

บทที่ 2

การผลิตโลหะจำพวกเหล็ก (Metal Production)



รองศาสตราจารย์ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ขั้นตอนของกระบวนการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า



การถลุงสินแร่เหล็ก (Iron Ores)

- Blast furnace เป็นเตาที่นิยมใช้ที่สุดในการถลุงแร่เหล็กให้กลายเป็นเหล็ก
- วัตถุดิบได้แก่ แร่เหล็ก (Fe_2O_3), ถ่านโค้ก (C), หินปูน (CaCO_3)
- ถ่านโค้กทำหน้าที่หลักสองอย่างคือ เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน และเป็นตัว Reduce โดยดึง Oxygen ออกจากแร่เหล็ก
- หินปูนทำหน้าที่กำจัดสิ่งปนเปื้อน (slag) ออกจากน้ำโลหะ

เตาส่งหรือเตาเป่าลม (Blast Furnace)

1) สิ้นแร่เหล็ก (Iron Ores)

3) หินปูน (Limestone)

2) ถ่านโค้ก (Coke)



เตาสูง (Blast Furnace)

เปลือกนอกของเตาหุ้มด้วยเหล็กแผ่น ผนังภายในของเตาเรียงด้วยอิฐทนไฟชนิดต่างๆ ตามช่วงของความร้อนภายในเตาภายในผนังเตายังมีระบบน้ำหล่อเย็นเดินไว้ด้วย เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในเตาไม่ให้ร้อนจนเกินไปและมีท่อลมเป่าเข้าบริเวณท่อนกลางของเตา ซึ่งเป็นบริเวณหลอมละลายของเหล็ก ลมที่เป่าเข้าไปจะเป็นลมร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิในการหลอม และช่วยประหยัดเชื้อเพลิง ขนาดของเตาสูงโดยทั่วไป มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-20 เมตร ความสูงโดยประมาณ 30 เมตร ทำงานติดต่อกัน ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ราว 10 ปี จึงมีการหยุดเพื่อซ่อมแซมครั้งหนึ่ง

ส่วนประกอบของเตาสูง

1. ฐานเตา (Foundation)

เป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของเตาทั้งหมด ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนที่เป็นฐานรากจะต้องตอกเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงเพื่อป้องกันพื้นทรุด เนื่องจากขณะทำการถลุงจะมีน้ำหนักของตัวเตาเองแล้ว ยังต้องรวมของวัตถุดิบที่ใส่ลงไปในเตา และน้ำหนักเหล็กดิบที่กำลังหลอมละลายอีกด้วย

2. ก้นเตา (Hearth)

เป็นส่วนรองรับน้ำหนักเหล็กดิบที่หลอมละลายแล้ว ซึ่งจะก่อด้วยอิฐทนไฟเรียงเป็นชั้นๆ ดังนั้นตัวอิฐจะต้องมีความสามารถทนความร้อนได้สูง ที่บริเวณก้นเตานี้ยังมีรูสำหรับเจาะเอน้ำเหล็กออก ถัดสูงจากรูเจาะสำหรับเอน้ำเหล็กออกแต่อยู่คนละข้างของเตา จะมรูเจาะอีกรูหนึ่ง สำหรับระบายขี้ตะกรัน (Slag) สาเหตุที่ต้องเจาะรูระบายขี้ตะกรันให้สูงกว่าเพราะขี้ตะกรันเบากว่าน้ำเหล็ก และลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำเหล็ก ดังนั้น ขี้ตะกรันจะถูกระบายออกก่อนน้ำเหล็ก เหนือรูทั้งสองขึ้นไปจะมีช่องสำหรับมองดูการหลอมละลายและดูระดับน้ำเหล็ก

3. ส่วนหลอมละลาย (Bosh)

เป็นบริเวณหลอมละลายของวัตถุดิบที่ไต่ลงไปในเตา หรือ บริเวณสิ้นสุดของ

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายในเตา ซึ่งบริเวณที่เกิดความร้อนสูงสุดในเตา ดังนั้นบริเวณนี้จะต้องเรียงด้วยอิฐทนไฟที่ทนความร้อนได้มากที่สุดของเตา ทางส่วนช่วงลาดของเตาจะมีรูลม (Tuyeres) อยู่รอบๆเตา มีจำนวนหลายรูที่รับลมร้อนมาจากท่อใหญ่อีกทีหนึ่ง

4. ปล่องเตา (Stack)

คือบริเวณส่วนที่เรียงอยู่ถัดสูงขึ้นมาจากบริเวณหลอมละลาย ภายในเตา บริเวณนี้เป็นบริเวณช่วงกำลังเกิดปฏิกิริยาต่างๆ และเป็นช่วงอุ่นตัวของวัตถุดิบ ดังนั้น บริเวณนี้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงล่าง สามารถเรียงด้วยอิฐทนไฟชนิดทนความร้อนได้ปานกลางได้

5. ส่วนบนเตา (Top)

เป็นบริเวณบรรจุวัตถุดิบต่างๆ ลงในเตา ส่วนบนของเตาจะมีฝาปิดซึ่งมีลักษณะเป็นกรวย 2 ชั้น เพื่อป้องกันไม่ให้แก๊สในเตารั่วออก ขณะบรรจุวัตถุดิบจะเปิดกรวยชั้นแรกก่อน แล้วเติมวัตถุดิบลงไปแล้วปิด จากนั้นจึงเปิดกรวยที่อยู่ข้างล่างวัตถุดิบก็จะหล่นลงไปในปล่องเตา นอกจากนี้ ส่วนบนของเตายังประกอบด้วยท่อทางออกของแก๊สร้อนที่ได้จากการถลุง เพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการอุ่นลมที่จะป้อนเข้าเตา

6. อุปกรณ์ลำเลียง (Charging Apparatus)

ประกอบด้วยรถลำเลียง (Skip Car) หรืออาจเป็นสายพานลำเลียง (Convayer) เพื่อลำเลียงวัตถุดิบ เช่น แร่เหล็ก , ถ่านโค้ก , หินปูน , เศษเหล็ก เป็นต้น

- **7.เตาเผาและอุปกรณ์พ่นลม (Chequer Chamber and Blower)**

เป็นส่วนที่แยกออกต่างหากจากเตาสูง มีลักษณะเป็นทรงกระบอกสูง ส่วนบนสุดโค้งเป็นครึ่งวงกลม ภายในเรียงด้วยอิฐทนไฟสลับกันเป็นชั้นๆ หลายแถว แก๊สร้อนจะเข้าทางด้านล่างของอิฐทนไฟ ทำการเผาอิฐทนไฟจนร้อนแดง เมื่ออิฐร้อนแดงจนได้ที่แล้วช่องแก๊สร้อนเข้าจะถูกปิด จากนั้นจะเปิดปั๊มลมเพื่อปั๊มลมเข้าเตา ลมจะวิ่งผ่านอิฐที่ร้อนแดงและจะนำเอาความร้อนไปด้วย กลายเป็นลมร้อนผ่านเข้าไปในท่อวงแหวนซึ่งมีท่อเล็กๆต่อแยกไปยังรูต่างๆ ที่อยู่ในบริเวณส่วนหลอมละลาย

เตาสูง (Blast Furnace) สำหรับถลุงเหล็กดิบ 1 เตา จะมีเตาอุ่นลมอยู่ประมาณ 2-3 เตาขึ้นไป

เพื่อใช้ในการสับเปลี่ยนหมุนเวียนทำให้เกิดลมร้อนอย่างต่อเนื่อง

- **การบรรจุวัตถุดิบในเตา**

การบรรจุวัตถุดิบในเตานั้น จะใส่ผสมรวมๆกันไปด้วยกันไม่ได้ จะต้องใส่เป็นชั้นๆตามชนิดของวัตถุดิบ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพของปฏิกิริยาในการหลอมละลายมากที่สุด

ชั้นของวัตถุดิบที่ใส่ลงในเตา

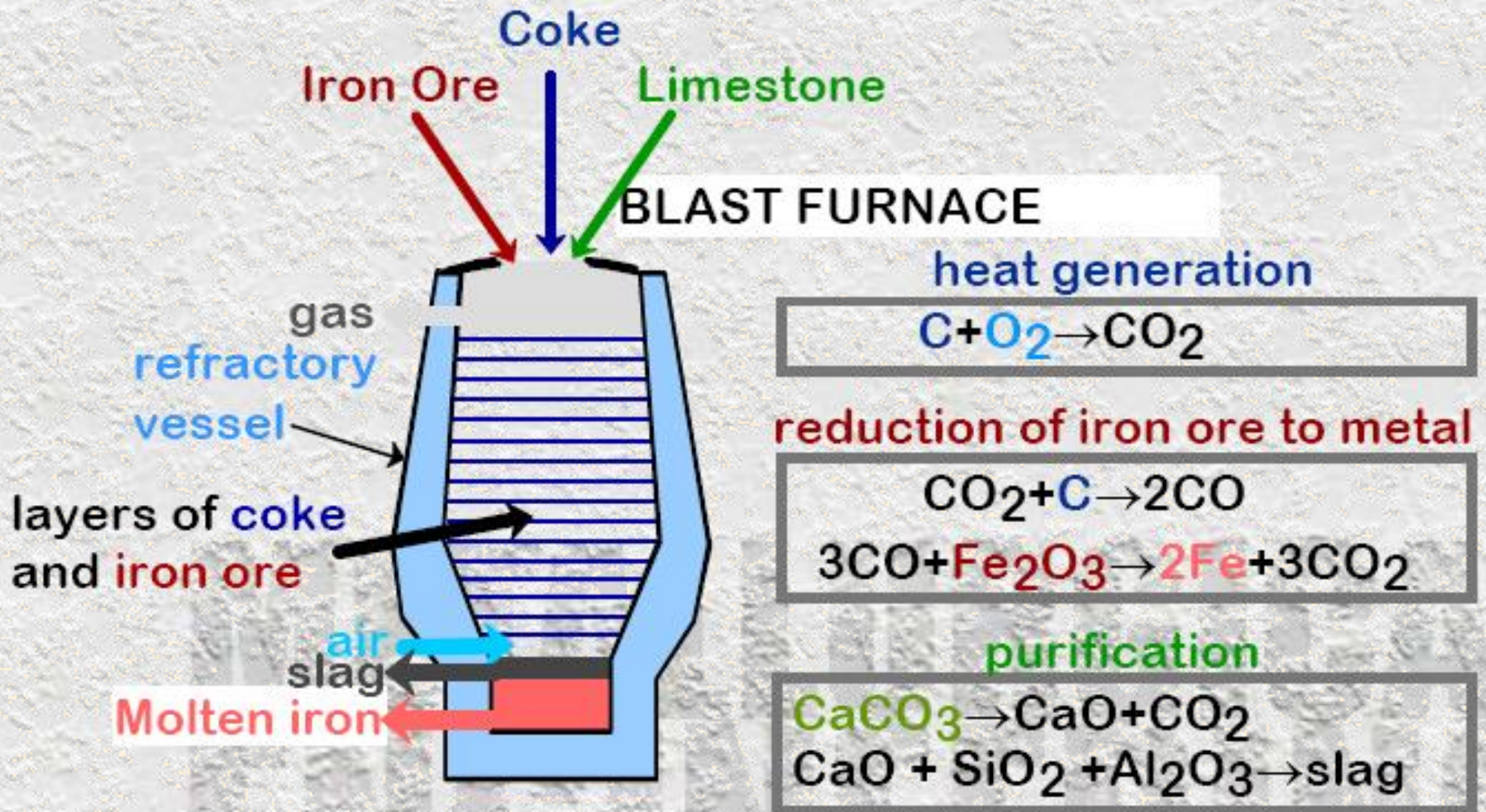
เรียงลำดับจากก้นเตาขึ้นมาถึงส่วนบนของเตา

ชั้นที่ 1 ถ่านโค้ก ตอนที่เริ่มจุดเตาเพื่อถลุงเหล็กนั้น ต้องใส่ถ่านโค้กก่อนเพื่อให้เป็นเชื้อเพลิง ทำให้เกิดปฏิกิริยาภายในเตา

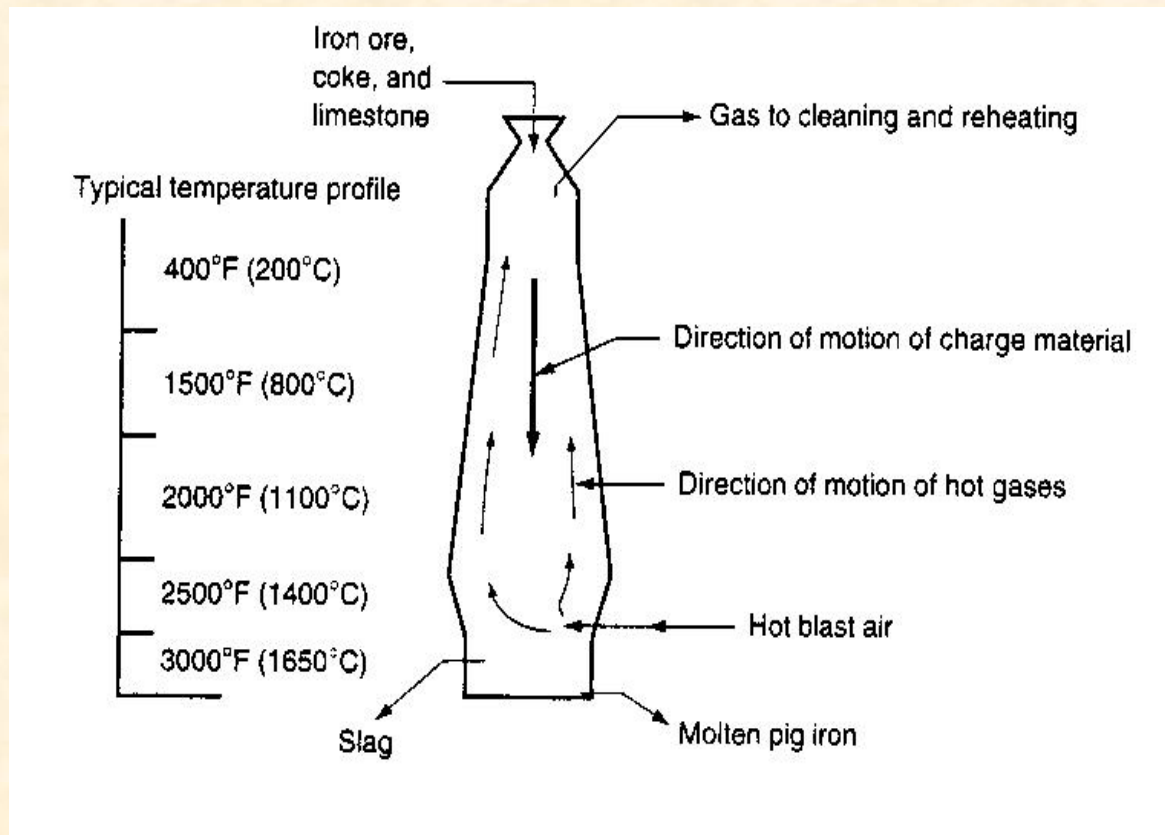
ชั้นที่ 2 หินปูน เมื่อถ่านโค้กติดไฟแล้วจะเกิดความร้อน ซึ่งจะทำให้หินปูนสลายตัวผสมกับสิ่งสกปรกที่จะเกิดขึ้นภายในเตา

ชั้นที่ 3 เศษเหล็ก สำหรับชั้นนี้ในบางเตาอาจไม่ใช่ ถ้าเป็นเขานี้ให้ใส่ชั้นต่อไปได้เลย

ชั้นที่ 4 สินแร่เหล็ก จะต้องผ่านการเตรียมให้มีขนาดตามต้องการ คือ ก่อนโตะประมาณ 10 – 15 มม.



