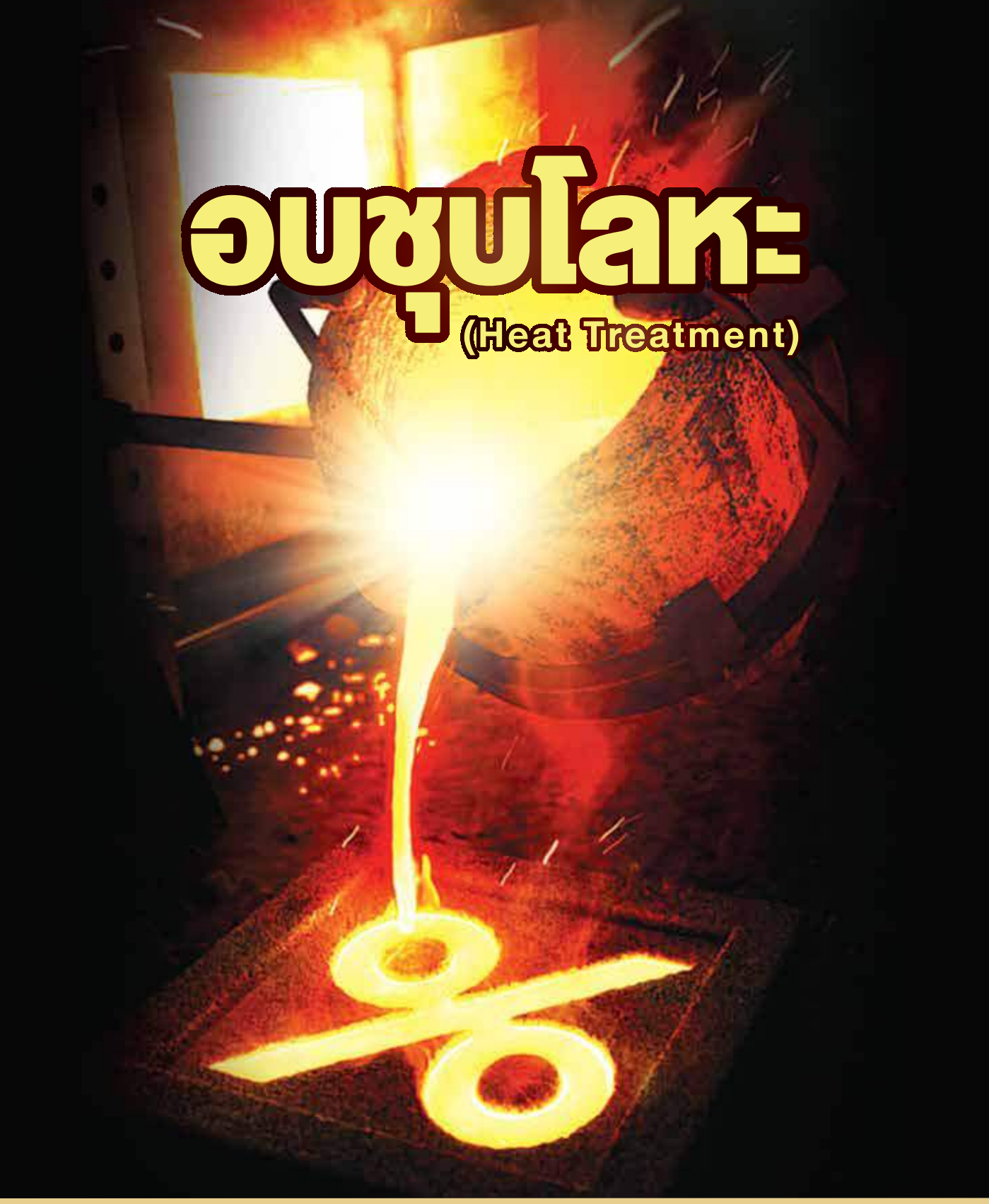


อบชุบโลหะ

(Heat Treatment)

พนมยงค์ อู่ประสิทธิ์วงศ์

100.-

อบชุบโลหะ
(Heat Treatment)

กลุ่มอาชีพอุตสาหกรรมการผลิต

ISBN 978-616-495-264-5
พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2567
จำนวนที่พิมพ์ 3,000 เล่ม

เรียบเรียงโดย
พนมยงค์ อู่ประสิทธิ์วงศ์

QR Code e-book 4 สี ฟรีในเล่ม

จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย โดย...
บริษัท วังอักษร จำกัด
วังอักษร
69/3 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงวัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600
โทร. 0-2472-3293-4 Mobile 08-8585-1521
e-mail : wangaksorn9@gmail.com Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร
www.wangaksorn.com
Line ID : wangaksorn

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2565
โดยบริษัท วังอักษร จำกัด ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ไปทำซ้ำ
ดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน ไม่ว่ารูปแบบใด ๆ นอกจากได้รับอนุญาต
เป็นลายลักษณ์อักษรล่วงหน้าจากทางบริษัทฯ เท่านั้น
ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างอิงในหนังสือฉบับนี้
เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าของแต่ละราย
โดยบริษัท วังอักษร จำกัด มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด

ตารางกำหนดการจัดการเรียนรู้

วิชา อบชุบโลหะ

(Heat Treatment)

