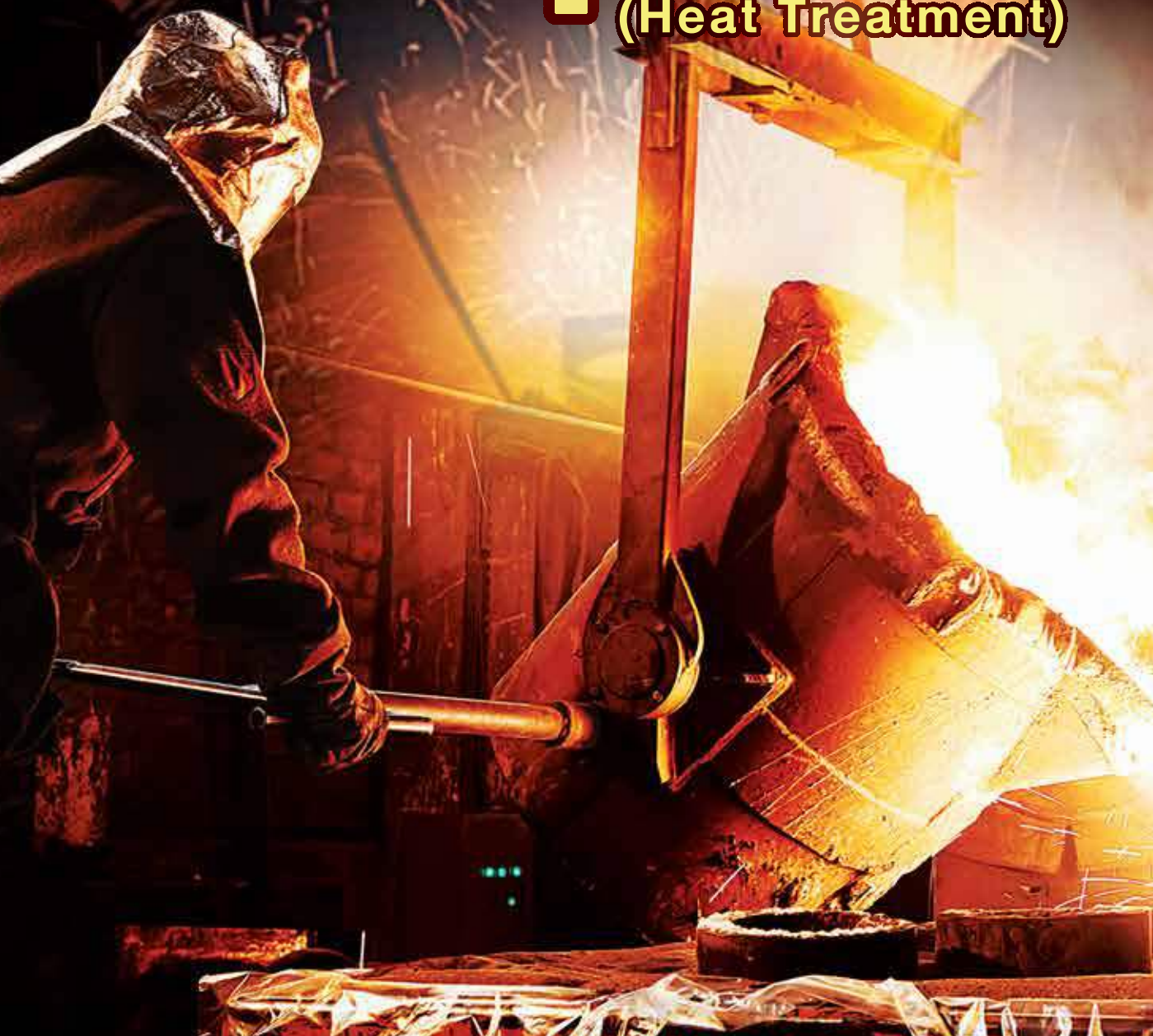


อบชุบโลหะ

(Heat Treatment)



ผศ.บอ.รามจิตติ ฤทธิสร

110.-

อบชุบโลหะ

(Heat Treatment)

กลุ่มอาชีพอุตสาหกรรมการผลิต

ISBN 978-616-495-282-9

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2567

จำนวนที่พิมพ์ 3,000 เล่ม

เรียบเรียงโดย

ผศ. น.อ. รามจิตติ ฤทธิศร

QR Code e-book 4 คี

ฟรีในเล่ม

จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย โดย...

บริษัท วังอักษร จำกัด



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 สมบัติของโลหะ และแผนภาพสมดุล	-	1	3	4
2 - 5	บทเรียนที่ 2 สมบัติทางกล และการตรวจสอบโครงสร้าง โลหะ	ใบงานที่ 2.1 การทดสอบแรงดึงของเหล็กเส้นกลม ใบงานที่ 2.2 การทดสอบแรงดึงเหนียวของเหล็ก ใบงานที่ 2.3 การทดสอบแรงบิดของเหล็ก	4	12	16
6 - 9	บทเรียนที่ 3 สมบัติทางกล และการตรวจสอบโครงสร้าง (ความแข็ง)	ใบงานที่ 3.1 การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ ใบงานที่ 3.2 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส ใบงานที่ 3.3 การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์	4	12	16
10	บทเรียนที่ 4 กรรมวิธี ทางความร้อนของเหล็กกล้า (ตอนที่ 1)	-	1	3	4
11 - 16	บทเรียนที่ 5 กรรมวิธี ทางความร้อนของเหล็กกล้า (ตอนที่ 2)	ใบงานที่ 5.1 การชุบแข็งโลหะด้วยน้ำ ใบงานที่ 5.2 การชุบแข็งโดยการจุ่มน้ำมัน	4	20	24
16 - 17	บทเรียนที่ 6 เตาอบชุบโลหะ เครื่องมือ อุปกรณ์ และการ บำรุงรักษา	-	1	3	4
18	ประเมินผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา		1	3	4
รวม			16	56	72

คำนำ

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

หนังสือเล่มนี้ประกอบด้วยเนื้อหาสาระ ใบบาง แบบฝึกหัด แบบทดสอบคู่ขนาน มีจุดประสงค์ ในการยกระดับผู้เรียนให้เรียนทฤษฎีและปฏิบัติ เพื่อเสริมสร้างทักษะ ประสบการณ์ และการประยุกต์ ใช้ได้จริง โดยเน้นกระบวนการเรียนรู้ที่มีคุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณวิชาชีพ และกิจนิสัยในการ ทำงาน เพื่อสร้างสมรรถนะตามความต้องการของสถานประกอบการ เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้แบ่งออกเป็น 6 บทเรียน คือ **บทเรียนที่ 1 สมบัติของโลหะและแผนภาพสมดุล** **บทเรียนที่ 2 สมบัติทางกลและการ ตรวจสอบโครงสร้างโลหะ** **บทเรียนที่ 3 สมบัติทางกลและการตรวจสอบโครงสร้าง (ความแข็ง)** **บทเรียนที่ 4 กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า (ตอนที่ 1)** **บทเรียนที่ 5 กรรมวิธีทางความร้อน ของเหล็กกล้า (ตอนที่ 2)** และ **บทเรียนที่ 6 เตาอบชุบโลหะ เครื่องมือ อุปกรณ์ และการบำรุงรักษา**

หนังสือเล่มนี้มีเนื้อหาที่ทันสมัย ตามแผนการพัฒนาศึกษาด้านวิชาชีพ ซึ่งสอดคล้องกับ ยุทธศาสตร์ชาติและแผนการศึกษาแห่งชาติ เพื่อให้ผู้เรียนมีผลลัพธ์การเรียนรู้และสมรรถนะตามมาตรฐาน อาชีพ สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (องค์การมหาชน) อาชีพช่างผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์โลหะ ระดับ 2 อาชีพ ช่างออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มโลหะ ระดับ 3 อาชีพช่างผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์พลาสติก ระดับ 2 ประกอบด้วย หน่วยสมรรถนะดังนี้ อาชีพช่างผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์โลหะ ระดับ 2 MLD-DMT-2-021ZB จำแนกวัสดุทำ ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ ปั๊มโลหะ อาชีพช่างออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มโลหะ ระดับ 3 MLD-DMT-3-007ZB จำแนก วัสดุและการชุบแข็งของชิ้นส่วนแม่พิมพ์โลหะ อาชีพช่างผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์พลาสติก ระดับ 2 MLD- MPT-2-018ZB จำแนกวัสดุทำชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