ช่วงของอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยาภายในเตา



1. ช่วงให้ความร้อนล่วงหน้าหรือช่วงอุ่น (Preheating Zone) อุณหภูมิประมาณ 200°C - 220°C ความชื้นหรือน้ำกลายเป็นไอน้ำ และกำมะถันส่วนหนึ่งถูกเผาไหม้เป็นก๊าซ

2. ช่วงลดออกซิเจน (Reduction Zone/Process of Reduction) อุณหภูมิประมาณ 600°C - 800°C ก๊าซออกซิเจน รวมตัวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3. ช่วงเติมคาร์บอน ของถ่านโค้ก (Carburization Zone /Process of Heat Absorption) อุณหภูมิประมาณ 900 °C - 1100 °C เป็นช่วงที่ถ่านโค้ก รวมตัวกับ ก๊าซออกซิเจน

4. ช่วงหลอมละลาย (Melting Zone/Process of Fusion) อุณหภูมิประมาณ 1,400 – 1,600 °C ได้เหล็กคาร์ไบด์ (Iron Carbide) กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผลผลิตที่ได้จากเตาสูง

1. เหล็กดิบ (Pig Iron)

ผลผลิตที่สำคัญซึ่งได้จากการถลุงแร่ในเตาสูง ได้แก่ เหล็กดิบ แต่เหล็กดิบที่ได้จากเตานั้นมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่เหล็กและวัตถุดิบที่ใส่เข้าไป

ชนิดของเหล็กดิบ มีดังนี้

1) เหล็กดิบสีเทา (Grey Pig Iron) เป็นเหล็กดิบที่มีซิลิกอนผสมอยู่มาก ซิลิกอนเป็นตัวช่วยแยกคาร์บอนในเหล็กดิบออกมาอยู่ในรูปการาไฟต์ (Garphite) หรือ คาร์บอน ดังนั้น ถ้านำเหล็กดิบสีเทามาหักดูเนื้อในจะเห็นรอยหักเป็นเม็ดเล็กๆสีเทา เหล็กดิบสีเทานิยมเอาไปถลุงอีกครั้งเพื่อให้ได้เป็นเหล็กหล่อสีเทา (Grey Cast Iron) ต่อไป

2) เหล็กดิบสีขาว (White Pig Iron) เป็นเหล็กดิบที่ส่วนประกอบของแมงกานีสอยู่มาก คาร์บอนจะรวมตัวกับเหล็กในรูปของซีเมนไต์ (Cementite) เมื่อสังเกตดูรอยหักจะเป็นเนื้อละเอียดขาว เหล็กดิบสีขาวนี้นิยมนำไปถลุงและผ่านกรรมวิธีต่างๆเพื่อให้ได้เป็นเหล็กกล้าที่จะนำมาใช้งานต่อไป

2. ขี้ตะกรัน (Slag)

เป็นสิ่งที่สกปรกที่อยู่ในสินแร่เหล็ก ซึ่งถูกกำจัดโดยหินปูน ขี้ตะกรันที่ได้จากเตาสูงจะมีเนื้อละเอียด ใช้เป็นส่วนผสมในการทำปูนซีเมนต์ และเป็นวัตถุดิบอย่างหนึ่งสำหรับผลิตใยหิน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อน และเป็นกันความร้อน และเป็นฉนวนป้องกันเสียงได้ดี

3. แก๊สร้อน (Hot Gas) ที่ได้จากเตาสูงในการผลิตเหล็กดิบจำนวน 1 ตัน มีส่วนผสมดังนี้

$$\text{CO}_2 = 18.5 \%$$

$$\text{CO} = 23.4 \%$$

$$\text{H}_2 = 0.2 \%$$

$$\text{N}_2 = 53.1 \%$$

$$\text{H}_2\text{O} = 4.8 \%$$



Pig Iron



สารมลทิน **P, Si, Mn, S**

ปริมาณคาร์บอนประมาณ 4%

การถลุงสินแร่เหล็ก

1) เหล็กดิบ

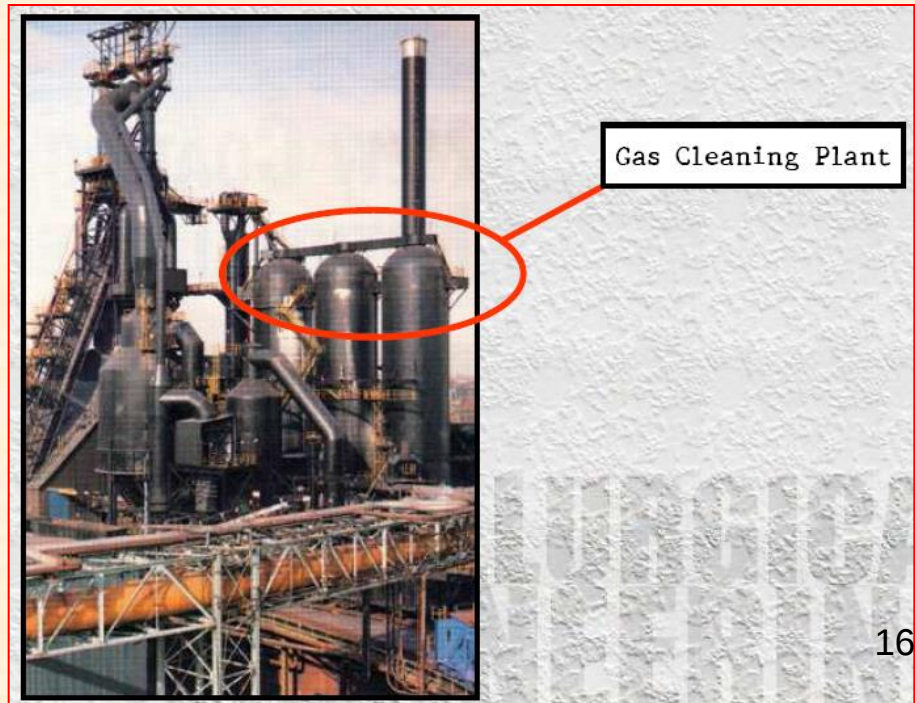
1. เหล็กดิบสีขาว (White Pig Iron)
Steel

2. เหล็กดิบสีเทา (Gray Pig Iron)
เหล็กหล่อ (Cast Iron)



2) ตะกรัน (Slag)

3) แก๊สร้อน (Hot Gas)



การถลุงสินแร่เหล็ก ที่อุณหภูมิต่ำ

ประมาณ 1,000 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำไม่ทำให้เหล็กหลอมตัว

เหล็กพูน (Sponge Iron)



ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบ คุณสมบัติของเหล็กหล่อ กับเหล็กกล้าคาร์บอน

เหล็กหล่อ (Cast Iron)	เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steels)
1. ปริมาณคาร์บอนมากกว่า 2% 2. มีสารมลทินปนอยู่มาก 3. รับแรงอัดได้ดี 4. รับแรงดึงได้ไม่ดี 5. จุดหลอมเหลวต่ำประมาณ $1,150^{\circ}\text{C} - 1,250^{\circ}\text{C}$ 6. ผิวหยาบ 7. ดัดเป็นสปริง หรือโค้งงอไม่ได้ 8. เมื่อเผาให้ร้อนจะยุบตัว 9. ผงเหล็กมีสีดำ ตะไบง่าย 10. การรวมตัวของคาร์บอนจะอยู่ในรูปของ กราไฟต์ คือ คาร์บอนมีการแยกตัว เป็นอิสระ	1. ปริมาณคาร์บอนน้อยกว่า 2% 2. มีสารมลทินปนอยู่น้อย 3. รับแรงอัดได้ไม่ดี 4. รับแรงดึงได้ดี 5. จุดหลอมเหลวสูง ประมาณ $1,536^{\circ}\text{C}$ 6. ผิวละเอียด 7. ดัดเป็นสปริง หรือโค้งงอได้ 8. เมื่อเผาให้ร้อนจะอ่อนตัว 9. ผงเหล็กจะแหลม ตะไบยาก 10. การรวมตัวของคาร์บอนจะแทรกอยู่ในเนื้อเหล็ก ในรูปของ เหล็กคาร์ไบด์

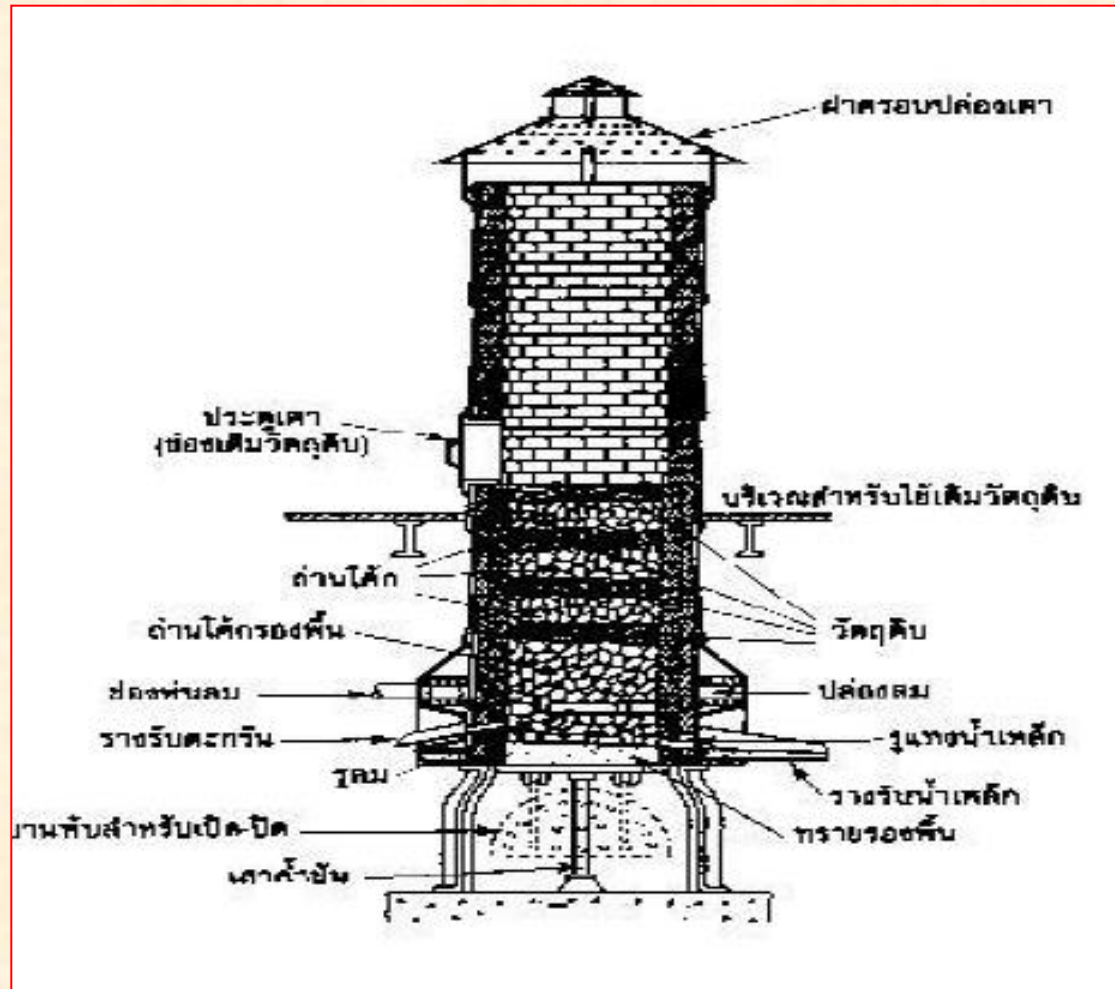
เหล็กหล่อ (Cast Iron) ผลิตมาจากเหล็กดิบสีเทา (Gray Pig Iron)

- 1) เตาคิวโปลา (Cupola)
- 2) เตาแอร์เฟอร์เนซ (Air Furnace)
- 3) เตาไฟฟ้า (Electric Furnace)
- 4) เตาเหนี่ยวนำ (Induction Furnace)

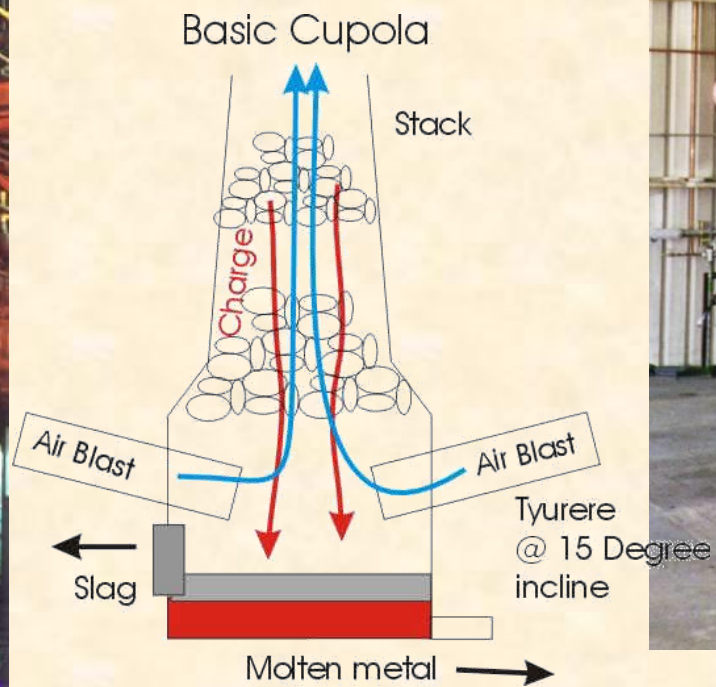
ข้อควรรู้: Carbon อิสระ หรือเรียกอีกว่า กราไฟต์ (graphite)

ถ้าเป็นสารประกอบคาร์บอน เรียก เหล็กคาร์ไบด์ (Cementite)

1) เตาคิวโปล่า (Cupola Furnace)

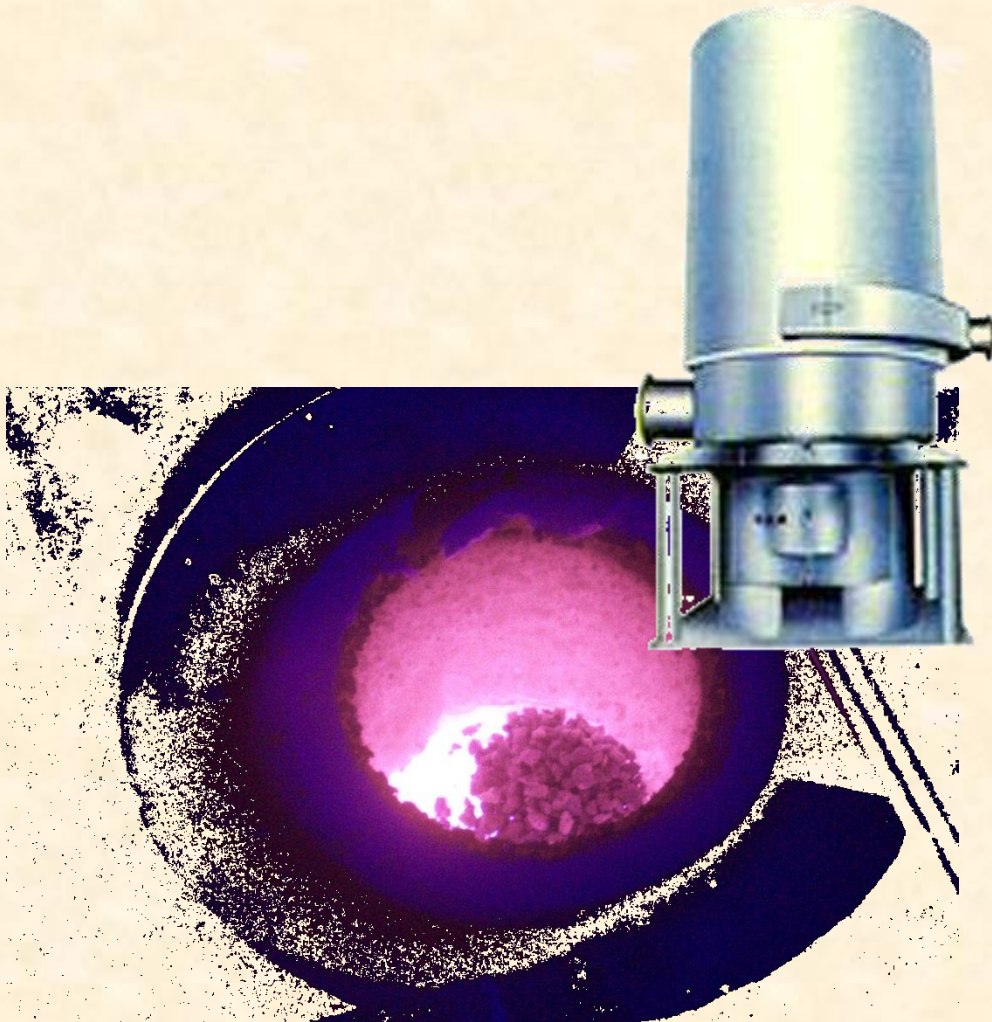


ผลิตเหล็กหล่อสีเทา (Gray Cast Iron) และเหล็กหล่อเหนียว (Ductile Iron) หรือเหล็กหล่อกราไฟต์กลม (Nodular Iron) ที่เปอร์เซ็นต์คาร์บอน $2.5\% < C < 3.75\%$



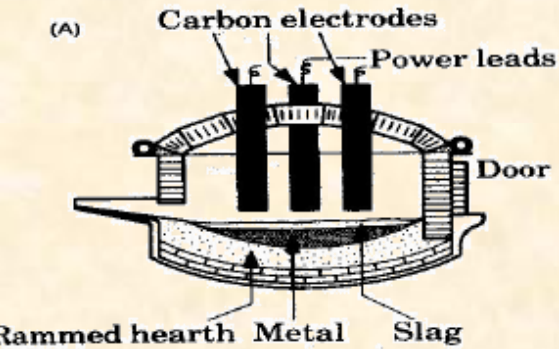
2) เตาแอร์เฟอร์เนซ (Air Furnace)

ผลิตเป็นเหล็กหล่ออบเหนียว (Malleable Cast Iron) และเหล็กหล่อ กราไฟต์กลม
ที่เปอร์เซ็นต์คาร์บอน $2.0\% < C < 2.5\%$

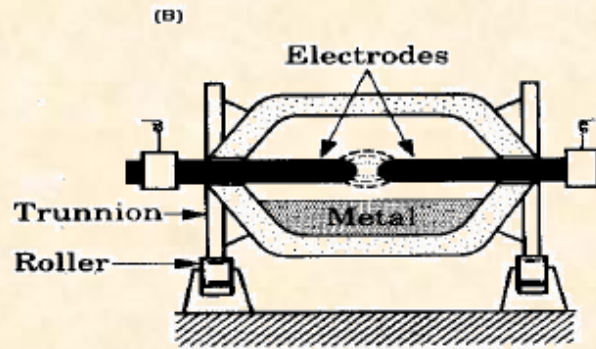


3) เตาไฟฟ้า (Electric Arc Furnace)

ผลิตเหล็กหล่อทุกประเภท

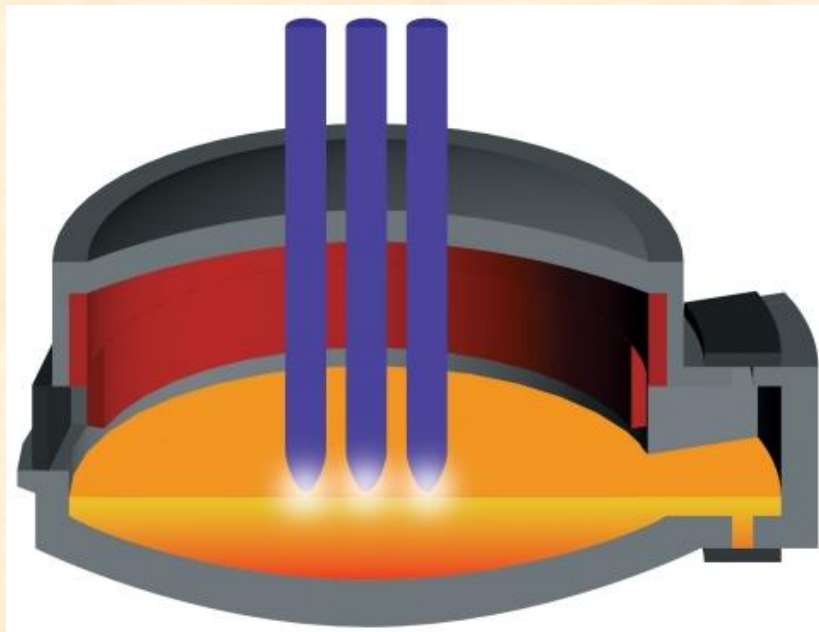


(A) แบบอาร์คโดยตรง



(B) แบบอาร์คโดยอ้อม

รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบของเตาไฟฟ้า



การผลิตเหล็กกล้าโดยกรรมวิธีเตาไฟฟ้า (Electric Arc Furnace process)

