

ได้ผ่านการตรวจประเมินคุณภาพหนังสือเรียนอาชีวศึกษา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 ประกาศลำดับที่ 525



สัปดาห์ 20102-2010

หนังสือเล่มนี้เรียบเรียงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชาและคำอธิบายรายวิชา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ
พุทธศักราช 2562 ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

อบชุบโลหะ: Heat Treatment

พต. น.อ. รามจิตติ ฤทธิธร

125.-

อบชุบโลหะ (Heat Treatment)

รหัสวิชา 20102 - 2010

หมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเฉพาะ
ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างกลโรงงาน
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ

เรียบเรียงโดย

ผศ. น.อ. รามจิตติ ฤทธิศร

วท.บ. (ทอ. วิศวกรรมเครื่องกล)

M.Sc. (Mechanical Engineering)

อบชุบโลหะ (Heat Treatment)

ISBN 978-616-495-217-1

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย...



บริษัท วังอักษร จำกัด

69/3 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงวัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

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

Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร e-Mail : wangaksorn9@gmail.com

www.wangaksorn.com

ID Line : @wangaksorn



พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2565

จำนวนที่พิมพ์ 3,000 เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2561

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ไปทำซ้ำ
ดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน ไม่ว่ารูปแบบใด ๆ นอกจากได้รับอนุญาต

เป็นลายลักษณ์อักษรล่วงหน้าจากทางบริษัทฯ เท่านั้น

ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างอิงในหนังสือฉบับนี้

เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าของแต่ละราย

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด

อบชุบโลหะ (Heat Treatment)

รหัสวิชา 20102 - 2010

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจหลักการอบชุบ และสมบัติทางกลของเหล็ก ชนิดของเตาชุบ 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

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

บทที่	สมรรถนะรายวิชา	แสดงความรู้เกี่ยวกับ หลักการและกระบวนการ การอบชุบ และทดสอบ ความแข็งของเหล็ก	อบชุบ ทดสอบ ความแข็งของเหล็ก ตามหลักการ และกระบวนการ
1.	สมบัติของโลหะและแผนภาพสมดุล	✓	—
2.	สมบัติทางกลและการตรวจสอบโครงสร้าง (ความเค้นและความเครียด)	✓	✓
3.	สมบัติทางกลและการตรวจสอบโครงสร้าง (ความแข็ง)	✓	✓
4.	กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า (ตอนที่ 1)	✓	✓
5.	กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า (ตอนที่ 2)	✓	✓
6.	เตาอบชุบโลหะ เครื่องมือ อุปกรณ์ และการบำรุงรักษา	✓	✓

คำนำ

วิชาอบชูปโลหะ รหัสวิชา 20102 - 2010 จัดอยู่ในหมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเฉพาะ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างกลโรงงาน ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ ผู้เขียนได้บริหารสาระการเรียนรู้แบ่งเป็น 6 บทเรียน ได้จัดแผนการจัดการเรียนรู้/แผนการสอนที่มุ่งเน้นฐานสมรรถนะ (Competency Based) และการบูรณาการ (Integrated) ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชาและคำอธิบายรายวิชา ในแต่ละบทเรียนมุ่งให้ความสำคัญส่วนที่เป็นความรู้ ทฤษฎี หลักการ กระบวนการ และส่วนที่เป็นทักษะประสบการณ์ เร่งพัฒนาบทบาทของผู้เรียนเป็นผู้จัดการแสวงหาความรู้ (Explorer) เป็นผู้สอนตนเองได้ สร้างองค์ความรู้ใหม่ และบทบาทของผู้สอนเปลี่ยนจากผู้ให้ความรู้มาเป็นผู้จัดการชี้แนะ (Teacher Roles) จัดสิ่งแวดล้อมเอื้ออำนวยต่อความสนใจเรียนรู้ และเป็นผู้ร่วมเรียนรู้ (Co-investigator) จัดห้องเรียนเป็นสถานที่ทำงานร่วมกัน (Learning Context) จัดกลุ่มเรียนรู้ให้รู้จักทำงานร่วมกัน (Grouping) ฝึกความใจกว้าง มุ่งสร้างสรรค์คนรุ่นใหม่ สอนความสามารถที่นำไปทำงานได้ (Competency) สอนความรัก ความเมตตา (Compassion) ความเชื่อมั่น ความซื่อสัตย์ (Trust) เป้าหมายอาชีพอันยังประโยชน์ (Productive Career) และชีวิตที่มีศักดิ์ศรี (Noble Life) เนือสิ่งอื่นใดเป็นคนดี ทั้งกาย วาจา ใจ มีคุณธรรม จรรยาบรรณทางธุรกิจและวิชาชีพ