เรียน/สอน ครั้งที่	รายการ		จำนวนชั่วโมง		
	ทฤษฎี	ปฏิบัติ	ท	ป	รวม
1	บทเรียนที่ 1 บทนำ	-	1	3	4
2 - 3	บทเรียนที่ 2 โครงสร้างโลหะ	ใบงานที่ 2.1 ตรวจสอบชิ้นงานโลหะเบื้องต้น ใบงานที่ 2.2 ตรวจสอบและปฏิบัติการใช้เครื่องมืออุปกรณ์การอบชุบตามหลักความปลอดภัย	2	6	8
4 - 7	บทเรียนที่ 3 สมบัติทางกายภาพและการทดสอบ	ใบงานที่ 3.1 การทดสอบแรงดึง ใบงานที่ 3.2 การทดสอบความแข็งด้วย Rockwell Scale C ใบงานที่ 3.3 การทดสอบความแข็งด้วย Vicker	4	12	16
8	บทเรียนที่ 4 แผนภาพสมดุลเหล็กคาร์บอน	ใบงานที่ 4.1 ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์คาร์บอนจากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์	1	3	4
9 - 15	บทเรียนที่ 5 กรรมวิธีชุบแข็งและอบคืนตัว	ใบงานที่ 5.1 การอบปกติและการอบอ่อนสมบูรณ์ ใบงานที่ 5.2 การชุบแข็ง ใบงานที่ 5.3 ปฏิบัติการปรับปรุงความแข็ง	4	24	28
16 - 17	บทเรียนที่ 6 การเลือกใช้วัสดุและการบำรุงรักษาเครื่องมือกล	ใบงานที่ 6.1 การบำรุงรักษาด้วยการอบคืนตัว	2	6	8
18	ประเมินผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา		1	3	4
รวม			**15**	**57**	**72**

คำนำ

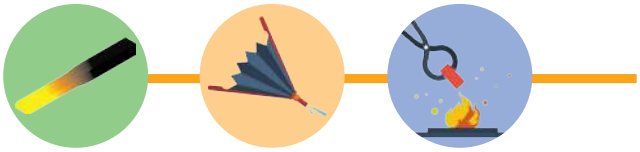
บริษัท วังอักษร จำกัด ได้จัดทำหนังสือวิชา **อบชุบโลหะ (Heat Treatment)** เพื่อใช้บูรณาการและประกอบการเรียนการสอน ตามหลักสูตรอาชีวศึกษา (สอศ.) หลักสูตรส่งเสริมการเรียนรู้ (สกร.) หลักสูตรอุดมศึกษา ผู้สนใจในการพัฒนาการเรียนรู้และทักษะ

หนังสือเล่มนี้ประกอบด้วยเนื้อหาสาระ ใบงาน แบบฝึกหัด แบบทดสอบคู่ขนาน มีจุดประสงค์ในการยกระดับผู้เรียนให้เรียนทฤษฎีและปฏิบัติ เพื่อเสริมสร้างทักษะ ประสบการณ์ และการประยุกต์ใช้ได้จริง โดยเน้นกระบวนการเรียนรู้ที่มีคุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณวิชาชีพ และกิจนิสัยในการทำงาน เพื่อสร้างสมรรถนะตามความต้องการของสถานประกอบการ เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้แบ่งออกเป็น 6 บทเรียน คือ **บทเรียนที่ 1 บทนำ บทเรียนที่ 2 โครงสร้างโลหะ บทเรียนที่ 3 สมบัติทางกายภาพและการทดสอบ บทเรียนที่ 4 แผนภาพสมดุลเหล็กคาร์บอน บทเรียนที่ 5 กรรมวิธีชุบแข็งและอบคืนตัว และบทเรียนที่ 6 การเลือกใช้วัสดุและการบำรุงรักษาเครื่องมือกล**

หนังสือเล่มนี้มีเนื้อหาที่ทันสมัย ตามแผนการพัฒนาการศึกษาด้านวิชาชีพ ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติและแผนการศึกษาแห่งชาติ เพื่อให้ผู้เรียนมีผลลัพธ์การเรียนรู้และสมรรถนะตามมาตรฐานอาชีพ สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (องค์การมหาชน) อาชีพช่างผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์โลหะ ระดับ 2 อาชีพช่างออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มโลหะ ระดับ 3 อาชีพช่างผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์พลาสติก ระดับ 2 ประกอบด้วยหน่วยสมรรถนะดังนี้ อาชีพช่างผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์โลหะ ระดับ 2 MLD-DMT-2-021ZB จำแนกวัสดุทำชิ้นส่วนแม่พิมพ์ ปั๊มโลหะ อาชีพช่างออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มโลหะ ระดับ 3 MLD-DMT-3-007ZB จำแนกวัสดุและการชุบแข็งของชิ้นส่วนแม่พิมพ์โลหะ อาชีพช่างผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์พลาสติก ระดับ 2 MLD-MPT-2-018ZB จำแนกวัสดุทำชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

พนมยงค์ อู่ประสิทธิ์วงศ์

สารบัญ



บทเรียนที่ 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
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 1..... 20

บทเรียนที่ 2 โครงสร้างโลหะ 24

2.1 โครงสร้างผลึก (Crystal Structure)..... 27
2.2 ความไม่สมบูรณ์ในโครงสร้าง (Imperfection in Structure)..... 32
ใบงานที่ 2.1 ตรวจสอบชิ้นงานโลหะเบื้องต้น..... 38
ใบงานที่ 2.2 ตรวจสอบและปฏิบัติการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์การอบชุบ
ตามหลักความปลอดภัย..... 42
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 2..... 44

บทเรียนที่ 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
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 3..... 87

บทเรียนที่ 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
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 4..... 121

บทเรียนที่ 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
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 5..... 172

บทเรียนที่ 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
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 6..... 193
บรรณานุกรม 197