ผศ. น.อ. รามจิตติ ฤทธิศร

สารบัญ

บทเรียนที่ 1 สมบัติของโลหะและแผนภาพสมดุล

1



สินแร่เหล็ก (Iron Ores).....	3
สมบัติทางวัสดุ.....	10
โลหะผสมและแผนภาพสมดุล.....	11
แผนภาพสมดุลของโลหะผสมระบบสองธาตุ (Equilibrium Diagram of Binary System).....	12
แผนภาพสมดุลในระบบสองธาตุ.....	15
การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก.....	18
แผนภาพการเปลี่ยนแปลงโดยอุณหภูมิคงที่.....	31
แผนภาพการเปลี่ยนแปลงโดยการเย็นตัวอย่างต่อเนื่อง (Continuous Cooling Transformation Diagram).....	38
อัตราการเย็นตัววิกฤติ (Critical Cooling Rate).....	41
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 1.....	43

บทเรียนที่ 2 สมบัติทางกลและการตรวจสอบโครงสร้างโลหะ

48



สมบัติของวัสดุและการทดสอบ.....	50
ความเค้น (Stress).....	51
ความเครียดและการเปลี่ยนรูป (Strain and Deformation).....	53
ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress - strain Relationship).....	55
การทดลองการรับแรงดึง.....	59
การทดลองการรับแรงอัด.....	65
การทดลองการรับแรงเฉือน.....	69
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 2.....	81
ใบงานที่ 2.1 การทดสอบแรงดึงของเหล็กเส้นกลม (Tensile Strength of Steel).....	83
ใบงานที่ 2.2 การทดสอบแรงดึงเฉือนของเหล็ก (Shear Strength of Steel).....	91
ใบงานที่ 2.3 การทดสอบแรงบิดของเหล็ก (Torsion Test of Steel).....	98

บทเรียนที่ 3 สมบัติทางกลและการตรวจสอบโครงสร้าง (ความแข็ง)

107



ความหมายและประโยชน์ของความแข็ง.....	109
การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test).....	113
การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส์ (Vickers Hardness Test).....	118
การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Test).....	123
ข้อดี ข้อเสียของการทดสอบความแข็งแบบต่าง ๆ.....	129
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 3.....	130
ใบงานที่ 3.1 การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test).....	133
ใบงานที่ 3.2 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส์ (Vickers Hardness Test).....	137
ใบงานที่ 3.3 การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Test).....	140

บทเรียนที่ 4 กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า (ตอนที่ 1)

144



การชุบแข็ง.....	146
การอบคืนตัว.....	156
การอบอ่อน.....	159
การอบปกติ.....	164
ขั้นตอนการชุบแข็งโดยสลับ (Hardening).....	166
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 4.....	171

บทเรียนที่ 5 กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า (ตอนที่ 2)

175



การชุบแข็งเฉพาะผิว.....	177
การชุบแข็งพื้นผิวโดยวิธีคาร์บูไรซิ่ง (Carburizing).....	177
การชุบแข็งพื้นผิวโดยวิธีไซยาไนด์ (Cyaniding).....	183
การชุบแข็งผิวโดยการวิธีคาร์โบไนไตรดิง (Carbonitriding).....	185
การชุบแข็งพื้นผิวโดยวิธีไนไตรดิง (Nitriding).....	186
การชุบแข็งพื้นผิวด้วยกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Hardening).....	187
การชุบแข็งพื้นผิวโดยเปลวไฟให้ความร้อน (Flame Hardening).....	189
การชุบแข็งพื้นผิวโดยวิธีอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic).....	189

แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 5.....	191
ใบงานที่ 5.1 การชุบแข็งโลหะด้วยน้ำ (Heat Treatment 1).....	193
ใบงานที่ 5.2 การชุบแข็งโดยการจุ่มน้ำมัน (Heat Treatment 2).....	196

บทเรียนที่ 6 เตาอบชุบโลหะ เครื่องมือ อุปกรณ์ และการบำรุงรักษา

198



ชนิดของเตาอบชุบโลหะ.....	201
เตาอบชุบก๊าซคาร์บูไรซิ่ง (Gas Carburizing).....	204
เตาอบชุบก๊าซคาร์โบไนไตรดิง (Gas Carbonitriding).....	205
เตาอบชุบก๊าซไนไตรดิง (Gas Nitriding).....	206
เตาอบชุบไซยาไนด์หรือคาร์โบไนไตรดิงเหลว (Cyaniding or Liquid Carbonitriding)	207
ข้อควรพิจารณาในการเลือกเตา.....	208
เครื่องวัดและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ.....	210
เครื่องมืออำนวยความสะดวกในการอบชุบอื่น ๆ.....	212
เครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นในการอบชุบสำหรับโรงงานขนาดกลาง.....	212
หลักการให้ความร้อนขึ้นงานอบชุบ.....	213
การเผาขึ้นงานให้ร้อนและการเผาแช่.....	214
เทคนิค วิธีการนำชิ้นงานเข้าและออกจากเตาอบชุบ.....	215
การบำรุงรักษาเตาอบชุบ.....	216
การทำงานตามหลักความปลอดภัย.....	216
สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ.....	217
การทำงานภายใต้ความร้อน.....	217
อันตรายที่เกิดจากความร้อน.....	218
การลดความเสี่ยง.....	219
อุปกรณ์สำหรับการอบชุบ.....	220
แบบฝึกหัดบทเรียนที่ 6.....	222

คำถามเพื่อการทบทวน

224



คำศัพท์

235



บรรณานุกรม

243



บทเรียนที่

1

สมบัติของโลหะ และแผนภาพสมดุล



> แนวคิด

สมบัติทางวัสดุ (Properties of Materials) สามารถแยกออกได้หลายประเภท เช่น 1. สมบัติทางกายภาพของโลหะ 2. สมบัติทางเคมี 3. สมบัติทางกลของโลหะ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

แผนภาพสมดุลหรือแผนภาพภาค (Equilibrium Diagram or Phase Diagram) เป็นเครื่องมือสำคัญเพื่อใช้ในการพัฒนา วิเคราะห์ วิจัย และปรับปรุงคุณภาพของโลหะให้เหมาะสมกับการใช้งาน



> วัตถุประสงค์การเรียนรู้ระดับบทเรียน

ประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ เปรอเซ็นต์คาร์บอน และอัตราการเย็นตัว ในการปรับปรุงสมบัติ



> สาระการเรียนรู้

1. สินแร่เหล็ก (Iron Ores)
2. สมบัติทางวัสดุ
3. โลหะผสมและแผนภาพสมดุล
4. แผนภาพสมดุลของโลหะผสมระบบสองธาตุ (Equilibrium Diagram of Binary System)
5. แผนภาพสมดุลในระบบสองธาตุ
6. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก

สแกนเพื่อดู
e-book 4 สัปดาห์
บนมือถือ



7. แผนภาพการเปลี่ยนแปลงโดยอุณหภูมิคงที่
8. แผนภาพการเปลี่ยนแปลงโดยการเย็นตัวอย่างต่อเนื่อง (Continuous Cooling Transformation Diagram)
9. อัตราการเย็นตัววิกฤติ (Critical Cooling Rate)



> สัมรรถนะการเรียนรู้

1. ระบุนสมบัติของโลหะแต่ละประเภทได้
2. เลือกใช้แผนภาพสมดุลให้เหมาะสมกับการใช้งานได้



> จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. อธิบายสมบัติเชิงโลหะ และแผนภาพสมดุลได้ถูกต้อง
2. วิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดเฟสต่างๆ ในโครงสร้างเหล็กได้ตามทฤษฎี
3. วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเย็นตัวอย่างรวดเร็วและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นได้ตามทฤษฎี

บทเรียนที่

1

สมบัติของโลหะ และแผนภาพสมดุล

การศึกษาวิชาโลหะวิทยาและการปรับปรุงสมบัติ เป็นการศึกษาเรื่องของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในและภายนอกของโลหะเมื่อมีสิ่งใดสิ่งหนึ่งกระทำต่อโลหะ อาจกล่าวได้ว่าเป็นการศึกษารวมชาติของโลหะนั่นเอง จากการพิสูจน์ตามหลักฐานทางธรณีวิทยา โลก (Earth) มีอายุการเกิดประมาณ 3,500 ล้านปี ซึ่งเปลือกโลกอุดมไปด้วยโลหะมากมายหลายชนิด แต่โลหะดังกล่าวไม่ได้อยู่ในรูปแบบที่จะนำมาใช้งานได้เลย จะพบว่าอาจอยู่รวมกับธาตุอื่น ๆ เช่น หิน ดิน ทราย คาร์บอน ซิลิกอน แมงกานีสและฟอสฟอรัส เป็นต้น จึงต้องมีวิธีการเพื่อแยกธาตุเหล่านั้นออกจากกัน และใช้วิธีการทางโลหะวิทยา (ซึ่งมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง) เพื่อให้โลหะนั้นสามารถนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ต่อไป



สินแร่เหล็ก (Iron Ores)

