al Alloys

-lower ρ : 2.7g/cm^3

-Cu, Mg, Si, Mn, Zn additions
-solid sol. or precip.

strengthened (struct.
aircraft parts
& packaging)

• Mg Alloys

-very low ρ : 1.7g/cm^3

-ignites easily
-aircraft, missiles

• Refractory metals

-high melting T

-Nb, Mo, W, Ta

NonFerrous Alloys

• Noble metals

-Ag, Au, Pt

-oxid./corr. resistant



Cu Alloy



Al Alloy



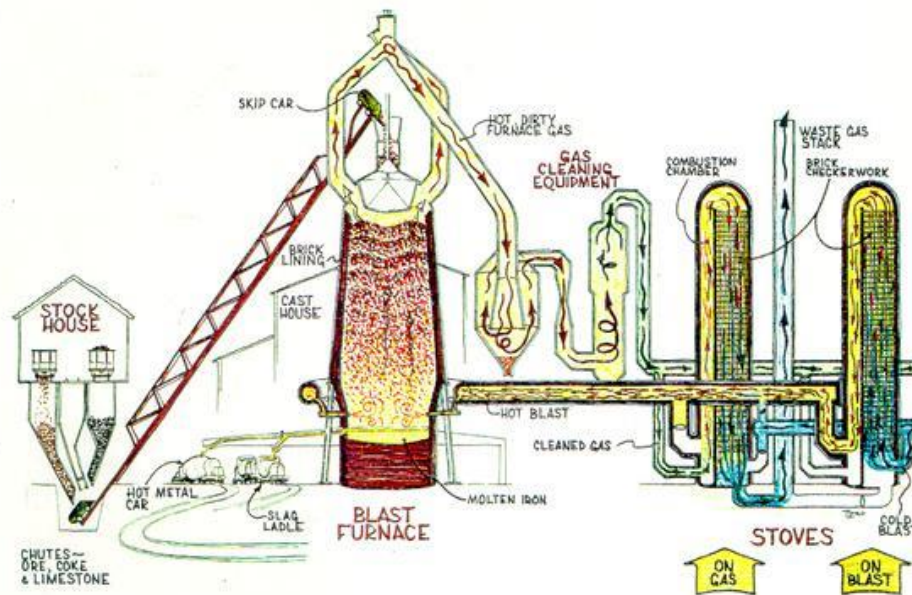
Mg Alloy



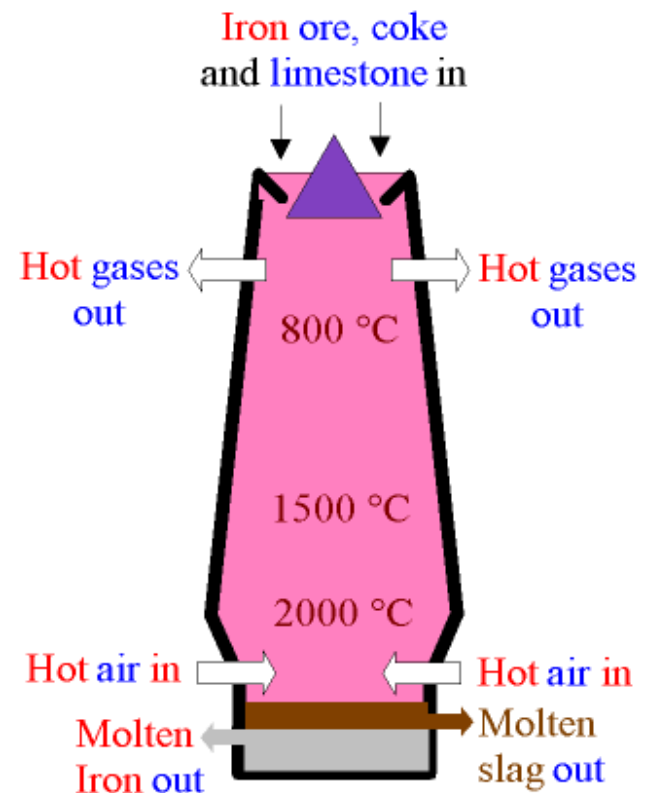
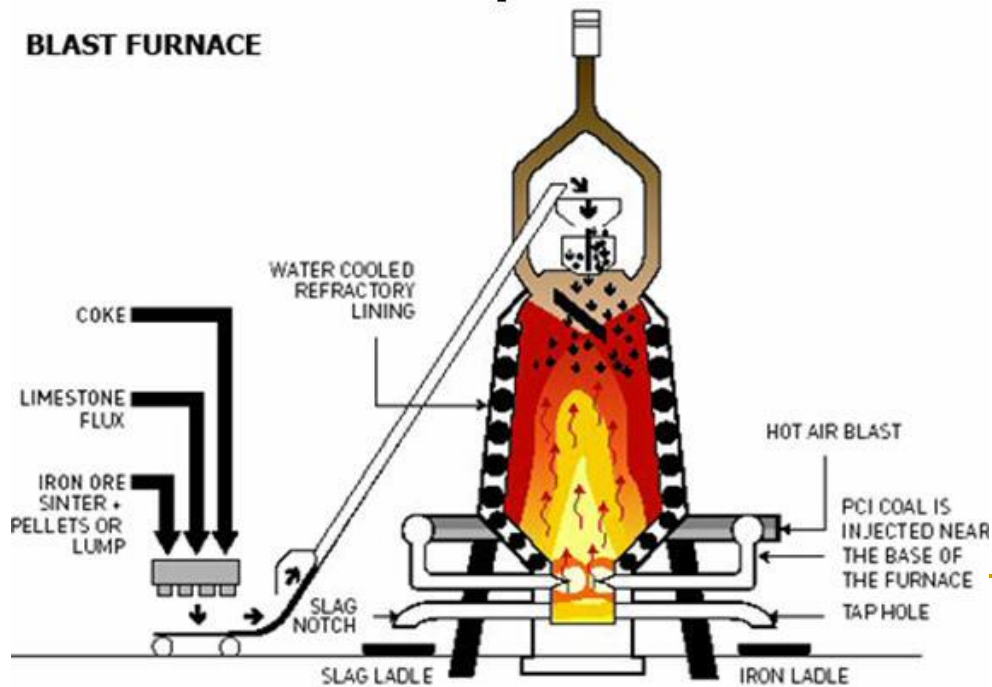
Noble Metal

Fabrication of Metals

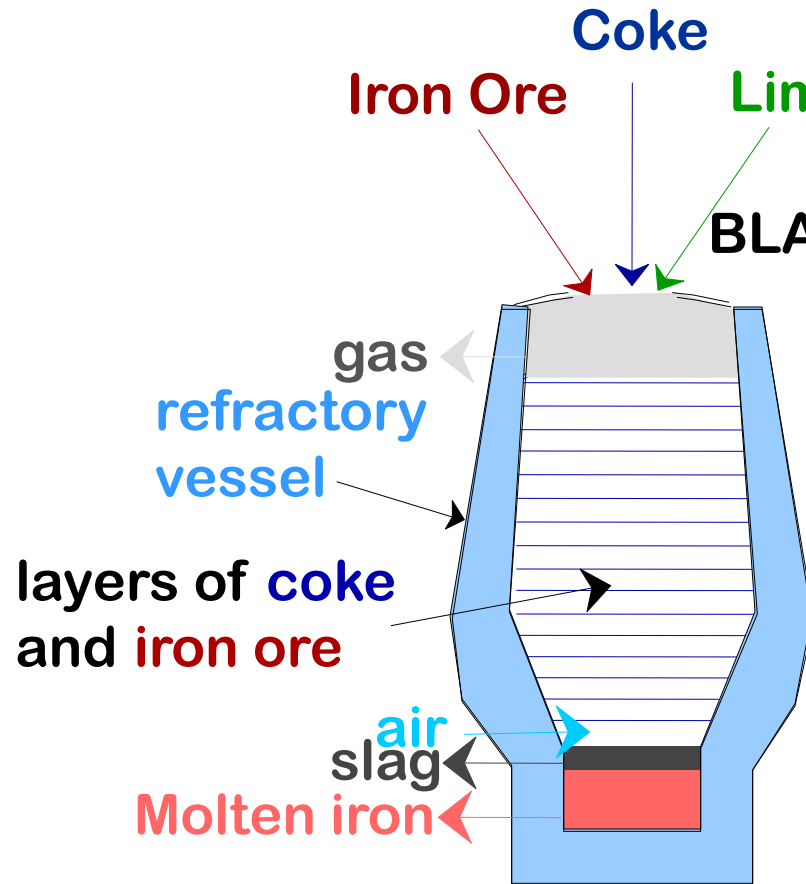
- เหล็กส่วนใหญ่ถูกสกัดจากแร่เหล็กในเตาหลอมเหล็กที่ใช้ลมเป่า (blast furnace) ภายในเตาหลอมนั้น ถ่าน coke (คาร์บอน) ซึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นแก๊ส CO และทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) เพื่อรีดิวซ์เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ให้เป็นเหล็กถลุง (pig iron) ที่มีปริมาณคาร์บอนอยู่ประมาณ 4% และสารเจือปนต่างๆ จากนั้นเหล็กถลุงในสภาพของเหลวจากเตาหลอมจะถูกถ่ายเทลงในเตาผลิตเหล็กกล้า (steelmaking furnace)