ส่งเสริมสนับสนุนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบคุณวุฒิวิชาชีพ (Vocational Qualification System) ให้สอดคล้องตามมาตรฐานอาชีพ (Occupational Standard) เพื่อสร้างภูมิคุ้มกัน เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ กำลังแรงงาน การพัฒนามาตรฐานการปฏิบัติงานระดับชาติ (National Benchmarking) และการวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน (Functional Analysis) เพื่อให้เกิดผลสำเร็จในภาคธุรกิจ อุตสาหกรรม และทุกสาขาอาชีพ เป็นการเตรียมความพร้อมของผู้เรียนเข้าสู่สนามการแข่งขันในประชาคมอาเซียน

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ผู้สอน ผู้ประสาวิชาความรู้ เอกสาร หนังสือที่ใช้ประกอบในการเรียบเรียงไว้ ณ โอกาสนี้

ผศ. น.อ. รามจิตติ ฤทธิศร

สารบัญ

บทที่ 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
แบบทดสอบท้ายบท	43

บทที่ 2 สมบัติทางกลและการตรวจสอบโครงสร้างโลหะ

48



สมบัติของวัสดุและการทดสอบ	50
ความเค้น (Stress)	51
ความเครียดและการเปลี่ยนรูป (Strain and Deformation)	53
ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress - strain Relationship)	55
การทดสอบการรับแรงดึง	59
การทดสอบการรับแรงอัด	65
การทดสอบการรับแรงเฉือน	69
แบบทดสอบท้ายบท	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

บทที่ 3 สมบัติทางกลและการตรวจสอบโครงสร้าง (ความแข็ง)

107 

ความหมายและประโยชน์ของความแข็ง	109
การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test)	113
การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test)	118
การทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test)	123
ข้อดี ข้อเสียของการทดสอบความแข็งแบบต่าง ๆ	129
แบบทดสอบท้ายบท	130
ใบงานที่ 3.1 การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test)	133
ใบงานที่ 3.2 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test)	137
ใบงานที่ 3.3 การทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test)	140

บทที่ 4 กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า (ตอนที่ 1)

144 

การชุบแข็ง	146
การอบคืนตัว	156
การอบอ่อน	159
การอบปกติ	164
ขั้นตอนการชุบแข็งโดยสรุป (Hardening)	166
แบบทดสอบท้ายบท	171

บทที่ 5 กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า (ตอนที่ 2)

175 

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

แบบทดสอบท้ายบท	191
ใบงานที่ 5.1 การชุบแข็งโลหะด้วยน้ำ (Heat Treatment 1)	193
ใบงานที่ 5.2 การชุบแข็งโดยการจุ่มน้ำมัน (Heat Treatment 2)	196

บทที่ 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
แบบทดสอบท้ายบท	222

คำถามเพื่อการทบทวน 224



คำศัพท์ 235



บรรณานุกรม 243



บทที่

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



> สาระการเรียนรู้

1. สินแร่เหล็ก (Iron Ores)
2. สมบัติทางวัสดุ
3. โลหะผสมและแผนภาพสมดุล
4. แผนภาพสมดุลของโลหะผสมระบบสองธาตุ (Equilibrium Diagram of Binary System)
5. แผนภาพสมดุลในระบบสองธาตุ
6. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก
7. แผนภาพการเปลี่ยนแปลงโดยอุณหภูมิคงที่
8. แผนภาพการเปลี่ยนแปลงโดยการเย็นตัวอย่างต่อเนื่อง (Continuous Cooling Transformation Diagram)
9. อัตราการเย็นตัววิกฤติ (Critical Cooling Rate)