บทเรียนที่ 1

บทนำ

สแกนดู E-book 4 สี

หัวเรื่องหลัก

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

ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับบทเรียน

วิเคราะห์และจัดลำดับขั้นตอนการผลิตเหล็ก

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

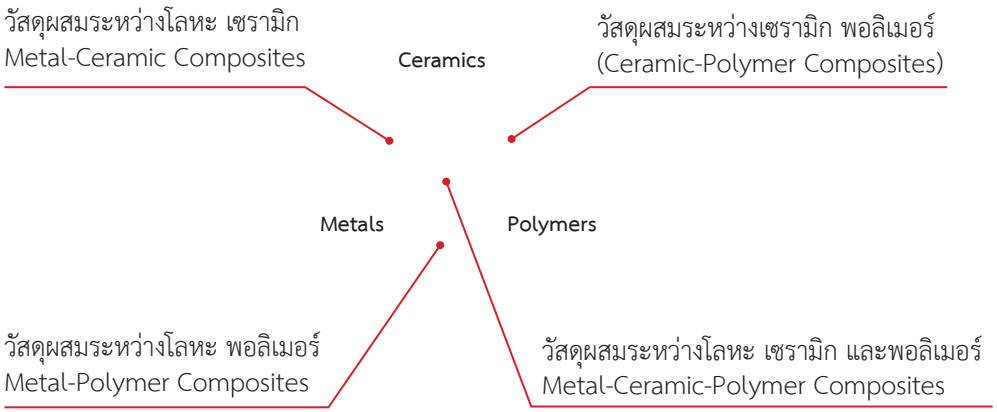
1. เรียนรู้กระบวนการผลิต การถลุง กระบวนการหลอมและการหล่อ การแปรรูปและปรับปรุงสมบัติของเหล็กได้อย่างเข้าใจ
2. นำความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการผลิต การถลุง กระบวนการหลอมและการหล่อ การแปรรูปและปรับปรุงสมบัติของเหล็กไปใช้ในการประกอบอาชีพได้

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. อธิบายหลักการของกระบวนการผลิตเหล็ก การถลุงเหล็ก การหลอม และการขึ้นรูปได้ถูกต้อง
2. อธิบายหลักการของการแปรรูปและการปรับปรุงสมบัติได้ถูกต้อง
3. วิเคราะห์และจำแนกประเภทของการปรับปรุงสมบัติจากขั้นตอนขบวนการผลิต

เนื้อหาสาระ

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



รูปที่ 1.1 ประเภทของวัสดุ

การจำแนกประเภทของโลหะนั้นสามารถจำแนกออกได้ 3 ประเภทหลัก ได้แก่

1. โลหะในกลุ่มเหล็ก (Ferrous Metal) เป็นโลหะที่ได้จากสินแร่เหล็ก ซึ่งมักจะพบง่ายมีปริมาณมากบนพื้นผิวโลก เทคโนโลยีการผลิตและขึ้นรูปของโลหะประเภทนี้ ถูกคิดค้นมายาวนานและถูกพัฒนาเรื่อยมาจนปัจจุบัน เหล็กนั้นเป็นโลหะพื้นฐานของระบบอุตสาหกรรม สิ่งก่อสร้าง ระบบการศึกษารวมไปถึงการแพทย์และการทหารอีกด้วย เหล็กสามารถถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ เหล็กกล้า และเหล็กหล่อ โดยจะถูกแบ่งจากเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่อน้ำหนักที่ละลายอยู่ในเหล็ก

2. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-Ferrous Metal) กลุ่มโลหะที่เป็นพื้นฐานของระบบเศรษฐกิจและสามารถพบสินแร่บนผิวโลกได้ไม่ยากนัก 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 แคดเมียม วานาเดียม นิกเกล โครเมียม ฯลฯ

2.3 โลหะเบา ได้แก่ อะลูมิเนียม แมกนิเซียม เบริลเลียม ฯลฯ

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

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

1. อุตสาหกรรมโลหะขั้นต้น คือ กระบวนการผลิตโลหะจากสินแร่ตามธรรมชาติผ่านกรรมวิธีทำความสะอาด และแยกทางกายภาพ เพื่อลดสิ่งปนเปื้อนก่อนจะนำไปถลุงด้วยความร้อนหรือสารเคมี

2. อุตสาหกรรมโลหะขั้นกลาง คือ กระบวนการนำผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตก่อนหน้า หรือนำโลหะจากทรัพยากรหมุนเวียนมาหลอมใหม่ ปรับปรุงส่วนผสม และขึ้นรูปเป็นรูปแบบที่แตกต่างกันก่อนนำไปใช้งานในกระบวนการสุดท้าย

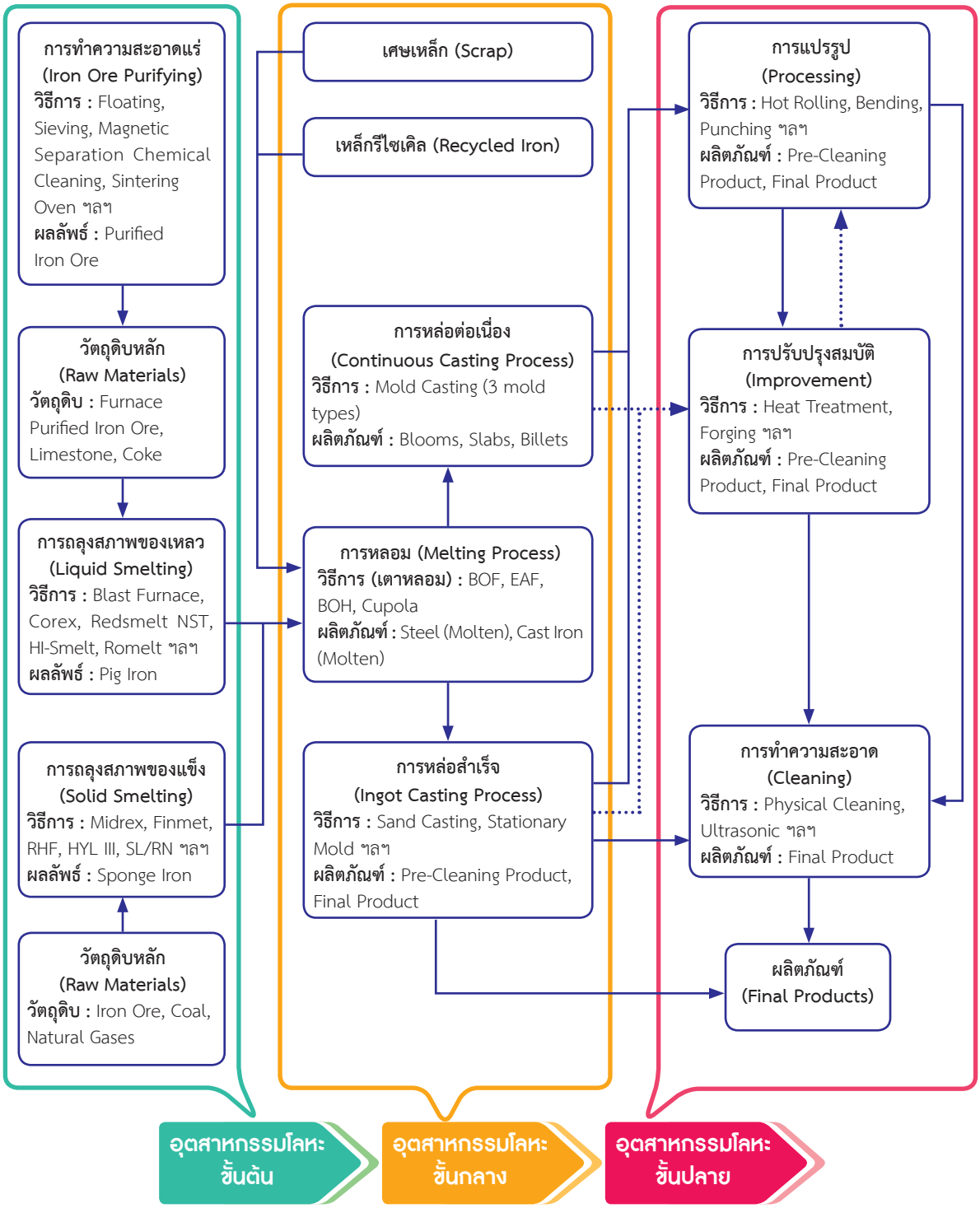
3. อุตสาหกรรมโลหะขั้นปลาย คือ กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากขั้นกลาง กระบวนการปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคด้วยความร้อนเพื่อตอบสนองต่อสมบัติของโลหะตามที่ต้องการ รวมไปถึงกระบวนการตัดแต่ง ทำความสะอาด และประกอบชิ้นส่วน เช่น การประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักร การทำความสะอาดผิวหน้าโลหะด้วยอัลตราโซนิค การอบชุบ การอบคลายเครียด 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 การทำความสะอาดนั้นมีทั้งทางกายภาพและเคมี จะทำไปเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก เศษหิน ดิน ทราย ออกจากแร่ที่เราต้องการ หลังจากที่แร่สะอาดแล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการแยกแร่ 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)