BLAST FURNACE

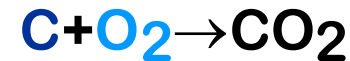


ปฏิกิริยาเคมีสำคัญที่เกิดขึ้นในเตา Blast furnace

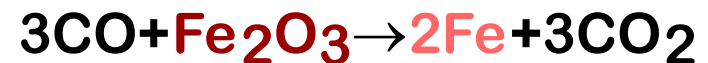


BLAST FURNACE

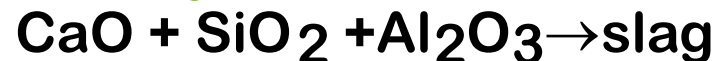
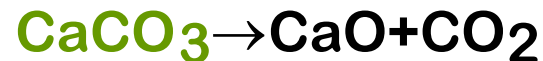
heat generation



reduction of iron ore to metal



purification



Metal fabrication techniques

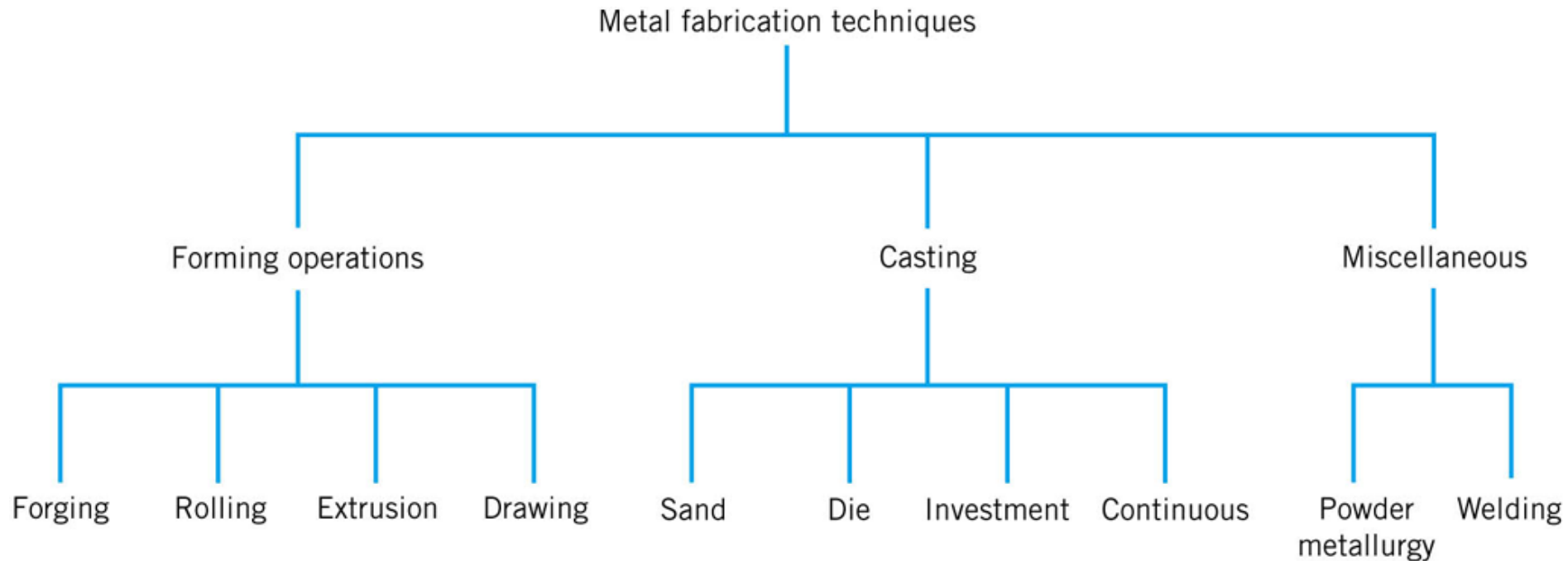
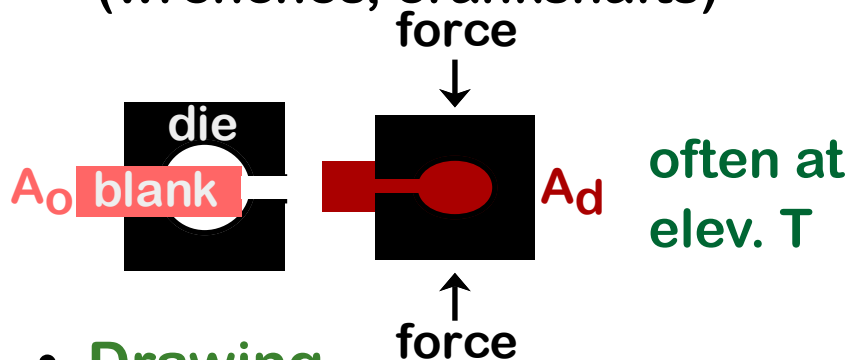


FIGURE 11.6 Classification scheme of metal fabrication techniques discussed in this chapter.

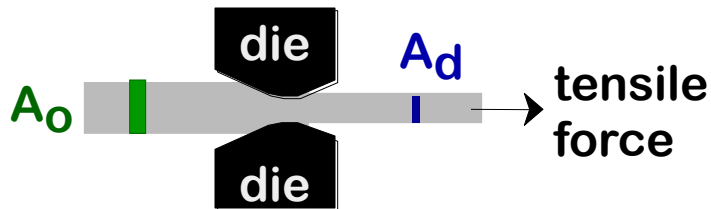
METAL FABRICATION METHODS-I

FORMING

- **Forging**
(wrenches, crankshafts)



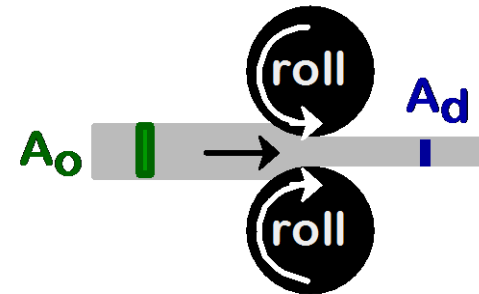
- **Drawing**
(rods, wire, tubing)



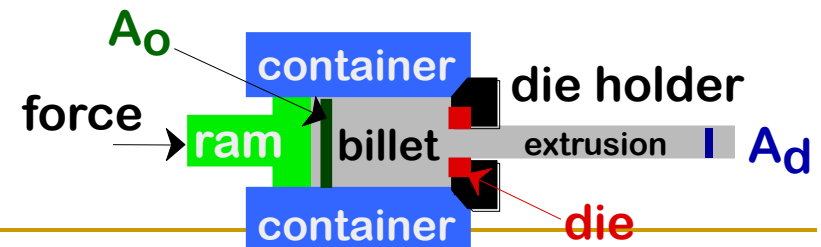
CASTING

JOINING

- **Rolling**
(I-beams, rails)



- **Extrusion**
(rods, tubing)