แร่เหล็กบริสุทธิ์ในธรรมชาติจะพบได้บ้างจากก้อนอุกกาบาต หรือในบริเวณใจกลางของโลก แร่เหล็กส่วนใหญ่ที่พบในบริเวณเปลือกโลก จะอยู่ในลักษณะของสารประกอบปะปนอยู่กับหิน ดิน ทราย ในรูปของออกไซด์ และซิลไฟด์ ดังรูปที่ 1.1



แร่เหล็ก
คาร์บอน
ซิลิกอน
กำมะถัน
ฟอสฟอรัส
แมงกานีส
หิน ดิน ทราย และอื่น ๆ

รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบของสินแร่เหล็ก

ชนิดของสินแร่เหล็กที่สำคัญต่องานอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น (รูปที่ 1.2)

1. แมกนีไทต์ (Magnetite) มีปริมาณเหล็กอยู่ในสินแร่เหล็ก ประมาณ 72.4%
2. เรด เฮมาไทต์ (Red Hematite) มีปริมาณเหล็กอยู่ในสินแร่เหล็ก ประมาณ 70%
3. บราว เฮมาไทต์ (Brown Hematite) มีปริมาณเหล็กอยู่ในสินแร่เหล็ก ประมาณ 60%
4. ซิเดอไรต์ (Siderite) มีปริมาณแร่เหล็กในสินแร่เหล็ก ประมาณ 50%
5. ไอออน ไพไรต์ (Iron Pyrite) มีปริมาณแร่เหล็กในสินแร่เหล็ก ประมาณ 45%

แสดงสินแร่เหล็ก สัญลักษณ์ทางเคมี และสมบัติทางกายภาพ ไว้ในตารางที่ 1.1



ตารางที่ 1.1 แสดงสินแร่เหล็ก สัญลักษณ์ทางเคมี และสมบัติทางกายภาพ

สินแร่เหล็ก	สัญลักษณ์ทางเคมี	ปริมาณเหล็กในสินแร่เหล็ก %	ความถ่วงจำเพาะ	สี
แมกนีไทต์	Fe_3O_4	72.4	4.8 – 5.3	ดำ – เทา
เรด เฮมาไทต์	Fe_2O_3	70	4.5 – 5.2	แดง – เทา
บราว เฮมาไทต์	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$	60	4.0 – 4.7	เหลือง – น้ำตาล
ซิเดอไรต์	FeO	50	3.5 – 3.8	น้ำตาลเข้ม
ไอออน ไพไรต์	FeS_2	45	4.8 – 5.0	เหลือง

การถลุงเหล็ก (Iron Ores and its Smelting)

การถลุงสินแร่เหล็ก คือ การสกัดแร่เหล็กออกจากสารเจือปน หรือสารประกอบเพื่อให้ได้แร่เหล็กที่มีความบริสุทธิ์สูง และอยู่ในสภาพพร้อมที่จะนำไปปรับสภาพเป็นเหล็กเพื่อการใช้งาน เช่น เหล็กอ่อน (Wrought Iron) เหล็กหล่อ (Cast Iron) เหล็กกล้า (Steel) ต่อไป

วัตถุดิบ (Raw Material) ที่ใช้ในการถลุงเหล็กดิบ ได้แก่ สินแร่เหล็ก หินปูน (Limestone) ถ่านโค้ก (Coke) และอากาศ (Air) มีรายละเอียดดังนี้

1. สินแร่เหล็ก เป็นวัตถุดิบหลักที่ให้เนื้อเหล็กออกมาจากการถลุง ถูกขุดขึ้นมาจากพื้นผิวโลก โดยกรรมวิธีการทำเหมืองแร่มีดังนี้

1.1 แมกนีไทต์ (Magnetite) เป็นสินแร่เหล็กที่มีสมบัติความเป็นแม่เหล็กสูง มีสีน้ำตาล ราคาแพงและขุดพบน้อยกว่าชนิดอื่น

1.2 เฮมาไทต์ (Hematite) ไม่มีสมบัติความเป็นแม่เหล็ก มีปริมาณเหล็กผสมอยู่ประมาณ 50% มีสีแดง

1.3 ทาโคไนต์ (Taconite) มีสมบัติความเป็นแม่เหล็กสูง และมีซิลิกาผสมอยู่มาก มีสีเขียว เป็นสินแร่เหล็กที่มีราคาถูก

นอกจากนี้แล้วยังมีสินแร่เหล็กอีกหลายชนิดที่ใช้ในการถลุงเหล็กดิบ

2. หินปูน เกิดจากการรวมตัวของซากเปลือกหอยเป็นหลายล้านปี เมื่อโลกเกิดการเปลี่ยนแปลง ภายใต้อิทธิพลของความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของโลก ขณะเดียวกันซากเปลือกหอยเกิดการหลอมละลาย เปลือกโลกจะเคลื่อนตัวจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำกว่า ขณะเดียวกันก็บีบอัดสิ่งที่ย่อยละลายใต้พื้นโลก ดันฟลักต์ขึ้นสู่อากาศ และเมื่อพบกับความเย็นของบรรยากาศก็จะเกิดการแข็งตัว ซึ่งเรียกว่า **ภูเขาหินปูน** หากนำมาใช้ในการถลุงเหล็ก หินปูนจะมีสมบัติดูดเอาสารมลทิน (Impurities) ในสินแร่เหล็ก ได้แก่ C, Si, Mn, P, S และหิน ดิน หินทราย ฯลฯ เข้ารวมกับหินปูน ซึ่งเรียกว่า **แสลค (Slag)**

ดังนั้น ในกระบวนการผลิตเหล็ก หินปูนที่ใส่เข้าไปในระบบ เมื่อถูกความร้อนจะกลายเป็นปูนขาว และจะไปดึงดูดเอาสารที่ไม่ต้องการออกมารวมตัวกับหินปูน กลายเป็นแสลค ทำให้เหล็กที่ได้จากการผลิตบริสุทธิ์

3. ถ่านโค้ก (Coke) เป็นตัวให้ความร้อนในกระบวนการผลิต เพื่อให้สินแร่เหล็กหลอมละลาย ถ่านโค้กมาได้มาจากกระบวนการผลิตถ่านหิน โดยขจัดปริมาณของกัมมะถันออกจากถ่านหินที่ขุดได้ วิธีการ คือ นำถ่านหินเข้าไปเผาในที่อับอากาศจนสุกแดง จากนั้นนำไปทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วด้วยน้ำ ผลที่ได้จากกระบวนการนี้ ถ่านหินก็จะแปรสภาพเป็นถ่านโค้ก ซึ่งจะไม่หลงเหลือกัมมะถันอีก และทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้ และยังเป็นการสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดีต่อมนุษย์ ถ่านหินแบ่งตามอายุของการเกิดได้ดังนี้ พีทมินัสและแอนทราไซต์ ลิกไนต์ และพีช

4. อากาศ (Air) อากาศที่อยู่ชั้นเหนือเปลือกโลก ประกอบด้วย ออกซิเจน 21% โดยปริมาตร ไนโตรเจน 78% โดยปริมาตร นอกนั้นเป็นแก๊สเฉื่อย 1% โดยปริมาตร แก๊สเฉื่อย ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ฮีเรียม อาร์กอน เป็นต้น โดยออกซิเจนมีสมบัติที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ช่วยให้ไฟติด เกิดการสันดาปในกระบวนการถลุงเหล็ก

วัตถุดิบในการผลิตเหล็ก ได้แก่ สินแร่เหล็ก หินปูน ถ่านโค้ก และอากาศ จะถูกลำเลียงใส่เตาถลุงเหล็ก ซึ่งเรียกว่า **เตาสูงหรือเตาบลาสเฟอร์นาส (Blast Furnace)** ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3เตา Blast Furnace แบบจำลอง

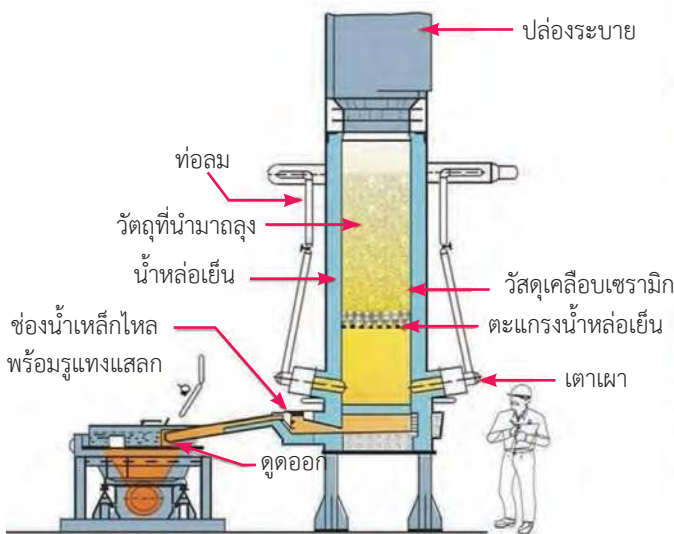
เตาถลุงเหล็ก (Blast – furnace)