- การผลิตเหล็กกล้าโดยกรรมวิธีเตาไฟฟ้า เป็นการนำความร้อนจากพลังงานไฟฟ้ามาหลอมเหล็กให้ละลาย

ข้อดีคือ

สามารถทำให้มีอุณหภูมิสูงมากในเวลาอันรวดเร็ว สามารถควบคุมการเติมออกซิเจนการลดออกซิเจนได้ดี ตลอดจนสามารถควบคุมปริมาณการเติมสารผสมเพิ่มต่าง ๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเหล็กให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน จึงทำให้ผลิตเหล็กได้มีคุณภาพสูงและเพื่อจุดมุ่งหมายพิเศษ นอกจากนี้ยังประหยัดค่าใช้จ่ายในกรณีที่มีการหยุดผลิตเป็นช่วง ๆ แต่ค่าใช้จ่ายโดยรวมก็ยังแพงกว่ากรรมวิธี การผลิตแบบเบสเซอร์หรือแบบ L-D Process อยู่

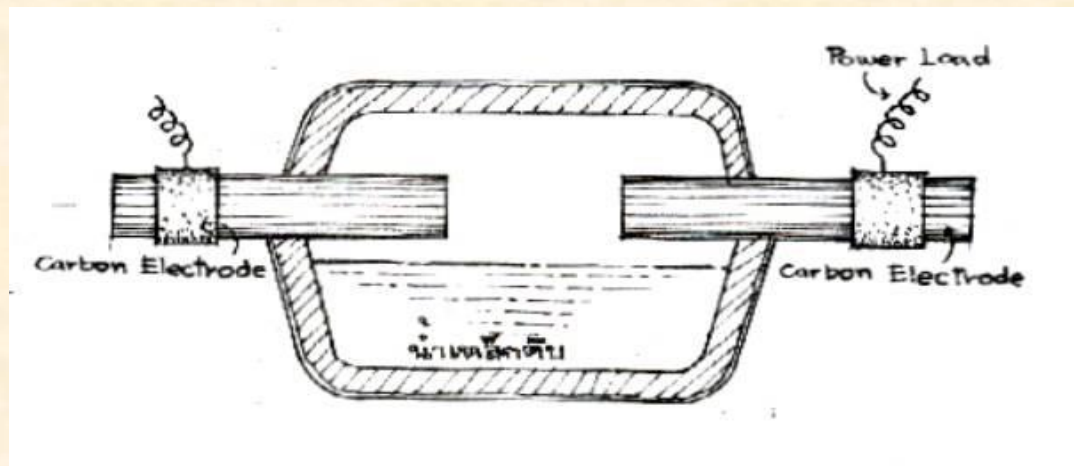
- เตาเผาไฟฟ้าจะมีตัวเตาสร้างด้วยแผ่นเหล็กกล้าและบุผนังด้วย วัสดุทนไฟชนิดกรด หรือด่างก็ได้ หากเป็นกรรมวิธีแบบด่างจะบุด้วยแมกนีไทท์ หรือโดโกไมท์ แต่หากเป็นกรรมวิธีแบบกรดจะบุด้วยซิลิกา ส่วนบนหลังคาจะโคงบุด้วยอิฐทนไฟอิฐมีรู สำหรับสอดแท่งคาร์บอนอิเล็กโทรด (**Carbon Electrode**) ผ่านลงมา มี ประตุสำหรับป้อนน้ำเหล็กดิบและรูสำหรับปล่อยน้ำเหล็กกล้าที่หลอมเสร็จแล้ว ออก

เตาไฟฟ้าแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

1. เตาไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจากการแผ่รังสีอย่างเดียว

(The Indirect arc Furnace)

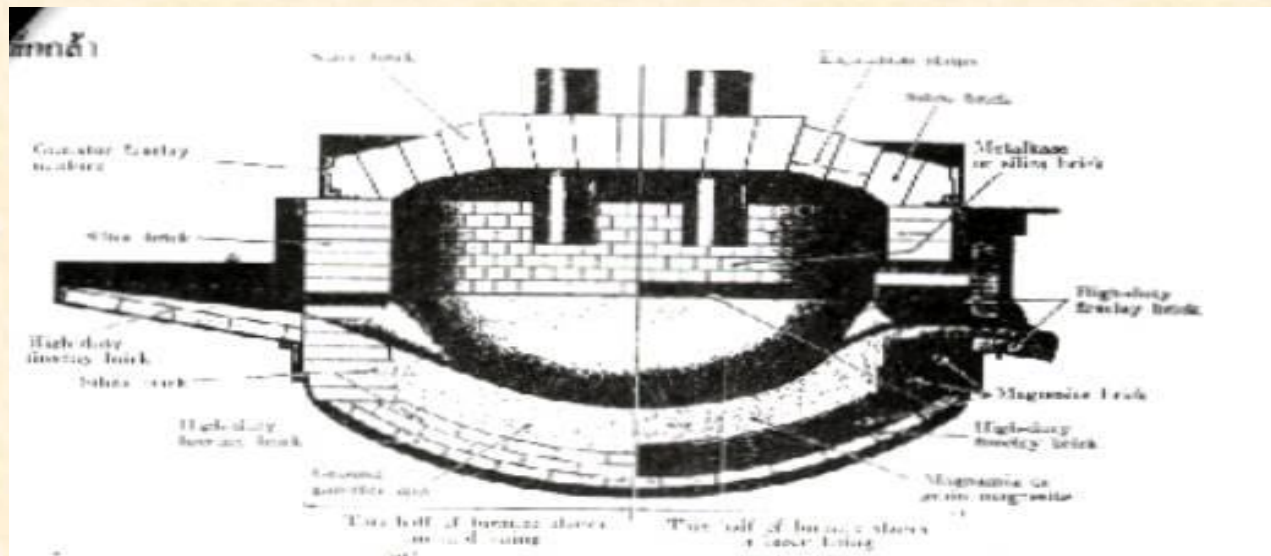
เตาแบบนี้จะใช้แท่งคาร์บอน อิเล็กโทรด 2 ทำให้เกิดการอาร์ค (Arc) ขึ้นที่ปลายซึ่งอยู่เหนือน้ำเหล็ก ความร้อนที่เกิดจากการอาร์คของแท่งคาร์บอน อิเล็กโทรดจะแผ่รังสีเข้าไปยังน้ำเหล็กที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำเหล็กสูงขึ้น จนถึงจุดที่เหล็กหลอมละลาย เตาแบบนี้นิยมใช้กันน้อยมาก เพราะเกิดการสูญเสียความร้อนให้แก่ส่วนหลังคา และผนังเตาจึงเป็นการไม่ประหยัด ส่วนมากจะใช้กันในห้องปฏิบัติการเล็ก ๆ เป็นเตาขนาดเล็กและทำงานในเวลาสั้น ๆ



2. เตาไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจากการแผ่รังสีและความต้านทานไฟฟ้า

(The direct arc Furnace)

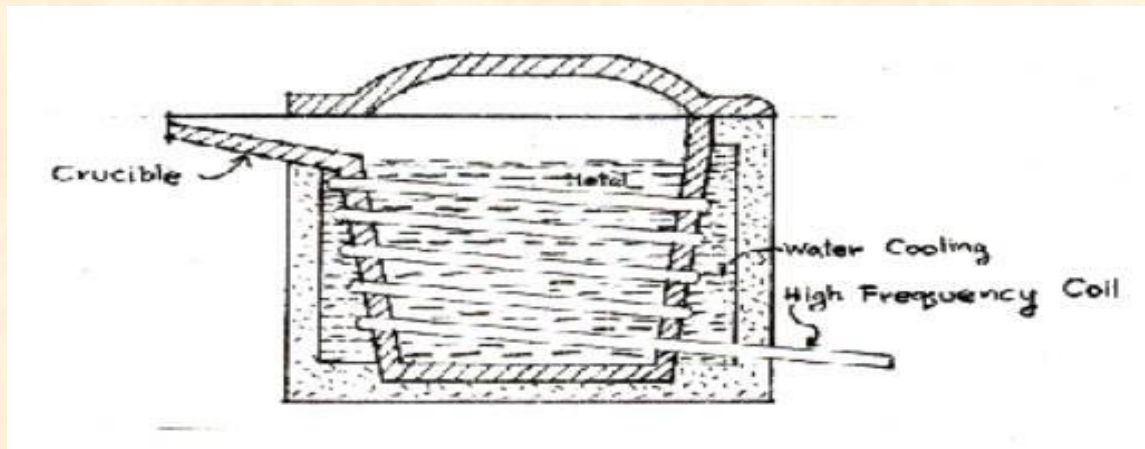
เตาแบบนี้จะให้แท่งคาร์บอนอิเล็กโทรดทำให้เกิดการอาร์คกับเศษเหล็กในเตา โดยให้เศษเหล็กเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้า ความร้อนที่ได้รับจะมีอยู่ 2 ทาง คือ เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เศษเหล็กซึ่งมีความต้านทานจนทำให้อุณหภูมิของเหล็กสูงขึ้นจนถึงจุดที่หลอมละลายและเกิดจากการอาร์คของแท่งคาร์บอน อิเล็กโทรดเองแล้ว แผ่รังสีความร้อนออกไปจนกระทั่งทำให้อุณหภูมิของเหล็กสูง กระแสไฟฟ้าที่ใช้จะมีทั้ง **Single phase** และ **Three phase** โดยจะใช้กระแสประมาณ 12,000 Ampere และแรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 40 Volts โดยใช้แท่งคาร์บอนอิเล็กโทรด 2 แท่ง หรือ 3 แท่ง ซึ่งแต่ละแท่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร และยาวประมาณ 2 เมตร เตาแบบนี้ส่วนมากจะใช้ในงานอุตสาหกรรมการถลุงเหล็กกล้าที่มีโลหะผสมต่ำ (Low – alloy steel) เป็นเตาขนาดใหญ่ ที่ใช้เหล็กจากกรรมวิธีเบสเซเมอร์เป็นวัสดุป้อน



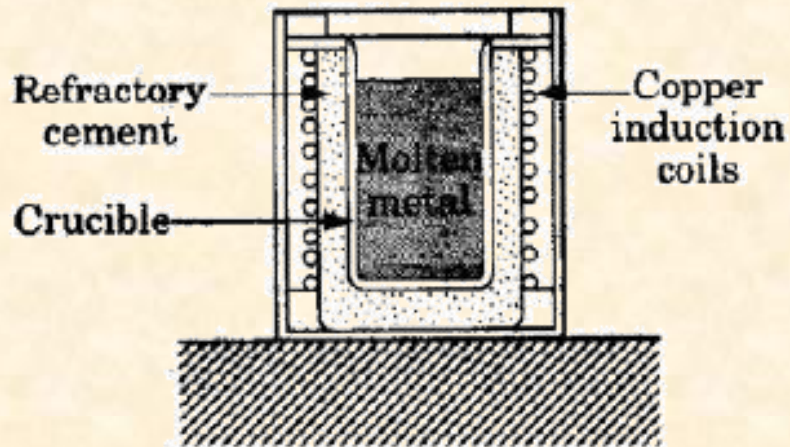
- 3. เตาเผาเหนี่ยวนำไฟฟ้า (The Electric Induction Furnace)

เป็นเตาที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กภายในเนื้อเหล็ก โดยจะเกิดกระแสเหนี่ยวนำ (Induction eddy current) กระทั่งเกิดความร้อนขึ้นภายในเนื้อเหล็กจนเหล็กหลอมละลาย ตัวเตาจะประกอบด้วยขดลวดทองแดงที่หุ้มฉนวนพันอยู่โดยรอบ และมีน้ำไหลผ่านผนังด้านนอกอีกชั้นหนึ่งเพื่อระบายความร้อน

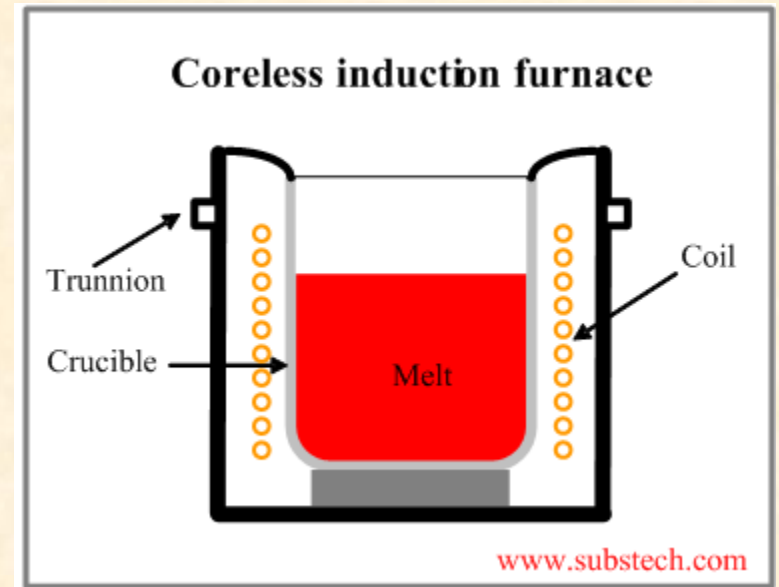
การทำงานของเตาจะเริ่มขึ้นเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่สูง (High Frequency) ประมาณ 500-2,000 cycle /Second ผ่านขดลวดทองแดงทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux) ขึ้นรอบ ๆ ขดลวดทองแดงภายในเตาและสนามแม่เหล็กจะผ่านเข้าไปในเนื้อเหล็ก เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่สูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กมาก จึงมีกระแสเหนี่ยวนำไหลวนอยู่ในเนื้อเหล็ก และเกิดความร้อนสูงขึ้น ในอุณหภูมิที่สามารถหลอมละลายได้เตาชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับหลอมเหล็กกล้าที่มีโลหะผสมสูง (high-alloy steel) เพราะจะเกิดการสูญเสียเนื้อโลหะที่มีราคาแพงน้อยมากโดยทั่วไปจะไม่มีการใช้มาก

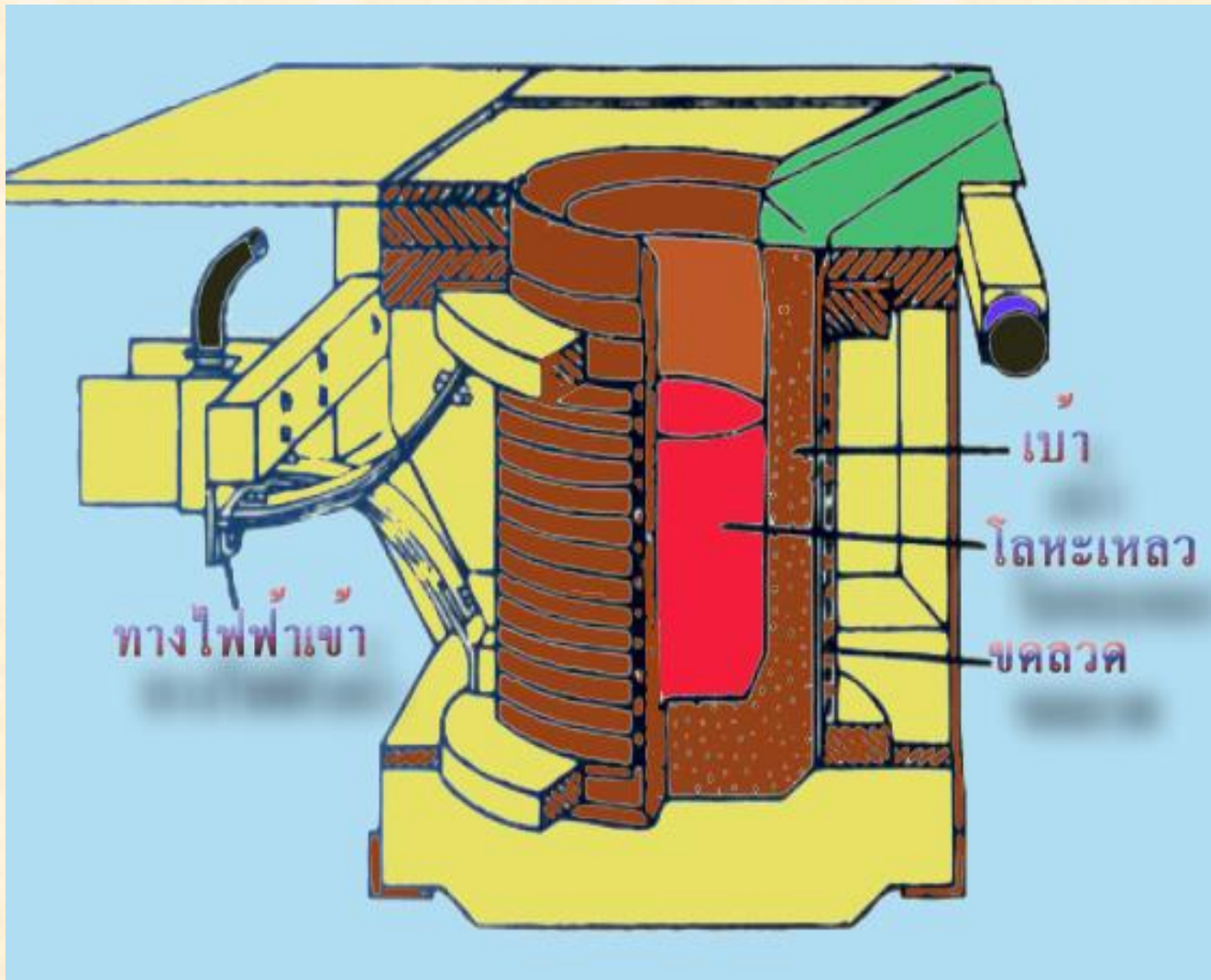


4) เตาเหนี่ยวนำ (Induction Furnace)



ผลิตเหล็กหล่อทุกประเภท





เตาเผาเหนี่ยวนำไฟฟ้า (The Electric Induction Furnace)