> สัมรรถนะประจำบท

1. ระบุสมบัติของโลหะแต่ละประเภทได้
2. เลือกใช้แผนภาพสมดุลให้เหมาะสมกับการใช้งานได้



> จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. ยกตัวอย่างสินแร่เหล็กที่สำคัญ
2. ระบุสมบัติทางวัสดุของโลหะ
3. อธิบายความหมายของโลหะผสม สารเนื้อเดียว และสารละลายของแข็ง
4. อธิบายแผนภาพสมดุลของโลหะผสมระบบสองธาตุ และแผนภาพสมดุลในระบบสองธาตุ
5. ปฏิบัติการสร้างแผนภาพสมดุล
6. จำแนกประเภทของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก
7. อธิบายแผนภาพการเปลี่ยนแปลงโดยอุณหภูมิคงที่
8. สรุปแผนภาพการเปลี่ยนแปลงโดยการเย็นตัวอย่างต่อเนื่อง
9. อธิบายอัตราการเย็นตัววิกฤติ



บทที่

1

สมบัติของโลหะ และแผนภาพสมดุล

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



สินแร่เหล็ก (Iron Ores)

แร่เหล็กบริสุทธิ์ในธรรมชาติจะพบได้บ้างจากก้อนอุกกาบาต หรือในบริเวณใจกลางของโลก แร่เหล็กส่วนใหญ่ที่พบในบริเวณเปลือกโลก จะอยู่ในลักษณะของสารประกอบปะปนอยู่กับหิน ดิน ททราย ในรูปของออกไซด์ และซิลไฟด์ ดังรูปที่ 1.1

รูปที่
1.1



แร่เหล็ก
คาร์บอน
ซิลิกอน
กำมะถัน
ฟอสฟอรัส
แมงกานีส
หิน ดิน ททราย และอื่น ๆ

ส่วนประกอบของสินแร่เหล็ก

ชนิดของสินแร่เหล็กที่สำคัญต่องานอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น (รูปที่ 1.2)

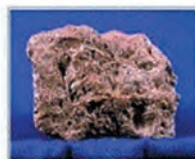
1. แมกนีไทต์ (Magnetite) มีปริมาณเหล็กอยู่ในสินแร่เหล็ก ประมาณ 72.4%
2. เรด เฮมาไทต์ (Red Hematite) มีปริมาณเหล็กอยู่ในสินแร่เหล็ก ประมาณ 70%
3. บราว เฮมาไทต์ (Brown Hematite) มีปริมาณเหล็กอยู่ในสินแร่เหล็ก ประมาณ 60%
4. ซิเดอไรต์ (Siderite) มีปริมาณแร่เหล็กในสินแร่เหล็ก ประมาณ 50%
5. ไอออน ไพไรต์ (Iron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

แสดงสินแร่เหล็ก สัญลักษณ์ทางเคมี และสมบัติทางกายภาพ ไว้ในตารางที่ 1.1

รูปที่
1.2



แมกนีไทต์
(Magnetite)



เรด เฮมาไทต์
(Red Hematite)



บราว เฮมาไทต์
(Brown Hematite)



ซิเดอไรต์
(Siderite)



ไอออน ไพไรต์
(Iron Pyrite)