Forging Machine



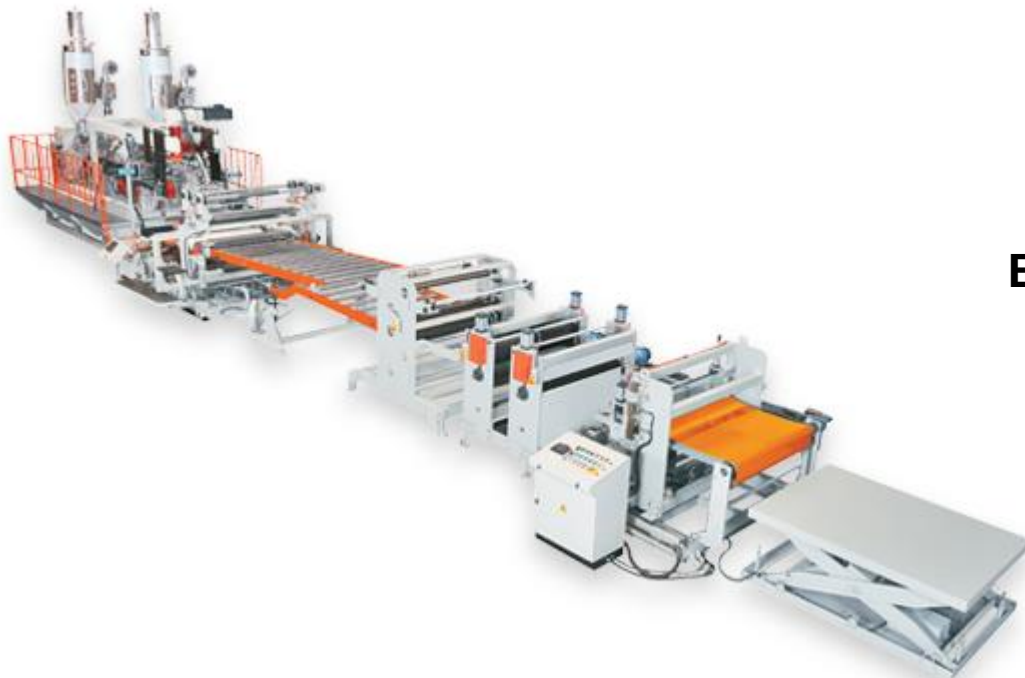
Rolling Machine



Straight line Wire Drawing Machine



Copper Wire Drawing Machine



Extrusion Machine

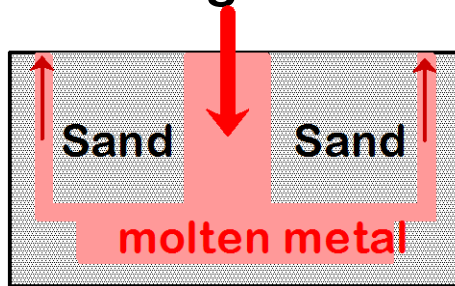
METAL FABRICATION METHODS-II

FORMING

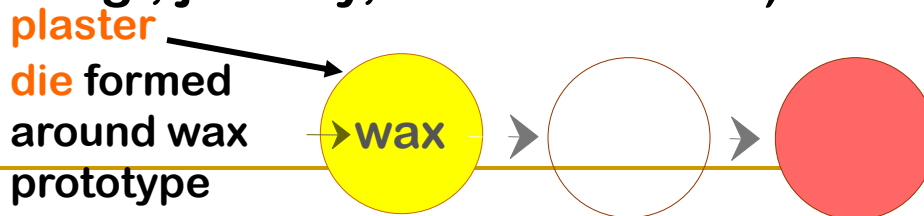
CASTING

JOINING

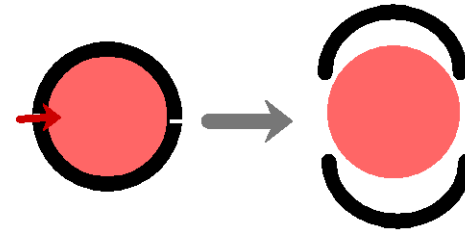
- **Sand Casting**
(large parts, e.g.,
auto engine blocks)



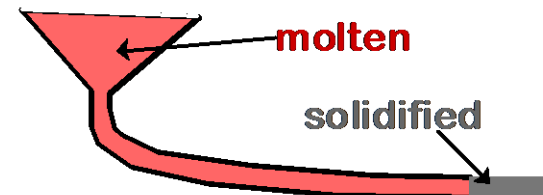
- **Investment Casting**
(low volume, complex shapes
e.g., jewelry, turbine blades)

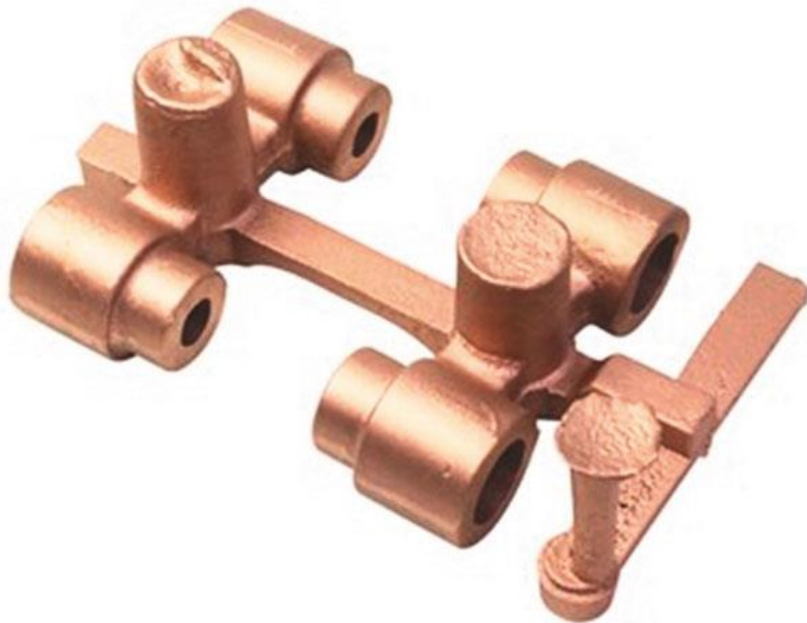
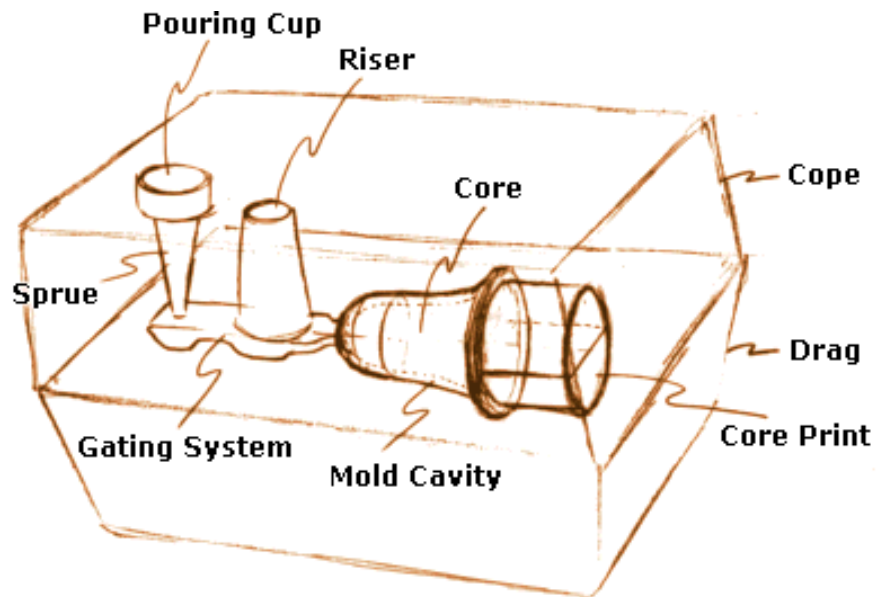


- **Die Casting**
(high volume, low T alloys)

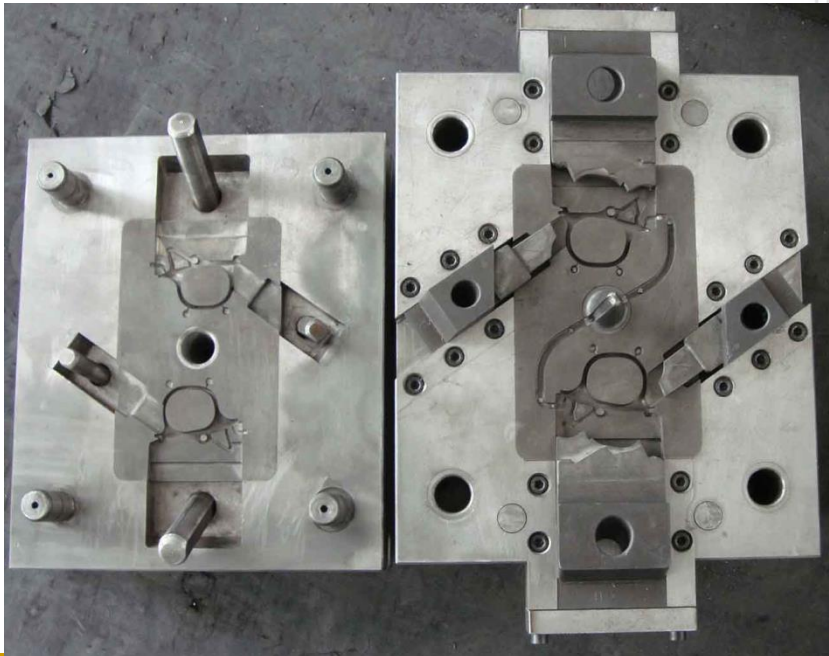


- **Continuous Casting**
(simple slab shapes)