การทำงานของเตาInduction Furnace

เป็นเตาที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กภายในเนื้อเหล็ก โดยจะเกิดกระแสเหนี่ยวนำ (Induction eddy current) กระทั่งเกิดความร้อนขึ้นภายในเนื้อเหล็กจนเหล็กหลอมละลาย ตัวเตาจะประกอบด้วยขดลวดทองแดงที่หุ้มฉนวนพันอยู่โดยรอบ และมีน้ำไหลผ่านผนังด้านนอกอีกชั้นหนึ่งเพื่อระบายความร้อน

การทำงานของเตาจะเริ่มขึ้นเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่สูง (High Frequency) ประมาณ 500-2,000 รอบ /วินาที ผ่านขดลวดทองแดงทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก(Magnetic Flux) ขึ้นรอบๆขดลวดทองแดงภายในเตาและสนามแม่เหล็กจะผ่านเข้าไปในเนื้อเหล็ก เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่สูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กมาก จึงมีกระแสเหนี่ยวนำไหลวนอยู่ในเนื้อเหล็ก และเกิดความร้อนสูงขึ้น ในอุณหภูมิที่สามารถหลอมละลายได้เตาชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับหลอมเหล็กกล้าที่มีโลหะผสมสูง (high-alloy steel) เพราะจะเกิดการสูญเสียเนื้อโลหะที่มีราคาแพงน้อยมาก

ข้อดีของเตาชนิดนี้

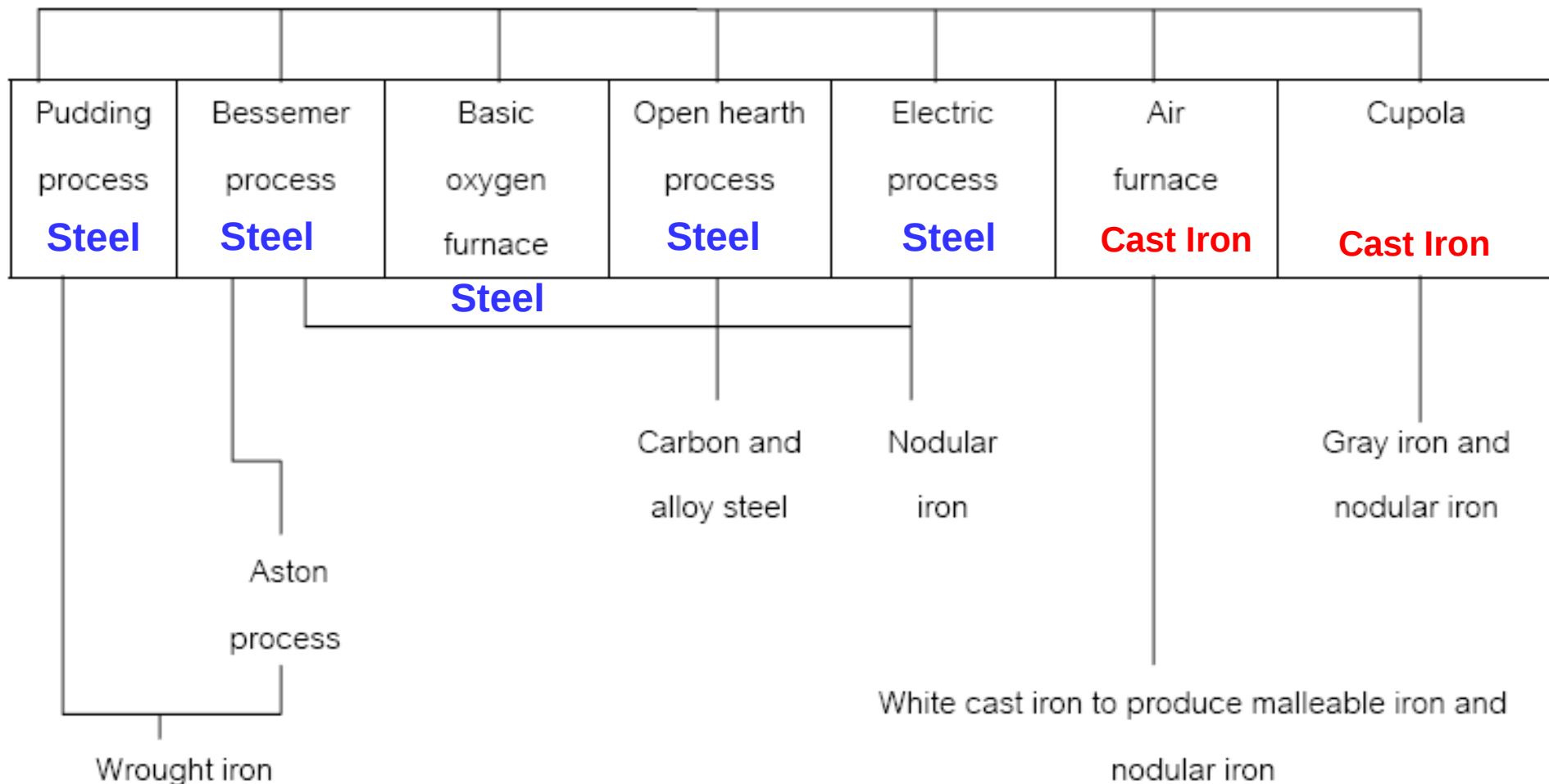
1. ใช้คลื่นความถี่ปานกลางสามารถเริ่มทำการหลอมจากสภาพเย็นได้
2. หลังจากหลอมละลายสามารถอุ่นน้ำโลหะได้เป็นเวลานานตามความจำเป็นได้
3. หลังจากหลอมละลายสามารถเทน้ำโลหะให้ไหลออกหมดเกลี้ยง ซึ่งทำให้สามารถหลอมโลหะชนิดอื่นได้ตลอดเวลา
4. การหลอมในเตานี้มีเปลวไฟน้อยจึงทำให้การสูญเสียของธาตุที่เจือปนน้อยที่สุด

Ex. การผลิตเหล็กกล้าจากเตาเหนี่ยวนำ

กระแสไฟฟ้า

การผลิตเหล็กกล้าด้วยเตาเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าเตา (Induction Furnace) หลอมเหล็กด้วยการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้านี้สามารถจุได้ตั้งแต่ 1 ถึง 60 ตัน ใช้ในการหลอมเหล็กกล้าเจือสูง เหล็กหล่ออบเหนียว เหล็กหล่อเทาโลหะหนักโลหะเบา เหล็กหล่อเพื่อการหลอมละลายกระทำโดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าสลับให้ไหลผ่านท่อทองแดง (มีน้ำหล่อเย็นอยู่ภายในท่อเพื่อป้องกันทองแดงหลอมละลาย) ที่พื้นผิวรอบเตา ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำในท่อทองแดงให้เกิดกระแสไหลวนทำให้โลหะในเตาร้อนแล้วหลอมละลายอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะนำน้ำโลหะ มาวิเคราะห์หา ปริมาณ ส่วนเจือ เพื่อจะได้สามารถเติมสารเจือธาตุอื่น ๆ ลงไปให้ได้ตามต้องการ

Molten Steel or Cast Pig Iron



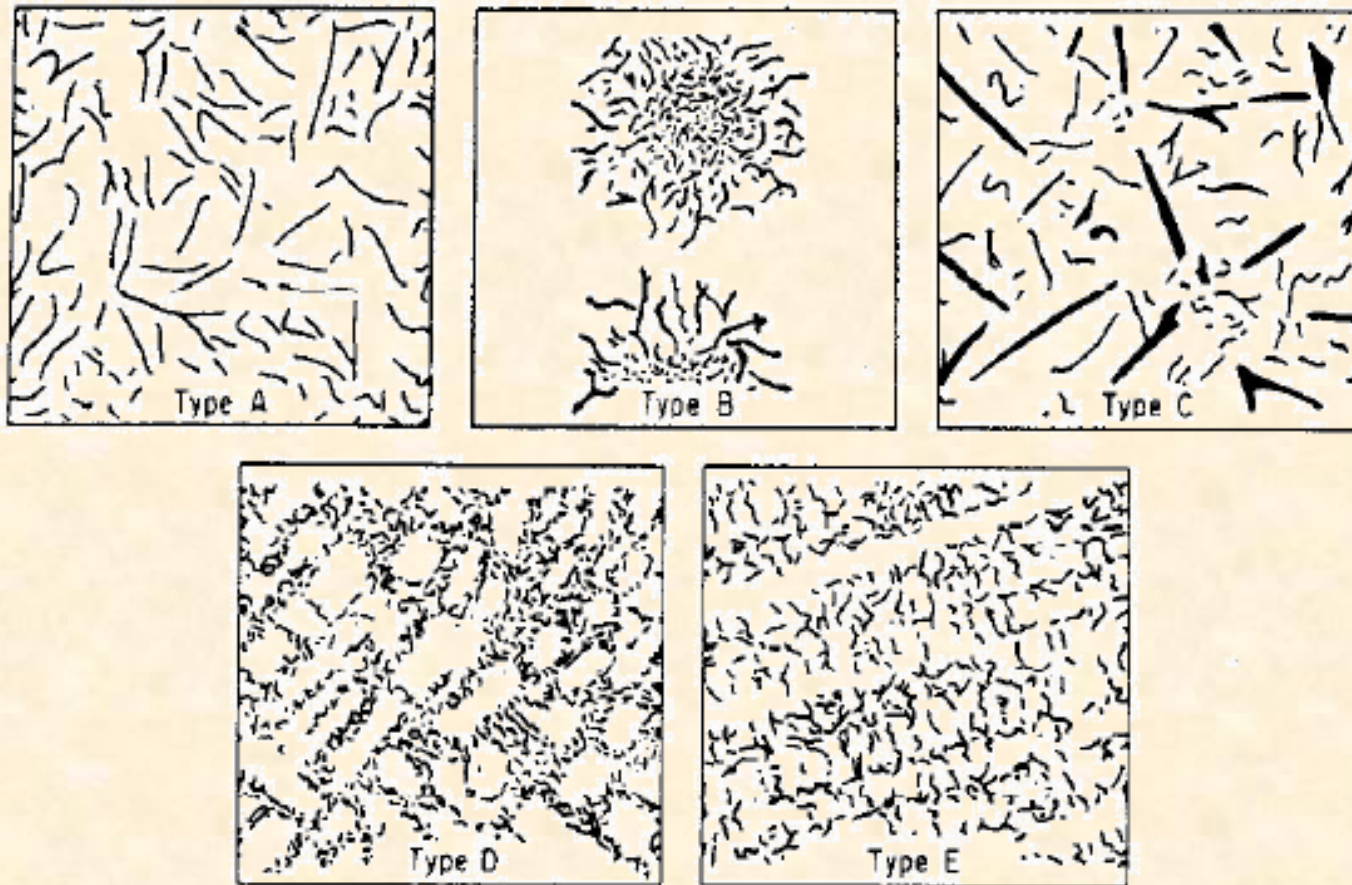
รูปที่ 2.4 เตาหลอมชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตโลหะกลุ่มเหล็ก (Ferrous Metals)

เหล็กหล่อ

I เหล็กหล่อเทา

II เหล็กหล่อขาว

1. เหล็กหล่อสีเทา (Gray Cast Iron or Gray Iron)

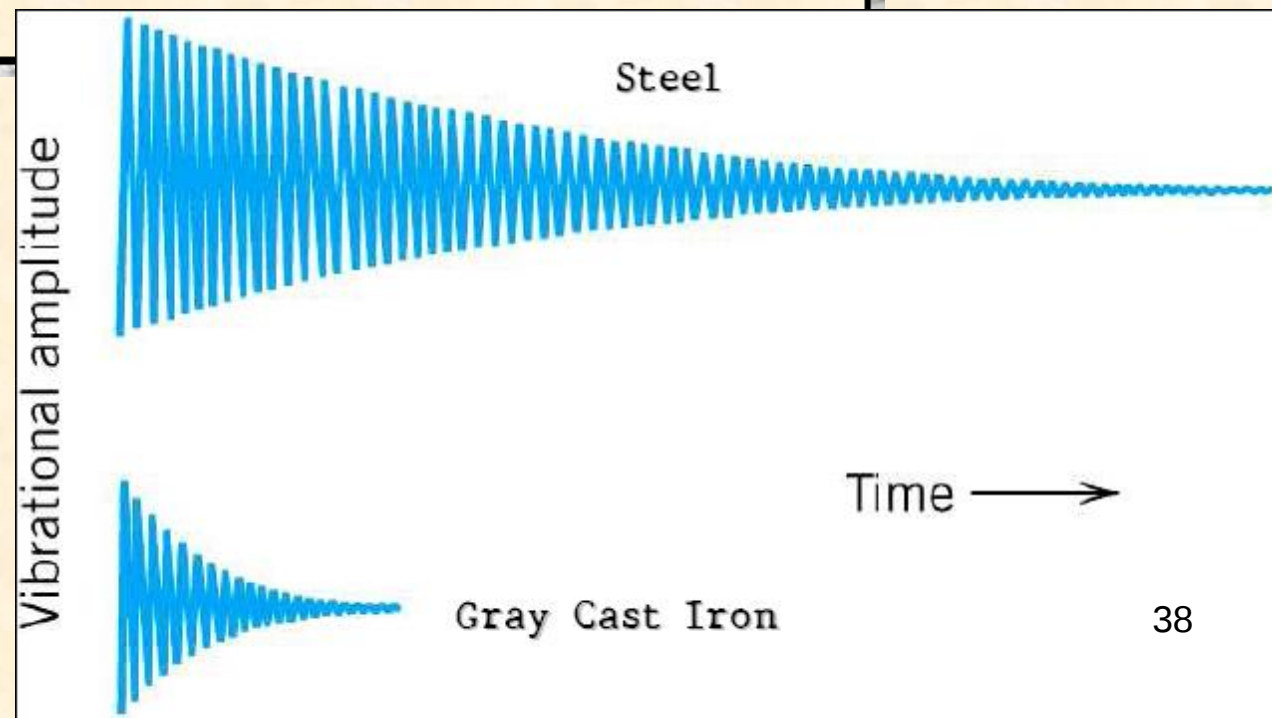


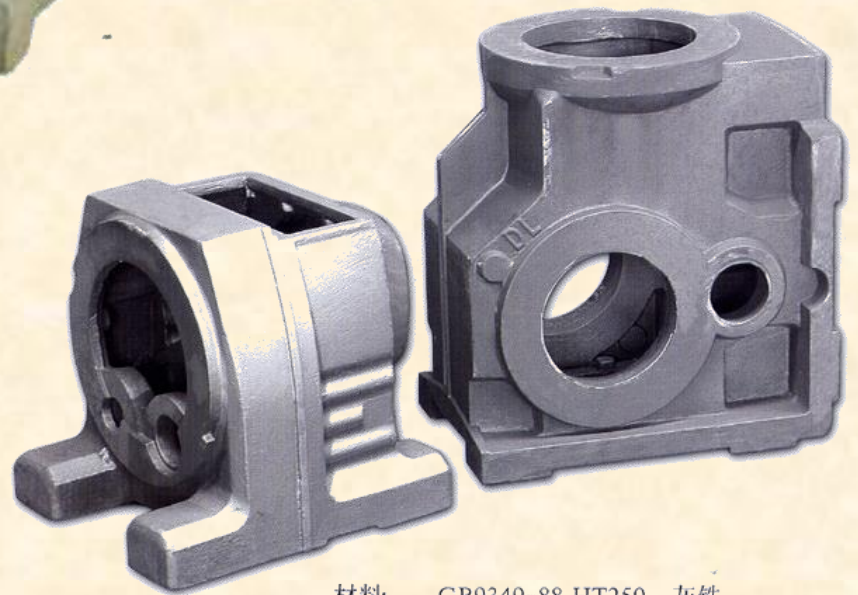
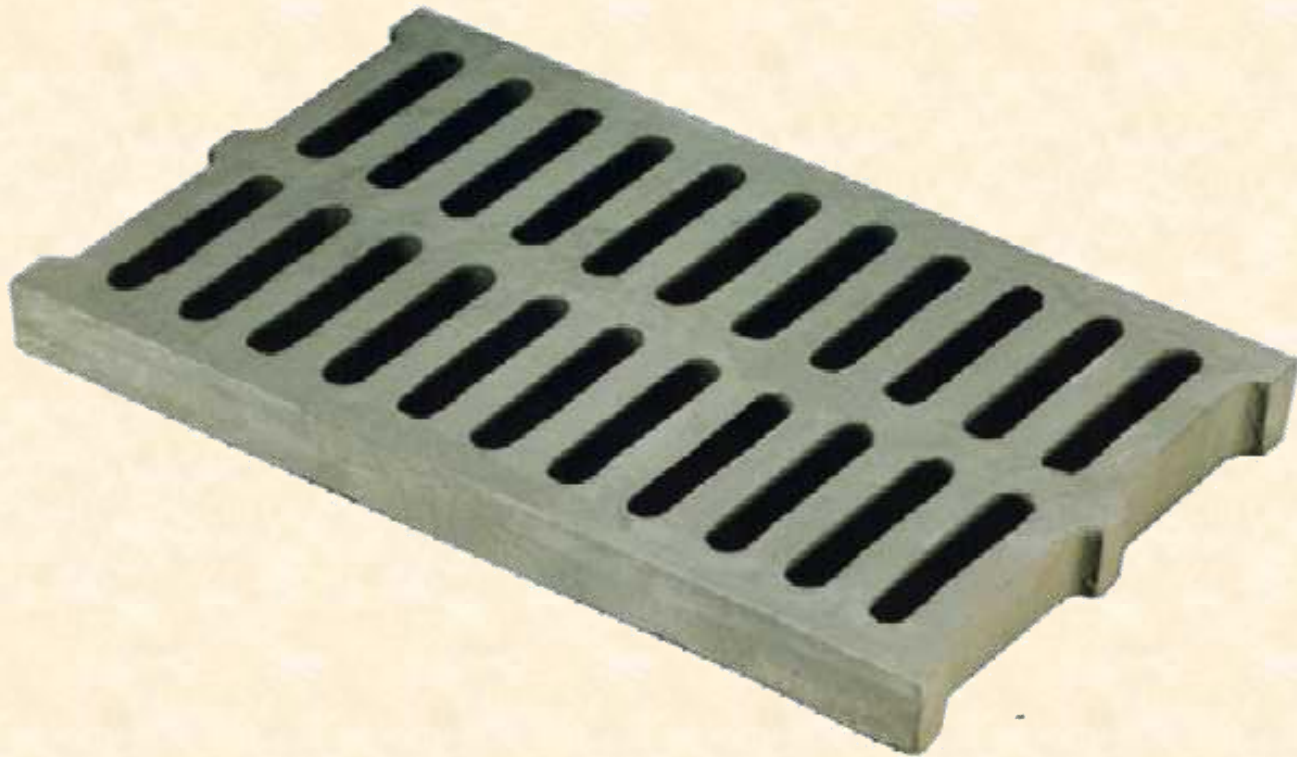
รูปที่ 2.8 ลักษณะกราฟไฟต์ของ เหล็กหล่อสีเทา