ชนิดของสินแร่เหล็กที่สำคัญต่องานอุตสาหกรรม

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_3	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 ขณะเดียวกันก็บีบอัดสิ่งที่ย่อยสลายใต้พื้นโลก ดันพลิกตัวขึ้นสู่อากาศ และเมื่อพบกับความเย็นของบรรยากาศก็จะเกิดการแข็งตัว ซึ่งเรียกว่า **ภูเขาหินปูน** หากนำมาใช้ในการถลุงเหล็ก หินปูนจะมีสมบัติดูดเอาสารมลทิน (Impurities) ในสินแร่เหล็ก ได้แก่ C, Si, Mn, P, S และหิน ดิน หินทราย ฯลฯ เข้ารวมกับหินปูน ซึ่งเรียกว่า **สแลก (Slag)**

ดังนั้น ในกระบวนการผลิตเหล็ก หินปูนที่ใส่เข้าไปในระบบ เมื่อถูกความร้อนจะกลายเป็นปูนขาว และจะไปดึงดูดเอาสารที่ไม่ต้องการออกมารวมตัวกับหินปูน กลายเป็นสแลก ทำให้เหล็กที่ได้จากการผลิตบริสุทธิ์

3. ถ่านโค้ก (Coke) เป็นตัวให้ความร้อนในกระบวนการผลิต เพื่อให้สินแร่เหล็กหลอมละลาย ถ่านโค้กมาได้จากกระบวนการผลิตถ่านหิน โดยขจัดปริมาณของกำมะถันออกจากถ่านหินที่ขุดได้ วิธีการ คือ นำถ่านหินเข้าไปเผาในที่อับอากาศจนสุกแดง จากนั้นนำไปทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วด้วยน้ำ ผลที่ได้จากกระบวนการนี้ ถ่านหินก็จะแปรสภาพเป็นถ่านโค้ก ซึ่งจะไม่หลงเหลือกำมะถันอีก และทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้ และยังเป็นการสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดีต่อมนุษย์ ถ่านหินแบ่งตามอายุของการเกิดได้ดังนี้ พีทุนัสและแอนทราไซต์ ลิกไนต์ และพีช