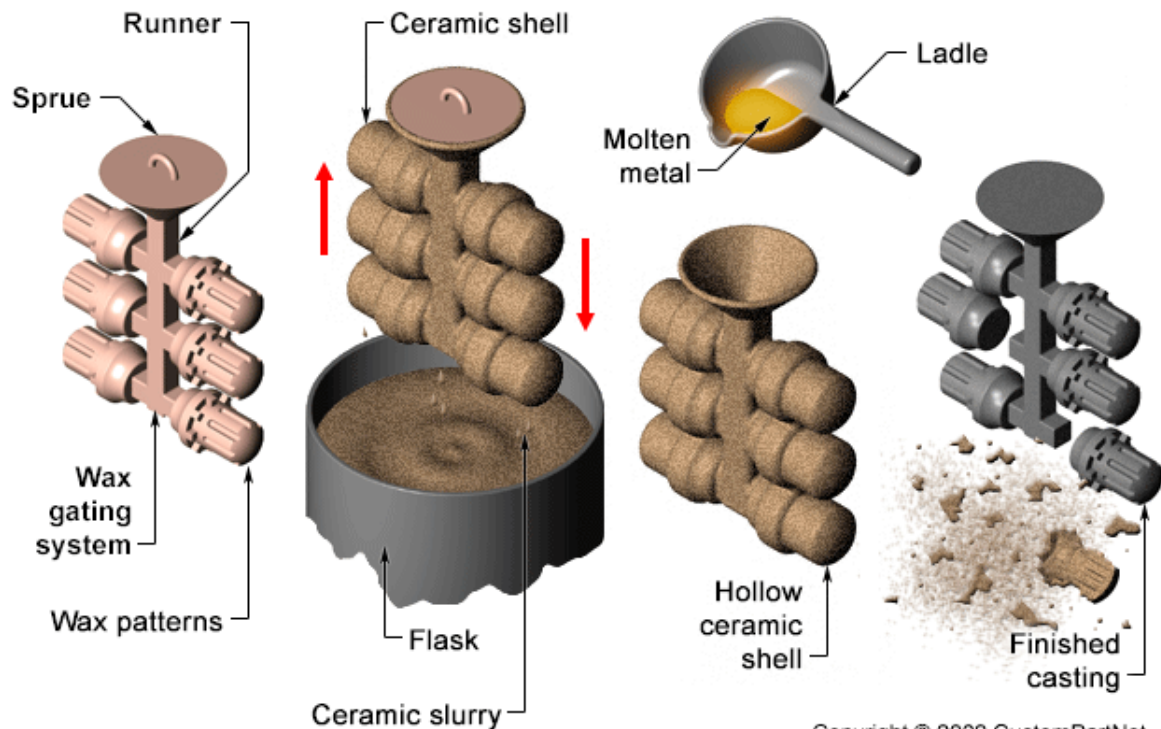




Sand Casting



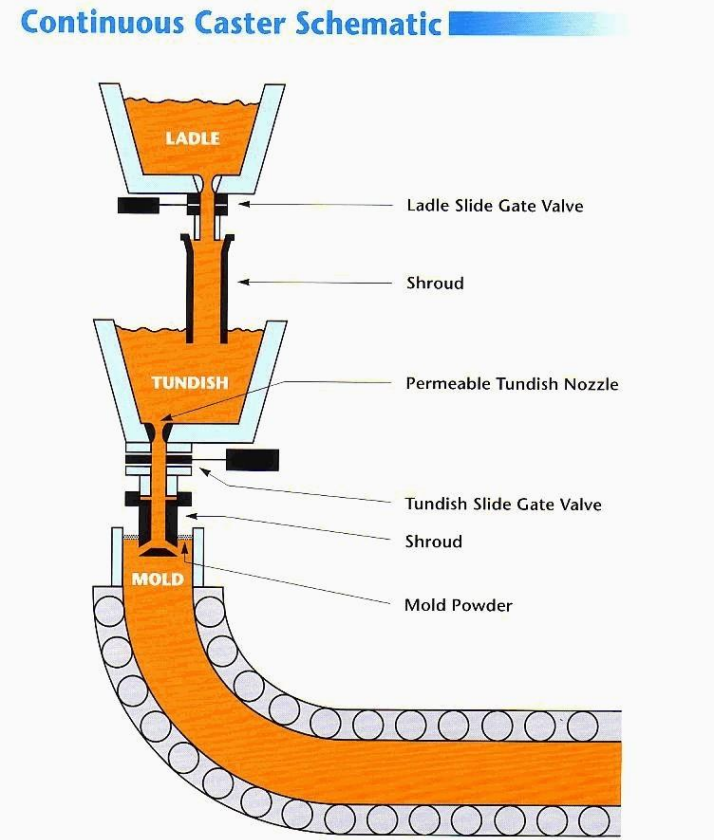
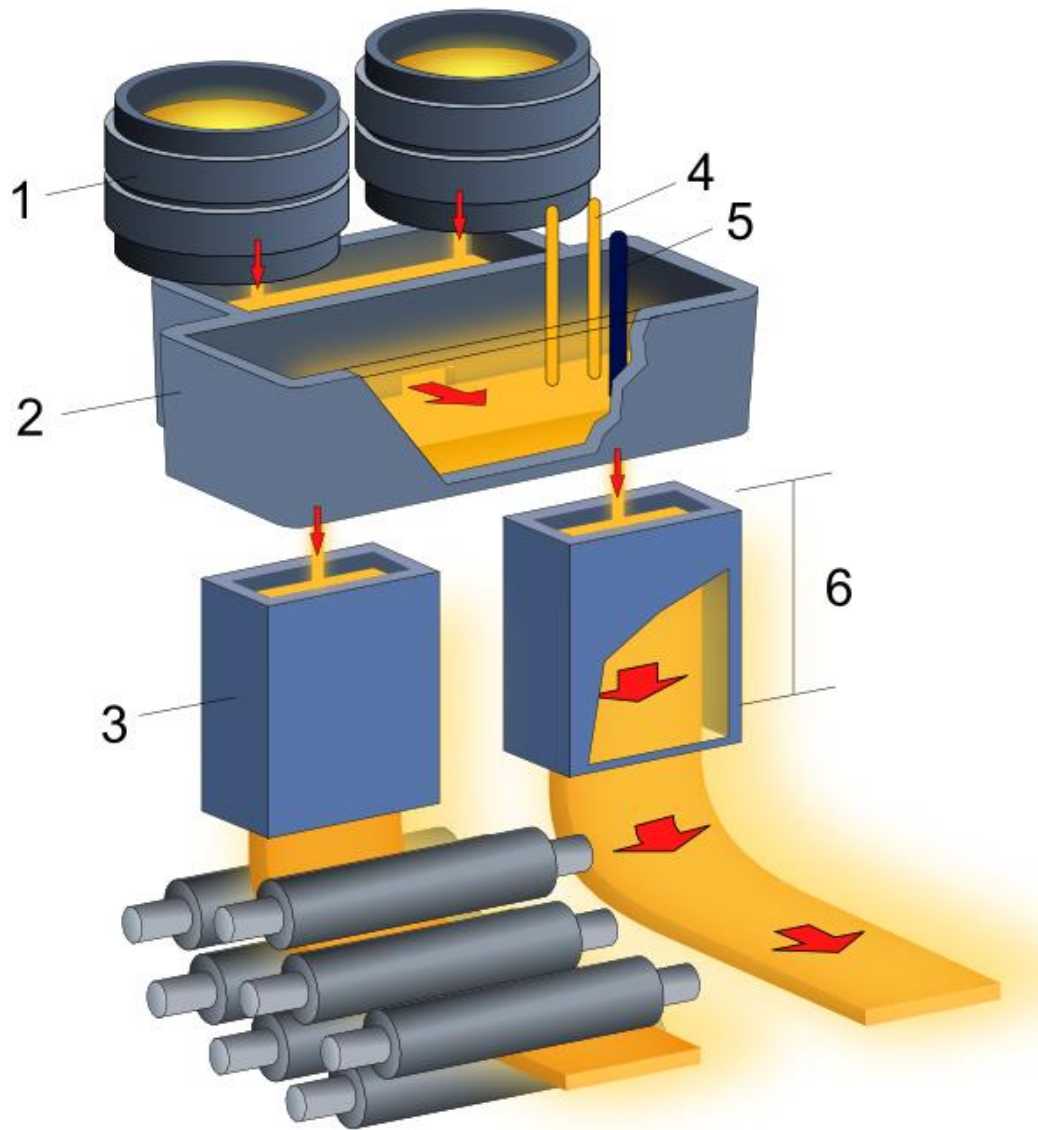
Die Casting



