



ได้ผ่านการตรวจประเมินคุณภาพหนังสือเรียนอาชีวศึกษา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ  
พุทธศักราช 2562 ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ประกาศลำดับที่ 684

**รหัสวิชา 20102-2010**

หนังสือเล่มนี้เรียบเรียงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชาและคำอธิบายรายวิชา

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562

ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

# อบชุบโลหะ 1 (Heat Treatment)

**พนมยงค์ อยู่ประสิทธิ์วงศ์**

**88.-**

รหัสวิชา 20102-2010

QR code e-book 4 สี

ฟรี

# อบชุบโลหะ (Heat Treatment)

หมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเฉพาะ

ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างกลโรงงาน

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ

ISBN 978-616-495-247-8

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2566

จำนวนที่พิมพ์ 3,000 เล่ม

เรียบเรียงโดย

พนมยงค์ อุประสิทธิ์วงศ์

จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย โดย...



วัง อักษร

บริษัท วังอักษร จำกัด

69/3 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงวัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

โทร. 0-2472-3293-5 โทรสาร 0-2891-0742 Mobile 08-8585-1521

e - Mail : wangaksorn9@gmail.com

Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร

www.wangaksorn.com

ID Line : wangaksorn



สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2561

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ไปทำซ้ำ  
ดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน ไม่ว่ารูปแบบใด ๆ นอกจากได้รับอนุญาต

เป็นลายลักษณ์อักษรล่วงหน้าจากทางบริษัทฯ เท่านั้น

ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างอิงในหนังสือฉบับนี้

เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าของแต่ละราย

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด



รหัสวิชา 20102-2010



อบชุบโลหะ

(Heat Treatment)

ท-ป-อ 1-3-2



### จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจหลักการอบชุบ และสมบัติทางกลของเหล็ก ชนิดของเตาอบ สารจุ่มชุบ
2. มีทักษะการอบชุบเหล็ก และทดสอบความแข็ง
3. มีกิจนิสัยในการทำงานที่มีระเบียบแบบแผน มีความรับผิดชอบต่อตนเอง ส่วนรวม และปฏิบัติงานตามหลักความปลอดภัย



### สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการและกระบวนการการอบชุบ และทดสอบความแข็งของเหล็ก
2. อบชุบ ทดสอบความแข็งของเหล็กตามหลักการ และกระบวนการ



### คำอธิบายรายวิชา

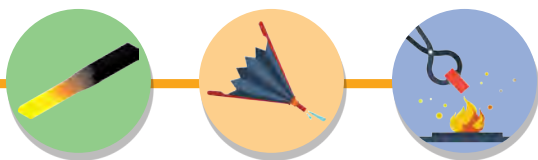
ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับโครงสร้างโลหะ ตรวจสอบโครงสร้าง แผนภาพสมดุลเหล็กคาร์บอน เลือกใช้วัสดุผลิตชิ้นส่วนเครื่องมือกล ตรวจสอบสมบัติของวัสดุก่อนและหลังปรับปรุง ปรับปรุงสมบัติชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีชุบแข็ง (Hardening) กรรมวิธีอบคืนตัว (Tempering) ทดสอบความแข็ง บำรุงรักษาเครื่องมือและอุปกรณ์ ปฏิบัติงานตามหลักความปลอดภัย



**กำหนดการจัดการเรียนรู้**  
**วิชา อบชุบโลหะ (Heat Treatment) รหัสวิชา 20102-2010**  
**ท-ป-น 1-3-2 จำนวน 4 คาบ/สัปดาห์ รวม 72 คาบ**

| เรียน/สอน<br>ครั้งที่ | รายการ                                                  |                                                                                                                               | จำนวนชั่วโมง |    |     |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----|-----|
|                       | ทฤษฎี                                                   | ปฏิบัติ                                                                                                                       | ท            | ป  | รวม |
| 1                     | หน่วยที่ 1 บทนำ                                         |                                                                                                                               | 2            | 0  | 2   |
| 1 - 2                 | หน่วยที่ 2 โครงสร้างของโลหะและการตรวจสอบ                | ใบงานที่ 2.1 ตรวจสอบชิ้นงานโลหะเบื้องต้น<br>ใบงานที่ 2.2 ตรวจสอบและปฏิบัติการใช้เครื่องมืออุปกรณ์การอบชุบตามหลักความปลอดภัย   | 2            | 4  | 6   |
| 3 - 6                 | หน่วยที่ 3 สมบัติทางกายภาพและการทดสอบ                   | ใบงานที่ 3.1 การทดสอบแรงดึง<br>ใบงานที่ 3.2 การทดสอบความแข็งด้วย Rockwell Scale C<br>ใบงานที่ 3.3 การทดสอบความแข็งด้วย Vicker | 4            | 12 | 16  |
| 7 - 8                 | หน่วยที่ 4 แผนภาพสมดุลเหล็กคาร์บอน                      | ใบงานที่ 4.1 ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์คาร์บอนจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์                                                                | 4            | 2  | 6   |
| 8 - 15                | หน่วยที่ 5 กรรมวิธีชุบแข็งและอบคืนตัว                   | ใบงานที่ 5.1 การอบปกติและการอบอ่อนสมบูรณ์<br>ใบงานที่ 5.2 การชุบแข็ง<br>ใบงานที่ 5.3 ปฏิบัติการปรับปรุงความแข็ง               | 4            | 24 | 28  |
| 15 - 17               | หน่วยที่ 6 การเลือกใช้วัสดุและการบำรุงรักษาเครื่องมือกล | ใบงานที่ 6.1 การบำรุงรักษาด้วยการอบคืนตัว                                                                                     | 2            | 8  | 10  |
| 18                    | สอบ                                                     |                                                                                                                               | 1            | 3  | 4   |
| รวม                   |                                                         |                                                                                                                               | 19           | 53 | 72  |