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

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

รูปที่ 1.3

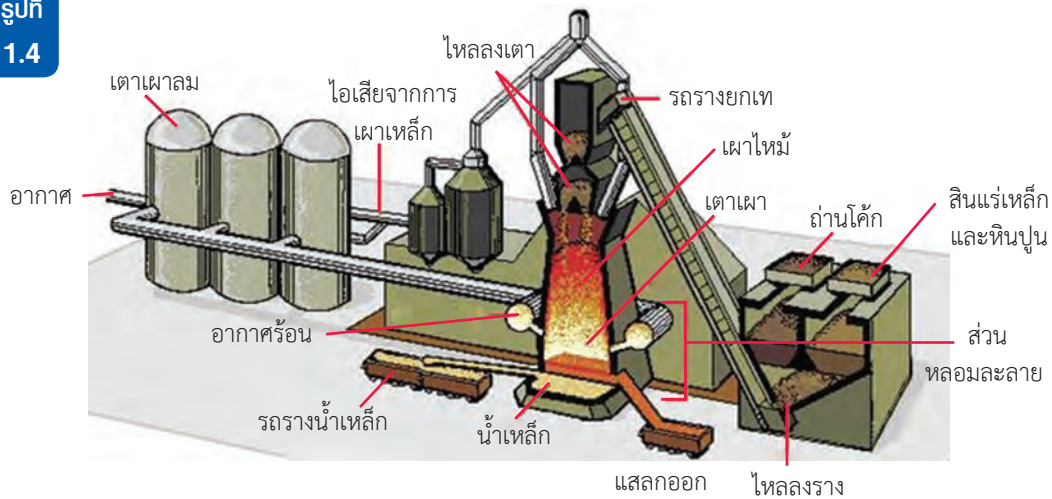


เตา Blast Furnace แบบจำลอง

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 ท่อสำหรับทางแอสล็ก (Slag) ออก และอีกท่อหนึ่งคือ ท่อสำหรับทางน้ำเหล็กออก การใส่วัตถุดิบ (Raw Material) จะถูกใส่เป็นชั้น ๆ โดยการขนถ่ายด้วยคอนเวเยอร์ (Conveyor) ได้แก่ ถ่านโค้ก หินปูน สินแร่เหล็ก จนกระทั่งเต็มเตา การถลุงจะถลุงติดต่อกันตลอด 24 ชั่วโมง ส่วนที่หลอมละลายจะอยู่ด้านล่างของเตา ประกอบด้วย น้ำเหล็ก และแอสล็ก โดยแอสล็กจะลอยตัวอยู่บนน้ำเหล็ก เพราะมีความหนาแน่นน้อยกว่า ก่อนจะทางน้ำเหล็กออกจากเตาจะต้องทางแอสล็กออกก่อนเสมอ ขณะที่ทำการถลุงเหล็ก จะมีก๊าซเกิดขึ้นและลอยขึ้นสู่บรรยากาศ ก๊าซนี้เป็นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิงในกระบวนการถลุงเหล็ก จะไม่ปล่อยทิ้งไป แต่จะต่อท่อจากปลายเตาถลุงเข้าไปยังเตาเผาผลซึ่งมีหน้าที่เก็บความร้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น และเป่าลมร้อนซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิงเข้าเตาสูงอีกครั้ง ทำให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงได้อย่างมาก โดยปกติเตาเผาผลของกระบวนการถลุงจะมีอย่างน้อย 2 เตา ขณะที่เตาหนึ่งเป่าลมร้อนเข้าเตาสูง อีกเตาหนึ่งจะอุ่นและกักเก็บความร้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อลมร้อนเตาแรกถูกเป่าเข้าเตาสูงจนเย็นก็จะหยุดเป่าและอุ่นลมร้อนต่อ เตาที่สองจะมีหน้าที่เป่าลมร้อนที่ถูกกักเก็บไว้เข้าเตาสูงต่อจากเตาที่หนึ่ง ซึ่งจะทำงานสลับหมุนเวียนกันไปอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 1.4



การทำงานของเตาถลุงเหล็กแบบเตาสูง

เหล็กที่ผ่านกระบวนการถลุงด้วยเตาสูง (Blast Furnace) นั้นเรียกว่า **เหล็กดิบ (Pig – iron)** ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เหล็กดิบสีขาว และเหล็กดิบสีเทา ซึ่งทั้งสองชนิดที่ผ่านการถลุงจากเตาสูงยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เพราะยังมีสารมลทิน (Impurities) อยู่มาก สารมลทินที่แฝงตัวอยู่กับเหล็กดิบ ได้แก่ คาร์บอน (C) ซิลิกอน (Si) แมงกานีส (Mn) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) ทำให้เมล็ดเกรนของเหล็กดิบหยาบและเปราะ ต้องนำไปถลุงต่ออีกครั้งหนึ่ง

1. เหล็กดิบสีขาว (White Pig Iron) ใช้ผลิตเหล็กกล้า ในกรรมวิธีการผลิตเหล็กกล้า (Steel Making) จะต้องนำเหล็กดิบเข้าไปถลุงต่ออีกครั้งหนึ่ง เพื่อไล่สารมลทิน (Impurities) ให้เหลือตามความต้องการที่จะใช้งานในแต่ละลักษณะงาน การอบไล่สารมลทินออกจากเหล็กดิบ มีผู้คิดค้นวิธีมากมาย ได้แก่ กรรมวิธีเบสเซลเมอร์ (Bessemer Converter) กรรมวิธีเตากระทะหลอมเหล็ก (Open - hearth Furnace) กรรมวิธีเตาไฟฟ้า (Electric Furnace) กรรมวิธี L – D และกรรมวิธี Tomas ซึ่งแต่ละกรรมวิธีมีการไล่สารมลทินในเนื้อเหล็กดิบออกแตกต่างกัน แต่ที่เหมือนกัน คือ ผลที่ได้สามารถควบคุมปริมาณสารมลทินได้ตามที่ต้องการ สารมลทินในเนื้อเหล็กที่สกัดออกมา ได้แก่ C, Si, Mn, P, และ S จะไม่นำไปกำจัดทิ้ง แต่จะนำมาใช้ในกระบวนการต่อไป โดยเฉพาะการออกแบบเครื่องมือ ตลอดจนงานอบชุบโลหะ