การทำงานของเตาถลุงเหล็กแบบบลาสเฟอร์นาสหรือเตาสูง แสดงดังรูปที่ 1.4 ตัวเตาจะมีลักษณะ ก้นปล่องปลายเรียว เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 – 12 m สูงประมาณ 30 m ภายในก่อเป็นอิฐทนไฟ ภายนอกเป็นแผ่นเหล็กหุ้มเตา บนผนังหุ้มมีท่อน้ำล้อมรอบ เพื่อฉีบน้ำให้กับเตาไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป ในขณะที่ถลุงเหล็ก ด้านล่างของเตาจะมีท่อทางออก 2 ท่อ ได้แก่ ท่อสำหรับทางแสลก (Slag) ออก และอีกท่อหนึ่งคือ ท่อสำหรับทางน้ำเหล็กออก การใส่วัตถุดิบ (Raw Material) จะถูกใส่เป็นชั้น ๆ โดยการขนถ่ายด้วยคอนเวเยอร์ (Conveyor) ได้แก่ ถ่านโค้ก หินปูน สินแร่เหล็ก จนกระทั่งเต็มเตา การถลุงจะถลุงติดต่อกันตลอด 24 ชั่วโมง ส่วนที่หลอมละลายจะอยู่ด้านล่างของเตา ประกอบด้วย น้ำเหล็ก และแสลก โดยแสลกจะลอยตัวอยู่บนน้ำเหล็ก เพราะมีความหนาแน่นน้อยกว่า ก่อนจะทางน้ำเหล็กออกจากเตาจะต้องทางแสลกออกก่อนเสมอ ขณะทำการถลุงเหล็ก จะมีก๊าซเกิดขึ้นและลอยขึ้นสู่บรรยากาศ ก๊าซนี้เป็นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิงในกระบวนการถลุงเหล็ก จะไม่ปล่อยทิ้งไป แต่จะต่อท่อจากปลายเตาถลุงเข้าไปยังเตาเผาผลซึ่งมีหน้าที่เก็บลมร้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น และเป่าลมร้อนซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิงเข้าเตาสูงอีกครั้ง ทำให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงได้อย่างมาก โดยปกติเตาเผาผลของกระบวนการถลุงจะมีอย่างน้อย 2 เตา ขณะที่เตาหนึ่งเป่าลมร้อนเข้าเตาสูง อีกเตาหนึ่งจะอุ่นและกักเก็บลมร้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อลมร้อนเตาแรกถูกเป่าเข้าเตาสูงจนเย็นก็จะหยุดเป่าและอุ่นลมร้อนต่อ เตาที่สองจะมีหน้าที่เป่าลมร้อนที่ถูกกักเก็บไว้เข้าเตาสูงต่อจากเตาที่หนึ่ง ซึ่งจะทำงานสลับหมุนเวียนกันไปอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 1.5 แสดงแม่พิมพ์ Ingot Molds

2. เหล็กดิบสีเทา (Gray Pig Iron) จะถูกนำไปใช้ทำเหล็กหล่อ (Cast Iron) การถลุงจะใช้น้ำเหล็กจากเตาสูงนำเข้าเตาคิวโพล่า (Cupola) เพื่อถลุงต่อ โดยปรับส่วนผสมให้สม่ำเสมอ กำจัดสารเจือปนออกไปให้เหลือตามต้องการ เติมโลหะผสมที่สำคัญลงไป เพื่อให้ได้เหล็กหล่อที่มีสมบัติพิเศษต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นหลายชนิด ได้แก่ เหล็กหล่อสีเทา (Gray Cast Iron) เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron) เหล็กหล่อเหนียว (Malleable Cast Iron) เหล็กหล่อกราไฟต์กลม (Nodular Cast Iron) และเหล็กหล่อโลหะผสม (Alloy Cast Iron)



รูปที่ 1.6 แสดงภาพของเตาคิวโพล่า

เตาคิวโพล่ามีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ภายนอกเป็นเหล็กกล้า ภายในบุด้วยอิฐทนไฟหรือเคลือบด้วยเซรามิก ตัวเตาตั้งอยู่บนฐานรองรับทำด้วยเหล็กกล้า 4 เสา วัตถุดิบที่ใส่ลงเตาเพื่อนำไปถลุง ได้แก่ เหล็กดิบสีเทา ถ่านโค้ก หินปูน เมื่อเกิดการถลุงหินปูนจะดึงเอาสารเจือปนที่อยู่ในน้ำเหล็กดิบออก คาร์บอนบางส่วนถูกเผากลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออก น้ำเหล็กที่ได้จากเตาคิวโพล่าจึงมีสารที่ผสมอยู่ลดลงไปจากเหล็กดิบ แต่จะมีกำมะถันซึ่งปะปนมากับถ่านโค้กมาก เหล็กที่ได้จากการถลุงโดยเตาคิวโพล่าจะเป็นเหล็กหล่อสีเทา

การพิจารณาเหล็กหล่อจะดูจากเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็ก จะต้องมีความคาร์บอนผสมอยู่ตั้งแต่ 2 – 4% และคาร์บอนที่อยู่ในเหล็กหล่อจะปรากฏอยู่ในรูปของสารประกอบคาร์ไบด์ ส่วนหนึ่งจะเป็นคาร์บอนอิสระ ซึ่งเรียกว่า **กราไฟต์ 7**

กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์

เหล็กที่ผ่านกระบวนการอบไล่สารมลทินให้เหลือตามปริมาณที่ต้องการและถูกเก็บไว้ที่แม่พิมพ์อื่นก็พอ จะถูกเรียงเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นรูปร่างตามความต้องการ เรียกว่า **ขั้นขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป** โดยการนำเหล็กที่ถูกถอดจากแม่พิมพ์เข้าเตาอบแบบแช่ (Soaking Pit) ให้ความร้อนอุณหภูมิประมาณ 900 °F จะถูกนำออกจากเตา ผ่านการรีดด้วยลูกกลิ้ง เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปซึ่งยังแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. **บลูม (Bloom)** เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมีพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 12 in × 12 in ยาว 10 m

2. **บิลเลท (Billet)** เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ผ่านกระบวนการรีด เพื่อให้มีพื้นที่หน้าตัด ขนาด 6 in × 6 in ยาว 10 m

3. **สแลบ (Slab)** เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ผ่านกระบวนการรีด เพื่อให้มีพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า ทั้งบลูม บิลเลท สแลบจะถูกรีดอีกครั้งเพื่อให้เป็นรูปผลิตภัณฑ์ เรียกว่า **ขั้นรูปขั้นสุดท้าย (Finishing Mills)** โดยมีรายละเอียดดังนี้

- **บลูม** เข้ารีดในขั้นขึ้นรูปสุดท้าย เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์เหล็กโครงสร้าง ได้แก่ เหล็ก I - beam C - beam Z - beam และรางรถไฟ

- **บิลเลท** เข้ารีดในขั้นขึ้นรูปสุดท้าย เพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ได้แก่ เหล็กท่อ (Pipe and Tube) เหล็กแท่ง (Road Bar) เส้นลวด (Wire) เป็นต้น

- **สแลบ** เข้ารีดในขั้นขึ้นรูปสุดท้าย เพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ได้แก่ เหล็กแผ่นหนา เหล็กแผ่นบาง (Strip and Tin Plate) เหล็กแผ่นม้วน (Roll Plate) เป็นต้น

เหล็กที่ผ่านกระบวนการรีดขั้นสุดท้าย เมื่อออกมาแล้วจะเป็นรูปผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เรียกว่า **ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Finishing Product)** ถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถออกจำหน่ายได้และใช้งานได้ เหล็กดังกล่าวทั้งหมด จะเห็นว่าในส่วนผสมของเหล็กยังมีธาตุของคาร์บอน ซิลิกอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เป็นที่รู้อยู่แล้วว่า เหล็กใดที่มีคาร์บอนผสมอยู่ เรียกว่า **เหล็กกล้า** ซึ่งยังแบ่งตามส่วนประสมของคาร์บอนออกเป็น 3 กลุ่ม คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เหล็กกล้าคาร์บอนสูง ซึ่งการใช้งานแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับภาระของการออกแบบชิ้นส่วนนั้น ๆ

ในเนื้อเหล็กกล้ายังสามารถผสมธาตุที่เกิดจากธรรมชาติเข้าไปได้อีก เพื่อให้เกิดสมบัติที่แตกต่างกันออกไป เช่น ทนความร้อน มีความคมมากขึ้น มีความแข็งแรงมากขึ้น ธาตุที่นิยมผสมเข้าในเหล็กกล้า ได้แก่ ทังสเตน โครเมียม วาเดเมียม นิเกิล โคบอลต์ เพื่อให้เหล็กเกิดสมบัติตามที่ต้องการ เรียกกลุ่มเหล็กชนิดนี้ว่า