## คำนำ

หนังสือเรียนวิชาอบชุบโลหะ (Heat Treatment) รหัสวิชา 20102-2010 เล่มนี้ได้เรียบเรียงขึ้นตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ เพื่อใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้กับผู้เรียนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ได้วิเคราะห์รายวิชาและกำหนดบทการเรียนรู้ รายการและเวลามีความตรงเชิงเนื้อหากับรายวิชาทั้งหมด 6 หน่วยการเรียนรู้ ประกอบด้วย หน่วยที่ 1 บทนำ หน่วยที่ 2 โครงสร้างของโลหะและการตรวจสอบ หน่วยที่ 3 สมบัติทางกายภาพและการทดสอบ หน่วยที่ 4 แผนภาพสมดุลเหล็กคาร์บอน หน่วยที่ 5 กรรมวิธีชุบแข็งและอบคืนตัว หน่วยที่ 6 การเลือกใช้วัสดุและการบำรุงรักษาเครื่องมือกล

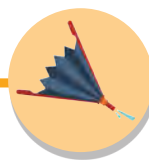
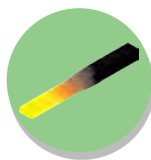
ในแต่ละหน่วยการเรียนรู้มีเนื้อหาใบงาน แบบฝึกหัด และการวัดผลประเมินผลที่ทันสมัย สามารถนำไปใช้จัดกระบวนการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้มีสมรรถนะวิชาชีพที่ประกอบด้วยความรู้ ทักษะ คุณลักษณะที่พึงประสงค์ที่ได้บูรณาการหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง และความสามารถในการประยุกต์ใช้เพื่อนำไปบูรณาการกับการทำงานตามสาขาอาชีพต่าง ๆ ในอนาคตต่อไป

บริษัทวังอักษร จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนวิชาอบชุบโลหะ (Heat Treatment) เล่มนี้ จะสามารถนำไปใช้ศึกษา เป็นประโยชน์ต่อแนวทางการเรียนรู้และต่อความก้าวหน้าทางวิชาการ และวิชาชีพสำหรับผู้เรียน ผู้สอน และผู้สนใจอื่นได้ตามจุดมุ่งหมายของหลักสูตรรายวิชา หากมีข้อเสนอแนะประการใดทางบริษัทวังอักษร ยินดีน้อมรับด้วยความขอบคุณยิ่ง

**บริษัท วังอักษร จำกัด**



# สารบัญ



## หน่วยที่ 1

### บทนำ

1

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 กระบวนการผลิตเหล็ก (Iron and Steel Making)               | 3  |
| 1.2 การถลุงเหล็ก (Smelting)                                  | 5  |
| 1.3 กระบวนการหลอม และการหล่อ (Melting and Casting Process)   | 9  |
| 1.4 การแปรรูป และปรับปรุงสมบัติ (Processing and Improvement) | 13 |
| แบบฝึกหัดหน่วยที่ 1                                          | 20 |

## หน่วยที่ 2

### โครงสร้างของโลหะและการตรวจสอบ

24

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 โครงสร้างผลึก (Crystal Structure)                                            | 27 |
| 2.2 ความไม่สมบูรณ์ในโครงสร้าง (Imperfection in Structure)                        | 32 |
| ใบงานที่ 2.1 ตรวจสอบชิ้นงานโลหะเบื้องต้น                                         | 38 |
| ใบงานที่ 2.2 ตรวจสอบและปฏิบัติการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์การอบชุบตามหลักความปลอดภัย | 42 |
| แบบฝึกหัดหน่วยที่ 2                                                              | 44 |

## หน่วยที่ 3

### สมบัติทางกายภาพและการทดสอบ

47

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 3.1 สมบัติทางกล (Mechanical Properties)            | 49 |
| 3.2 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)                  | 52 |
| 3.3 การทดสอบการดัด (Bending Test)                  | 57 |
| 3.4 การทดสอบแรงกระแทก (Impact Test)                | 61 |
| 3.5 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)               | 64 |
| ใบงานที่ 3.1 การทดสอบแรงดึง                        | 75 |
| ใบงานที่ 3.2 การทดสอบความแข็งด้วย Rockwell Scale C | 80 |
| ใบงานที่ 3.3 การทดสอบความแข็งด้วย Vicker           | 83 |
| แบบฝึกหัดหน่วยที่ 3                                | 87 |

## หน่วยที่ 4

### แผนภาพสมดุลเหล็กคาร์บอน

91

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 4.1 ระบบสององค์ประกอบ (Binary Phase System)            | 94  |
| 4.2 แผนภาพสมดุลเฟสเหล็ก - คาร์บอน (Fe-C Phase Diagram) | 99  |
| 4.3 เหล็กกล้า (Steel)                                  | 102 |

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4 เหล็กหล่อ (Cast Iron)                                      | 107 |
| 4.5 การจัดประเภทของเหล็ก (Iron and Steel Classification)       | 109 |
| ใบงานที่ 4.1 ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์คาร์บอนจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ | 115 |
| แบบฝึกหัดหน่วยที่ 4                                            | 121 |

