แผนการจัดการเรียนรู้มุ่งเน้นสมรรถนะ และบูรณาการปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

รหัสวิชา 20102-2107 รายวิชาหล่อโลหะ

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562

จัดทำโดย

นายอัฐพล พิไชยฤกษ์

แผนกวิชาช่างกลโรงงาน

วิทยาลัยการอาชีพบ้านผือ

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

กระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาหล่อโลหะ รหัสวิชา 2102-2107 จำนวน 3 หน่วยกิต 5 ชั่วโมง/สัปดาห์ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ เพื่อมุ่งเน้นฐานสมรรถนะ (Competency Based Learning) และการบูรณาการ (Integrated) ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา มาตรฐานรายวิชา และคำอธิบายรายวิชาเป็นการพัฒนาบทบาทของนักเรียนให้รู้จักเป็นผู้ที่มีบทบาทในการแสวงหาส่วนบทบาทของครูอาจจะเป็นเพียงผู้ชี้แนะและเพื่อเอื้ออำนวยให้กับนักเรียนได้รู้จักการทำงานร่วมกัน สามารถที่นำไปทำงานได้ (Competency) โดยมีเป้าหมายเพื่อประโยชน์ในการประกอบอาชีพ และการมีคุณภาพชีวิตที่ เป็นคนดีทั้งกาย วาจา ใจ มีคุณธรรมจริยธรรมและจรรยาบรรณในวิชาชีพของตน

การจัดทำเนื้อหาในรายวิชาไปตามลำดับความสำคัญ และสัมพันธ์กับความยากง่าย ในทุกหน่วยของแผนการจัดการเรียนรู้ จะสอดแทรกกิจกรรมต่างๆ กระบวนการศึกษาเป็นไปเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มศักยภาพ นอกจากนี้แผนการเรียนรู้เล่มนี้ยังได้น้อมนำหลักปรัชญาตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง (Sufficiency Economy) ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน เพื่อให้นักเรียนได้ตระหนักถึงการใช้ชีวิตอย่างพอเพียงอีกด้วยผู้เขียนหวังว่าแผนการจัดทำการจัดการเรียนรู้เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อครูผู้สอน และนักเรียนได้เป็นอย่างดี หากมีข้อเสนอแนะประการใดผู้เขียน ยินดีน้อมรับทุกประการ

ลงนาม.....

(นายอัฐพล พิไชยฤกษ์)

วันที่.....เดือน..... พ.ศ. .....

สารบัญ

ชื่อเรื่อง/หัวข้อ	**หน้า**
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
แผนการจัดการเรียนรู้รายวิชา	ค
ลักษณะรายวิชา	ง
ตารางวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้	จ-ฉ
ตารางวิเคราะห์หลักสูตรรายวิชา	ช
กำหนดการเรียนรู้	ซ-ฌ
การวัดผล	ญ
หน่วยที่ 1 ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	1
แผนการจัดการเรียนรู้บูรณาการปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง	2
แบบทดสอบท้ายหน่วยเรียน	11
หน่วยที่ 2 หลักวิชาการหล่อโลหะ	12
แบบทดสอบท้ายหน่วยเรียน	33
หน่วยที่ 3 การจัดระบบงานหล่อ	34
แบบทดสอบท้ายหน่วยเรียน	44
หน่วยที่ 4 แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	45
แบบทดสอบท้ายหน่วยเรียน	59
หน่วยที่ 5 แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ	60
แบบทดสอบท้ายหน่วยเรียน	67
หน่วยที่ 6 การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	68
แบบทดสอบท้ายหน่วยเรียน	86
หน่วยที่ 7 การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	87
แบบทดสอบท้ายหน่วยเรียน	99
หน่วยที่ 8 จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	100
แผนการจัดการเรียนรู้บูรณาการปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง	101
แบบทดสอบท้ายหน่วยเรียน	116
หน่วยที่ 9 วิธีการหล่อพิเศษ	117
แบบทดสอบท้ายหน่วยเรียน	122
บรรณานุกรม	