Gray Cast Iron

- ได้จากการเติม Si ลงไปประมาณ 1.0-3.0% มีคาร์บอนอยู่ในช่วง 2.5-4.0%
- Si ทำให้คาร์บอนในเหล็กรวมตัวเป็น Graphite ในลักษณะ Flake โครงสร้างจุลภาคประกอบไปด้วย Flake Graphite ล้อมรอบด้วยโครงสร้างพื้นเป็น ferrite หรือ pearlite
- เนื่องจาก flake graphite ทำให้รอยแตกของเหล็กหล่อชนิดนี้มีสี่เท่าจึงเป็นที่มาของชื่อ Gray cast iron

- เหล็กหล่อสีเทา มีสมบัติค่อนข้างแข็งและเปราะ รับแรงดึงได้น้อยเนื่องจากบริเวณปลายของ flake graphite เป็นบริเวณที่เกิด stress concentration เหล็กหล่อสีเทาสามารถรับแรงอัดได้ดี
- สมบัติเด่นของเหล็กหล่อสีเทา คือ สามารถรับแสงสั่นสะเทือนได้ดีมาก
- เหล็กหล่อสีเทา มี Fluidity ที่ดีมาก ทำให้สามารถหล่อขึ้นรูปชิ้นงานซับซ้อนได้ง่ายกว่าเหล็กหล่อประเภทอื่น และมีต้นทุนต่ำที่สุดในบรรดาเหล็กหล่อด้วยกัน





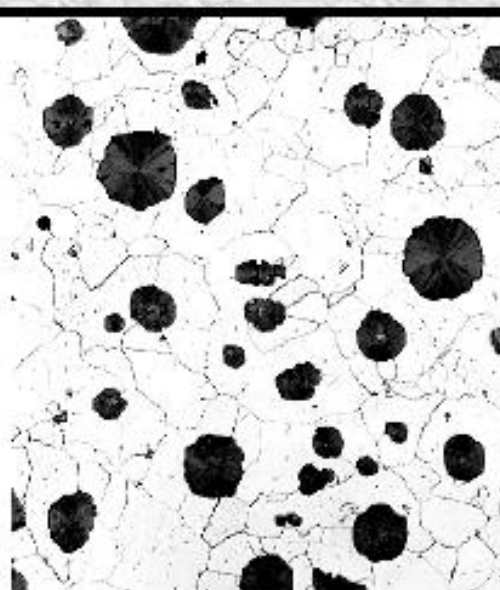
材料: GB9349-88 HT250 灰铁
Material: GB9349-88 HT250 Gray Cast Iron

Gray
cast iron



(a)

Ductile
cast iron



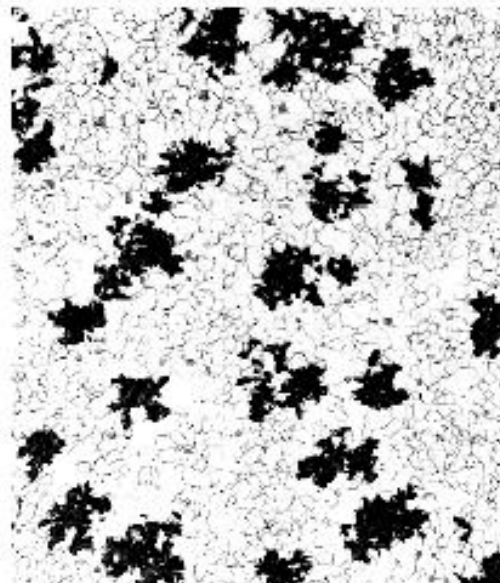
(b)

White
cast iron



(c)

Malleable
cast iron

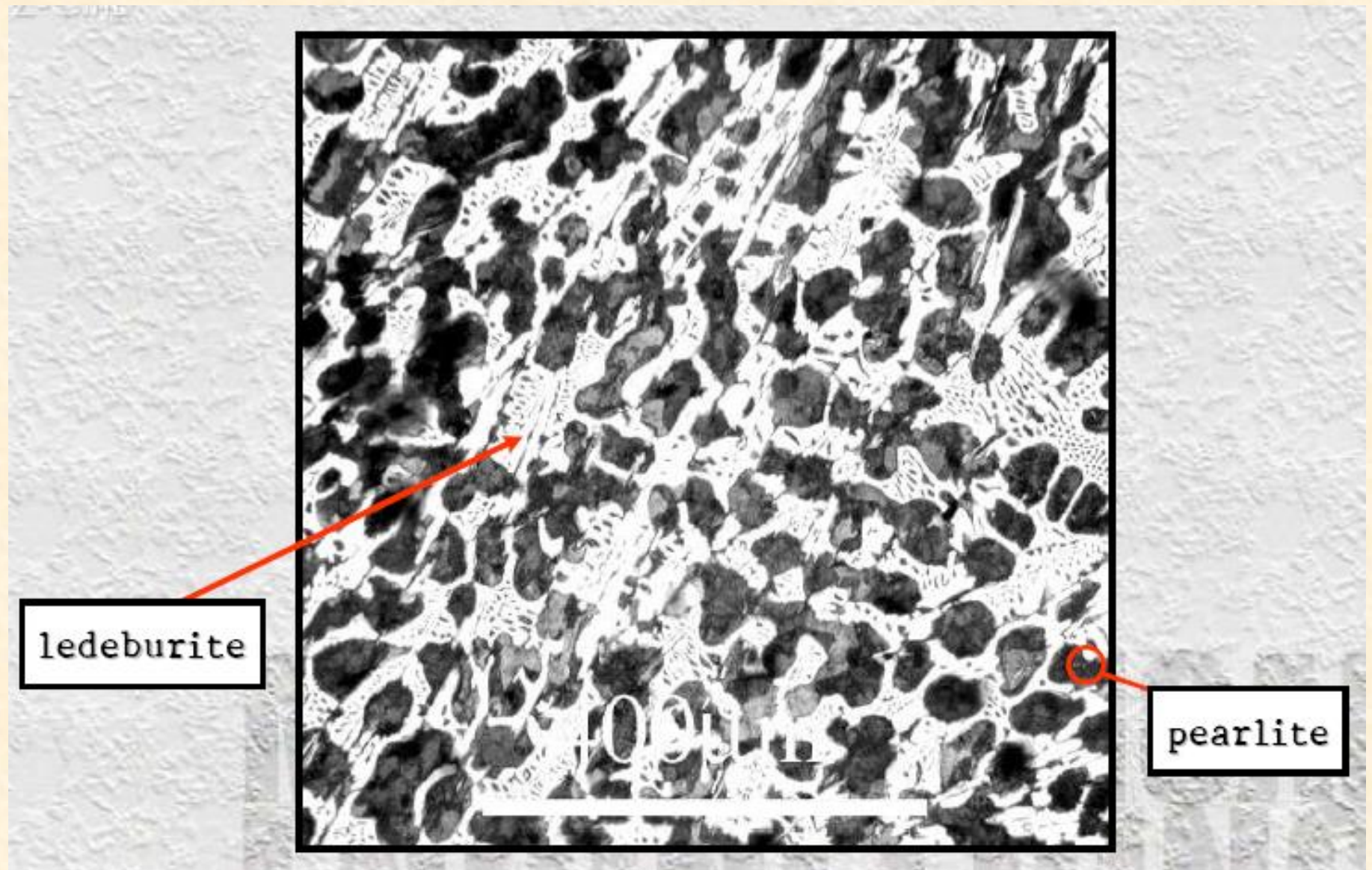


(d)

2. เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron)

White Cast Iron

- สำหรับเหล็กหล่อที่มีปริมาณ Si ต่ำ (น้อยกว่า 1%) และ/หรือ เย็นตัวอย่างรวดเร็ว คาร์บอนจะอยู่ในรูปแบบของ Fe_3C แทน graphite
- เนื่องจากรอยแตกของเหล็กหล่อชนิดนี้มีสีขาวจึงเรียก "เหล็กหล่อขาว" หรือ White Cast Iron
- เหล็กหล่อขาวมีสมบัติแข็งและเปราะมากทำให้สามารถใช้ได้เฉพาะงานที่ต้องการความต้านทานการสึกหรอสูงและไม่สามารถรับแรงกระแทกได้





เหล็กหล่อขาว (White Cast Iron)

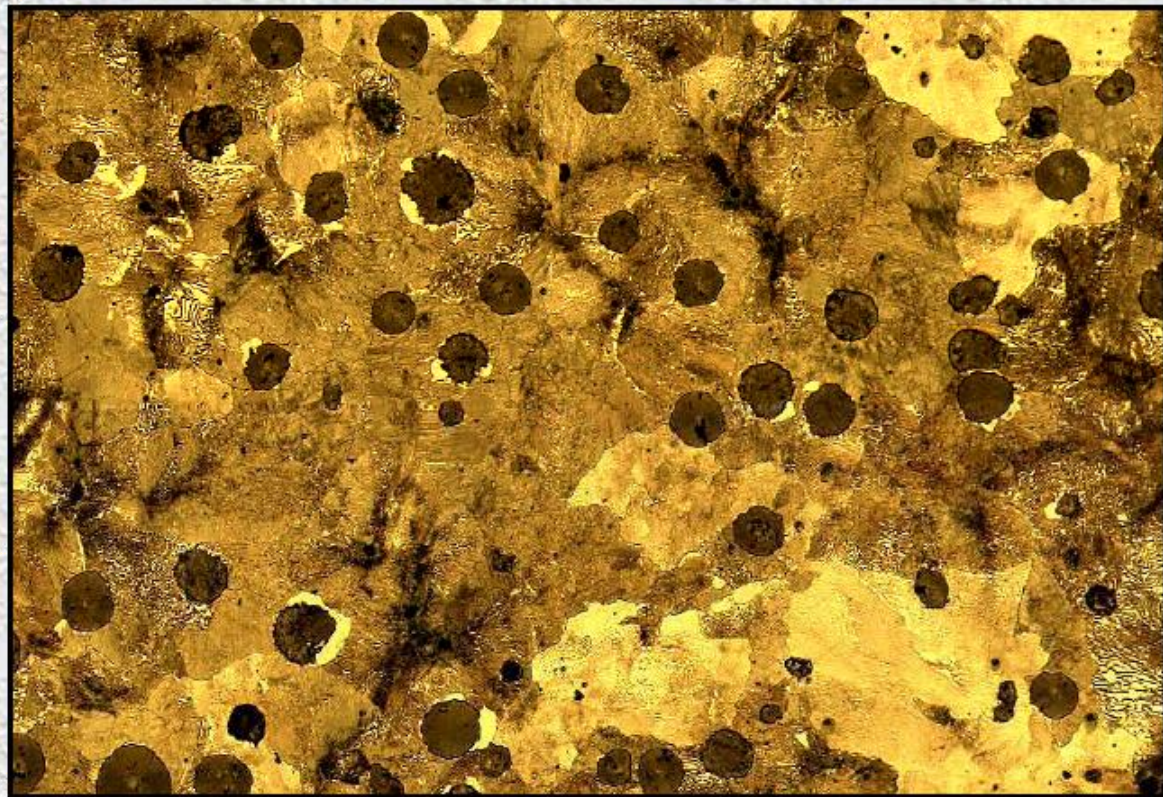


3. เหล็กหล่อเหนียว Ductile Cast Iron หรือเหล็กหล่อกราไฟต์กลม Spheroidal Graphite Iron

Ductile Cast Iron

- เหล็กหล่อเหนียวได้จากการเติม Mg และ/หรือ Ce ลงใน gray cast iron ขณะหลอมเหลวทำให้ graphite เปลี่ยนรูปแบบเป็นทรงกลม จึงมีอีกชื่อหนึ่งคือ "Nodular Cast Iron"
- โครงสร้างจุลภาคประกอบไปด้วย nodular graphite และโครงสร้างพื้นเป็น ferrite หรือ pearlite ขึ้นอยู่กับการอบชุบ โดยยิ่งให้เวลาที่อุณหภูมินาน โครงสร้างพื้นจะเปลี่ยนไปเป็น ferrite เนื่องจากคาร์บอนแพร่เข้าสู่บริเวณที่เป็น graphite

- เหล็กหล่อเหนียวมี tensile strength อยู่ในช่วง 380-480 MPa ซึ่งมากกว่า gray cast iron เพราะมี graphite ที่อยู่ในรูปทรงกลมจึงไม่มี stress concentration zone
- เหล็กหล่อเหนียวมี elongation อยู่ในช่วง 10-20%
- การใช้งานได้แก่ ทำเฟือง, วาล์ว, ตัวปั๊มและชิ้นส่วนยานยนต์



Microstructure of Ductile Cast Iron



DUCTILE CAST IRON



4. เหล็กหล่ออบเหนียว (Malleable Cast Iron)

Malleable Cast Iron

- เมื่อนำเหล็กหล่อขาวมาอบที่อุณหภูมิ 800 - 900 °C เป็นเวลานาน (มากกว่า 30 ชั่วโมง) ในบรรยากาศปกคลุม (เพื่อป้องกัน oxidation) จะทำให้ Fe_3C แตกตัวเป็น graphite มีลักษณะเป็นกลุ่มเป็นก้อนคล้าย คอกไม้
- โครงสร้างจุลภาคประกอบไปด้วยกลุ่ม graphite ล้อมรอบด้วยโครงสร้างพื้นเป็น ferrite หรือ pearlite ขึ้นอยู่กับอัตราการเย็นตัว
- เหล็กหล่อ Malleable จะมีความเหนียวและสามารถตีแผ่ได้ (malleable แปลกว่า สามารถตีแผ่ได้) มี tensile strength ค่อนข้างสูง (ใกล้เคียงกับ nodular cast iron)



5. เหล็กหล่อโลหะผสม (Alloy Cast Irons)

นิกเกิล โครเมียม ทองแดง และ โมลิบดีนัม

ก. เหล็กหล่อทนการเสียดสี โครเมียม นิกเกิล และ โมลิบดีนัม

ข. เหล็กหล่อทนความร้อน นิกเกิล

ค. เหล็กหล่อทนการกัดกร่อน นิกเกิล ซีลีคอน

คุณสมบัติ ของธาตุผสม ที่มีอยู่ในเหล็กหล่อ (Effects of Alloy Addition in Cast Iron)

ธาตุคาร์บอน

ธาตุโครเมียม

ธาตุแมงกานีส

ธาตุโมลิบดีนัม

ธาตุกำมะถัน

ธาตุวาเนเดียม

ธาตุซีลีคอน

ธาตุทองแดง

ธาตุฟอสฟอรัส

การผลิตเหล็กกล้า (Steel Production)

1. เหล็กดิบ (Pig Iron) สีขาวที่เป็นโลหะร้อน (Hot Metal) หรือ น้ำเหล็ก (Molten Iron) ที่ได้จากเตาสูง
2. เศษเหล็กหมุนเวียน หรือวัสดุหมุนเวียน (Scrap)
3. ธาตุผสม (Alloying Elements) และสารเติมแต่ง (Addition Agents) ซึ่งสามารถใส่ลงไปใน ถังเก็บน้ำเหล็ก (Ladle) หรือ ลงในเตาหลอม (Steel Making Furnace)