## หน่วยที่ 5 กรรมวิธีชุบแข็งและอบคืนตัว 125

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 5.1 ประเภทของการอบชุบ                     | 130 |
| 5.2 การอบอ่อนสมบูรณ์ (Full Annealing)     | 131 |
| 5.3 การอบปกติ (Normalizing)               | 132 |
| 5.4 การชุบแข็ง (Hardening)                | 135 |
| 5.5 การอบคืนตัว (Tempering)               | 144 |
| 5.6 การอบคลายเครียด (Stress Relieving)    | 146 |
| 5.7 การอบคาร์ไบด์กลม (Spheroidizing)      | 148 |
| 5.8 การทำงานตามหลักความปลอดภัย (Safety)   | 150 |
| ใบงานที่ 5.1 การอบปกติและการอบอ่อนสมบูรณ์ | 156 |
| ใบงานที่ 5.2 การชุบแข็ง                   | 160 |
| ใบงานที่ 5.3 ปฏิบัติการปรับปรุงความแข็ง   | 165 |
| แบบฝึกหัดหน่วยที่ 5                       | 172 |

## หน่วยที่ 6 การเลือกใช้วัสดุและการบำรุงรักษาเครื่องมือกล 176

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 6.1 ประเภทการใช้งานของเครื่องมือกล        | 177 |
| 6.2 เครื่องกลึง                           | 178 |
| 6.3 เครื่องเจาะ                           | 182 |
| 6.4 เครื่องกัด                            | 184 |
| 6.5 อุปกรณ์ช่าง                           | 185 |
| 6.6 การเลือกใช้วัสดุ                      | 187 |
| ใบงานที่ 6.1 การบำรุงรักษาด้วยการอบคืนตัว | 191 |
| แบบฝึกหัดหน่วยที่ 6                       | 193 |

## บรรณานุกรม 197

## หัวข้อหลัก

- 1.1 กระบวนการผลิตเหล็ก (Iron and Steel Making)
- 1.2 การถลุงเหล็ก (Smelting)
- 1.3 กระบวนการหลอมและการหล่อ (Melting and Casting Process)
- 1.4 การแปรรูปและปรับปรุงสมบัติ (Processing and Improvement)

สแกนดู  
E-book 4 ลี

## แนวคิดหลัก

วัสดุถูกจำแนกตามโครงสร้างและพันธะได้ 3 ประเภทหลัก คือ โลหะ เซรามิก และพอลิเมอร์ วัสดุแต่ละประเภทจะมีจุดเด่น จุดด้อยแตกต่างกัน เรียกว่า สมบัติของวัสดุ และวัสดุประเภทสุดท้าย คือ วัสดุผสม เป็นการนำเอาวัสดุหลักมากกว่า 1 ชนิดผสมเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นพื้นฐานของการปรับปรุงสมบัติของวัสดุ การจำแนกประเภทของโลหะสามารถจำแนกออกได้ 3 ประเภทหลัก ได้แก่ 1. โลหะในกลุ่มเหล็ก (Ferrous Metal) 2. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-Ferrous Metal) 3. โลหะมีค่า (Precious Metal)

## สมรรถนะการเรียนรู้

1. เรียนรู้กระบวนการผลิต การถลุง กระบวนการหลอมและการหล่อ การแปรรูปและปรับปรุงสมบัติของเหล็กได้อย่างเข้าใจ
2. นำความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการผลิต การถลุง กระบวนการหลอมและการหล่อ การแปรรูป และปรับปรุงสมบัติของเหล็กไปใช้ในการประกอบอาชีพได้

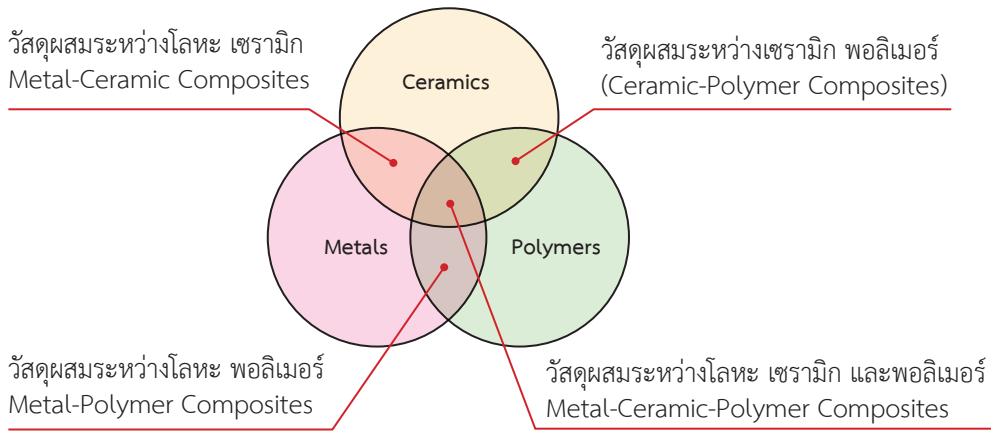
## จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สรุปกระบวนการผลิตเหล็กได้ถูกต้อง
2. อธิบายการถลุงเหล็กได้ถูกต้อง
3. สรุปกระบวนการหลอมและการหล่อได้ถูกต้อง
4. อธิบายและยกตัวอย่างการแปรรูปและปรับปรุงสมบัติได้ถูกต้อง