วิธีการถลุงเหล็กนั้นมีอยู่มากขึ้นอยู่กับกรรมวิธี 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 กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยีโคเร็ก (Corex Smelting)
   - 2.2 กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยี HI (HI-Smelt)
   - 2.3 กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยี NST (Redsmelt NST)

การถลุงสภาพของแข็ง (Solid Smelting) แบ่งออกเป็น 5 วิธี ดังนี้

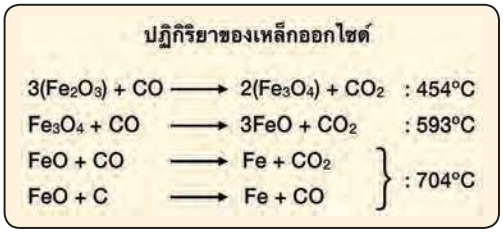
1. กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยีไมเดรก (Midrex Smelting)
2. กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยีฟินเมต (Finmet Smelting)
3. กระบวนการถลุงด้วยเทคโนโลยี HyL III (HyL III Smelting)

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

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

1.2.1 ปฏิกิริยาที่เกิดกับเหล็กออกไซด์

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



รูปที่ 1.3 ปฏิกิริยาของเหล็กออกไซด์จากการถลุงในเตาพ่นลม

– 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) จำนวนมาก สร้างผลกระทบต่อชุมชน และสภาพแวดล้อม ในส่วนของคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) จากปฏิกิริยาในบรรทัดสุดท้ายจะถูกนำกลับไปใช้เป็นสารตั้งต้นเสมอ

1.2.2 ปฏิกิริยาที่เกิดกับถ่านโค้ก

– ถ่านโค้ก คือ ธาตุคาร์บอนจับกันเป็นก้อนมีสูตรเคมี C เพียงอย่างเดียว เมื่อถ่านโค้กทำปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ คือ คาร์บอนไดออกไซด์

(Carbon Dioxide) และเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาต่อไป ดังรูปที่ 1.4

– ผลิตภัณฑ์ของทั้งสองกระบวนการที่เกิดขึ้นจะเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาของเหล็กออกไซด์

ปฏิกิริยาของถ่านโค้ก

$C + O_2 \longrightarrow CO_2 +$ ความร้อน

$C + CO_2 \longrightarrow 2CO$

รูปที่ 1.4 ปฏิกิริยาของถ่านโค้กจากการถลุงในเตาพ่นลม

1.2.3 ปฏิกิริยาที่เกิดกับหินปูน

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

ปฏิกิริยาของหินปูน

$CaCO_3 \xrightarrow{\triangle} CaO + CO_2$

รูปที่ 1.5 ปฏิกิริยาของหินปูนจากการถลุงในเตาพ่นลม

1.2.4 ปฏิกิริยากำจัดของเสีย

– เนื่องจากแร่เหล็กยังมีสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ ปะปนอยู่ในแร่เหล็ก ถึงแม้จะมีกระบวนการ หรือขั้นตอนการทำความสะอาดแล้วก็ตาม

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

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

– ที่อุณหภูมิประมาณ 871°C เกิดปฏิกิริยากำจัดกำมะถัน ดังรูปที่ 1.6 ความร้อนและถ่านโค้กจะดึงเอาออกซิเจนในแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide) ออกมาสร้างพันธะเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) แคลเซียมจะช่วยในการสลายพันธะของไอร์รอนซัลไฟด์ (Iron Sulfide) และจับกำมะถันให้อยู่ในรูปของแคลเซียมซัลไฟด์ (Calcium Sulfide)