เหล็กประสม (Alloy Steel)



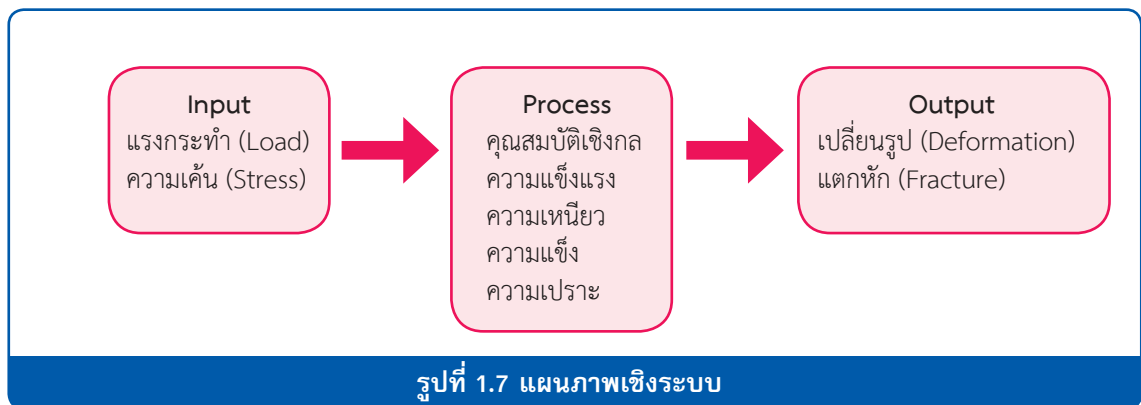
สมบัติทางวัสดุ

สมบัติทางวัสดุ (Properties of Materials) สามารถแยกออกได้หลายประเภท เช่น สมบัติทางเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางความร้อน สมบัติแม่เหล็ก ซึ่งในที่นี่จะขอก้าวในเรื่องของสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางกลของโลหะ

1. สมบัติทางกายภาพของโลหะ (Physical Properties) เป็นสมบัติของวัสดุที่ไม่ได้ถูกแรงกระทำจากภายนอก แต่เป็นการตอบสนองจากสมบัติภายในตัวของวัสดุเอง เช่น ความหนาแน่น (Density) ความร้อน (Heat) ความต้านทานไฟฟ้า (Resistant) สัมประสิทธิ์การยืดและหดตัว เป็นต้น

2. สมบัติทางเคมี (Chemistry Properties) เป็นสมบัติเกี่ยวกับความสามารถที่จะต่อต้านหรือตอบสนองปฏิกิริยาทางเคมีของวัตถุนั้น เช่น ปฏิกิริยาในการเกิดสนิม การชุบผิวโลหะ โลหะที่จะใช้ทำภาชนะใส่อาหาร การกัดกร่อน เป็นต้น

3. สมบัติทางกลของโลหะ (Mechanical Properties) เป็นสมบัติที่ตอบสนองต่อแรงกระทำจากภายนอก เช่น ความแข็งแรง (Strength) ความแข็ง (Hardness) ความเหนียว (Ductility) ความล้า (Fatigue) ความเปราะ (Brittle) สามารถเขียนเป็นเชิงระบบได้ดังนี้



4. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress and Strain) ความเค้น คือ แรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ หรือเมื่อเกิดความเค้น รายละเอียดของความเค้นและความเครียด จะได้อธิบายไว้ในบทเรียนที่ 2 ต่อไป



โลหะผสมและแผนภาพสมดุล

โลหะผสม หมายถึง โลหะที่เกิดจากการรวมตัวกันระหว่างโลหะหลักกับธาตุผสม ซึ่งอาจจะเป็นธาตุเดียวหรือหลายธาตุผสมกัน โลหะหลักควรมีปริมาณมากกว่าธาตุผสม (ซึ่งอาจเป็นโลหะหรือโลหะ) การรวมกันของโลหะผสมเมื่อรวมกันแล้วจะแสดงสมบัติเหมือนโลหะ

สารเนื้อเดียว

สารเนื้อเดียว (Homogeneous) หมายถึง กลุ่มโลหะหลักกับธาตุผสม เมื่อรวมกันแล้วจะเป็นเนื้อเดียวกันและมีภาคเดียว ไม่สามารถแยกได้ว่าส่วนใดเป็นโลหะหลักหรือโลหะผสม สารเนื้อเดียวสามารถแบ่งได้เป็นกลุ่ม 3 กลุ่ม คือ โลหะบริสุทธิ์ สารละลายของแข็ง และสารประกอบ

สารผสม (Mixture) หมายถึง กลุ่มที่โลหะมีภาคหลายภาคอยู่รวมกัน เช่น ภาคของโลหะบริสุทธิ์ ผสมกับสารละลายของแข็ง หรือภาคของสารละลายของแข็งผสมกับภาคของสารประกอบทั้งสองภาค ไม่สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ สามารถแยกได้ว่าภาคใดเป็นโลหะบริสุทธิ์ และภาคใดเป็นสารละลายของแข็ง ดังนั้น ในกลุ่มสารผสมจึงประกอบด้วย 2 ภาค หรือมากกว่า

สารละลายของแข็ง

สารละลาย (Solution) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ตัวทำละลาย (Solvent) และตัวถูกละลาย (Solute) ตัวทำละลาย หมายถึง ส่วนที่มีปริมาณมากในส่วนประกอบนั้น ตัวถูกละลาย หมายถึง ส่วนที่มีปริมาณน้อยกว่า เมื่อทั้งตัวทำละลายกับตัวถูกละลายมารวมกันเกิดเป็นสารใหม่ที่สามารถเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกัน ตัวอย่างเช่น น้ำเชื่อมเกิดจากน้ำผสมกับน้ำตาล ซึ่งมีน้ำเป็นตัวทำละลาย น้ำตาลเป็นตัวถูกละลาย เมื่อรวมกันแล้วจะเกิดเป็นสารใหม่ เรียกว่า **น้ำเชื่อม** ซึ่งน้ำกับน้ำตาลสามารถละลายเข้าได้เป็นเนื้อเดียวกัน

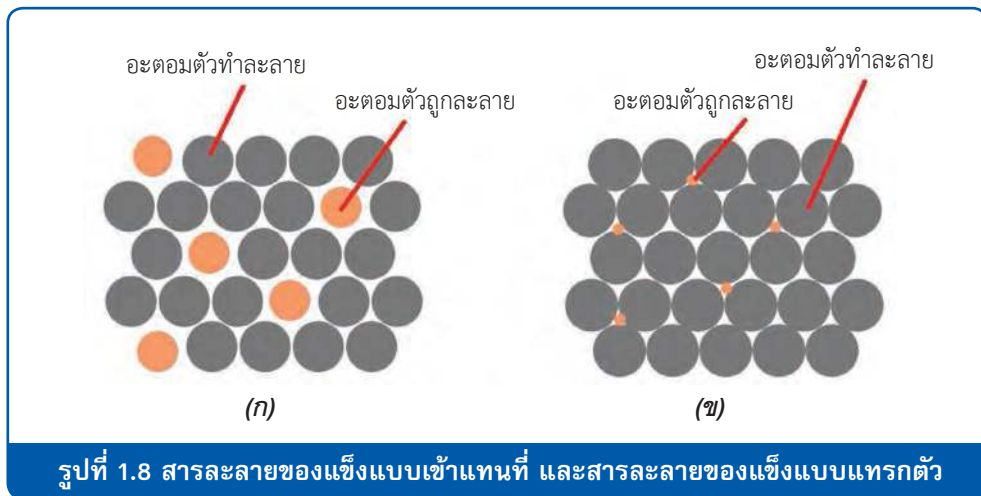
ความสามารถในการทำละลายของตัวทำละลาย นอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวถูกละลาย ยังขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิ (Temperature) และความดัน (Pressure) อีกด้วย

สารละลายของแข็ง (Solid Solution) คือ สารละลายที่เกิดขึ้นในสภาวะของแข็ง ดังนั้น โลหะผสมที่เป็นสารละลายของแข็งได้ หมายความว่า โลหะผสมนั้นจะต้องประกอบด้วยโลหะหนึ่งเป็นตัวทำละลาย อีกตัวหนึ่งหรือมากกว่าเป็นตัวถูกละลาย เมื่อ 2 ส่วนรวมกันในสภาวะของแข็งสามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จึงเรียกว่า **สารละลายของแข็ง** ตัวอย่างเช่น พิวส์ไฟฟ้าจัดเป็นสารละลายของแข็ง เพราะมีสถานะเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิห้อง เกิดจากการผสมกันระหว่างดีบุก ตะกั่ว และบิสมัท ซึ่งทั้ง 3 สารมีสถานะเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิห้อง โดยดีบุกมีร้อยละโดยปริมาตรมากที่สุดจึงเป็นตัวทำละลาย ขณะที่ดีบุกและตะกั่วมีร้อยละโดยปริมาตรน้อยกว่า ทั้งคู่จึงเป็นตัวถูกละลาย เป็นต้น