## เนื้อหาสาระ

วัสดุถูกจำแนกตามโครงสร้างและพันธะได้ 3 ประเภทหลัก คือ โลหะ เซรามิก และพอลิเมอร์ วัสดุแต่ละประเภทจะมีจุดเด่น จุดด้อยแตกต่างกัน ซึ่งเราจะเรียกว่า **สมบัติของวัสดุ** และวัสดุประเภทสุดท้ายคือ วัสดุผสม เป็นการนำเอาวัสดุหลักมากกว่า 1 ชนิดผสมเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นพื้นฐานของการปรับปรุงสมบัติของวัสดุนั้นเอง



รูปที่ 1.1 ประเภทของวัสดุ

การจำแนกประเภทของโลหะนั้นสามารถจำแนกออกได้ 3 ประเภทหลัก ได้แก่

**1. โลหะในกลุ่มเหล็ก (Ferrous Metal)** เป็นโลหะที่ได้จากสินแร่เหล็ก ซึ่งมักจะพบง่าย มีปริมาณมากบนพื้นผิวโลก เทคโนโลยีการผลิตและขึ้นรูปของโลหะประเภทนี้ ถูกคิดค้นมายาวนาน และถูกพัฒนาเรื่อยมาจนปัจจุบัน เหล็กนั้นเป็นโลหะพื้นฐานของระบบอุตสาหกรรม สิ่งก่อสร้าง ระบบการศึกษารวมไปถึงการแพทย์และการทหารอีกด้วย เหล็กสามารถถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ เหล็กกล้า และเหล็กหล่อ โดยจะถูกแบ่งจากเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่อน้ำหนักที่ละลายอยู่ในเหล็ก

**2. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-Ferrous Metal)** กลุ่มโลหะที่เป็นพื้นฐานของระบบเศรษฐกิจ และสามารถพบสินแร่บนผิวโลกได้ไม่ยากนัก เทคโนโลยีการผลิตของโลหะกลุ่มนี้แตกต่างกัน โดยจะสนใจสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และจุดหลอมเหลวเป็นหลัก ด้วยสมบัติเด่นเฉพาะตัวแต่ยังคงความเป็นโลหะ จึงถูกนำมาใช้แทนเหล็กในบางกรณี เช่น การใช้ทำปีกเครื่องบิน การทำวัสดุกีฬา วัสดุทางการแพทย์ ฯลฯ โลหะในกลุ่มนี้จึงถูกแยกย่อยอีก 3 ประเภท คือ

**2.1 โลหะพื้นฐาน** ได้แก่ ทองแดง สังกะสี ดีบุก ตะกั่ว พลวง ฯลฯ

**2.2 โลหะหนัก** ได้แก่ ไทเทเนียม แคลเดียม วานาเดียม นิกเกิล โครเมียม ฯลฯ

**2.3 โลหะเบา** ได้แก่ อะลูมิเนียม แมกนีเซียม เบริลเลียม ฯลฯ

**3. โลหะมีค่า (Precious Metal)** กลุ่มโลหะที่พบยากตามธรรมชาติ มีจำนวนน้อยบนเปลือกโลก ส่วนมากจะพบในรูปของแร่ และธาตุอิสระ ด้วยความต้องการของตลาด และสมบัติเฉพาะตัวของโลหะกลุ่มนี้จึงทำให้มีราคาสูง ตัวอย่างโลหะมีค่า ได้แก่ เงิน ทอง แพลตินัม ฯลฯ

กระบวนการผลิตโลหะจะแตกต่างกันตามสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของโลหะนั้น ๆ วัตถุดิบที่นำมาใช้จะมีแหล่งที่มา 2 แหล่ง คือ แหล่งที่มาตามธรรมชาติ และแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน สำหรับอุตสาหกรรมโลหะการได้แบ่งกลุ่มการผลิตได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

**1. อุตสาหกรรมโลหะขั้นต้น** คือ กระบวนการผลิตโลหะจากสินแร่ตามธรรมชาติผ่านกรรมวิธีทำความสะอาด และแยกทางกายภาพ เพื่อลดสิ่งปนเปื้อนก่อนจะนำไปหลอมด้วยความร้อนหรือสารเคมี

**2. อุตสาหกรรมโลหะขั้นกลาง** คือ กระบวนการนำผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตก่อนหน้า หรือนำโลหะจากทรัพยากรหมุนเวียนมาหลอมใหม่ ปรับปรุงส่วนผสม และขึ้นรูปเป็นรูปแบบที่แตกต่างกัน ก่อนนำไปใช้งานในกระบวนการสุดท้าย

**3. อุตสาหกรรมโลหะขั้นปลาย** คือ กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากขั้นกลาง กระบวนการปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคด้วยความร้อนเพื่อตอบสนองต่อสมบัติของโลหะตามที่ต้องการ รวมไปถึงกระบวนการตัดแต่ง ทำความสะอาด และประกอบชิ้นส่วน เช่น การประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักร การทำความสะอาดผิวหน้าโลหะด้วยอัลตราโซนิก การอบชุบ การอบคลายเครียด การรีด การกลึง ฯลฯ