แผนการจัดการเรียนรู้รายวิชา

ชื่อรายวิชา หล่อโลหะ รหัสวิชา 2102-2107 (ช-น) (5-3)
ระดับชั้น ปวช. กลุ่ม ชก.3/1,2 สาขาเครื่องมือกล
หน่วยกิต 3 จำนวนคาบรวม 90 คาบ/ทฤษฎี 2 คาบ/สัปดาห์ ปฏิบัติ 3 คาบ/สัปดาห์
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2568

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจหลักการและวิธีหล่อโลหะ
2. ใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำแบบหล่อ การเทน้ำโลหะและการตกแต่งชิ้นงานหล่อ
3. มีกิจนิสัยในการทำงานอย่างมีระเบียบแบบแผน มีความปลอดภัย มีความรับผิดชอบต่อตนเองและส่วนรวม

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการและกระบวนการ การหล่อโลหะและการตกแต่งชิ้นงาน
2. หล่อชิ้นงานตามหลักการและกระบวนการ

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับหลักการ กรรมวิธีการหล่อโลหะเบื้องต้น การแก้ไขข้อบกพร่อง ประเภทของงานหล่อ ชนิดของเตาหลอม ชนิดของกระสวน สมบัติ และส่วนผสมของทรายหล่อ สารเคมีที่ใช้ในงานหล่อ เครื่องมืออุปกรณ์ในการทำแบบหล่อ การบำรุงรักษาเครื่องมือ ความปลอดภัยในการหล่อโลหะ ปฏิบัติงานทำกระสวนอย่างง่าย ทำไส้แบบ การใช้เครื่องมือทำอุปกรณ์แบบหล่อ การหลอม การเทน้ำโลหะ การตกแต่งชิ้นงานหล่อ ปฏิบัติงานตามหลักความปลอดภัย

ลักษณะรายวิชา

1. **รหัสและชื่อวิชา** 2102-2107 หล่อโลหะ
2. **หลักสูตรรายวิชา** ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
3. **ภาคเรียนที่** 2/2568
4. **พื้นฐาน** -
5. **ระยะเวลาศึกษา** คาบรวม 90 คาบ/เทอม ทฤษฎี 2 คาบ/สัปดาห์ ปฏิบัติ 3 คาบ/สัปดาห์
6. **หน่วยกิต** 3
7. **จุดประสงค์ทั่วไป** (สำหรับครู)
    1. เข้าใจหลักการและวิธีหล่อโลหะ
    2. รู้เกี่ยวกับเครื่องมือ และการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำแบบหล่อ การเทน้ำโลหะและการตกแต่งชิ้นงานหล่อ
    3. มีกิจนิสัยในการทำงานอย่างมีระเบียบแบบแผน มีความปลอดภัย มีความรับผิดชอบต่อตนเองและส่วนรวม

8. **จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม**
    1. เข้าใจหลักการกรรมวิธีการหล่อโลหะเบื้องต้น
    2. รู้เกี่ยวกับประเภทของงานหล่อ เตาหลอม กระสวน และส่วนผสมของทรายหล่อ
    3. รู้เกี่ยวกับเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำแบบหล่อ
    4. ปฏิบัติงานทำกระสวนงานหล่อ และทำไส้แบบ
    5. ปฏิบัติงานการหลอม การเทน้ำโลหะ และการตกแต่งชิ้นงานหล่อ
    6. เลือกใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการทำแบบหล่อได้ถูกต้องเหมาะสม
    7. รู้เกี่ยวกับการบำรุงรักษาเครื่องมือ
    8. มีกิจนิสัยที่ดีต่อการปฏิบัติงาน และปฏิบัติงานตามหลักความปลอดภัย

9. **คำอธิบายรายวิชา**

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับหลักการ กรรมวิธีการหล่อโลหะเบื้องต้น การแก้ไขข้อบกพร่อง ประเภทของงานหล่อ ชนิดของเตาหลอม ชนิดของกระสวน สมบัติ และส่วนผสมของทรายหล่อ สารเคมีที่ใช้ในงานหล่อ เครื่องมืออุปกรณ์ในการทำแบบหล่อ การบำรุงรักษาเครื่องมือ ความปลอดภัยในการหล่อโลหะ ปฏิบัติงานทำกระสวนอย่างง่าย ทำไส้แบบ การใช้เครื่องมือทำอุปกรณ์แบบหล่อ การหลอม การเทน้ำโลหะ การตกแต่งชิ้นงานหล่อ ปฏิบัติงานตามหลักความปลอดภัย

ตารางวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้
หน่วยการเรียนรู้รายวิชาหล่อโลหะ

สาขาวิชาช่างกลโรงงาน สาขาเครื่องมือกล หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
จำนวนหน่วยการเรียนรู้ 9 หน่วย จำนวน 90 ชั่วโมง

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการเรียน	เนื้อหาสาระ	จำนวนชั่วโมง
1	ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	1.1 ประวัติการหล่อโลหะ 1.2 การทำชิ้นงานหล่อ 1.3 โลหะที่ใช้ในการหล่อ 1.4 ลักษณะการใช้ชิ้นงานจากการหล่อโลหะ	10
2	หลักวิชาการหล่อโลหะ	2.1 คุณสมบัติของน้ำโลหะ 2.2 การแข็งตัวของโลหะ 2.3 แผนภูมิสมดุลของโลหะผสม 2.4 โครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อ 2.5 รูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อ	10
3	การจัดระบบงานหล่อ	3.1 ระบบจ่ายน้ำโลหะ (gating system) 3.2 รูเข้าจากข้างล่าง 3.3 ทุ่นเย็น (chills)	10
4	แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	4.1 การทำแบบหล่อด้วยมือ 42 การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่อง 4.3 การทำไส้แบบ 4.4 การฉาบผิวแบบหล่อ 4.5 อุปกรณ์เพิ่มเติมของแบบหล่อ 4.6 ทรายหล่อ	10
5	แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ	5.1 แบบหล่อเปลือก 5.2 วิธีหีบร้อน (Hot box method) 5.3 วิธี CO2 5.4 แบบหล่อแข็งเอง (Self-hardening molds) 5.5 วิธีหีบเย็น (Cold box method) 5.6 การฉาบผิวแบบหล่อ (Mold coatings)	10
6	การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	6.1 การหลอมเหล็กหล่อโดยใช้คิวโปลา 6.2 การหลอมละลายเหล็กหล่อโดยใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ 6.3 การตรวจและการปรับคุณสมบัติน้ำเหล็ก 6.4 การเทเหล็กหล่อ	10

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการเรียน	เนื้อหาสาระ	จำนวนชั่วโมง
7	การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	7.1 คุณสมบัติของน้ำโลหะ 7.2 การแข็งตัวของโลหะ 7.3 แผนภูมิสมดุลของโลหะผสม 7.4 โครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อ 7.5 รูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อ	10
8	จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	8.1 จุดเสียชนิดต่างๆ และลักษณะ 8.2 จุดเสียในชิ้นงานเหล็กหล่อ 8.3 จุดเสียของชิ้นงานเหล็กหล่อกราไฟท์กลม 8.4 จุดเสียของชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อ 8.5 จุดเสียของโลหะผสมทองแดงหล่อ 8.6 จุดเสียของโลหะผสมเบาหล่อ	10
9	วิธีการหล่อพิเศษ	9.1 ข้อเปรียบเทียบการหล่อชนิดต่างๆ 9.2 การหล่อเหวี่ยง 9.3 การหล่อแบบแม่พิมพ์ 9.4 การหล่อด้วยความดันต่ำ 9.5 การหล่อในแบบหล่อโลหะ (การหล่อด้วยแรงถ่วง) 9.6 วิธีขี้ผึ้งหาย	10
รวม			**90**

ตารางวิเคราะห์หลักสูตรหน่วยวิชา

วิชาหล่อโลหะ รหัสวิชา 2102-2107

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาช่างกลโรงงาน

ที่	ชื่อหน่วย	ระดับพฤติกรรมที่พึงประสงค์																เวลา (ชม.)
		พุทธิพิสัย						ทักษะพิสัย					จิตพิสัย					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	/	/	/				/	/				/	/	/	/		10
2	หลักวิชาการหล่อโลหะ	/	/					/	/				/	/	/	/		10
3	การจัดระบบงานหล่อ	/	/	/				/	/	/	/		/	/	/	/	/	10
4	แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	/	/	/				/	/	/	/		/	/	/	/	/	10
5	แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ	/	/	/	/	/		/	/	/	/		/	/	/	/	/	10
6	การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	/	/	/				/	/				/	/	/	/		10
7	การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	/	/	/				/	/				/	/	/	/		10
8	จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	/	/	/	/	/		/	/	/	/		/	/	/	/	/	10
9	วิธีการหล่อพิเศษ	/	/	/	/	/		/	/	/	/		/	/	/	/	/	10
รวม		**30**						**50**					**20**					**90**
คะแนน (ร้อยละ)		**100**																