Copyright © 2008 CustomPartNet



Investment Casting

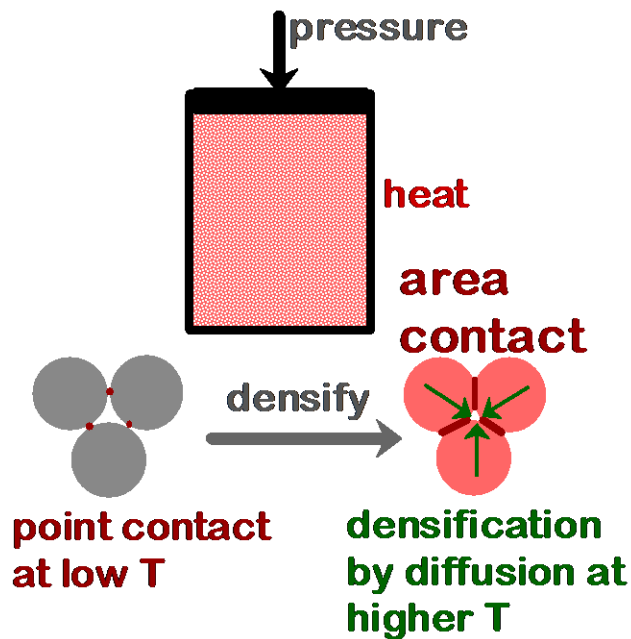


Continuous Casting

METAL FABRICATION METHODS-III

FORMING

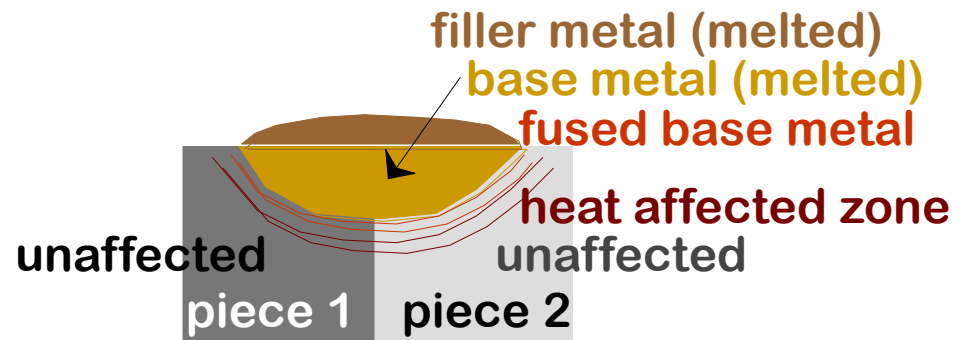
- **Powder Processing**
(materials with low ductility)



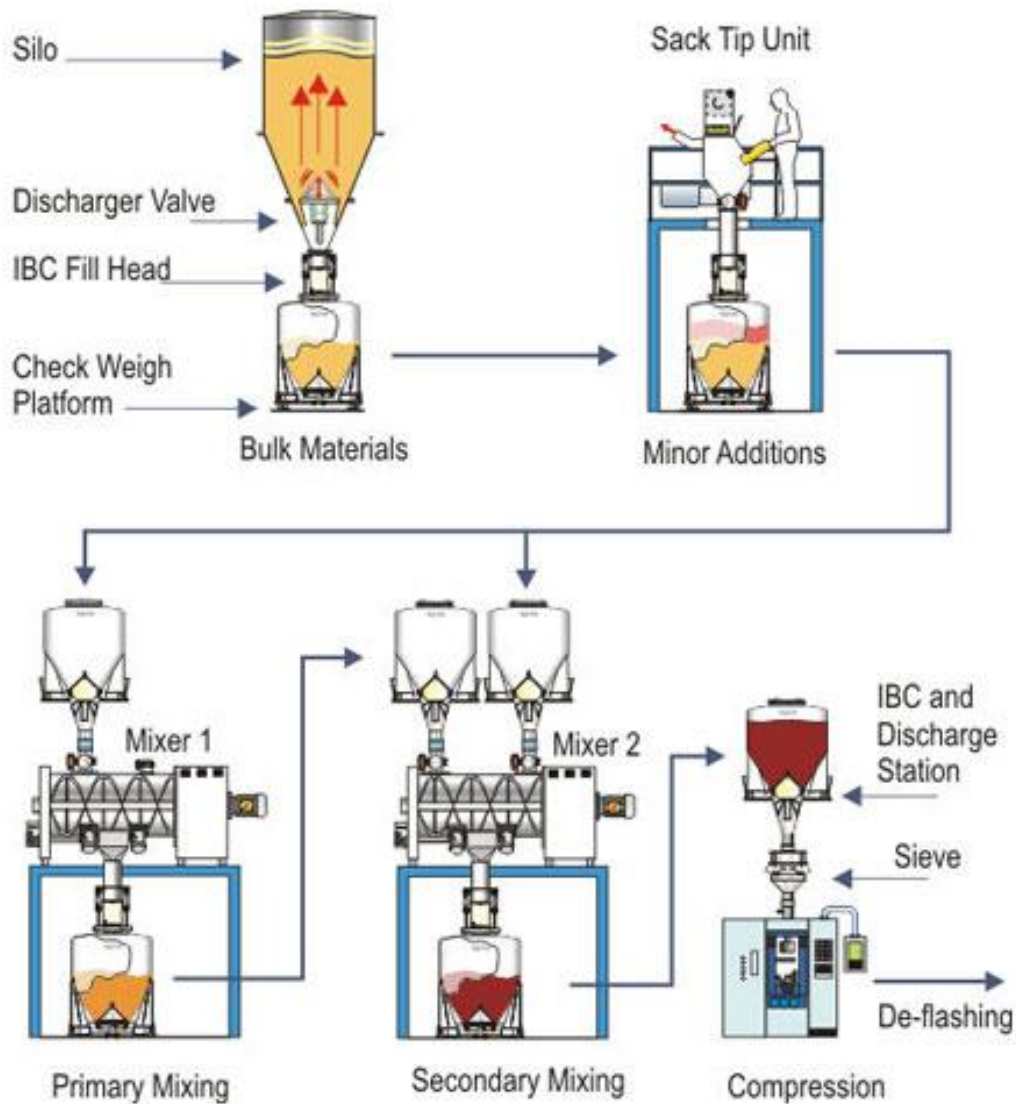
CASTING

JOINING

- **Welding**
(when one large part is impractical)



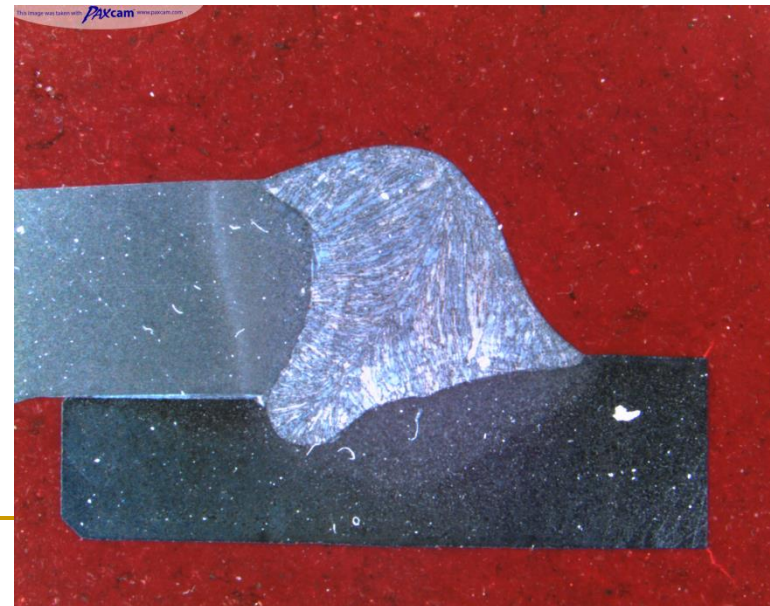
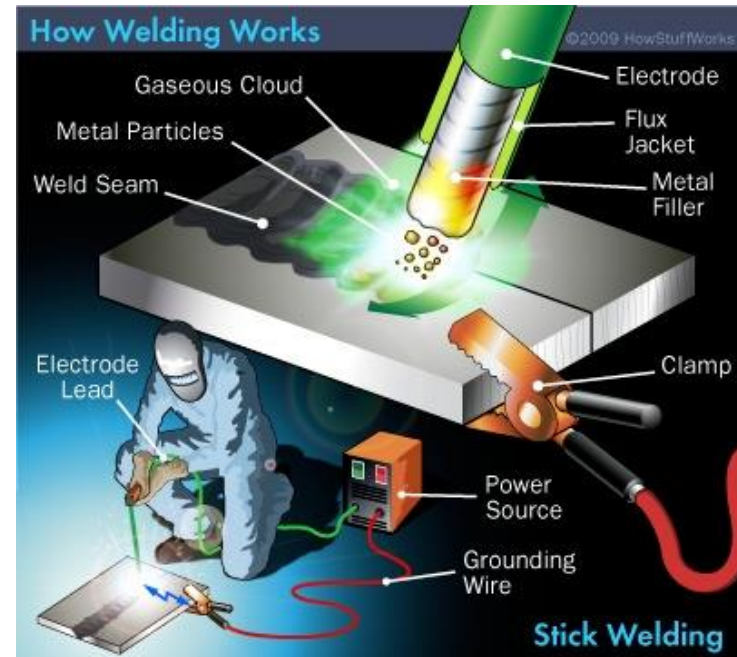
- **Heat affected zone:**
(region in which the microstructure has been changed).