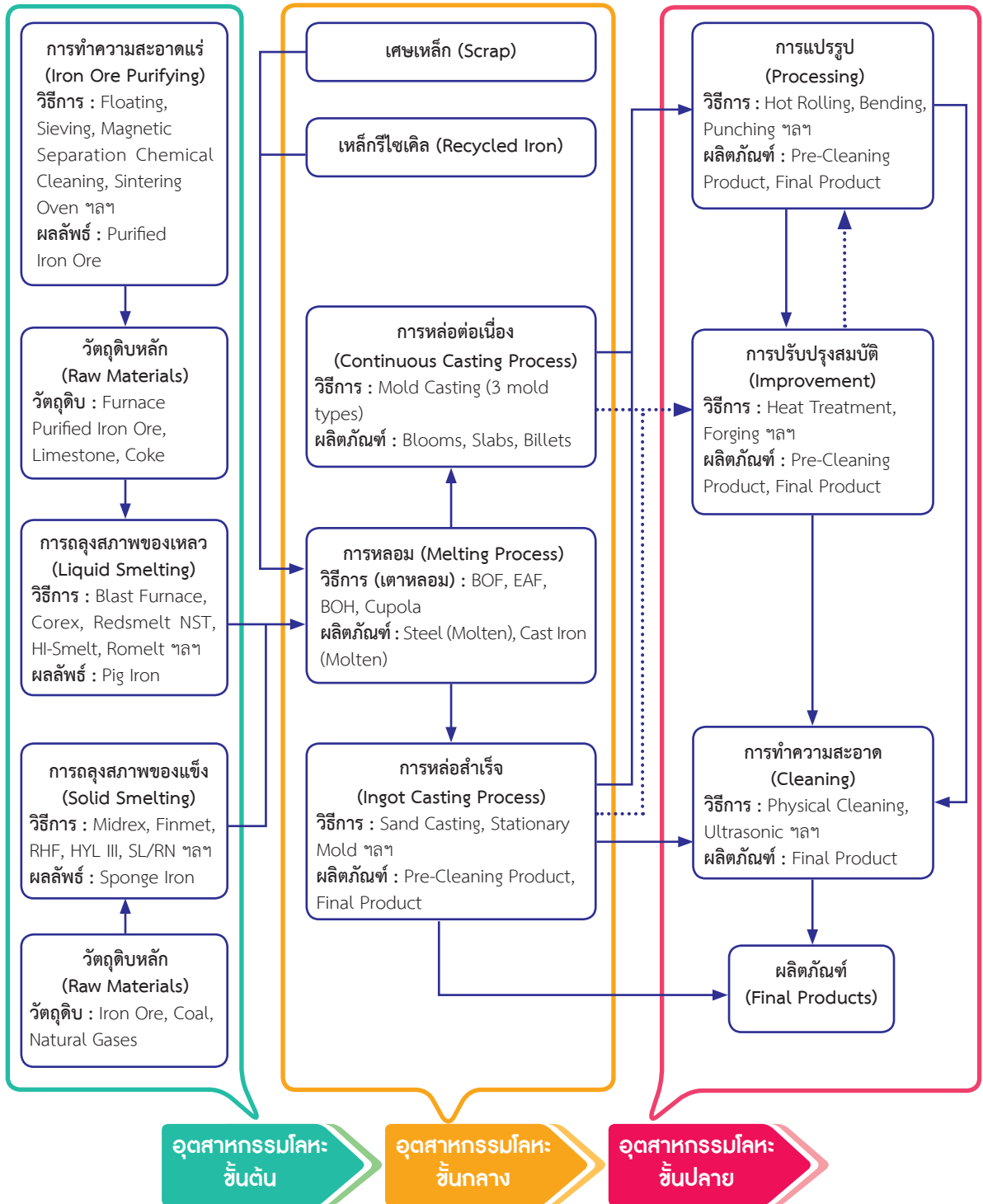
#### เกร็ดความรู้

- **การอบชุบ** เป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งอยู่ในอุตสาหกรรมขั้นปลาย หมายถึง โลหะที่นำมาอบชุบจะต้องเป็นโลหะที่พร้อมประกอบ หรือพร้อมตัดแต่งก่อนจะเป็นผลิตภัณฑ์นำไปใช้งาน
- **การอบชุบ** เป็นกระบวนการใช้ความร้อนปรับปรุงโครงสร้าง และสมบัติของโลหะ ดังนั้นหลังจากการอบชุบจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการทำความสะอาดโลหะ
- **ผลิตภัณฑ์บางประเภท** รวมไปถึงโลหะบางชนิดไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการอบชุบ เนื่องจากสมบัติทางด้านความแข็ง แข็งแรง หรือความเหนียวของโลหะนั้นเป็นที่น่าพอใจ เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานแล้ว อีกประเด็นที่น่าสนใจในกระบวนการผลิตโลหะ คือ โลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำไม่นิยมในการนำมาอบชุบ

## 1.1 กระบวนการผลิตเหล็ก (Iron and Steel Making)



เหล็กเป็นโลหะที่พบมากเป็นอันดับสองรองจากอะลูมิเนียม จุดเด่นของเหล็กคือมีการวิวัฒนาการของระบบ และกระบวนการผลิตต่อเนื่องยาวนานกว่า 3,500 ปี สามารถทำให้เรานำโลหะชนิดนี้มาใช้งานได้อย่างแพร่หลาย ตอบสนองต่อความต้องการในแต่ละการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักร รถยนต์ ระบบโครงสร้าง เพราะเหล็กมีราคาถูก มีความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่น กระบวนการผลิตเหล็กจะถูกแบ่งออกตามเกณฑ์ของระบบอุตสาหกรรมได้ 3 กลุ่ม ตามที่แสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ผังกระบวนการการผลิตเหล็ก (แบ่งตามระบบอุตสาหกรรม)

การเตรียมวัตถุดิบก่อนการถลุงแร่เพื่อลดระยะเวลาในการหลอม ลดอุณหภูมิ กำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ต้องการในเหล็ก และลดปริมาณของเสียจากกระบวนการ โดยวัตถุดิบหลักในการถลุงจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ แร่เหล็ก หินปูน และถ่านโค้ก