สารละลายของแข็ง (Solid Solution) แบ่งออกได้ 2 ชนิด ดังนี้

1. Substitution Solid Solution คือ สารละลายของแข็งแบบเข้าแทนที่ โดยเป็นสารละลายที่เกิดจากอะตอมของตัวถูกละลาย เข้าแทนที่อะตอมของตัวทำละลายของอะตอมในโครงสร้างผลึก ดังรูปที่ 1.8 (ก)

2. Interstitial Solid Solution คือ สารละลายของแข็งแบบแทรกตัว โดยสารละลายที่เกิดขึ้นจากอะตอมของตัวถูกละลาย ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างของอะตอมตัวทำละลาย ดังรูปที่ 1.8 (ข)



แผนภาพสมดุลของโลหะผสมระบบสองธาตุ (Equilibrium Diagram of Binary System)

การศึกษาแผนภาพสมดุลของโลหะผสมระบบสองธาตุให้เข้าใจได้ดี ต้องทราบนิยามและข้อกำหนดต่าง ๆ ของระบบก่อน มีรายละเอียดดังนี้

1. แผนภาพสมดุลหรือแผนภาพภาค (Equilibrium Diagram or Phase Diagram) ถือเป็นเครื่องมือสำคัญชนิดหนึ่งของนักโลหวิทยา เพื่อใช้ในการพัฒนา วิเคราะห์ วิจัย และปรับปรุงคุณภาพของโลหะผสมให้เหมาะสมกับการใช้งาน โลหะผสมจะมีสมบัติที่แตกต่างกันตามสมบัติเฉพาะตัวของธาตุเคมีในโลหะผสมนั้น ๆ ลักษณะของภาคที่เกิดขึ้นในสถานะของแข็ง ดังนั้น การศึกษาแผนภาพสมดุลจึงเป็นการศึกษาถึงโลหะผสมนั้นมีธาตุเคมีผสมกี่ธาตุ มีสัดส่วนผสมของธาตุเคมีในปริมาณเท่าใด และเกิดภาคชนิดใด ลักษณะอย่างไรในเนื้อโลหะผสมนั้น เมื่อทราบในรายละเอียดก็จะทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงสมบัติของโลหะผสมนั้น ๆ ได้

2. ภาวะ (Phase) หมายถึง ส่วนหรือบริเวณที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous) ของระบบ ซึ่งมีองค์ประกอบทางกายภาพเหมือนกัน และแตกต่างกับส่วนอื่น ๆ มีเส้นขอบเขตแบ่งชัดเจน อาจเป็นความแตกต่างทางโครงสร้างหรือส่วนผสม แต่มีสถานะทางกายภาพต่างกัน เช่น น้ำ น้ำแข็ง ไอน้ำ ต่างก็มีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกันแต่มีภาวะต่างกัน คือ ภาวะของน้ำ ภาวะของน้ำแข็ง และภาวะของไอน้ำ (สถานะ) อีกกรณีหนึ่ง หากเอาน้ำผสมกับน้ำมัน ทั้งน้ำและน้ำมันมีสถานะเป็นของเหลวเหมือนกัน แต่ไม่สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ คือแยกเป็นสองส่วน ถือว่ามี 2 ภาวะ คือ ภาวะของน้ำ และภาวะของน้ำมัน

3. โครงสร้าง (Structure) หมายถึง ส่วนที่ประกอบด้วยภาชนะหนึ่งหรือหลายภาชนะ ซึ่งภาชนะนั้น อาจละลายเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน หรือเข้ากันไม่ได้

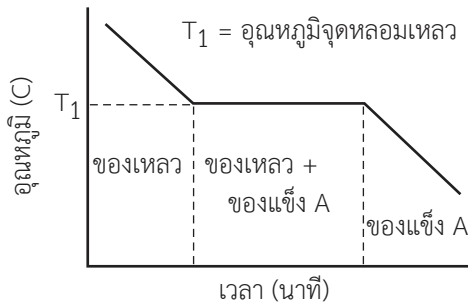
4. สภาวะสมดุล (Equilibrium) หมายถึง สภาวะที่ทำให้โลหะผสมเปลี่ยนแปลง โดยการทำให้เย็นตัวลงหรือร้อนขึ้นอย่างช้า ๆ

5. สภาวะไม่สมดุล (Non - equilibrium) หมายถึง สภาวะที่ทำให้โลหะผสมเปลี่ยนแปลง โดยการทำให้เย็นตัวลงหรือร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว

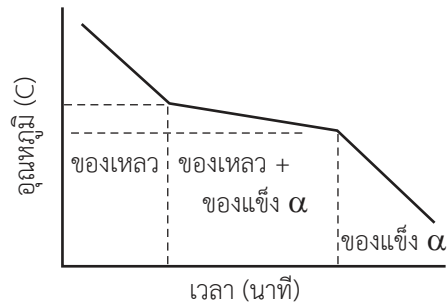
วิธีสร้างแผนภาพสมดุล

วิธีการสร้างทำได้โดยการทดลอง แล้วนำผลการทดลองมาวิเคราะห์การสมดุลยภาพ วิธีทดลองที่ใช้ มีหลายวิธี เช่น การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Metallographic Method) การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X - ray Diffraction Method) แต่วิธีที่นิยมที่สุดในการสร้างแผนภาพสมดุลยภาพ คือ การวิเคราะห์กระบวนการทางความร้อน (Thermal Analysis Method)

วิธีการวิเคราะห์กระบวนการทางความร้อน ทำได้โดยการนำโลหะผสมที่มีส่วนผสมต่าง ๆ มาให้ความร้อน จนโลหะผสมนั้นหลอมละลาย แล้วทำให้เย็นตัวลงอย่างช้า ๆ โลหะผสมจะเกิดการเริ่มต้น และสิ้นสุดการเปลี่ยนแปลงภาวะที่อุณหภูมิต่างกัน การเปลี่ยนแปลงภาวะแสดงได้ด้วยเส้นการเย็นตัว (Cooling curve) จากนั้นนำเส้นการเย็นตัวของโลหะผสมแต่ละส่วนผสมที่เกิดขึ้นมาเขียนแผนภาพ ซึ่งได้จากการนำความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงภาวะ ส่วนผสมของโลหะผสมต่างกัน และการเปลี่ยนแปลงภาวะของโลหะผสมนั้น ๆ เรียกแผนภาพนี้ว่า **แผนภาพการสมดุลยภาพด้วยการวิเคราะห์ทางความร้อน** จากรูปที่ 1.9 เป็นเส้นการเย็นตัวของโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสม

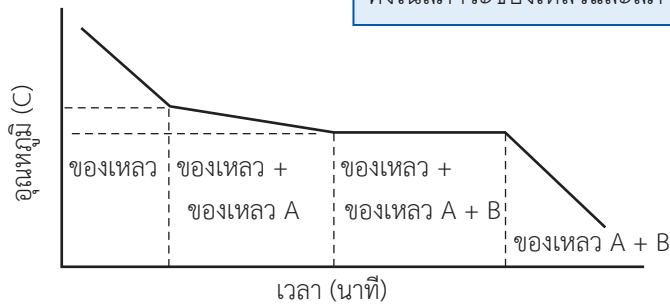


ก) โลหะบริสุทธิ์



ข) โลหะผสม

โลหะ 2 ชนิดสามารถละลายเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ทั้งในสภาวะของเหลวและสภาวะของแข็ง



ค) โลหะผสม

โลหะ 2 ชนิดสามารถละลายเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ในสภาวะของเหลว แต่ไม่สามารถเข้ากันได้ในสภาวะของแข็ง

รูปที่ 1.9 แสดงการเย็นตัวของโลหะบริสุทธิ์ และโลหะผสม

แผนภาพสมดุลของระบบ 2 ธาตุ (Equilibrium Diagram of Binary Systems)

ในระบบสมดุลของธาตุ 2 ธาตุ มีอยู่ 5 ระนาบดังนี้

1. **ระบบสารละลายแข็ง (Solid Solution System)** เป็นระบบที่โลหะหรือธาตุทั้งสองต่างละลายกันได้ทุกสัดส่วน ทั้งในสภาพของเหลวและของแข็ง
2. **ระบบยูเทคติก (Eutectic System)** เป็นระบบที่โลหะหรือธาตุทั้งสองต่างละลายกันได้ทุกสัดส่วนในสภาพของเหลว แต่แยกกันอย่างเด็ดขาดในสภาพของแข็ง
3. **ระบบผสมระหว่างสารละลายของแข็งและระบบยูเทคติก** เป็นระบบที่โลหะหรือธาตุทั้งสองต่างละลายกันได้ทุกสัดส่วนในสภาพของเหลว และละลายกันได้บ้างในสภาพของแข็ง