<u>หมายเหตุ</u>

พุทธิพิสัย 1. ความจำ 2. ความเข้าใจ 3. นำไปใช้
4. วิเคราะห์ 5. สังเคราะห์ 6. ประเมินค่า

ทักษะพิสัย 1. ทำเลียนแบบ 2. ทำตามแบบ 3. ทำได้อย่างถูกต้อง
4. ทำได้อย่างถูกต้องต่อเนื่อง 5. ทำจนเป็นนิสัย

จิตพิสัย 1. รับรู้ 2. ตอบสนอง 3. เห็นคุณค่า
4. จัดระบบการคิด 5. เกิดเป็นนิสัย

กำหนดการเรียนรู้

วิชาหล่อโลหะ รหัสวิชา 2102-2107

เวลาเรียนต่อสัปดาห์ ทฤษฎี 2 ชั่วโมง ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง

รวมเวลาเรียนต่อภาคเรียน 90 ชั่วโมง

ที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้/รายการสอน	สมรรถนะประจำหน่วย/เกณฑ์ปฏิบัติงาน	สัปดาห์ที่	ชั่วโมงที่
1	ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	1.1 อธิบายประวัติการหล่อโลหะได้ 1.2 อธิบายการทำชิ้นงานหล่อได้ 1.3 บอกโลหะที่ใช้ในการหล่อได้ 1.4 บอกลักษณะการใช้ชิ้นงานจากการหล่อโลหะได้	1-2	1-10
2	หลักวิชาการหล่อโลหะ	2.1 บอกคุณสมบัติของน้ำโลหะได้ 2.2 อธิบายการแข็งตัวของโลหะได้ 2.3 อธิบายแผนภูมิสมดุลของโลหะผสมได้ 2.4 บอกโครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อได้ 2.5 บอกรูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อได้	3-4	11-20
3	การจัดระบบงานหล่อ	3.1 อธิบายระบบจ่ายน้ำโลหะ (gating system) ได้ 3.2 อธิบายรูเข้าจากข้างล่างได้ 3.3 อธิบายขั้นตอนการทำทุ่นเย็น (chills) ได้	5-6	21-30
4	แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	4.1 บอกวิธีการทำแบบหล่อด้วยมือได้ 4.2 บอกวิธีการทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องได้ 4.3 บอกวิธีการทำไส้แบบได้ 4.4 บอกวิธีการฉาบผิวแบบหล่อได้ 4.5 บอกวิธีอุปกรณ์เพิ่มเติมของแบบหล่อได้ 4.6 บอกวิธีทรายหล่อได้	7-8	31-40
5	แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ	5.1 บอกวิธีแบบหล่อเปลือกได้ 5.2 บอกวิธีหีบร้อน (Hot box method) ได้ 5.3 บอกวิธี CO_2 ได้ 5.4 บอกวิธีแบบหล่อแข็งเอง (Self-hardening molds) ได้ 5.5 บอกวิธีหีบเย็น (Cold box method) ได้ 5.6 บอกวิธีการฉาบผิวแบบหล่อ (Mold coatings) ได้	9-10	41-50
6	การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	6.1 บอกวิธีการหลอมเหล็กหล่อโดยใช้คิวโปลาได้ 6.2 บอกวิธีการหลอมละลายเหล็กหล่อโดยใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำได้ 6.3 บอกวิธีการตรวจและการปรับคุณสมบัติน้ำเหล็กได้ 6.4 บอกวิธีการเทเหล็กหล่อได้	11-12	51-60