ตามธรรมชาติจะพบแร่ชนิดอื่นปะปนอยู่กับแร่เหล็กเสมอ ดังนั้น การทำความสะอาดและแยกแร่จึงเป็นกระบวนการสำคัญอย่างยิ่งก่อนการนำไปถลุง การทำความสะอาดนั้นมียุทธศาสตร์ทางกายภาพและเคมี จะทำไปเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก เศษหิน ดิน ทราย ออกจากแร่ที่เราต้องการ หลังจากที่เราสะอาดแล้ว จึงนำไปผ่านกระบวนการแยกแร่ ได้แก่ การคัดแยกด้วยการสั่น (Vibration and Sieve) การคัดแยกจากความถ่วงจำเพาะ (Float) หรือการคัดแยกด้วยแม่เหล็ก (Magnetic Separation) จนได้แร่เหล็กที่ต้องการ คือ แร่ฮีมาไทต์ (Hematite) และแร่แมกนีไทต์ (Magnetite) กระบวนการต่อไปหลังจากนี้อาจจะทำหรือไม่ทำก็ได้ แต่การทำนั้นจะเป็นการลดระยะเวลา และอุณหภูมิในกระบวนการถลุง นั่นคือการย่อยขนาดของแร่หากแร่นั้นมีขนาดใหญ่ หรือการทำก้อนหากแร่นั้นมีขนาดเล็ก

## 1.2 การถลุงเหล็ก (Smelting)

วิธีการถลุงเหล็กนั้นมียุทธศาสตร์ขึ้นอยู่กับกรรมวิธี เตาเผา หรืออุปกรณ์ แต่อย่างไรก็ตามการถลุงนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามสถานะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ และถูกตั้งชื่อตามลักษณะทางกายภาพที่เห็น โดยจะเรียกผลิตภัณฑ์ที่มีสภาพของเหลวว่า **“Pig Iron”** เพราะเป็นเหล็กเหลวมีสีแดงส้มคล้ายหมู และเรียกเหล็กสภาพของแข็งว่า **“Sponge Iron”** เนื่องจากการถลุงจะดึงเอาแร่ ธาตุ หรือสารประกอบอื่นออกจากเหล็ก ทำให้ลักษณะของเหล็กมีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ ปัจจุบันมีเทคโนโลยีอีกมากมายเพื่อตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม และลดของเสียจากการถลุง แต่อย่างไรก็ตาม ทุกเทคโนโลยีมีจุดเริ่มต้นจากกระบวนการถลุงเหล็กด้วยเตาพ่นลม ซึ่งเป็นกระบวนการแบบดั้งเดิม

**การถลุงสภาพของเหลว (Liquid Smelting)** แบ่งออก 2 วิธี ดังนี้

1. กระบวนการถลุงแร่เหล็กด้วยเตาพ่นลม (Blast Furnace)
2. กระบวนการถลุงแร่เหล็กหลอมเหลวโดยตรง (Direct Smelting Reduction)
  - 2.1 กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยีโคเร็กซ์ (Corex Smelting)
  - 2.2 กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยี HI (HI-Smelt)
  - 2.3 กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยี NST (Redsmelt NST)

**การถลุงสภาพของแข็ง (Solid Smelting)** แบ่งออกเป็น 5 วิธี ดังนี้

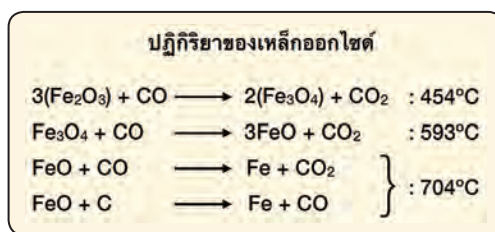
1. กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยีไมเดรก (Midrex Smelting)
2. กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยีฟินเมต (Finmet Smelting)
3. กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยี HyL III (HyL III Smelting)

4. กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยี SL/RN (SL/RN Smelting)
5. กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยีเตาหมุน (Rotary Heart Furnace)

**การถลุงแบบดั้งเดิม หรือการถลุงด้วยเตาพ่นลม (Blast Furnace)** เนื่องจากมีสารตั้งต้นหลัก 3 ชนิด วัตถุดิบแรก คือ แร่เหล็ก ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของกระบวนการนี้ วัตถุดิบที่สอง คือ หินปูน ถูกนำเข้ามาเป็นองค์ประกอบหลักเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่เจือปนเข้ากับแร่เหล็ก เช่น กัมมะถัน แคลเซียม ซิลิกา และโลหะอื่น ๆ และวัตถุดิบสุดท้าย คือ ถ่านโค้ก ถูกนำเข้ามาเพื่อกำจัดออกไซด์ของเหล็ก ซึ่งเป็นรูปแบบเดิมตามธรรมชาติ หรือจะเรียกอีกชื่อว่า แร่ ปฏิกริยาและกระบวนการทางเคมีต่าง ๆ จะแสดงในรูปแบบที่ 1.3 1.4 1.5 และ 1.6

### 1.2.1 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นกับเหล็กออกไซด์

– ที่อุณหภูมิประมาณ 454°C จะเกิดปฏิกิริยาสองชนิด คือ รีดักชัน (Reduction) เป็นการดึงเอาออกซิเจนในแร่ฮีมาไทต์ (Hematite) ออกโดยคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้โครงสร้างทางเคมีเปลี่ยนแปลงกลายเป็นโครงสร้างของแร่แมกนีไทต์ (Magnetite)