Pig Iron

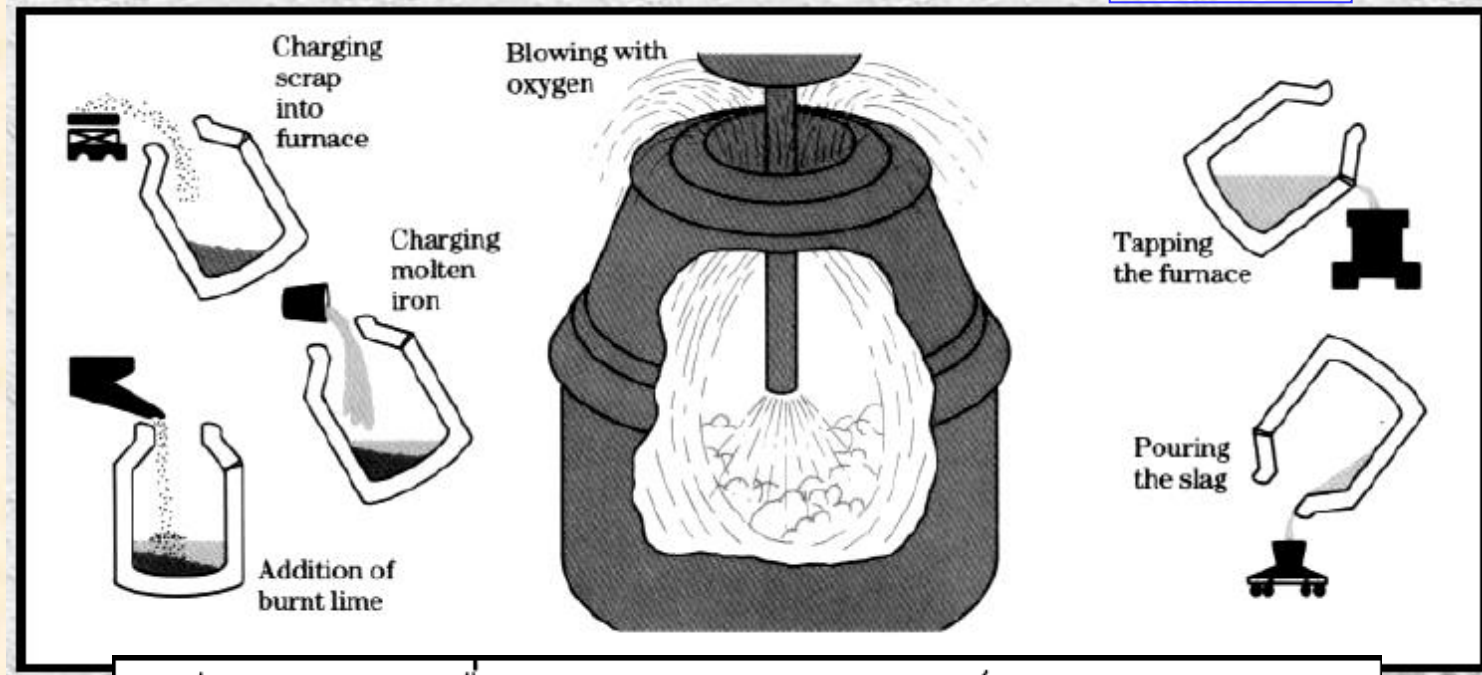


Steel Scrap

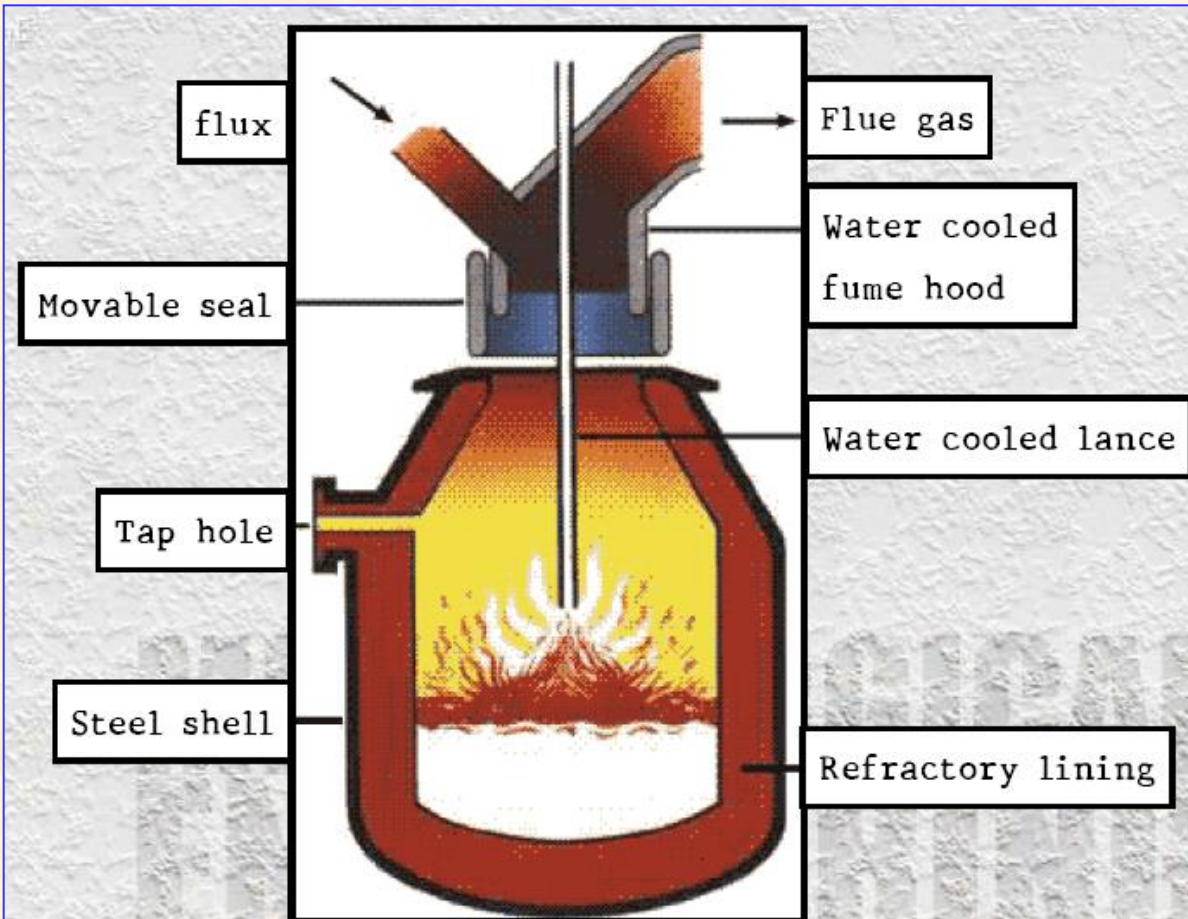


1. เตาฟั่นออกซิเจน (Basic Oxygen Furnace/BOF)

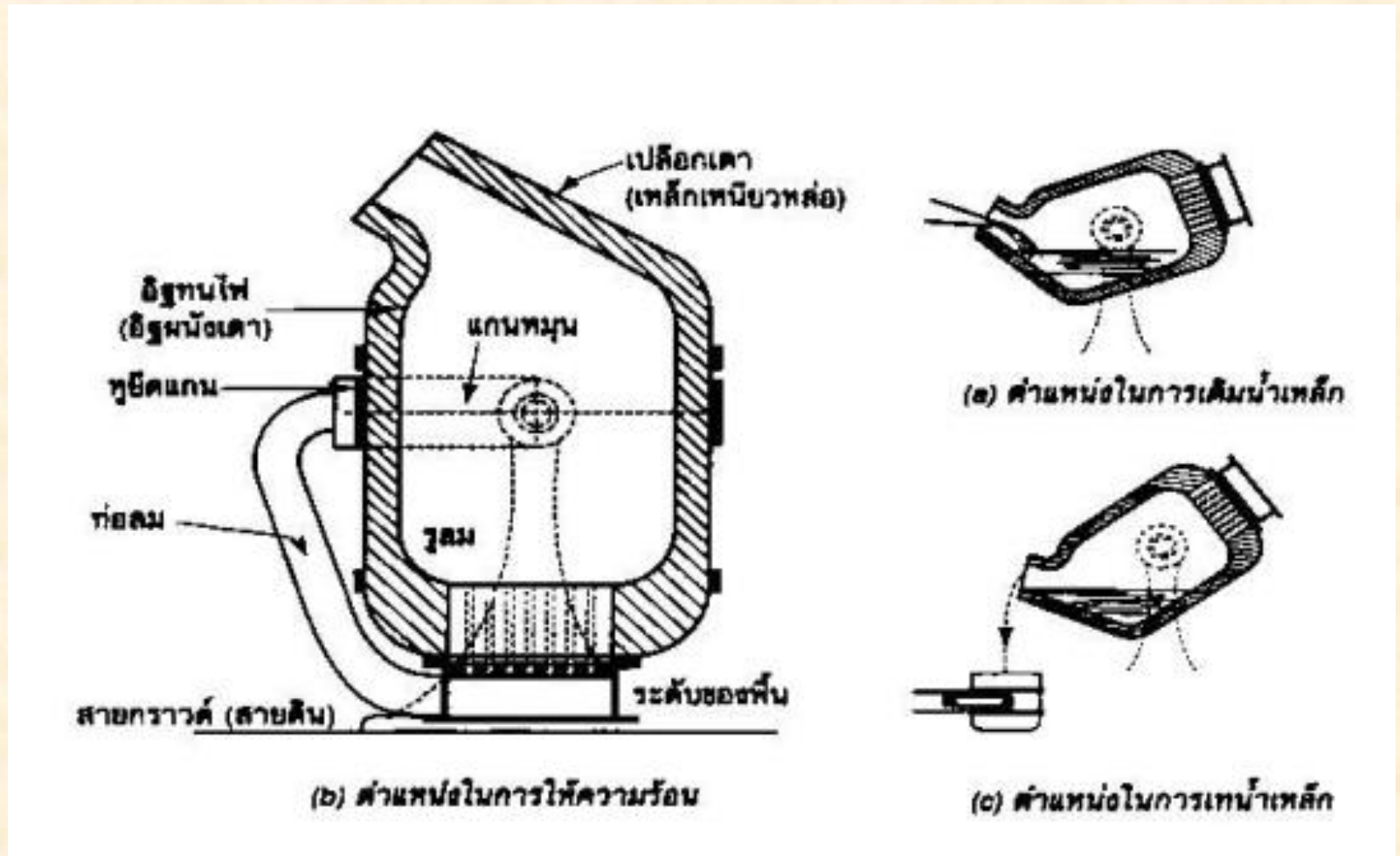
BOF



- มีการเติมหินปูนเพื่อรวมกับ FeO , SiO_2 เกิดเป็นตะกรัน (Slag)
 - Slag ทำปฏิกิริยากับน้ำเหล็กช่วยลด S, P ในน้ำเหล็ก
 - Slag จะถูกกำจัดออกได้ โดยมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าเหล็กทำให้ลอยตัวขึ้นที่ผิวหน้า
 - น้ำเหล็กที่ได้จะถูกนำไปหล่อเป็น slab แล้วนำไปขึ้นรูปในภายหลัง แต่ในปัจจุบันนี้กระบวนการส่วนใหญ่ถูกปรับเปลี่ยนไปเป็นการนำไปหล่อและรีดต่อเนื่องด้วย Continuous casting machine
- เหล็กกล้าประสม และเหล็กกล้าคาร์บอน**

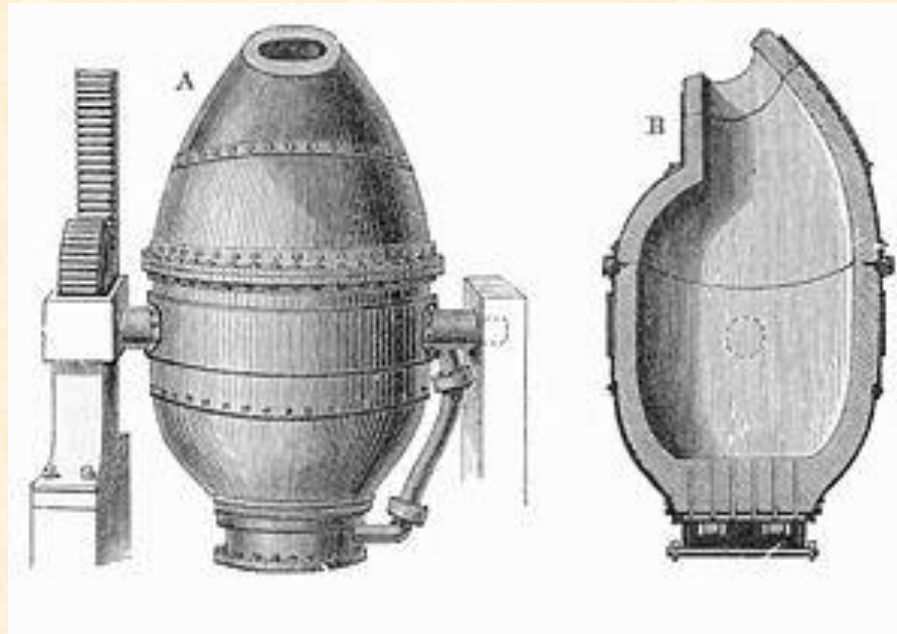


2. เตาเบสเซมเมอร์ (Bessemer's Process)



เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าประสมและเหล็กอ่อน (Wrought iron)

การผลิตเหล็กกล้าโดยกรรมวิธีเบสเซเมอร์ (Bessemer's Process)



กรรมวิธีเบสเซอร์เป็นการกำจัดสารมลทินส่วนใหญ่ที่เจือปนอยู่ในน้ำเหล็กดิบออกด้วยกรรมวิธีแบบกรด โดยการนำเอาน้ำเหล็กดิบที่ถูกลงจากเตาสูงมาเทลงในเตา (Converter) ซึ่งปากเตาจะมีลักษณะเป็นปากเอียง ตัวเตาตั้งอยู่บนแกนที่สามารถหมุนได้รอบแกนในแนวราบ ผนังเปลือกนอก (Steel) เป็นเหล็กกล้า ผนังภายในบุด้วยวัสดุทนไฟที่มีลักษณะเป็นกรดอย่างแรงซึ่งส่วนมากจะมีซิลิกาเป็นส่วนประกอบเป็นสำคัญหนาประมาณ (30-38 cm.) ที่ก้นเตาจะเจาะเป็นรูเล็ก ๆ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ $\frac{1}{4}$ " เรียกว่ารูอากาศเป็นรูที่อากาศถูกอัดผ่านด้วยเครื่องเป่าอากาศจากหีบลม (Wine box) ผ่านขึ้นไปยังน้ำเหล็กดิบที่หลอมเหลวมีผลทำให้สารมลทินและออกไซด์ต่าง ๆ ถูกเผาไหม้และถูกดูดออกไปกลายเป็นขี้ตะกรันในสภาพกรด เนื่องจากเหล็กออกไซด์ที่ยังไม่ได้รวมตัวกันจะมีปฏิกิริยากัดกร่อนอย่างรุนแรงต่อวัสดุบุ ฉะนั้นก้นเตาจึงถูกกัดกร่อนรวดเร็วมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณของท่ออากาศเป็นที่ซึ่งอากาศพบกับเหล็กหลอมเหลว วัสดุบุก้นเตาจึงมีอายุการเผาจำกััดประมาณ 20-26 ครั้ง แม้ว่าจะมีการซ่อมแซมระหว่างการเผาแต่ละครั้งก็ตาม ด้วยเหตุนี้ก้นเตาจึงถูกออกแบบมาให้สามารถถอดออกง่าย

การทำงานของเตาโดยกรรมวิธีเบสเซเมอร์

1. น้ำเหล็กดิบที่ได้จากเตาสูงในถังโลหะร้อน จะถูกปั๊มเข้าสู่เตาในขณะที่เตาเอียงในตำแหน่งแนวนอน
2. กระแสลมจะเริ่มผ่านเข้าไปในท่ออากาศทางก้นเตา พร้อมกับตัวเตาค่อย ๆ กลับคืนสู่ตำแหน่งแนวตั้งเพื่อป้องกันน้ำเหล็กดิบไหลเข้าไปในท่ออากาศ ระหว่างการพ่นลมเข้าจากใต้เตา ออกซิเจนที่มีอยู่ในลมจะทำปฏิกิริยากับ ซิลิกอน (Si) และเหล็ก (Fe) กลายเป็นซิลิกา (SiO_2) และ เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่งเฟอริกออกไซด์บางส่วนที่ละลายอยู่ในน้ำเหล็กดิบจะไปทำปฏิกิริยา Oxidizes กับแมงกานีสให้มีปริมาณลดลงเหลือเพียงเล็กน้อย ทั้งหมดนี้จะใช้เวลาประมาณ 2-5 นาทีจากนั้นออกซิเจนจะเริ่มทำปฏิกิริยารวมตัวกับคาร์บอนในน้ำเหล็กเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งจะถูกพ่นออกมา เผาไหม้อยู่บริเวณปากเตา เปลวไฟที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะสีเหลืองแดงและจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเปลวไฟร้อนมาก มีสีขาวจากนั้นจะค่อย ๆ หรี่ ดับลงแสดงว่าสารมลทินถูกกำจัดออกเกือบหมดและเปลี่ยนเป็นชีตะกรันลอยอยู่เหนือน้ำเหล็ก

1.3 หมุนเตากลับไปในแนวนอนอย่างระมัดระวังพร้อมกับปิดกระแสลมใต้เตา จากนั้นเอียงเตาอย่างช้า ๆ เพื่อเทเอาขี้ตะกรันออกลงภาชนะที่รองรับ นำเหล็กที่เหลืออยู่ในเตาขณะนี้ยังเป็นเหล็กกล้าอ่อนอยู่ (Dead mild steel) คือเป็นเหล็กกล้าที่มีปริมาณของคาร์บอนอยู่น้อยเกินไปซึ่งเป็นข้อบกพร่องของการราวีธีเบสเซอร์ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการเติมสารเฟอร์โรแมงกานีส (Ferro-manganese) ซึ่งจะมีส่วนผสมของ $Mn=78\%$ $C=6-7\%$ ลงไปในปริมาณที่พอเหมาะในการเติมสารเฟอร์โรแมงกานีสไม่เพียงแต่จะเพิ่มปริมาณของคาร์บอนเท่านั้น แต่แมงกานีสยังจะทำปฏิกิริยากับสารละลายของเหล็กออกไซด์ ออกมาเป็นแมงกานีสออกไซด์ (MnO) เกาะรวมตัวอยู่ในขี้ตะกรันอีกด้วยจะมีแมงกานีสบางส่วนที่เหลืออยู่ในน้ำเหล็กแต่ก็เป็นปริมาณที่น้อยจึงไม่มีผลต่อน้ำเหล็กมากนัก

1.4 เทน้ำเหล็กลงในแบบที่เตรียมไว้ (Ingot Molds) หลักจากนั้นนำแท่งเหล็กที่ยังร้อนอยู่ไปรีดขึ้นรูป หรือตีเป็นแผ่นตามรูปพรรณที่ต้องการต่อไปโดยไม่ต้องเพิ่มความร้อนอีก

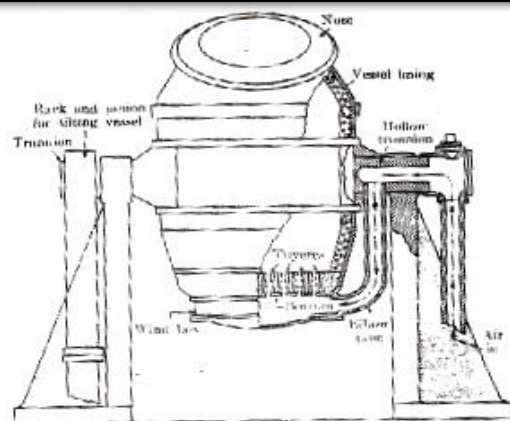
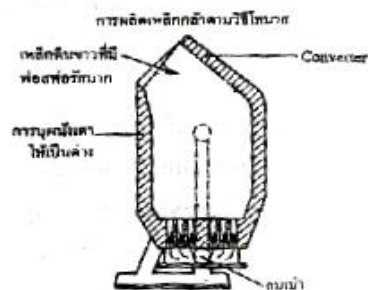
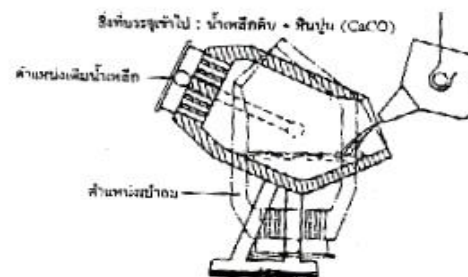