ปฏิกิริยากำจัดกำมะถัน

$FeS + CaO + C \longrightarrow CaS + FeO + CO \quad : 871°C$

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 สูตรทางเคมีของ แร่ 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_2
เฟอรัสออกไซด์	Ferrous Oxide	FeO
ฮีมาไทต์	Hematite	Fe_2O_3
แมกนีไทต์	Magnetite	Fe_3O_4

ตารางที่ 1.2 สูตรทางเคมีของ แร่ ธาตุ และสารประกอบในกระบวนการถลุงเหล็ก (ต่อ)

แร่ ธาตุ สารประกอบ	แร่ ธาตุ สารประกอบ (เคมี)	สูตรเคมี
ไอร์รอนซัลไฟด์	Iron Sulfide	FeS
แคลเซียมออกไซด์	Calcium Oxide	CaO
ปูนขาว, แคลเซียมคาร์บอเนต	Calciumcarbonate	$CaCO_3$
คาร์บอนมอนอกไซด์	Carbon Monoxide	CO
คาร์บอนไดออกไซด์	Carbon Dioxide	CO_2

1.3 กระบวนการหลอม และการหล่อ (Melting and Casting Process)

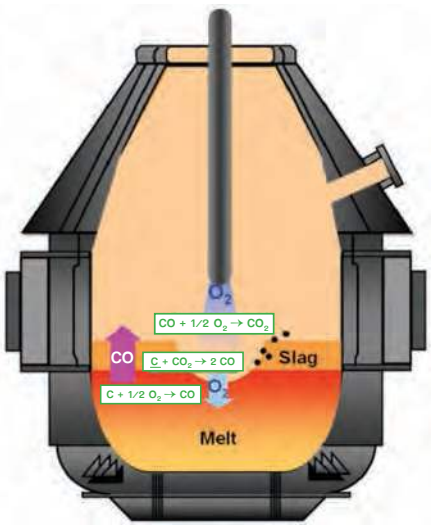
ขั้นตอนนี้จัดเป็นอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลาง ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมเหล็กที่สำคัญที่สุด เพราะเป็นขั้นตอนในการปรับปรุงส่วนผสม กำหนดเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในเหล็ก ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เบื้องต้น เพื่อจะนำไปตัดต่อในขั้นตอนต่อไป ในประเทศไทยอุตสาหกรรมเหล็กเริ่มต้นจากขั้นตอนนี้ แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการหลอม (Melting 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) เตาคิวโพลา (Cupola) และเตาเผาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace)

1. เตาหลอมออกซิเจน (Basic Oxygen Furnace)

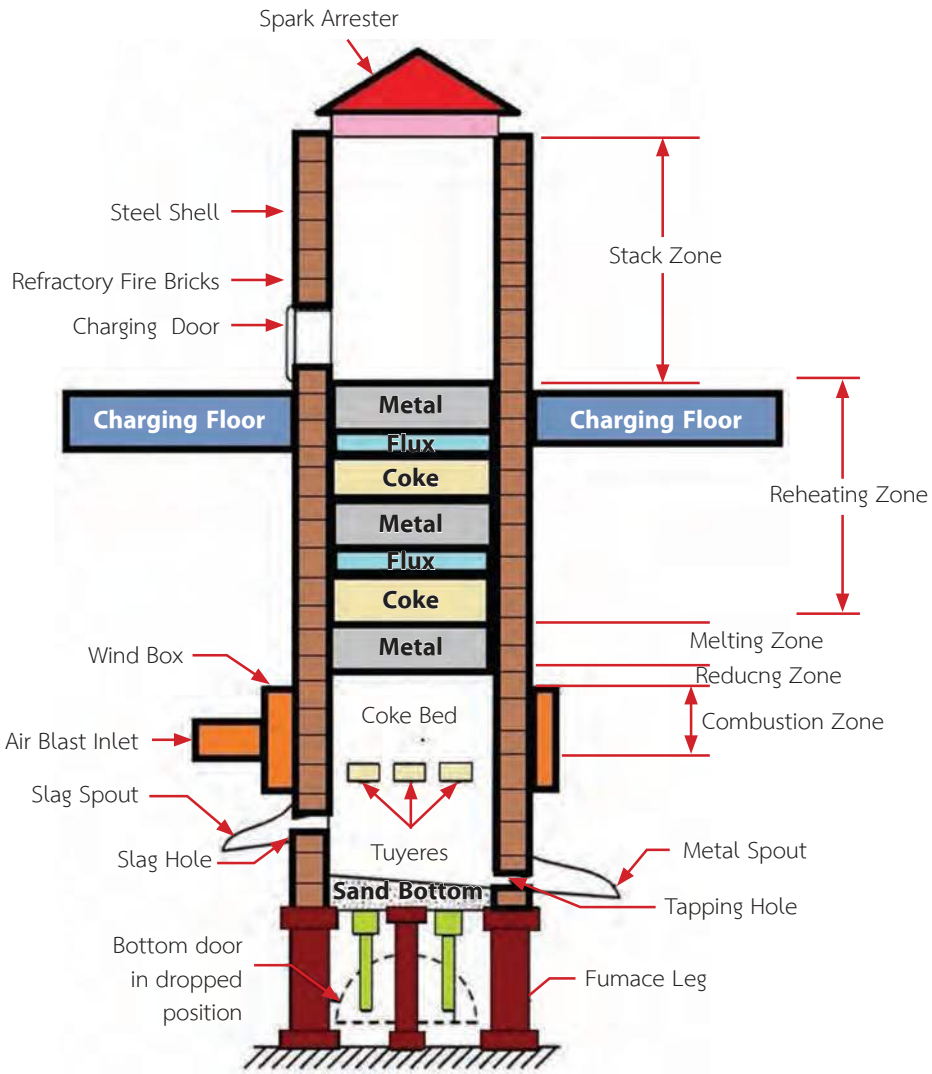
เป็นเตาหลอมอุณหภูมิสูงโดยการพ่นลมร้อนขั้นตอนนี้ลมร้อนจะเป็นแก๊สออกซิเจน ทำหน้าที่จับคาร์บอนในน้ำเหล็กเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ การควบคุมปริมาณคาร์บอนจะขึ้นอยู่กับเวลา และปริมาณแก๊สออกซิเจน ปริมาณคาร์บอนในเหล็กจะเป็นตัวบอกโครงสร้างจุลภาค จุดหลอมเหลว จุดเปลี่ยนเฟส สมบัติเชิงกล รวมไปถึงการใช้งานของเหล็ก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