เหล็กกล้าที่ได้จากกระบวนการผลิตที่สามารถควบคุมปริมาณสารมลทินได้แล้ว จะถูกเทลงแบบเพื่อให้เย็นตัว ซึ่งแบบแม่พิมพ์นี้เรียกว่า **แม่พิมพ์อินก๊อท (Ingot Molds)** ตัวอย่างดังรูปที่ 1.5

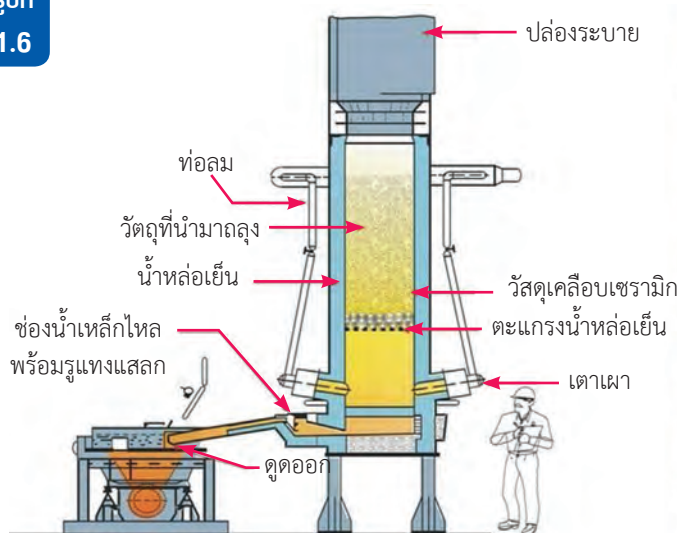
รูปที่ 1.5



แสดงแม่พิมพ์ Ingot Molds

2. เหล็กดิบสีเทา (Gray Pig Iron) จะถูกนำไปใช้ทำเหล็กหล่อ (Cast Iron) การถลุงจะใช้น้ำเหล็กจากเตาสูงนำเข้าเตาคิวโปลา (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



แสดงภาพของเตาคิวโปลา

เตาคิวโพลามีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ภายนอกเป็นเหล็กกล้า ภายในบุด้วยอิฐทนไฟหรือเคลือบด้วยเซรามิก ตัวเตาตั้งอยู่บนฐานรองรับทำด้วยเหล็กกล้า 4 เสา วัตถุดิบที่ใส่ลงเตาเพื่อนำไปถลุง ได้แก่ เหล็กดิบสีเทา ถ่านโค้ก หินปูน เมื่อเกิดการถลุงหินปูนจะดึงเอาสารเจือปนที่อยู่ในน้ำเหล็กดิบออก คาร์บอนบางส่วนถูกเผากลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระเหยออก น้ำเหล็กที่ได้จากเตาคิวโปลา จึงมีสารที่ผสมอยู่ลดลงไปจากเหล็กดิบ แต่จะมีกำมะถันซึ่งปะปนมากับถ่านโค้กมาก เหล็กที่ได้จากกรรมวิธีการถลุงโดยเตาคิวโปลาจะเป็นเหล็กหล่อสีเทา

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

กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์

เหล็กที่ผ่านกระบวนการอบไล่สารมลทินให้เหลือตามปริมาณที่ต้องการและถูกเก็บไว้ที่แม่พิมพ์อื่นก็ต่อ จะถูกเรียงเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นรูปร่างตามความต้องการ เรียกว่า **ขั้นขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ กึ่งสำเร็จรูป** โดยการนำเหล็กที่ถูกถอดจากแม่พิมพ์เข้าเตาอบแบบแช่ (Soaking Pit) ให้อุ่นแดง อุณหภูมิประมาณ 900 °F จะถูกนำออกจากเตา ผ่านการรีดด้วยลูกกลิ้ง เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปซึ่งยังแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. **บลูม (Bloom)** เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปมีพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 12 in x 12 in ยาว 10 m