Fig. 1-6. Diagram illustrating the details of construction that permits air to enter the Bessemer converter through a hollow trunnion, so that the vessel can be turned down without interrupting the flow of air. [By permission from United States Steel Corporation, The Making, Shaping, and Treating of Steel, 7th ed., 1937]



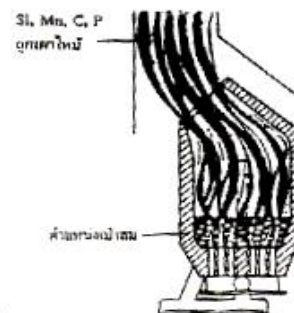
รูปที่ ๑.๕ อัดลมและถ่านโค้กในภาชนะ



รูปที่ ๑.๖ ค่าของน้ำตมและน้ำตมที่เติมเข้า



รูปที่ ๑.๗ การพองเหล็กดิบขาวบริสุทธิ์

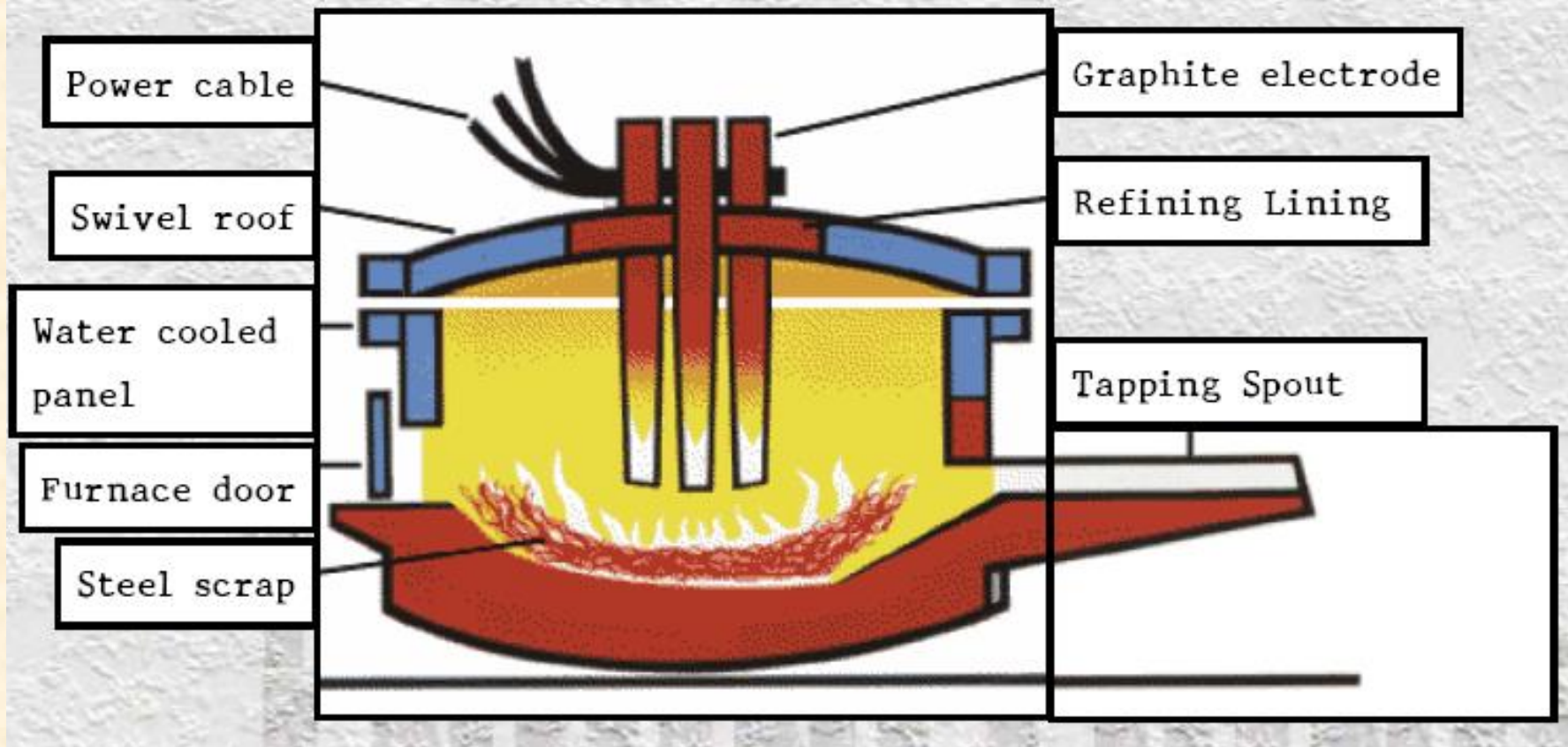


รูปที่ ๑.๘ การพองเหล็กดิบขาวบริสุทธิ์

3. เตาไฟฟ้า (Electric Arc Furnace)

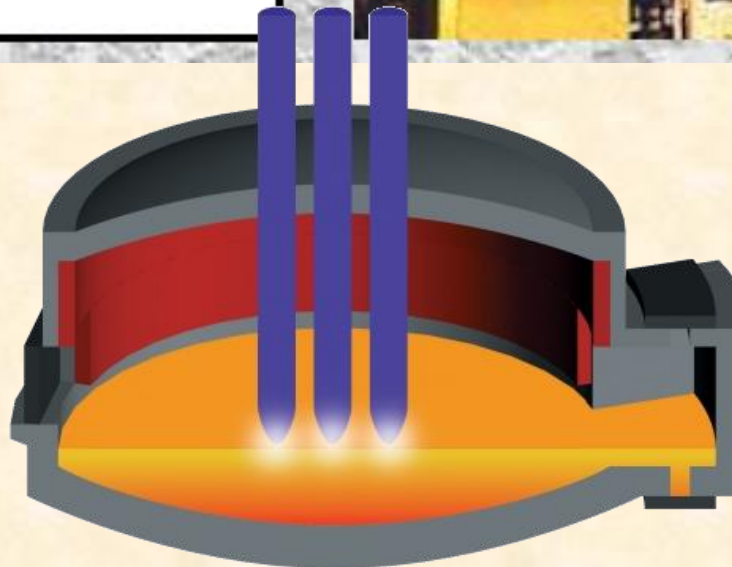
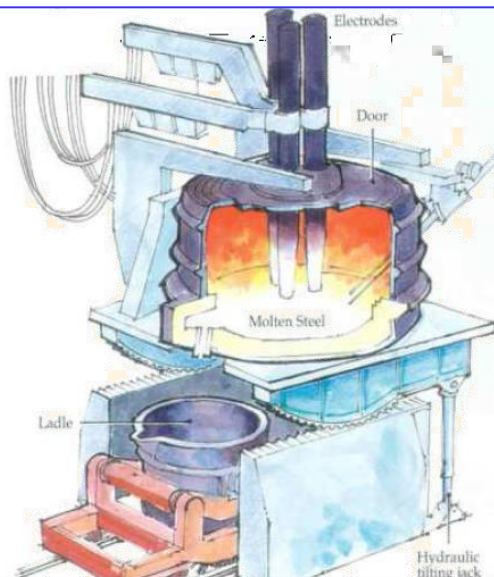
EAF

Electric Arc Furnace



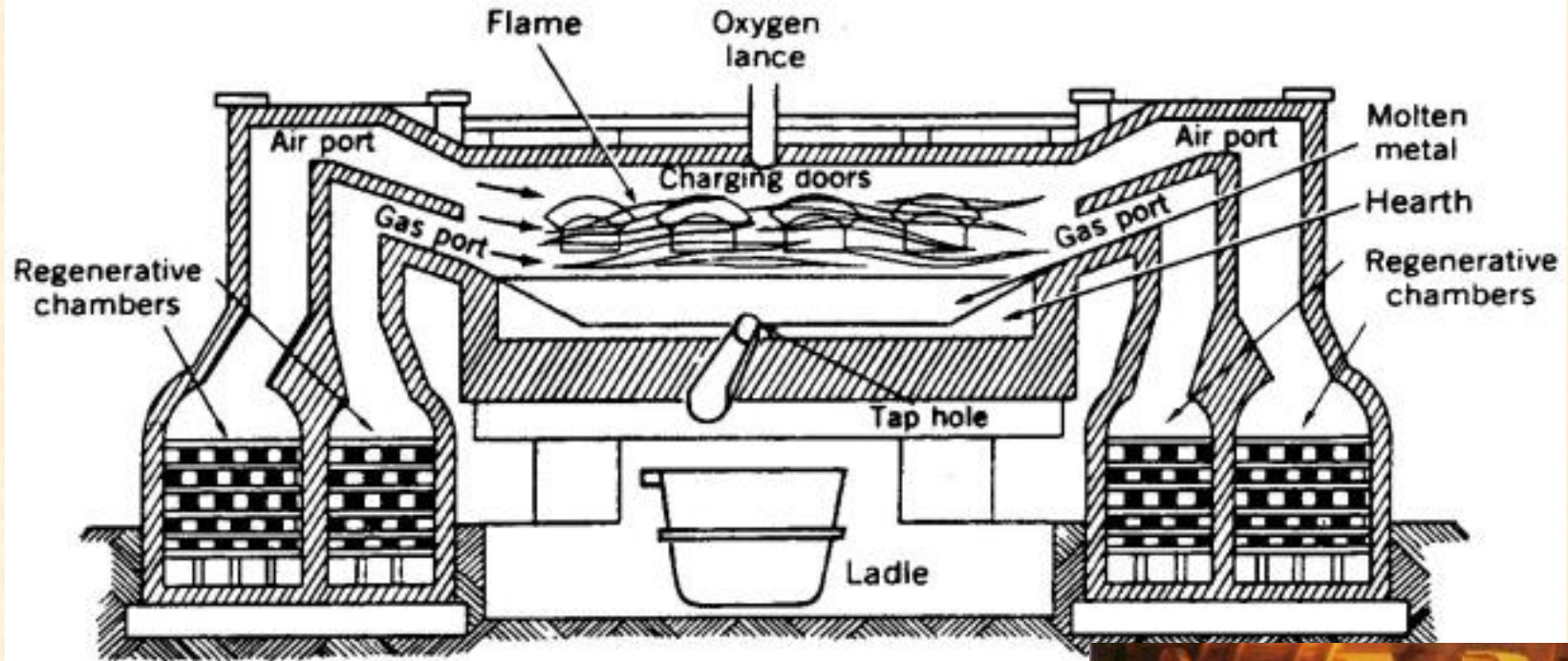
เหล็กกล้าประสม เหล็กกล้าประสมพิเศษ และเหล็กหล่อกรา-ไฟต์กลม (Nodular Iron)

- ในการนำเหล็กกล้ากลับมาใช้ใหม่นิยมใช้เตา Electric Arc Furnace ซึ่งประหยัดพลังงานกว่าเตา BOF
- วัตถุดิบคือ Steel Scrap สามารถตั้งไกลจากชายฝั่งได้ โดยต้องมีปริมาณเศษเหล็กเพียงพอ
- ควบคุมส่วนผสมทางเคมีและคุณภาพได้ยาก ผลิตภัณฑ์จึงเหมาะที่จะใช้กับงานที่ไม่วิกฤตเรื่องคุณภาพ



4. เตากระทะ (Open Hearth Furnace)

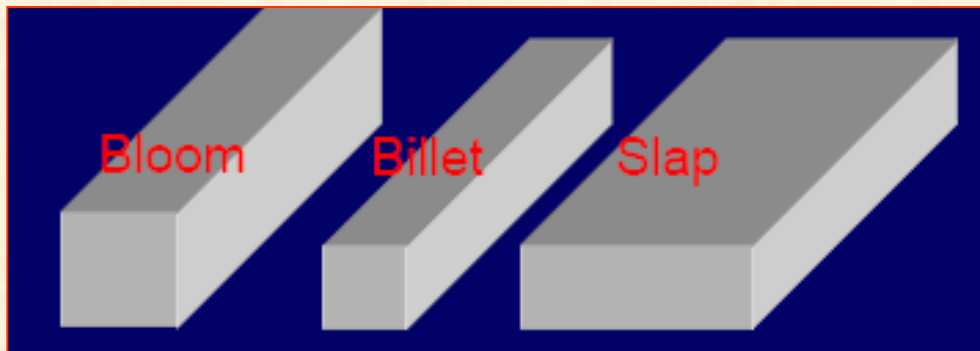
OF



เหล็กกล้าประสม (Alloy Steels)



โลหะกลุ่มเหล็ก (Ferrous Metals)



- Bloom เป็นการขึ้นรูปครั้งแรกจาก ingot

(Square > 500 mm).

$\approx 15 \times 15 \text{ cm}$

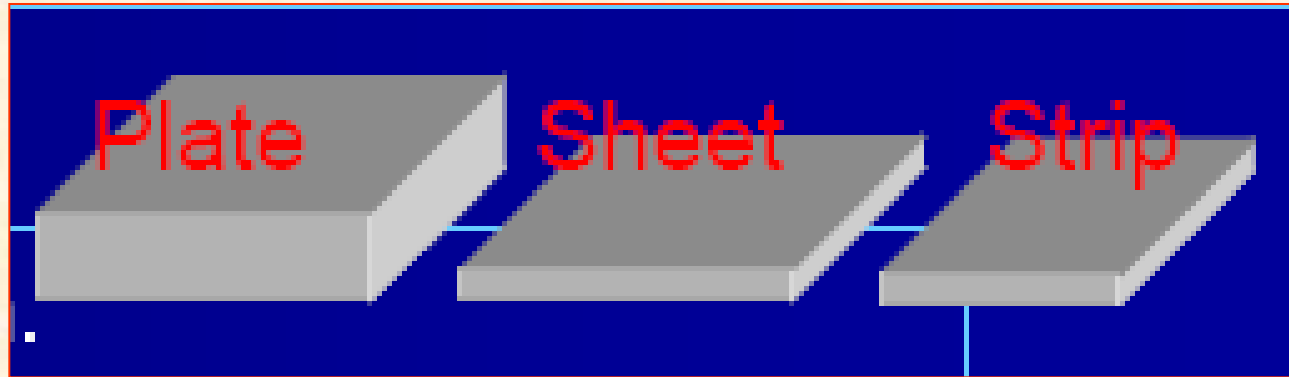
- Billet ผ่านกรรมวิธีรีดร้อนลดขนาด

(Square 180 mm).