รูปที่ 1.7 เตาหลอมออกซิเจน (BOF)
ที่มา : https://www.researchgate.net

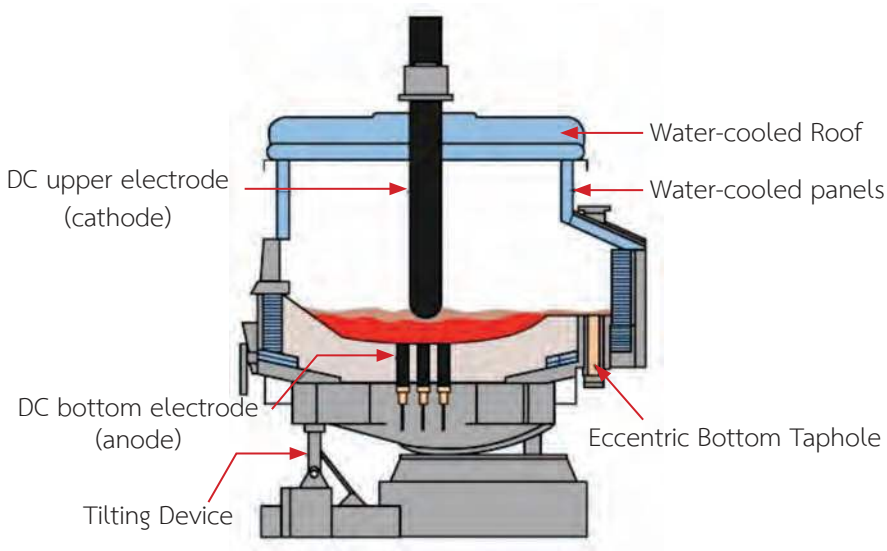
กระบวนการหลอมออกซิเจนสามารถใช้ได้ทั้งสามชนิด แต่นิยมใช้สำหรับเหล็กถลุงมากที่สุด เพราะสามารถควบคุมปริมาณคาร์บอนในเหล็กได้ง่ายกว่า และผลิตภัณฑ์จากกระบวนการนี้ คือ เหล็กกล้าคาร์บอน

2. เตาหลอมคิวโพลา (Cupola) เตาหลอมทรงสูงมีโดมข้างบน เส้นผ่านศูนย์กลางโดมมีขนาดเริ่มต้น 45 เซนติเมตร และอาจกว้างได้ถึง 400 เซนติเมตร การหลอมมักนิยมใช้หลอมเศษเหล็ก และสามารถใช้เหล็กถลุงเข้าไปเล็กน้อย การหลอมจำเป็นต้องมีฟลักซ์เพื่อกำจัดของเสีย โดยใส่วัตถุดิบรวมกันไม่เกินของความสูงเตาหลอม เมื่อหลอมเหล็กหรืออัลลอยจะเกิดการขยายตัว เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ เหล็กหล่อ เหล็กอัลลอย



รูปที่ 1.8 เตาหลอมคิวโพลา (Cupola)
ที่มา : https://blogmech.com

3. เตาหลอมไฟฟ้า (Electric Arc Furnace) ความร้อนจากกระบวนการหลอมนี้เกิดขึ้นจากความต่างศักย์ของไฟฟ้ากระแสตรงในชิ้นงาน โดยจะมีขั้วลบอยู่ข้างล่างและขั้วบวกอยู่ข้างบน การหลอมประเภทนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในน้ำเหล็กน้อยมาก เนื่องจากไม่มีการใส่แก๊สออกซิเจนเพิ่มในกระบวนการ จึงเป็นการควบคุมปริมาณคาร์บอนที่ดีวิธีหนึ่ง วัตถุดิบหลักที่ใช้มักเป็นของแข็งอย่างเหล็กถลุงสภาพแข็ง หรือแม้แต่เศษเหล็ก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กหล่อ รวมไปถึงกระบวนการนี้สามารถใช้กับโลหะนอกกลุ่มเหล็กได้ เนื่องจากกระบวนการนี้ใช้พลังงานไฟฟ้า มีมลภาวะทางอากาศ ของเสียน้อยมาก จึงเป็นที่นิยมใช้และถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

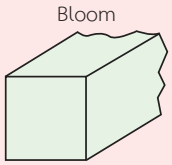
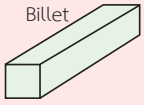
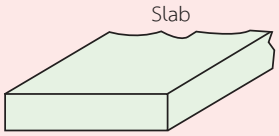


รูปที่ 1.9 เตาหลอมอาร์คไฟฟ้า (EAF)
ที่มา : www.steel.org

1.3.2 การหล่อ (Casting)

ผลิตภัณฑ์จากการหลอม คือ น้ำเหล็กที่มีอุณหภูมิสูงทั้งเหล็กกล้า เหล็กหล่อ และเหล็กอัลลอย ซึ่งน้ำเหล็กดังกล่าวจะถูกนำมาทำให้เย็นตัวในรูปทรงต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่า **การหล่อ (Casting)** แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ การหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Casting Process) พบได้ในกระบวนการอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลาง และเป็นการหล่อเหล็กเพื่อนำไปแปรรูปต่อ การหล่อประเภทสุดท้าย คือ การหล่อแบบสำเร็จ (Ingot Casting Process) เป็นการเทน้ำเหล็กลงในแม่พิมพ์ที่ถูกสร้างขึ้นมาตามรูปร่างของชิ้นงาน

ตารางที่ 1.3 ผลิตภัณฑ์จากการหล่อแบบต่อเนื่อง

การหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous Casting Process)		
ผลิตภัณฑ์ (Ingot)	**กระบวนการผลิต**	**รูปชิ้นงาน**
เหล็กแท่งใหญ่ (Blooms)	Continuous Mold	
เหล็กแท่งยาว (Billets)	Die Casting	
เหล็กแบน (Slabs)	Continuous Mold	