รูปที่ 1.3 ปฏิกริยาของเหล็กออกไซด์จากการถลุงในเตาพ่นลม

– ที่อุณหภูมิประมาณ 593°C คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) จะทำปฏิกิริยารีดักชันกับแร่แมกนีไทต์ (Magnetite) เกิดผลิตภัณฑ์ คือ เฟอรัสออกไซด์ (Ferrous Oxide)

– ที่อุณหภูมิประมาณ 704°C เฟอรัสออกไซด์ (Ferrous Oxide) ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) เกิดเหล็กเหลว (Pig Iron) และได้คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) ซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการนี้ นอกเหนือจากนี้เฟอรัสออกไซด์ (Ferrous Oxide) สามารถทำปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) กับถ่านโค้กได้ผลิตภัณฑ์ คือ เหล็กเหลว (Pig Iron) และได้คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) ซึ่งจะย้อนกลับไปสู่กระบวนการทางเคมีข้างบน

– ในกระบวนการของปฏิกิริยานี้จะเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) จำนวนมากสร้างผลกระทบต่อชุมชน และสภาพแวดล้อม ในส่วนของคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) จากปฏิกิริยาในบรรทัดสุดท้ายจะถูกนำกลับไปใช้เป็นสารตั้งต้นเสมอ

### 1.2.2 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นกับถ่านโค้ก

– ถ่านโค้ก คือ ธาตุคาร์บอนจับกันเป็นก้อนมีสูตรเคมี C เพียงอย่างเดียว เมื่อถ่านโค้กทำปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ คือ คาร์บอนไดออกไซด์

(Carbon Dioxide) และเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาต่อไป ดังรูปที่ 1.4

– ผลลัพธ์ของทั้งสองกระบวนการที่เกิดขึ้นจะเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาของเหล็กออกไซด์

### 1.2.3 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับหินปูน

– ปฏิกิริยาการสลายตัวจากความร้อน คือ การดึงเอาพลังงานจากความร้อนไปสลายพันธะเคมี และสร้างองค์ประกอบเคมีใหม่ หรือเรียกว่า สารใหม่ ที่เสถียรภายใต้เงื่อนไขนั้น ผลลัพธ์ทั้ง 2 ชนิด คือ แคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide) ซึ่งจะเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการต่อไป และคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) ถือเป็นขยะของกระบวนการนี้

### 1.2.4 ปฏิกิริยากำจัดของเสีย

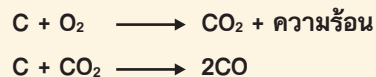
– เนื่องจากแร่เหล็กยังมีสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ ปะปนอยู่ในแร่เหล็ก ถึงแม้จะมีกระบวนการ หรือขั้นตอนการทำความสะอาดแล้วก็ตาม

– กระบวนการไล่ความชื้น (Preheating) ด้วยการถ่ายเทความร้อนจากเตาพ่นลม ของเสีย คือ อากาศที่มีอุณหภูมิสูง การปล่อยอากาศนั้นออกไปสู่ภายนอกโดยไม่มีการลดอุณหภูมิลงเป็นผลเสียต่อระบบนิเวศ และเป็นสิ่งผิดกฎหมาย ดังนั้น ในทางปฏิบัติได้นำเอาอากาศเหล่านั้นหมุนเวียนเข้าสู่พื้นที่ของการขนส่งแร่เหล็ก หินปูน และถ่านโค้ก ความชื้นที่ปะปนอยู่ในวัตถุดิบหลักถูกไล่ออกไป ทำให้วัตถุดิบหลักแห้ง พร้อมทั้งจะนำไปใช้ในการหลอม

– กระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ (Organic Compounds Decomposition) ที่อุณหภูมิ 120 – 590°C องค์ประกอบอินทรีย์จะถูกกำจัดไปด้วยการเผาไหม้ ระเหย หรือระเหิดออกจากแร่เหล็ก หินปูน และถ่านโค้ก

– ที่อุณหภูมิประมาณ 871°C เกิดปฏิกิริยากำจัดกำมะถัน ดังรูปที่ 1.6 ความร้อนและถ่านโค้ก จะดึงเอาออกซิเจนในแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide) ออกมาสร้างพันธะเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) แคลเซียมจะช่วยให้การสลายพันธะของไอรอนซัลไฟด์ (Iron Sulfide) และจับกำมะถันให้อยู่ในรูปของแคลเซียมซัลไฟด์ (Calcium Sulfide)

#### ปฏิกิริยาของถ่านโค้ก



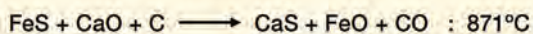
รูปที่ 1.4 ปฏิกิริยาของถ่านโค้ก  
จากการถลุงในเตาพ่นลม

#### ปฏิกิริยาของหินปูน



รูปที่ 1.5 ปฏิกิริยาของหินปูน  
จากการถลุงในเตาพ่นลม

#### ปฏิกิริยากำจัดกำมะถัน



รูปที่ 1.6 ปฏิกิริยากำจัดกำมะถันจากการถลุงในเตาพ่นลม

**ตารางที่ 1.1** องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กที่ได้จากการถลุงด้วยเตาพ่นลม

| องค์ประกอบ | ปริมาณ (ร้อยละ) |
|------------|-----------------|
| เหล็ก      | 93.50 - 95.00   |
| คาร์บอน    | 4.10 - 4.40     |
| ซิลิกอน    | 0.30 - 0.90     |
| ซัลเฟอร์   | 0.025 - 0.05    |
| แมงกานีส   | 0.55 - 0.75     |
| ฟอสฟอรัส   | 0.03 - 0.09     |
| ไทเทเนียม  | 0.02 - 0.06     |