Powder Processing

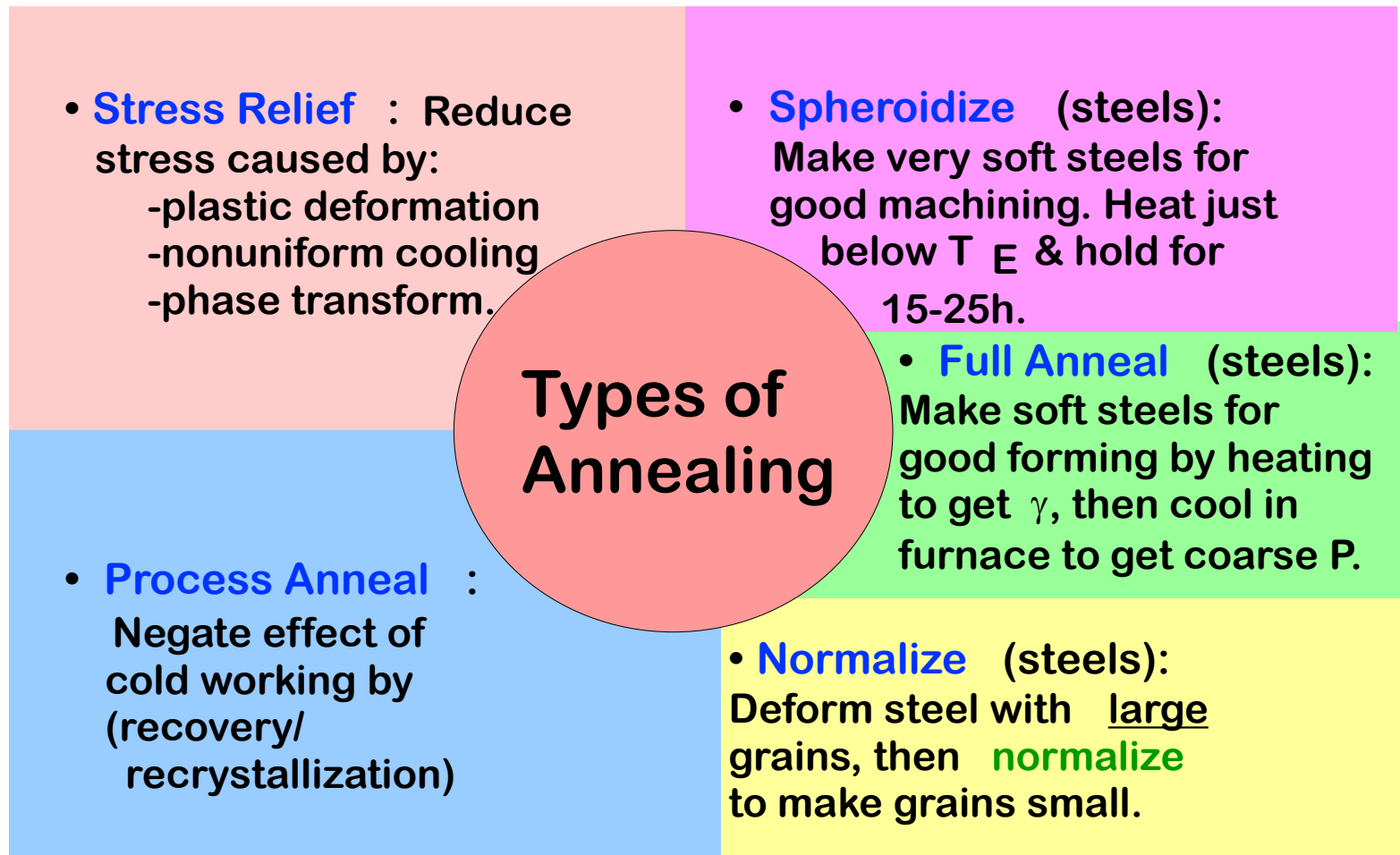


Welding



กระบวนการทางความร้อนของโลหะ (Thermal Processing of Metals)

Annealing: Heat to T_{anneal} , then cool slowly.



ANNEALING PROCESSES

หมายถึง กระบวนการทางความร้อนที่จะทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงค่าหนึ่ง แล้วคงไว้ในช่วงเวลาที่ยาวนานพอจากนั้นจึงปล่อยให้วัสดุเย็นตัวลงมาอย่างช้าๆ กระบวนการ Annealing นี้

1. จะไปทำให้วัสดุคลายความเค้นที่สะสมอยู่ (Relieve Stresses)
2. เพิ่มความอ่อนตัว, ความยืดหยุ่นและความทนทานให้กับวัสดุ (Increase softness, Ductility และ Toughness)
3. ทำให้วัสดุปรากฏโครงสร้างที่ต้องการ

กระบวนการ ANNEALING

ขั้นตอน Annealing นั้นจะประกอบไปด้วย

- เพิ่มความร้อนให้วัสดุ ไปยังอุณหภูมิที่เราต้องการ (Heating)
- คงสถานะที่อุณหภูมินั้นไว้ ซึ่งเราเรียกว่าการ “Soaking”
- ปลอ่ยให้วัสดุเย็นตัวลงมา ณ อุณหภูมิห้อง (Cooling)

สาเหตุของความเค้นตกค้าง (Residual Stress)

ความเค้นที่สะสมอยู่ภายในนั้นมักจะเกิดจากการกระทำดังต่อไปนี้

1. กระบวนการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกต่างๆ (Plastic deformation)
2. การเย็นตัวอย่างไม่สมดุล (nonuniform cooling) ของชิ้นวัสดุ เช่น ชิ้นวัสดุที่ผ่านการเชื่อม หรือการหล่อ
3. กระบวนการเปลี่ยนโครงสร้าง (Phase) ที่เกิดจากเย็นตัวของโครงสร้างเดิมและโครงสร้างใหม่ที่มีความหนาแน่นที่แตกต่างกันระหว่างการเย็นตัว

การอบอ่อนเพื่อขจัดความเครียดตกค้าง (Stress-Relief Annealing)

โดยเผาเหล็กไปยังอุณหภูมิที่ต่ำกว่า A_1 ประมาณ 50°C (หรือที่ประมาณ $500-650^\circ\text{C}$) คงไว้ที่อุณหภูมินี้ (Soaking) ประมาณ 1 ชั่วโมงต่อขนาดของชิ้นงาน 1 ลูกบาศก์นิ้ว หลังจากนั้นทำให้เย็นตัวในอากาศ

กระบวนการ Full ANNEALING ของเหล็กกล้าผสม

มีความมุ่งหมายเพื่อให้เหล็กมีความอ่อนตัวสูง โดยเป็นการทำลาย Martensite อีกทั้งช่วยในการกลึง หรือไสได้ง่าย และทำให้เหล็กมีคุณสมบัติด้านไฟฟ้า และแม่เหล็กสม่ำเสมอขึ้น มักใช้กับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและปานกลาง

อุณหภูมิที่ใช้เผาเหล็กกล้า เราแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

1. Hypo-Eutectoid Steels ($\%C < 0.76$) จะเผาไปที่อุณหภูมิเหนือเส้น A_3 ประมาณ $15-40^\circ\text{C}$ แล้วจากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงช้าๆในเตา
2. Hyper-Eutectoid Steel ($\%C > 0.76$) อุณหภูมิการอบอ่อนจะอยู่ที่เหนือเส้น A_1 ประมาณ $15-40^\circ\text{C}$ แล้วลดอุณหภูมิลงมาอย่างช้าๆในเตา

การอบอ่อนเพื่อความอ่อนตัวสูง (Spheroidizing)

เป็นกรรมวิธีการอบอ่อนที่ใช้กับเหล็กที่มีคาร์บอนปานกลางและสูง (ประมาณ 0.25-1.2%C) มีหลายวิธีดังนี้

โดยทั่วไปให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิต่ำกว่าเส้น A₁ เล็กน้อย (ประมาณ 700 °C) โดยจะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 15 – 25 ชั่วโมง จากนั้นก็ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