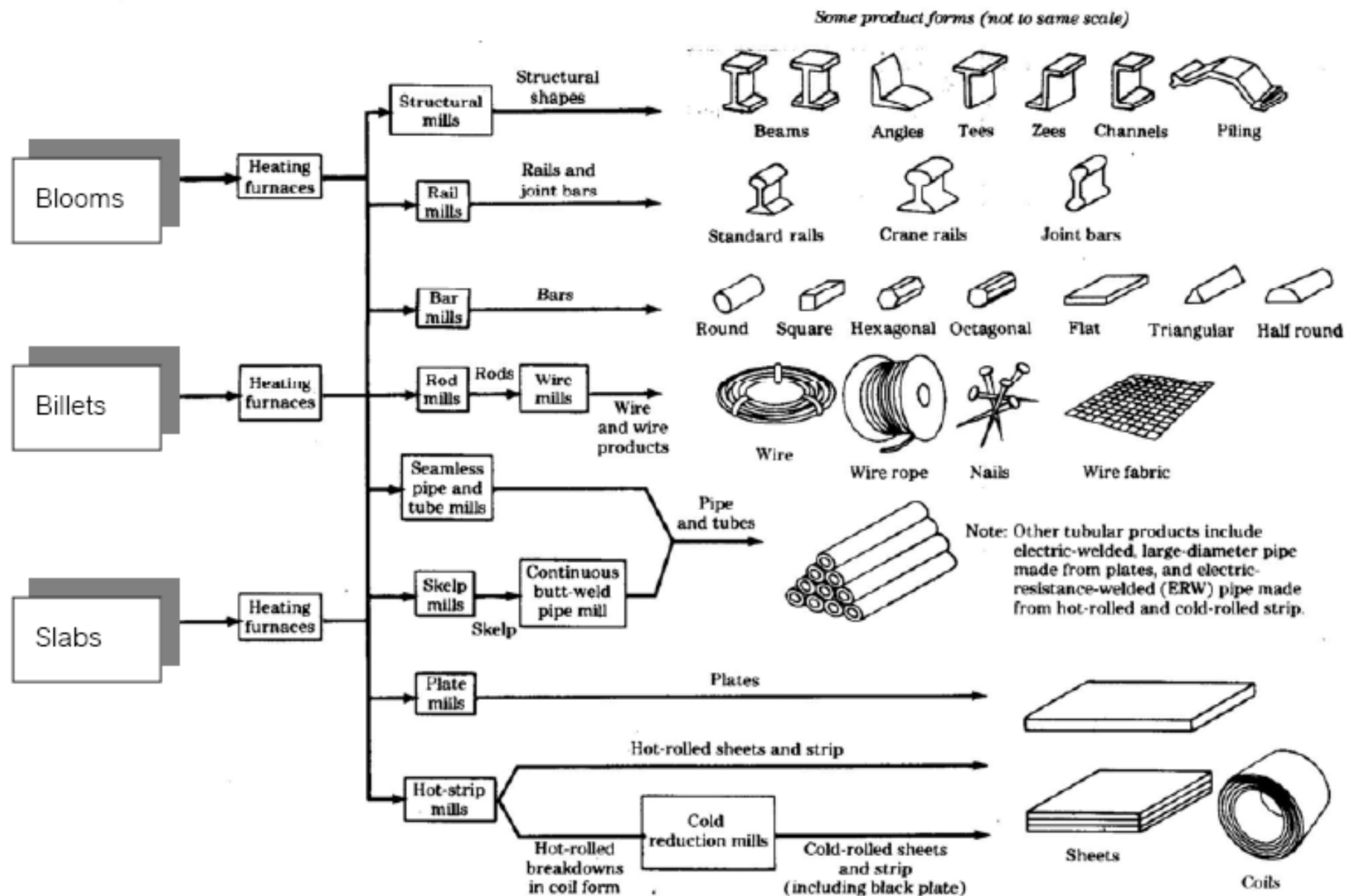
- Slab ผ่านกรรมวิธีรีดร้อนลดขนาด ingot

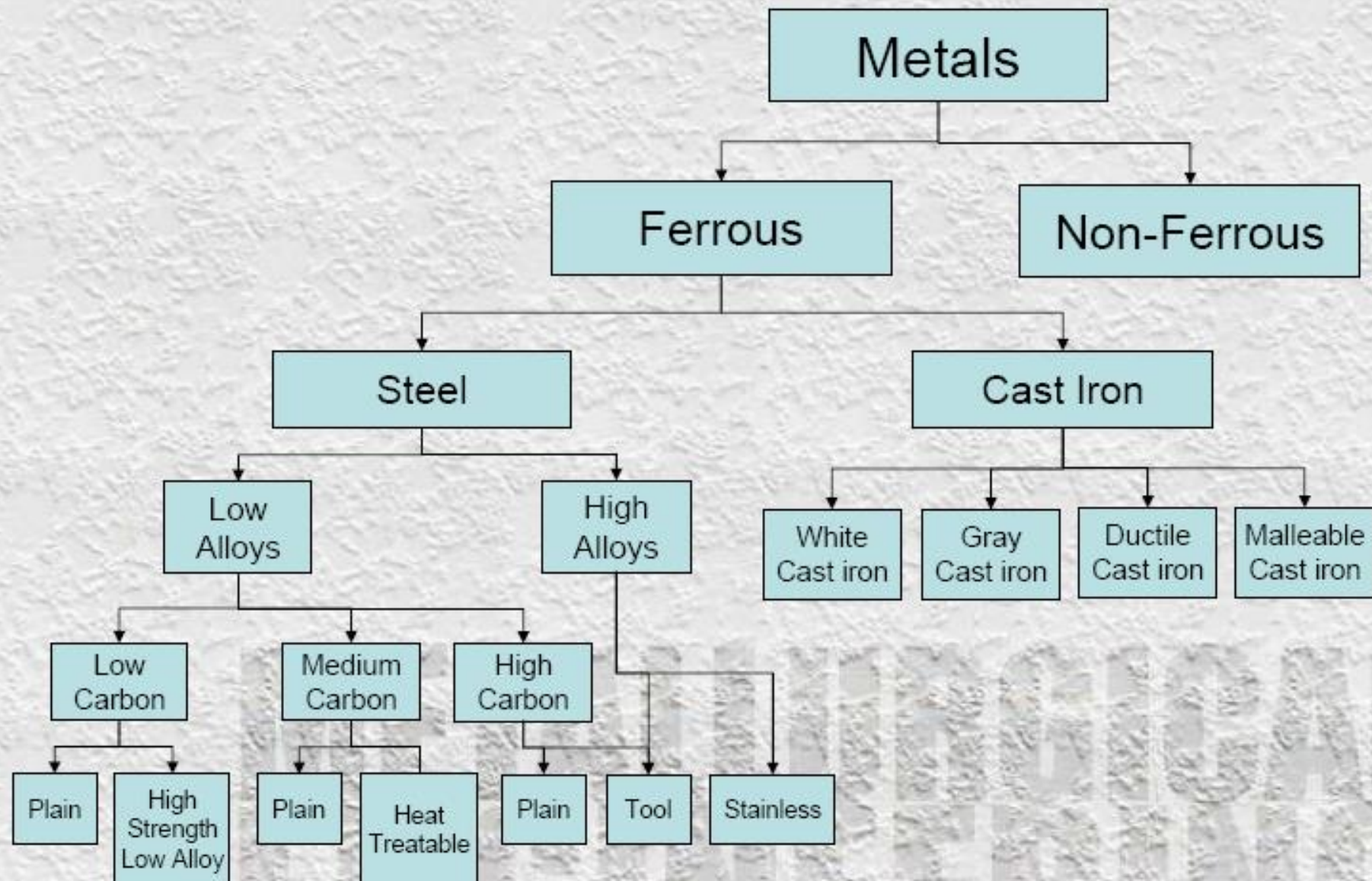
(Thick > 320 mm and with a wide 3000 mm หรือ ≥ 2

x thickness).



- **Plate** **thickness > 6 mm.**
- **Sheet** **thickness < 6 mm**
and width > 600 mm.
- **Strip** **thickness < 6 mm**
and width < 600 mm.





เหล็กกล้ามีส่วนผสม

1. ธาตุเหล็ก (Fe)
2. ธาตุคาร์บอน
3. ธาตุผสม หรือสารเจือ (Alloying Elements)
4. สารเติม หรือสารเติมแต่ง (Addition Agents)

1) เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steels หรือ Plain Carbon Steels)

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steels หรือ Mild Steels)

เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steels)

เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steels)

2) เหล็กกล้าผสม (Alloy Steels)

เหล็กกล้าผสมต่ำ (Low Alloy Steels)

เหล็กกล้าผสมสูง (High Alloy Steels)

- เหล็กกล้าสแตนเลส (Stainless Steels) - เหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool Steels)

1) โลหะกลุ่มเหล็ก (Ferrous Metals)

เหล็กกล้า

- เหล็กกล้าถูกจำแนกตามปริมาณคาร์บอนออกเป็น
 - เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel) มี C น้อยกว่า 0.25%
 - เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium carbon steel) มี C ระหว่าง 0.25% - 0.6%
 - เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High carbon steel) โดยทั่วไปมี C ระหว่าง 0.6% - 1.4%
- Plain carbon steel หมายถึงเหล็กกล้าที่มีเฉพาะเหล็กและคาร์บอนเป็นส่วนผสมเท่านั้น อาจมี Mn ปริมาณเล็กน้อย นอกเหนือจากนี้คือสารมลทิน
- Alloy steel คือเหล็กกล้าที่มีการเติมธาตุผสมลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติ

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

- เป็นเหล็กกล้าที่มีการผลิตและการใช้งานมากที่สุดในบรรดาเหล็กกล้าด้วยกัน โดยมีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 0.25% ซึ่งทำให้ไม่สามารถอบชุบเพิ่มความแข็งแรงด้วยวิธีทางความร้อนได้ (ไม่สามารถได้โครงสร้าง Martensite ได้โดยการ quenching)
- การเพิ่มความแข็งแรงให้กับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำใช้วิธี cold working
- โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำประกอบไปด้วย ferrite และ pearlite
- เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีความเหนียวและอ่อนมาก ทำให้สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีทางกลและการเชื่อมได้ง่ายและต้นทุนต่ำ

เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง

- เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางมีคาร์บอนระหว่าง 0.25 - 0.6% เหล็กกล้าประเภทนี้สามารถอบชุบด้วยกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ (Quench and Tempering)
- Plain medium carbon steel มีความสามารถในการอบชุบน้อย ดังนั้นจึงมีการเติมธาตุผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการอบชุบ เช่น Cr, Ni, Mo
- Alloyed medium carbon steel มีความแข็งแรงสูงกว่า plain low carbon steel แต่มีความเหนียวและขึ้นรูปยากกว่าเช่นกัน

เหล็กกล้าคาร์บอนสูง

- เหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีปริมาณคาร์บอนระหว่าง 0.6% - 1.4% มีความแข็งแรงและแข็งมากที่สุดแต่มีความเหนียวน้อยที่สุดในบรรดาเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกัน
- เกือบทั้งหมดถูกใช้งานในสภาพที่ผ่านการอบชุบ
- สามารถทนการสึกหรอได้ดี ใช้ทำเครื่องมือและแม่พิมพ์
- ธาตุผสมทั่วไปได้แก่ Cr, Mo, V, W ธาตุเหล่านี้จะรวมตัวกับคาร์บอนให้สารประกอบ Carbide ที่มีความแข็งและจุดหลอมตัวสูง (i.e. Cr_{23}C_6 , V_4C_3 , WC)

เหล็กกล้าไร้สนิม

- **Stainless steel** เป็นเหล็กกล้าที่ความต้านทานการกัดกร่อนสูงเป็นพิเศษ โดยไม่เป็นสนิมในบรรยากาศปกติ (เหล็กกล้าทั่วไปเป็นสนิม)
- ความต้านทานการกัดกร่อนได้มาจากการเติมธาตุ Cr (อย่างน้อย 13%) เป็นหลักทำให้เกิดฟิล์มออกไซด์ที่ผิวป้องกันเนื้อโลหะ
- อาจเติมธาตุอื่น ๆ ช่วยเพิ่มสมบัติบางประการเช่น Ni และ Mo

1) กลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic)

คาร์บอน 0.15% โครเมียม 18% นิกเกิล 8% มีหลายเกรดมากที่สุดถูกใช้งานอย่างกว้างขวาง

2) กลุ่มเฟอร์ริติก (Ferritic)

คาร์บอนต่ำ มีโครเมียมประมาณ 15 — 18% และมีคาร์บอนไม่เกิน 0.12%

3) กลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic)

คาร์บอน ไม่เกิน 0.15% โครเมียมระหว่าง 12 — 14% 2.ประเภทที่มีคาร์บอนประมาณ 0.2 — 0.4% โครเมียมระหว่าง 13-15% และ 3.ประเภทที่มีคาร์บอนระหว่าง 0.6 — 1% โครเมียมระหว่าง 14 — 16 %

- เหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool Steels)

1. เหล็กกล้า High Speed Tool Steels ที่ ค่าความแข็ง 65 HRC และคาร์บอนที่ 0.7-0.8 %
2. เหล็กกล้า Hot-working Tool Steels ที่ ค่าความแข็ง 55 HRC และคาร์บอนที่ 0.4 %
3. เหล็กกล้า Cold-working Tool Steels ที่ ค่าความแข็ง 60 HRC และคาร์บอนที่ 1.0 %
4. เหล็กกล้า Water-hardening Tool Steels ที่ ค่าความแข็ง 63 HRC และคาร์บอนที่ 1.0 %
5. เหล็กกล้า Shock-resistant Tool Steels ที่ ค่าความแข็ง 50 HRC และคาร์บอนที่ 0.5 %
6. เหล็กกล้า Mold Steels ที่ ค่าความแข็งประมาณ 40 HRC และคาร์บอนที่ 0.4 %
7. เหล็กกล้า Low-alloy Tool Steels ที่ ค่าความแข็งประมาณ 45 HRC และคาร์บอนที่ 0.7 %

1) ระบบ SAE
(The Society of
Automotive
Engineers) และ
AISI
(The American
Iron and Steel
Institute)

ตารางที่ 2.5 การเขียนสัญลักษณ์ ของเหล็กกล้า ในระบบ AISI - SAE

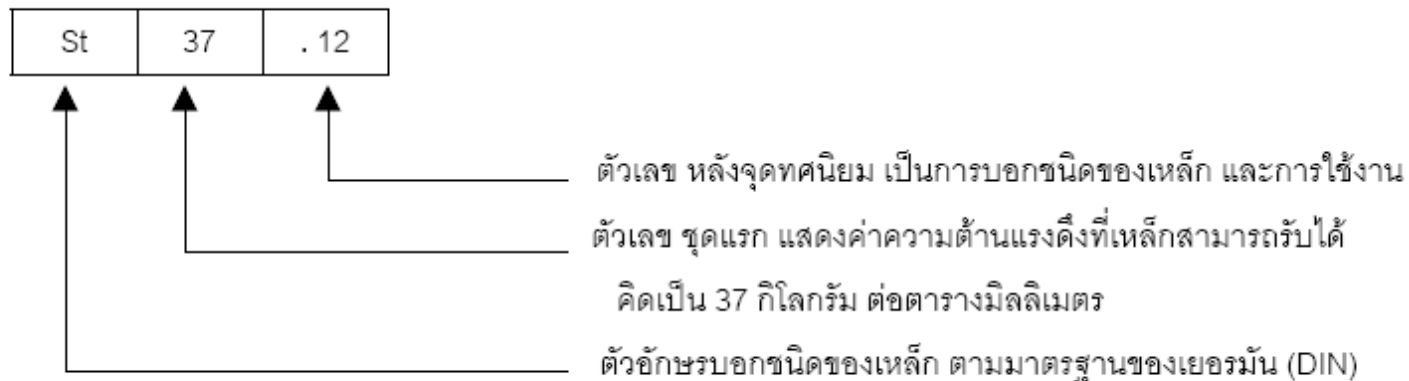
ชนิดของเหล็กกล้า	สัญลักษณ์ที่ใช้
เหล็กกล้า คาร์บอน	1XXX
-เหล็กกล้า Plain Carbon Steels (เหล็กกล้าไม่เติมกำมะถัน)	10XX
-เหล็กกล้าชนิด ตัดเฉือนง่าย (เหล็กกล้าเติมกำมะถัน)	11XX
เหล็กกล้า แมงกานีส (แมงกานีส 1.75%)	13XX
เหล็กกล้า นิกเกิล	2XXX
-มีส่วนผสมของ นิกเกิล ประมาณ 3.50 %	23XX
-มีส่วนผสมของ นิกเกิล ประมาณ 5.00%	25XX
เหล็กกล้า นิกเกิล-โครเมียม	3XXX
-มีส่วนผสมของ นิกเกิล 1.25 % โครเมียม 0.65 %	31XX
-มีส่วนผสมของ นิกเกิล 1.75% โครเมียม 1.00%	32XX
-มีส่วนผสมของ นิกเกิล 3.50% โครเมียม 1.55%	33XX

ตารางที่ 2.6 รายละเอียด ของส่วนผสมทางเคมี ตามระบบ AISI-SAE ของเหล็กกล้าประสมต่ำ

AISI No.	SAE No.	Composition, %							
		C	Mn	P(Max)	S(Max)	Si	Ni	Mo	Cr
A1330	1330	0.28 - 0.33	1.60 - 1.90	0.035	0.040	0.15 - 0.35	-	-	-
A1335	1335	0.33 - 0.38	1.60 - 1.90	0.035	0.040	0.15 - 0.35	-	-	-
A4815	4815	0.13 - 0.18	0.40 - 0.60	0.035	0.040	0.15 - 0.35	3.25 - 3.75	0.20 - 0.30	75

2) ระบบ DIN (Deutsche Industrial Norm)

ตัวอย่าง การเขียนสัญลักษณ์ ตามมาตรฐานของเยอรมัน (DIN) เช่น St 37.12



ตารางที่ 2.7 แสดงอักษร และความหมายของ เหล็ก ตามมาตรฐานของเยอรมัน (DIN)

อักษร	หมายถึง	อักษร	หมายถึง
St	เหล็กกล้าธรรมดา	Te/GT	เหล็กหล่ออบเหนียว
StC	เหล็กกล้าคาร์บอน	GTW	เหล็กหล่ออบเหนียวสีขาว
StG/GS	เหล็กหล่อเหนียว	GTS	เหล็กหล่ออบเหนียวสีดำ
Ge/GG	เหล็กหล่อสีเทา	GGG	เหล็กหล่อกราไฟต์กลม
GH	เหล็กหล่อแข็ง	GK	เหล็กหล่อด้วยแบบปั๊มเหล็ก

- St 37.12

โลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Nonferrous Metals)

กลุ่มโลหะหนัก (Heavy Metals)

ทองแดง(Cu)	ดีบุก(Sn)	ทังสเตน (W)
ตะกั่ว (Pb)	นิกเกิล (Ni)	โมลิบดีนัม (Mo)
สังกะสี (Zn)	โครเมียม (Cr)	วาเนเดียม (V)
โคบอลต์ (Co)	แมงกานีส (Mn)	

กลุ่มโลหะเบา (Light Metals)

อะลูมิเนียม (Al) ไททาเนียม (Ti) แมกนีเซียม(Mg) เบริลเลียม (Be)

กลุ่มโลหะผสม (Alloy Metals)

ทองเหลือง (Brass) นิกเกิลผสม (Nickel Alloys) บรอนซ์ (Bronze)

อลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloys)

แมกนีเซียมผสม (Magnesium Alloys)

นิกเกิลผสม (Nickel Alloys)



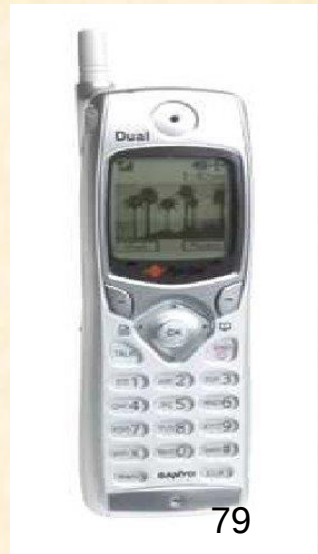
บรอนซ์ (Bronze)



อลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloys)



แมกนีเซียมผสม (Magnesium Alloys)



เอกสารอ้างอิง

1. ชลิตต์ มธุรสมนตรี ปราโมทย์ พูนนายม กุลชาติ จุลเพ็ญ, กระบวนการผลิต (Manufacturing Processes) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, กรุงเทพฯ, 2544
2. สารัมย์ บุญมี, Engineering Materials – วัสดุวิศวกรรม และ foundry sands, สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. อนุวัฒน์ จตุลาภถาวร, กรรมวิธีการผลิต2, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์ ,2548
4. SCHULER, Metal Forming Handbook, Springer, Verlag Berlin Heidelberg New York, 1998
5. Repp McCarthy, Metalwork Technology and Practice, New York, 1989
6. Matthew Yuen, Extrusion , Research. May 15, 2009 from <http://faculty.ksu.edu.sa/maesaleh/IE%20351/Ch6-Extrusion.ppt>
7. ทวี เทศเจริญ, กรรมวิธีการผลิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2536.
8. สารัมย์ บุญมี, Engineering Materials, สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, Research. May 15, 2008 from <http://www.sut.ac.th/Engineering/Metal/courses/engmat.html>
9. ปัญญา บัวสมบุรา และอุษณีย์ กิตกำธร, Physical Metallurgy Lab I, สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, Research. May 15, 2012 from <http://www.sut.ac.th/Engineering/Metal/courses/phymet1.html>