4. ระบบที่เกิดจากปฏิกิริยาเพอริเทคติก (Peritectic Reaction) เป็นระบบที่โลหะหรือสารทั้งสองละลายเข้าด้วยกันได้ในสภาพของเหลว และแข็งตัวตามปฏิกิริยาเพอริเทคติก

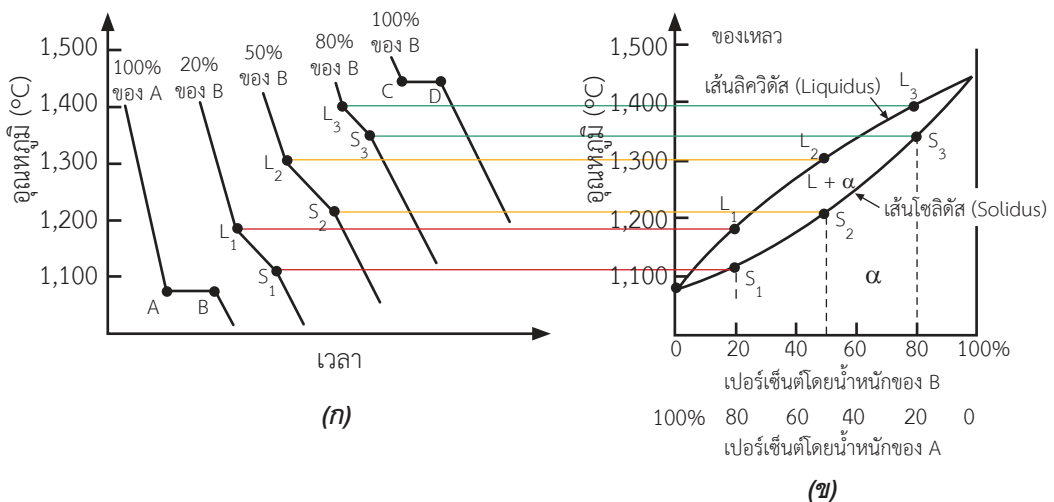
5. สารประกอบระหว่างโลหะ (Intermetallic Compound) เป็นระบบที่โลหะหรือธาตุทั้งสองละลายเข้ากันได้หมดในสภาพของเหลว และรวมกันเป็นสารประกอบในสภาพของแข็ง ในบทเรียนนี้จะกล่าวเพียงแค่ 3 ระบบแรกเท่านั้น



แผนภาพสมดุลในระบบสองธาตุ

แผนภาพสมดุลภาคของโลหะผสม A และ B แบบที่ 1

เมื่อโลหะ 2 ชนิดสามารถละลายเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งในสภาวะของเหลวและสภาวะของแข็ง แสดงว่าโลหะผสมแบบนี้ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว จะเปลี่ยนเป็นสารละลายของเหลวเป็นเนื้อเดียวกันมีภาคเดียว และถ้าเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งจะเปลี่ยนเป็นสารละลายของแข็งเป็นเนื้อเดียวกันมีภาคเดียว แสดงวิธีการสร้างแผนภาพสมดุลภาคแบบที่ 1 เรียกว่า **แผนภาพระบบสารละลายของแข็ง (Solid Solution System)** ในรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.10 แสดงการสร้างแผนภาพสมดุลของระบบสารละลายของแข็ง

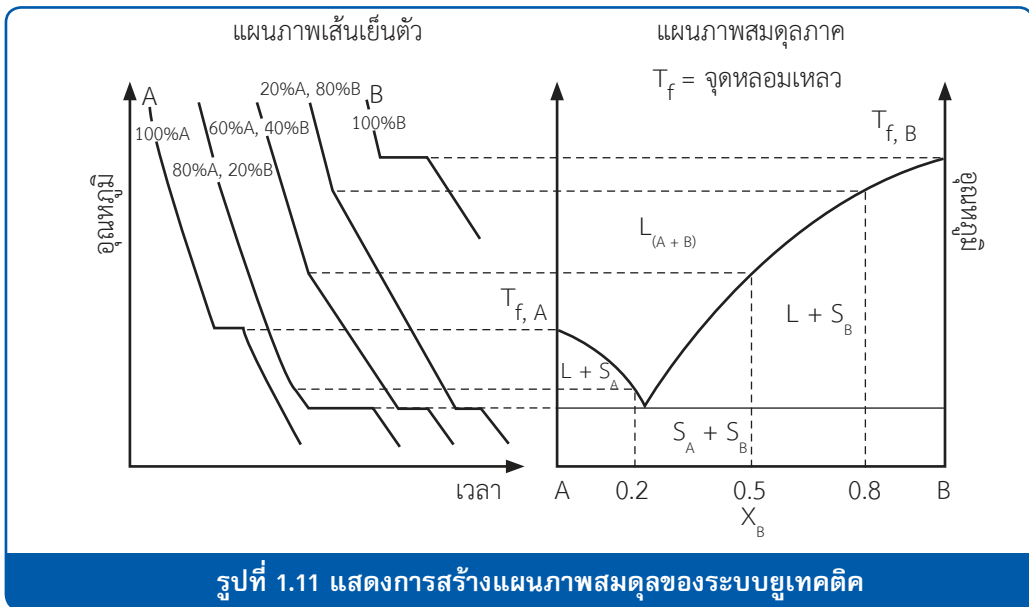
แผนภาพสมดุลของระบบสารละลายของแข็งจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมของ 2 สารหรือ 2 ธาตุ (สมมติเป็น A และ B) อุณหภูมิเมื่อความดันเท่ากับ 1 บรรยากาศ จะอาศัยข้อมูลจากแผนภาพเส้นการเย็นตัวในการตกผลึก (รูปที่ 1.9) มาช่วย

รูปที่ 1.10 แสดงให้เห็นแผนภาพการเย็นตัวของโลหะผสม A และ B ซึ่งโลหะ A และ B เป็นโลหะสองชนิดที่เกิดเป็นสารละลายของแข็ง ซึ่งเริ่มจาก $A = 100\%$ ที่อยู่ทางซ้ายมือไปยังทางขวามือจน $A = 0\%$ โดย B จะเป็นสัดส่วนกันจาก $B = 0\%$ ทางซ้ายมือไปขวามือจน $B = 100\%$

พิจารณาที่โลหะบริสุทธิ์ (คือ ที่ $A = 100\%$ หรือที่ $B = 100\%$) โดยที่ T_A และ T_B เป็นอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวของโลหะ A และ B ตามลำดับ โลหะบริสุทธิ์จะตกผลึกที่อุณหภูมิคงที่ และใช้เวลาหนึ่งในการตกผลึก จากนั้นอุณหภูมิจึงสามารถลดลงเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิห้อง แต่เนื่องจากจุดหลอมเหลวของโลหะ A และ B ต่างกัน ดังนั้น สัดส่วนของโลหะผสมใด ๆ เมื่อลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง โลหะก็เริ่มตกผลึกออกมา และถ้าลดอุณหภูมิลงเรื่อย ๆ ของเหลวก็จะกลายเป็นของแข็งทั้งหมด แล้วจากนั้นก็จะได้โลหะผสมตามสัดส่วนที่กำหนด ตัวอย่างเช่น จากส่วนผสมโลหะ $A = 80\%$, $B = 20\%$ เมื่อลดอุณหภูมิลงมาถึง L_1 จะมีโลหะบางส่วนตกผลึกออกมา และตกผลึกออกมามากขึ้นเรื่อย ๆ จะตกผลึกหมดที่อุณหภูมิ S_1 จากนั้นก็ลดลงต่อไปจนถึงอุณหภูมิปกติ จะเห็นได้ว่า ไม่ว่าจะสังเกตรโลหะที่สัดส่วนผสมใด ๆ ก็ได้ในลักษณะผสมคล้าย ๆ กัน ดังนั้น จึงสามารถต่อโยงจุดที่ของเหลวของโลหะผสมทุกสัดส่วนกลายเป็นของแข็งจนหมด ก็จะได้เส้นของแข็งหรือเส้นโซลิดัส (Solidus Line) และต่อโยงจุดที่ของเหลวของโลหะผสมทุกสัดส่วนเริ่มกลายเป็นของแข็ง ก็จะได้เส้นของเหลวหรือเส้นลิควิดัส (Liquidus Line) ดังนั้น ถ้าลากเส้นพลอตความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในแกนตั้ง สัดส่วนของส่วนผสมในแกนนอนก็จะได้แผนภาพสมดุลในภาคของระบบสารละลายของแข็ง ดังแสดงดังรูปที่ 1.10