หรือทำได้โดยการนำเหล็กไปเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า A₁ เล็กน้อย (740 °C) แล้วทำให้เย็นตัวในเตา

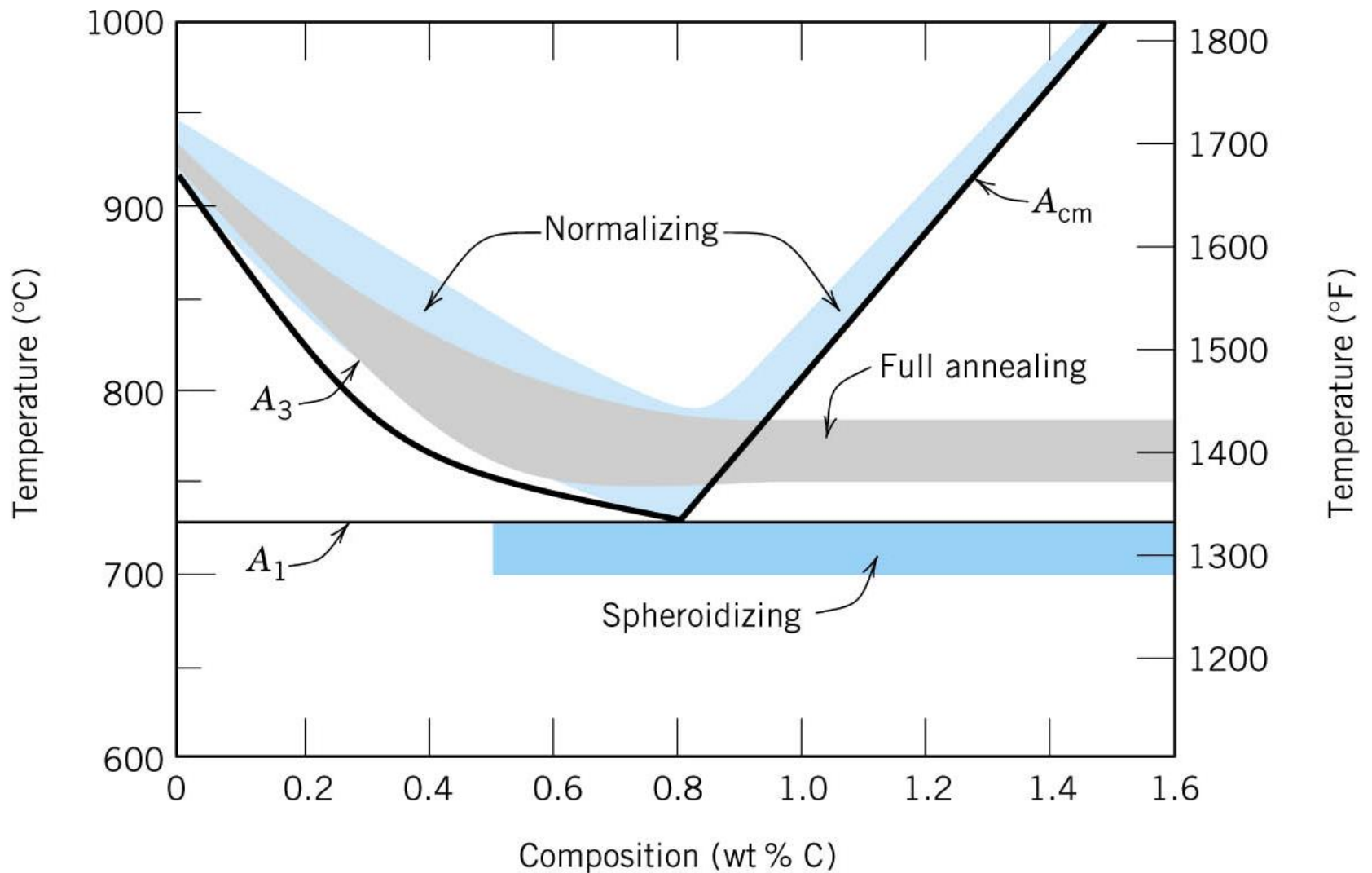
หรือจะเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้น A₁ เล็กน้อย แล้วปล่อยให้สูงขึ้นไปเหนือเส้น A₁ อย่างนี้สลับกันไปเรื่อยๆ

การอบปกติ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ (NORMALIZING)

มีจุดประสงค์สำคัญหลายประการ คือ

1. เพื่อให้ขนาดเกรนเล็กลงและสม่ำเสมอขึ้น
2. ขนาดเกรนที่เล็กลงของโครงสร้างเพิร์ลไลต์จะแกร่งมากขึ้น

การทำ Normalizing ใช้วิธีเผาเหล็กให้ร้อนจนมีอุณหภูมิสูง (อยู่ในช่วง Austenite) ทั้งเหล็ก HypoEutectoid (เผาเหนือเส้น A_3 ประมาณ 55-85°C) และเหล็ก HyperEutectoid (เผาเหนือเส้น A_{CM} ประมาณ 55°C) ทั้งไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าวประมาณ 30-60 นาทีต่อความหนาเฉลี่ย 25 มม. จากนั้นนำออกจากเตาปล่อยให้เย็นตัวในอากาศนิ่ง (อัตราการเย็นตัวประมาณ 1-5°C ต่อวินาที)

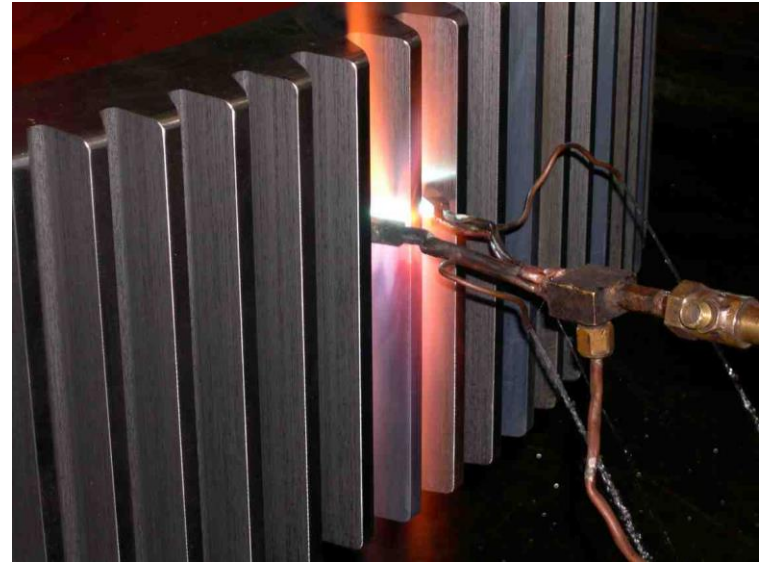


Phase Diagram ของเหล็ก – เหล็กคาร์ไบด์ ในบริเวณปฏิกิริยา Eutectoid
ซึ่งแสดงถึงช่วงอุณหภูมิในขบวนการทางความร้อนต่างๆ

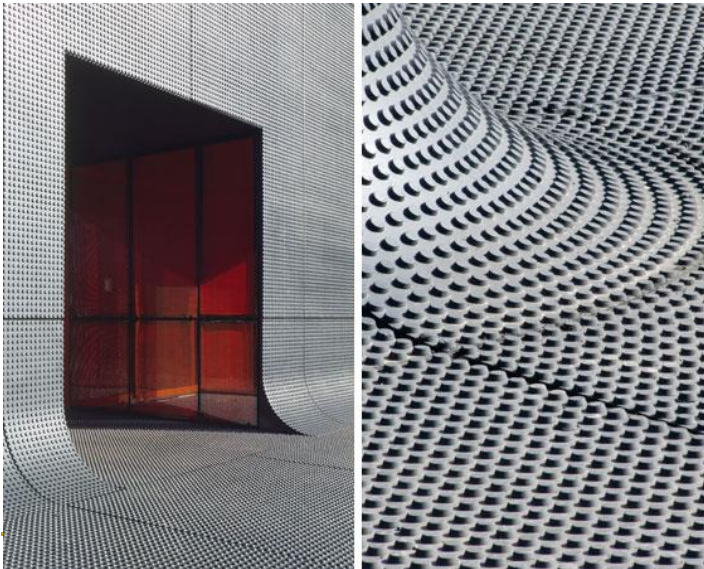
การชุบแข็ง (HARDENING)

คือ การอบชุบความร้อนเพื่อต้องการให้เหล็กภายหลังจากการชุบแล้วมีความแข็งเพิ่มขึ้น เพื่อทนต่อการเสียดสีในขณะใช้งาน การชุบแข็งเป็นวิธีจะให้ได้โครงสร้างของเหล็กสุดท้ายเป็น Martensite หรือ Bainite ขึ้นอยู่กับความแข็งสุดท้ายที่ต้องการ โดยจะมีองค์ประกอบที่สำคัญอย่างน้อย 3 ประการ คือ