2. **บิลเลท (Billet)** เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป ผ่านกระบวนการรีด เพื่อให้มีพื้นที่หน้าตัด ขนาด 6 in x 6 in ยาว 10 m

3. **สแลบ (Slab)** เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านกระบวนการรีด 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 มีความแข็งมากขึ้น ธาตุที่นิยมประสมเข้าในเหล็กกล้า ได้แก่ ทังสเตน โครเมียม วาเดเมียม นิเกิล โคบอลต์ เพื่อให้เหล็กเกิดสมบัติตามที่ต้องการ เรียกกลุ่มเหล็กชนิดนี้ว่า

เหล็กประสม (Alloy Steel)



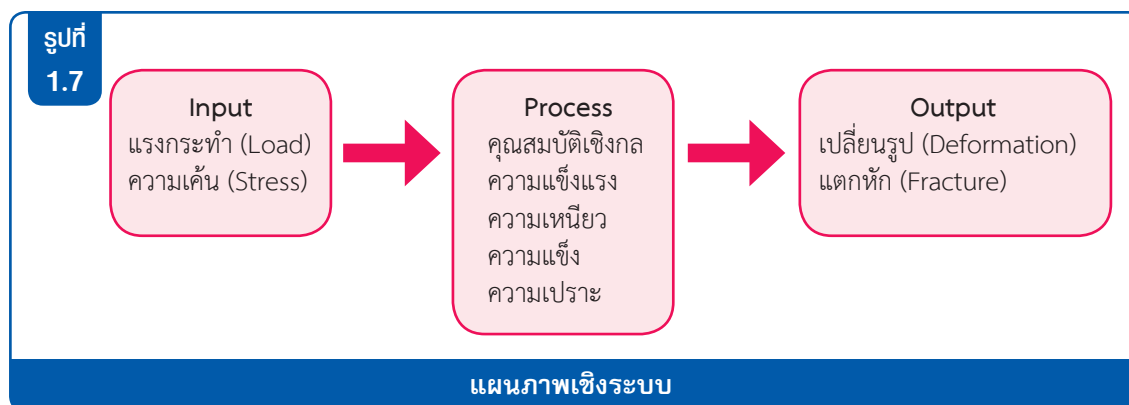
สมบัติทางวัสดุ

สมบัติทางวัสดุ (Properties of Materials) สามารถแยกออกได้หลายประเภท เช่น สมบัติทางเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางความร้อน สมบัติแม่เหล็ก ซึ่งในที่นี่จะขอกล่าวในเรื่องของสมบัติทางกายภาพ 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 ภาคของโลหะบริสุทธิ์ผสมกับสารละลายของแข็ง 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 สารละลายที่เกิดขึ้นในสถานะของแข็ง ดังนั้น โลหะผสมที่เป็นสารละลายของแข็งได้ หมายความว่า โลหะผสมนั้นจะต้องประกอบด้วยโลหะหนึ่งเป็นตัวทำละลาย อีกตัวหนึ่งหรือมากกว่าเป็นตัวถูกละลาย เมื่อ 2 ส่วนรวมกันในสถานะของแข็งสามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จึงเรียกว่า **สารละลายของแข็ง** ตัวอย่างเช่น พิวส์ไฟฟ้าจัดเป็นสารละลายของแข็ง เพราะมีสถานะเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิห้อง เกิดจากการผสมกันระหว่างดีบุก ตะกั่ว และบิสมีต ซึ่งทั้ง 3 สารมีสถานะเป็นของแข็ง ณ อุณหภูมิห้อง โดยดีบุกมีร้อยละโดยปริมาตรมากที่สุดจึงเป็นตัวทำละลาย ขณะที่ดีบุกและตะกั่วมีร้อยละโดยปริมาตรน้อยกว่า ทั้งคู่จึงเป็นตัวถูกละลาย เป็นต้น