แผนภาพสมดุลภาคของโลหะผสม A และ B แบบที่ 2 (Eutectic Equilibrium Diagram)

โลหะ 2 ชนิดสามารถละลายเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ในสถานะของเหลว แต่ไม่สามารถละลายเข้ากันได้ ในสถานะของแข็ง จึงเรียกแผนภาพสมดุลนี้ว่า **แผนภาพระบบยูเทคติก (Eutectic Equilibrium Diagram)** ดังรูปที่ 1.11 หมายความว่า โลหะ 2 ชนิดสามารถละลายเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ในสถานะของเหลวเกิดสารละลายของเหลวมีภาคเดียว แต่ไม่สามารถละลายเข้ากันได้ ในสถานะของแข็งเกิดการแยกตัวเป็นของแข็ง 2 ภาค ตามปฏิกิริยายูเทคติก เรียกว่า **สารผสมยูเทคติก หรือโลหะผสมยูเทคติก**

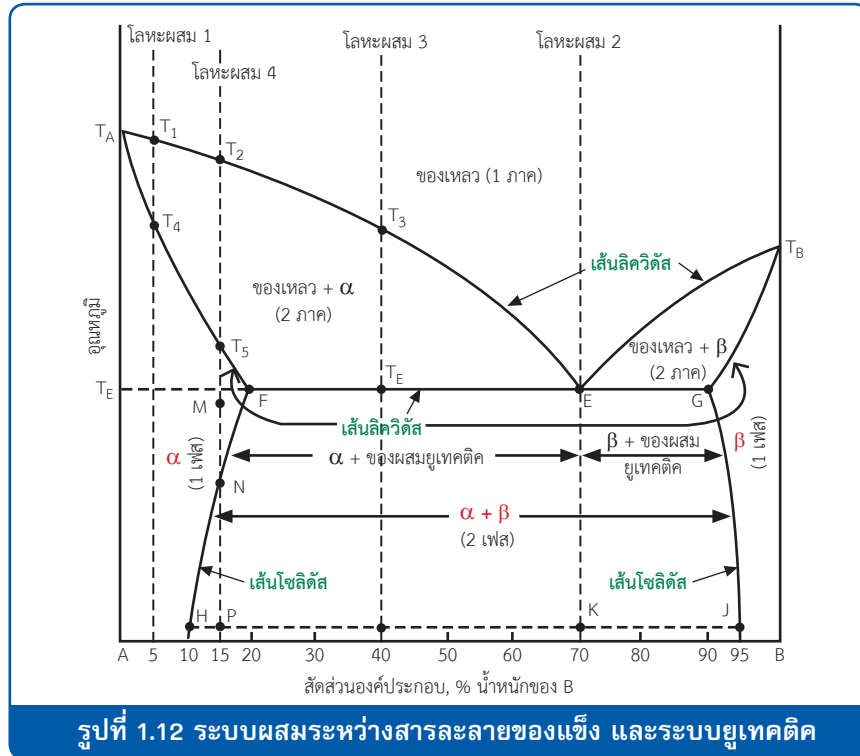


รูปที่ 1.11 แสดงการสร้างแผนภาพสมดุลของระบบยูเทคติก

แผนภาพสมดุลยภาคของโลหะผสม A และ B แบบที่ 3

แผนภาพสมดุลยภาคแบบที่ 3 โลหะ 2 ชนิดละลายเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ในสถานะของเหลว แต่ในสถานะของแข็ง สามารถละลายเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์บางส่วน หมายความว่า ในสถานะของเหลว โลหะ 2 ชนิดสามารถละลายเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ เกิดสารละลายมีภาคเดียว แต่ในสถานะของแข็ง โลหะ 2 ชนิดสามารถละลายเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ เกิดสารละลายของแข็งมีภาคเดียวบางส่วน และมีบางส่วนไม่สามารถละลายเข้ากันได้ เกิดเป็นสารผสมยูเทคติกมี 2 ภาค

ดังนั้น แผนภาพสมดุลยภาคคล้ายกับดูว่าเป็นแผนภาพสมดุลยภาคแบบที่ 1 ผสมกับแผนภาพสมดุลยภาคแบบที่ 2 นั่นเอง ดังรูปที่ 1.12



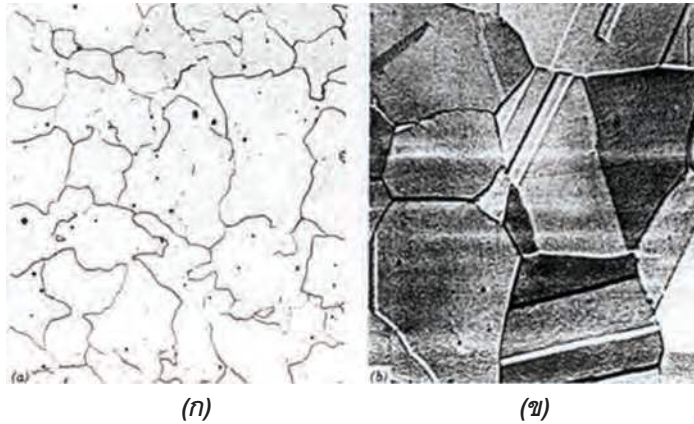
การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเหล็กในสภาวะสมดุล
2. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเหล็กในสภาวะไม่สมดุล

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเหล็กในสภาวะสมดุล

ที่อุณหภูมิห้อง เหล็กบริสุทธิ์จะอยู่ในสภาพที่เรียกว่า **เฟอร์ไรต์ (Ferrite)** หรือเหล็กแอลฟา (α - Iron) ซึ่งจะมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบบีซีซี (Body - Centered Cubic : BCC) มีสภาพเป็นแม่เหล็ก เฟอร์ไรต์จะมีความอ่อนเหนียว สามารถคงสภาพแม่เหล็กได้จนถึงอุณหภูมิ 768 °C (1,414 °F) เรียกว่า **เหล็กเบต้า (β - Iron)** ซึ่งเป็นลักษณะหนึ่งของเฟอร์ไรต์ที่มีความเป็นแม่เหล็ก ถ้ามองด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะมีลักษณะดังรูปที่ 1.13 (ก)



รูปที่ 1.13 แสดงรูปโครงสร้างเฟอร์ไรต์และออสเทนไนต์

ถ้าเหล็กบริสุทธิ์ได้รับความร้อนจนถึง 912°C ($1,674^{\circ}\text{F}$) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นออสเทนไนต์ (Austenite) หรือเหล็กแกมมา (γ - Iron) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบเฟสซีซี (Face - Centered Cubic : FCC) และไม่มีสภาพแม่เหล็ก ถ้าส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะมีลักษณะดังรูปที่ 1.13 (ข) ต่อมาถ้าเหล็กบริสุทธิ์ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจนถึง $1,394^{\circ}\text{C}$ ($2,541^{\circ}\text{F}$) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกลับมาเป็นแบบบีซีซี (BCC) เรียกว่า **เหล็กเดลต้า (δ - Iron)** จะมีจุลหลอมละลายที่อุณหภูมิ $1,538^{\circ}\text{C}$ ($2,800^{\circ}\text{F}$) เหล็กเดลต้าเป็นเหล็กชนิดเดียวกับเหล็กแอลฟา เพียงแต่เกิดที่อุณหภูมิที่สูงกว่า คงความเสถียรเฉพาะที่อุณหภูมิสูงเท่านั้น

1. แผนภาพสมดุลของเหล็ก - เหล็กคาร์ไบด์ (Iron - Iron Carbide Phase Diagram), ($\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ Phase Diagram)

แผนภาพสมดุลของเหล็กจะเป็นแผนภาพที่แสดงส่วนผสมระหว่างเหล็ก - คาร์บอน ซึ่งจากรูปที่ 1.14 จะแสดงแผนภาพสมดุลของเหล็ก - เหล็กคาร์ไบด์ จะเห็นว่าในแกนนอน (X) จะสิ้นสุดที่คาร์บอน 6.67% เท่านั้น ที่ความเข้มข้นนี้ เหล็กคาร์บอนจะเกิดการรวมตัวกันเป็นสารประกอบที่เรียกว่า **เหล็กคาร์ไบด์ (Iron Carbide) หรือซีเมนไต์ (Cementite)** ซึ่งมีความแข็งและเปราะมาก สามารถแสดงบนแผนภาพสมดุลได้ด้วยเส้นแนวตั้งทางขวามือ สาเหตุที่ศึกษาแผนภาพสมดุลถึงปริมาณคาร์บอนเพียง 6.67% ทั้งที่ความจริงแล้วแผนภาพสมดุลของเหล็ก - เหล็กคาร์ไบด์ยังมีต่อไปอีก เป็นเพราะว่าเหล็กทุกชนิดจะมีคาร์บอนไม่เกิน 6.67%