1. ปริมาณคาร์บอน
2. อุณหภูมิก่อนการชุบ
3. อัตราการเย็นตัว



Hardening



อุณหภูมิสำหรับการชุบแข็ง (HARDENING TEMPERATURE)

1. Hypo – Eutectoid Steel อุณหภูมิการชุบแข็งจะอยู่เหนือเส้น A_3 ประมาณ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอุณหภูมินี้จะได้โครงสร้างที่เป็น Austenite แล้วทั้งหมด

2. Hyper – Eutectoid Steel จะใช้อุณหภูมิเหนือเส้น A_1 ประมาณ $30\text{-}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ เท่านั้น จะเห็นว่าในช่วงของอุณหภูมินี้ จะปรากฏโครงสร้างของ Proeutectoid Cementite เหลืออยู่บางส่วนเท่านั้น ที่กลายไปเป็น Austenite ส่วน Cementite ที่เหลืออยู่นี้จะกระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้างของ Austenite เมื่อนำไปชุบน้ำจะได้โครงสร้าง Martensite โดยมี Proeutectoid Cementite แทรกตัวอยู่ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อความแข็งของเหล็ก ทั้งนี้เพราะ Cementite มีความแข็งประมาณ $700 - 800\text{ HB}$ ซึ่งแข็งกว่าโครงสร้าง Martensite ($650\text{-}700\text{ HB}$) แต่ประเด็นที่สำคัญคือ จะต้องเลือกอุณหภูมิที่จะไม่เกิดโครงสร้าง Proeutectoid Cementite ในลักษณะต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ตามขอบ

การชุบแข็ง MARTEMPERING

การชุบแข็งแบบ **Martempering** จะได้โครงสร้างสุดท้ายเป็น **Martensite** เช่นเดียวกับการชุบแข็งปกติ จะต้องใช้อ่างเกลือหลอมละลาย (Salt Bath) ที่อุณหภูมิ ต่ำ (ประมาณ 40°C) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เกลือผสมระหว่าง Sodium Nitrate กับ Potassium Nitrate (40-50%) ซึ่งของผสมนี้จะหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 145°C ดังนั้นจึง มีช่วงอุณหภูมิในการใช้งานอยู่ระหว่าง $160-650^{\circ}\text{C}$ โดยการเผาเหล็กให้อยู่ในช่วงของ Austenite (เหนือเส้น A_1 หรือ A_3 ประมาณ 50°C) แล้วคงอุณหภูมินี้ไว้จนกระทั่ง อุณหภูมิทั้งด้านในและด้านนอกเท่ากันทั้งแท่ง แล้วจึงนำออกมาจากเตา แล้วชุบในอ่าง เกลือผสมที่อุณหภูมิเหนือเส้น MS ในแผนภูมิ TTT จากนั้นปล่อยให้มีการปรับอุณหภูมิ ระยะเวลาหนึ่ง (โดยจะไม่ยาวถึงเวลาที่เกิดโครงสร้าง **Bainite**) จากนั้นนำออกไปชุบ น้ำทันทีเพื่อให้ได้โครงสร้าง **Martensite** จากนั้นนำไปอบคืนตัว (**Tempering**) เพื่อลด ความเครียดต่อไป

การชุบแข็ง AUSTEMPERING

การชุบแข็งมีลักษณะคล้ายกับวิธี Martempering แต่แตกต่างกันที่โครงสร้างสุดท้ายที่ต้องการ คือ **Bainite** ซึ่งอาจจะเป็นแบบขนนก หรือแบบบอซิคุล่า ก็ได้ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิที่จะปล่อยให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้าง อุปกรณ์ที่จะใช้ก็เหมือนกัน

การชุบแข็งจะเริ่มตั้งแต่การเผาเหล็กจนเปลี่ยนเป็น Austenite ทั้งหมดจากนั้นนำออกจากเตาเผา ชุบเหล็กลงในอ่างน้ำเกลือผสม ถ้าต้องการโครงสร้าง Bainite แบบขนนก (**Upper Bainite**) อุณหภูมิในอ่างเกลือผสมควรอยู่ที่ **450-550°C** แต่ถ้าต้องการโครงสร้าง Bainite แบบบอซิคุล่า (**Lower Bainite**) อุณหภูมิของอ่างเกลือจะมีเพียง **350-450°C** เท่านั้น จากนั้นทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งจนแน่ใจแล้วว่าโครงสร้างเปลี่ยนเป็น Bainite อย่างสมบูรณ์ (ดูได้จากแผนภูมิ TTT) แล้วจึงนำออกจากอ่างเกลือปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ ไม่จำเป็นต้องไปชุบน้ำอีก เพราะจะไม่มี การเปลี่ยนโครงสร้างอีกต่อไป

การอบคืนตัว (TEMPERING)

เหล็กภายหลังจากการชุบแข็งแล้ว จะมีโครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วย **Martensite** กับ **Austenite** ที่เหลือค้างอยู่ (**Residual Austenite**) ซึ่งคุณสมบัติของเหล็กจะมีความแข็งสูง แต่ขาดคุณสมบัติด้านความเหนียว ไม่ทนต่อแรงกระแทก และความเครียดภายในที่เกิดขึ้นจะมีส่วนทำให้ชิ้นงานบิดงอ หรือแตกร้าวในขณะที่ใช้งานได้ ดังนั้นเหล็กที่ผ่านการชุบแข็ง ก่อนที่เราจะนำไปใช้งานควรจะต้องนำมาทำการอบคืนตัว เพื่อคลายความเครียดภายในให้หมดไป

การอบคืนตัว เป็นวิธีการเผาเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้น A_1 ภายหลังจากเมื่อทิ้งไว้เป็นระยะเวลานานพอสมควร แล้วปล่อยให้เย็นตัวช้าๆ ภายใต้อุณหภูมิโครงสร้าง Martensite กับ Austenite ที่เหลืออยู่จะปรับตัวเข้าสู่สภาวะที่สมดุล และมีการขยายตัวของ Pearlite ให้โตขึ้น ความเหนียวจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะคล้ายคลึงกับเหล็กที่ผ่านการทำ Spheroidizing

การชุบแข็งเฉพาะผิว SURFACE HARDENING

เป็นการชุบแข็งเพื่อให้ได้ความแข็งเฉพาะตามบริเวณผิวเท่านั้น ส่วนเนื้อเหล็กภายในยังคงเป็นเนื้อเดิมซึ่งมีความเหนียวสูง จุดประสงค์ก็เพื่อต้องการให้เหล็กทนต่อการสึกหรอในขณะใช้งาน ทนต่อแรงบิดหรือแรงกระแทกอย่างรุนแรงได้ดีโดยไม่แตกหัก อีกทั้งการชุบแข็งเฉพาะผิวเป็นกรรมวิธีที่ประหยัดต้นทุนในการดำเนินการมาก ตัวอย่างของชิ้นส่วนที่นิยมนำมาทำการชุบแข็งเฉพาะผิวได้แก่ เพลาข้อเหวี่ยง เพลาแรวลิ้น เฟือง เกียร์ เป็นต้น การชุบแข็งเฉพาะผิวสามารถทำได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

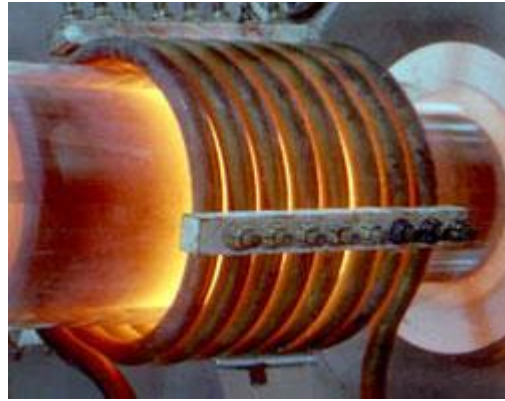
1. การชุบแข็งเฉพาะผิวโดยวิธี CARBURIZING หรือ CASE HARDENING
2. การชุบแข็งเฉพาะผิวโดยวิธี CYANIDING
3. การชุบแข็งเฉพาะผิวโดยวิธี CARBONITRIDING
4. การชุบแข็งเฉพาะผิวโดยวิธี NITRIDING
5. การชุบแข็งเฉพาะผิวด้วยกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (INDUCTION)
6. การชุบแข็งเฉพาะผิวด้วยเปลวไฟให้ความร้อน (FLAME)
7. การชุบแข็งเฉพาะผิวโดยวิธี ELECTROLYTIC



Surface Hardening



Nitriding Hardening



Case Hardening



Induction Hardening M/C