1.3.3 การหล่อแบบสำเร็จ (Ingot Casting Process)

การหล่อแบบสำเร็จ คือ กระบวนการขึ้นรูปเหล็กด้วยการหล่อ เป็นการเทน้ำเหล็กใส่แม่พิมพ์และทิ้งให้เย็นตัว หรือลำเลียงน้ำเหล็กผ่านกลไกลการขึ้นรูปแบบอื่น ๆ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ การหล่อทราย (Sand Casting) การหล่อขี้ผึ้ง (Investment Casting) และการหล่อแบบฉีด (Die Casting) แต่ละประเภทเหมาะสมกับเหล็กแตกต่างกัน

1. **การหล่อทราย (Sand Casting)** คือ กระบวนการสร้างแม่พิมพ์จากทราย และลำเลียงน้ำเหล็กลงไปในแม่พิมพ์นั้น สิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการนี้ คือ ช่องทางการเทน้ำเหล็กเข้าแม่พิมพ์และช่องรูล้น เนื่องจากหากไม่มีรูล้นความร้อนสูงของน้ำเหล็กจะทำให้เกิดความเสียหายต่อแม่พิมพ์ ส่งผลให้การหล่อเสียหาย นอกจากนี้รูล้นยังช่วยทำหน้าที่ระบายความร้อน และบอกถึงปริมาณน้ำเหล็กในแม่พิมพ์อีกด้วย การเลือกใช้ทรายเป็นอีกหนึ่งสิ่งที่สำคัญเพราะส่งผลถึงพื้นผิวของเหล็กที่หล่อ โดยจะมีความหยาบมากหากใช้ทรายเม็ดใหญ่ และมีความเรียบมากขึ้นหากทรายเม็ดเล็กลง ไม่เพียงแต่ขนาดของทรายการเตรียมก็สำคัญเช่นกัน หากอัดทรายไม่แน่นมากพอจะทำให้เกิดอากาศและความชื้นภายในแม่พิมพ์ ส่งผลให้เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว อากาศจะขยายตัวและแตกออก แม่พิมพ์จะได้รับความเสียหาย อีกทั้งความชื้นในอากาศและทรายจะถูกดูดลงไปที่ชิ้นงาน เกิดฟองอากาศภายในชิ้นงาน ส่งผลต่อเนื่องให้เกิดสนิมเหล็ก รวมไปถึงความบกพร่องอื่น ๆ การหล่อทรายมีเงื่อนไข คือ อุณหภูมิการหล่อต้องต่ำกว่าอุณหภูมิจุดหลอมเหลวทราย และเหมาะกับชิ้นงานที่มีความซับซ้อนต่ำ

ข้อดี : เหมาะสำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่ ต้นทุนต่ำ ใช้กับเหล็กได้ทุกประเภท ใช้กับโลหะได้หลายชนิด

ข้อเสีย : ผิวชิ้นงานขรุขระ หยาบ อาจเกิดกรณีชิ้นงานไม่สมบูรณ์ได้ อัตราการผลิตช้า

2. การหล่อขี้ผึ้ง (Investment Casting) คือ กระบวนการหล่อด้วยแม่พิมพ์ที่สร้างจากวัสดุประเภทพอลิเมอร์ ไม่ว่าจะเป็นขี้ผึ้ง หรือพอลิเมอร์บางชนิด วัสดุนั้นจะต้องหายไปด้วยความร้อนจากน้ำโลหะด้วยการหลอมเหลวหรือระเหิดออกก็ได้ การหล่อประเภทนี้จำเป็นต้องสร้างแม่พิมพ์ก่อน การสร้างนั้นถือเป็นเรื่องยาก ใช้เวลา และงบประมาณสูง แต่จะแลกมาด้วยความซับซ้อน ลวดลายบนพื้นผิวชิ้นงาน เงื่อนไขการหล่อขี้ผึ้ง คือ น้ำโลหะจะต้องคงรูปเป็นของแข็ง ในขณะที่แม่พิมพ์ละลายหรือระเหิดออกไป นั่นหมายถึง ถ้าใช้โลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงเกินไปวัสดุที่นำมาใช้เป็นแม่พิมพ์จะละลายก่อนที่น้ำโลหะจะคงรูป ทำให้ชิ้นงานอาจเกิดการเสียรูปทรงได้ การหล่อขี้ผึ้งนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องเงิน เครื่องทอง และอุตสาหกรรมโลหะมีราคา ในเหล็กนั้นมักถูกใช้กับการผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อน เช่น กลไกนาฬิกา รวมไปถึงชิ้นงานที่ต้องการรูปทรงสวยงามแต่มีขนาดเล็ก

ข้อดี : เหมาะสำหรับชิ้นงานที่ต้องการความซับซ้อน ขนาดเล็ก พื้นผิวเรียบ ใช้กับโลหะได้หลายชนิด

ข้อเสีย : ต้นทุนสูง ผลิตได้ช้า ขนาดชิ้นงานจำกัด

3. การหล่อแบบใช้ Die (Die Casting) คือ การฉีดโลหะเข้าเครื่องอัดฉีด และส่งต่อไปยังส่วนของ Die เมื่อน้ำโลหะมีความหนืดสูงผ่านหน้าตัดของ Die ออกมาจะเย็นตัวลงเป็นของแข็งที่มีสายพานรองรับและเคลื่อนที่ออกไปข้างหน้า โดยความเร็วการเคลื่อนที่ของสายพานจะต้องสอดคล้องกับอัตราเย็นตัวของน้ำโลหะชนิดนั้นๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้โลหะที่มีอัตราการเย็นตัวสูงและจุดหลอมเหลวต่ำ เพื่อการผลิตที่ต่อเนื่อง รวมไปถึงเครื่องมือเครื่องใช้ที่สร้างจากโลหะผสม สามารถทนความร้อนได้เพียงค่าหนึ่ง จากนั้นจะกลายเป็นของแข็งที่สามารถอ่อนตัวได้ หากกระบวนการนี้ใช้กับโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงเกินไปจะไม่สามารถผลิตได้ นอกจากนี้รูปร่างของโลหะจะมีลักษณะเป็นแท่งยาว และมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันสม่ำเสมอ รูปทรงของพื้นที่หน้าตัดจะขึ้นอยู่กับ Die ชิ้นงานจากกระบวนการนี้จะมีความกลวงหรือตันนั้นขึ้นอยู่กับ Die เช่นกัน ในส่วนเงื่อนไขนั้นมีเพียงการใช้โลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ รวมไปถึงการศึกษากระบวนการเย็นตัวของโลหะเพื่อให้สอดคล้องกับอัตราการเทน้ำโลหะ และความเร็วของสายพาน