ที่มา : Blast Furnace, American Iron and Steel Industry (AISI), Feb 2004

**ตารางที่ 1.2** สูตรทางเคมีของแร่ ธาตุ และสารประกอบในกระบวนการถลุงเหล็ก

| แร่ ธาตุ สารประกอบ | แร่ ธาตุ สารประกอบ (เคมี) | สูตรเคมี                       |
|--------------------|---------------------------|--------------------------------|
| เหล็ก              | Ferrous , Iron            | Fe                             |
| คาร์บอน            | Carbon                    | C                              |
| ซิลิกอน            | Silicon                   | Si                             |
| ซัลเฟอร์           | Sulfer                    | S                              |
| แมงกานีส           | Manganise                 | Mn                             |
| ฟอสฟอรัส           | Phosphorus                | P                              |
| ไทเทเนียม          | Titanium                  | Ti                             |
| ออกซิเจน (ธาตุ)    | Oxygen                    | O                              |
| ออกซิเจน (แก๊ส)    | Oxygen                    | O <sub>2</sub>                 |
| เฟอร์รัสออกไซด์    | Ferrous Oxide             | FeO                            |
| ฮีมาไทต์           | Hematite                  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| แมกนีไทต์          | Magnetite                 | Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> |

**ตารางที่ 1.2** สูตรทางเคมีของแร่ ธาตุ และสารประกอบในกระบวนการถลุงเหล็ก (ต่อ)

| แร่ ธาตุ สารประกอบ        | แร่ ธาตุ สารประกอบ (เคมี) | สูตรเคมี          |
|---------------------------|---------------------------|-------------------|
| ไอรอนซัลไฟด์              | Iron Sulfide              | FeS               |
| แคลเซียมออกไซด์           | Calcium Oxide             | CaO               |
| ปูนขาว, แคลเซียมคาร์บอเนต | Calcium carbonate         | CaCO <sub>3</sub> |
| คาร์บอนมอนอกไซด์          | Carbon Monoxide           | CO                |
| คาร์บอนไดออกไซด์          | Carbon Dioxide            | CO <sub>2</sub>   |

### 1.3 กระบวนการหลอม และการหล่อ (Melting and Casting Process)



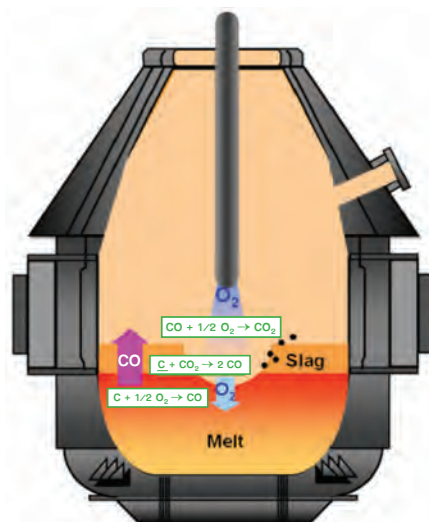
ขั้นตอนนี้จัดเป็นอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลาง ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมหลักที่สำคัญที่สุด เพราะเป็นขั้นตอนในการปรับปรุงส่วนผสม กำหนดเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในเหล็ก ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เบื้องต้น เพื่อจะนำไปตัดต่อในขั้นตอนต่อไป ในประเทศไทยอุตสาหกรรมเหล็กเริ่มต้นจากขั้นตอนนี้ แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการหลอม (Melting Process) และกระบวนการหล่อ (Casting Process)

#### 1.3.1 การหลอม (Melting Process)

วัตถุดิบหลักของการหลอมเหล็กขึ้นอยู่กับเตาหลอม ซึ่งมีวัตถุดิบหลักมีอยู่ 3 ชนิด คือ เหล็กถลุงสภาพของเหลว (Pig Iron) เหล็กถลุงสภาพของแข็ง (Sponge Iron) และเศษเหล็ก (Scrap) เตาหลอมที่นิยมใช้ในกระบวนการนี้มี 3 ชนิด คือ เตาหลอมออกซิเจน (Basic Oxygen Furnace) เตาคิวโปลา (Cupola) และเตาเพอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace)

##### 1. เตาหลอมออกซิเจน (Basic Oxygen Furnace)

เป็นเตาหลอมอุณหภูมิสูงโดยการพ่นลมร้อนขั้นตอนนี้ลมร้อนจะเป็นแก๊สออกซิเจน ทำหน้าที่จับคาร์บอนในน้ำเหล็กเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ การควบคุมปริมาณคาร์บอนจะขึ้นอยู่กับเวลา และปริมาณแก๊สออกซิเจน ปริมาณคาร์บอนในเหล็กจะเป็นตัวบอกโครงสร้างจุลภาค จุดหลอมเหลว จุดเปลี่ยนเฟส สมบัติเชิงกล รวมไปถึงการใช้งานของเหล็ก การขึ้นรูปหรือการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ มีการใส่ฟลักซ์เข้าไปเพื่อช่วยกำจัดของเสีย เช่น ปูนขาว ซิลิกา ฯลฯ วัตถุดิบหลักใน



**รูปที่ 1.7** เตาหลอมออกซิเจน (BOF)

ที่มา : <https://www.researchgate.net>