ข้อดี : มีความแม่นยำสูง ผิวเรียบ อัตราการผลิตสูง ใช้กับระบบควบคุมอัตโนมัติได้ หน้าตัดขึ้นกับ Die

ข้อเสีย : ราคาแพง ขนาดพื้นที่หน้าตัดจำกัด ใช้กับโลหะจุดหลอมเหลวต่ำ

1.4 การแปรรูป และปรับปรุงสมบัติ (Processing and Improvement)

กระบวนการแปรรูปเหล็ก (Steel Processing) คือ กระบวนการเปลี่ยนรูปร่างของเหล็กโดยใช้แรงและอุณหภูมิ ในประเทศไทยอุตสาหกรรมเหล็กมักนิยมใช้การแปรรูปจากเหล็กที่ได้รับมา คือ เหล็กแท่งใหญ่ (Blooms) เหล็กแท่งยาว (Billets) และเหล็กแบน (Slabs)

การปรับปรุงสมบัติ (Improvement) คือ กระบวนการเพิ่มข้อดีและลดข้อด้อยของเหล็กที่นำมาใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองต่อการใช้งาน เช่น เหล็กโครงสร้างจะถูกปรับปรุงสมบัติให้มีความแข็งแรง และเหนียวเพื่อรับแรงกดอัด และแรงเฉือนประเภทต่าง ๆ กระบวนการนี้เป็นการใช้ความร้อนและแรงเป็นเครื่องมือในการปรับเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างภายในของเหล็ก หากโครงสร้างเปลี่ยนสมบัติทางกล และสมบัติอื่น ๆ ของเหล็กนั้นจะเปลี่ยนตามไปเช่นกัน

โดยทั่วไปอุตสาหกรรมเหล็ก แบ่งการแปรรูปและการปรับปรุงสมบัติในอุตสาหกรรมเหล็กออกเป็น 6 ขั้นตอน คือ การขึ้นรูป (Forming Process) การอบชุบ (Heat Treatment) การจัดการเหล็กแผ่น (Sheet Steel Process) การตกแต่ง (Machining) การเชื่อม (Welding) และขั้นตอนสุดท้ายคือการทำความสะอาดพื้นผิว (Surface Treatment)

1.4.1 การขึ้นรูป (Forming Process)

ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลางส่วนมาก คือ เหล็กแท่งใหญ่ (Blooms) เหล็กแท่งยาว (Billets) และเหล็กแบน (Slabs) นอกเหนือจากสามชนิดนี้จะไม่ถือเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการขึ้นรูป เนื่องจากการหล่อนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป เพียงแต่ต้องการปรับปรุงสมบัติ ตัดแต่ง และทำความสะอาดพื้นผิว ด้วยพื้นฐานของวัตถุดิบหลักทั้งสามชนิดที่ค่อนข้างจะแน่นอน ไม่มีรูปร่างซับซ้อน กระบวนการขึ้นรูปจึงตายตัว ทั้งนี้การขึ้นรูปของเหล็กนั้นต้องใช้แรงทางกลและอุณหภูมิ โดยการแปรรูปถาวรของโลหะจะใช้แรงระหว่างแรงที่จุดคราก (Yield Strength) ถึงจุดเกิดคอคอด (Ultimate Tensile Strength) ในช่วงของแรงนี้จะถูกเรียกว่า **Strain Hardening** ในส่วนของอุณหภูมิจะใช้จุดหลอมเหลวของเหล็กเป็นตัวกำหนด

Hot Working คือ การขึ้นรูปเหล็กด้วยความร้อนช่วงอุณหภูมิสูงกว่าครึ่งหนึ่งของอุณหภูมิหลอมเหลว แต่จะไม่เกิน 80 - 90% ของอุณหภูมิหลอมเหลว ทำให้เหล็กอ่อนตัวลง ปรับเปลี่ยนรูปทรงได้ง่ายมากขึ้น จุดหลอมเหลวของเหล็กจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมในเหล็ก ซึ่งจะสนใจเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของคาร์บอนและธาตุอื่นที่ผสมเข้ามา การทำงานร้อนมักนิยมใช้กับโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูงเพื่อลดแรงกระทำ หากใช้แรงมากเกินไปอาจเกิดอันตรายต่อกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้ รวมถึงถูกใช้กับโลหะนอกกลุ่มเหล็กด้วย เช่น ทองคำ เงิน อะลูมิเนียม

ข้อดี : Recrystallisation ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียว และพื้นผิวอ่อน ใช้แรงน้อย

ข้อเสีย : เกิดสนิมบนผิวชิ้นงาน หากไม่ควบคุมการเย็นตัวชิ้นงานอาจเกิดการบิด และเสียรูป

Cold Working คือ การขึ้นรูปเหล็กด้วยความร้อนช่วงอุณหภูมิต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของอุณหภูมิหลอมเหลว เหล็กจะมีความแข็งแรงมากกว่าการทำ Hot Working จึงต้องใช้แรงที่มากกว่า การทำประเภทนี้มักทำให้เหล็กที่มีความหนาไม่สูงมาก นิยมทำในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ หรือโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่มีความเหนียวสูง ความแข็งแรงต่ำ