ที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้/รายการสอน	สมรรถนะประจำหน่วย/เกณฑ์ปฏิบัติงาน	สัปดาห์ที่	ชั่วโมงที่
7	การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	2.1 บอกคุณสมบัติของน้ำโลหะได้ 2.2 อธิบายการแข็งตัวของโลหะได้ 2.3 อธิบายแผนภูมิสมดุลของโลหะผสมได้ 2.4 บอกโครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อได้ 2.5 บอกรูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อได้	13-14	61-70
8	จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	8.1 บอกลักษณะจุดเสียชนิดต่างๆ และลักษณะได้ 8.2 บอกลักษณะจุดเสียในชิ้นงานเหล็กหล่อได้ 8.3 บอกลักษณะจุดเสียของชิ้นงานเหล็กหล่อกราไฟท์กลมได้ 8.4 บอกลักษณะจุดเสียของชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อได้ 8.5 บอกลักษณะจุดเสียของโลหะผสมทองแดงหล่อได้ 8.6 บอกลักษณะจุดเสียของโลหะผสมเบาหล่อได้	15-16	71-80
9	วิธีการหล่อพิเศษ	9.1 อธิบายข้อเปรียบเทียบการหล่อชนิดต่างๆ ได้ 9.2 อธิบายการหล่อเหวี่ยงได้ 9.3 อธิบายการหล่อแบบแม่พิมพ์ได้ 9.4 อธิบายการหล่อด้วยความดันต่ำได้ 9.5 อธิบายการหล่อในแบบหล่อโลหะ (การหล่อด้วยแรงถ่วง) ได้ 9.6 อธิบายวิธีขี้ผึ้งหายได้	17-18	81-90

การวัดผล

1. คะแนนพุทธิพิสัย ทักษะพิสัย (80 คะแนน)

1.1 แบบทดสอบ	40 เปอร์เซ็นต์
1.2 งานที่มอบหมาย	40 เปอร์เซ็นต์
รวม	**80 เปอร์เซ็นต์**

2. คะแนนจิตพิสัย (20 คะแนน)

2.1 การมาเรียน	5 เปอร์เซ็นต์
2.2 การแต่งกาย	5 เปอร์เซ็นต์
2.3 จิตอาสา	5 เปอร์เซ็นต์
2.4 คุณธรรม จริยธรรม	5 เปอร์เซ็นต์
รวม	**20 เปอร์เซ็นต์**
รวมทั้งสิ้น	**100 คะแนน**

3. เกณฑ์การประเมินผลตามระเบียบ

4.0	หมายถึง ผลการเรียนดีเยี่ยม	ช่วงคะแนน 80-100
3.5	หมายถึง ผลการเรียนดีเยี่ยม	ช่วงคะแนน 75-79
3.0	หมายถึง ผลการเรียนดีเยี่ยม	ช่วงคะแนน 70-74
2.5	หมายถึง ผลการเรียนดีเยี่ยม	ช่วงคะแนน 65-69
2.0	หมายถึง ผลการเรียนดีเยี่ยม	ช่วงคะแนน 60-64
1.5	หมายถึง ผลการเรียนดีเยี่ยม	ช่วงคะแนน 55-59
1.0	หมายถึง ผลการเรียนดีเยี่ยม	ช่วงคะแนน 50-54
0	หมายถึง ผลการเรียนดีเยี่ยม	ช่วงคะแนนต่ำกว่า 50

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 1-2
	ชื่อหน่วย ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. สาระสำคัญ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงประวัติการหล่อโดยย่อ การทำงานหล่อ โลหะที่ใช้ในการทำงานหล่อ ตลอดจนประโยชน์ใช้สอยของงานหล่อ ทั้งนี้เพื่อให้ความรู้ทั่วไปในเรื่องการหล่อโลหะ

2. หัวข้อการเรียนรู้

1. ความสำคัญในงานหล่อโลหะ
   - 1.1 ประวัติการหล่อโลหะ
   - 1.2 การทำชิ้นงานหล่อ
   - 1.3 โลหะที่ใช้ในการหล่อ
   - 1.4 ลักษณะการใช้ชิ้นงานจากการหล่อโลหะ

3. สมรรถนะอาชีพประจำหน่วย

เข้าใจความสำคัญในงานหล่อโลหะ อธิบายประวัติการหล่อโลหะ อธิบายการทำชิ้นงานหล่อ บอกโลหะที่ใช้ในการหล่อ และบอกลักษณะการใช้ชิ้นงานจากการหล่อโลหะ

4. จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เข้าใจความสำคัญในงานหล่อโลหะ

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 อธิบายประวัติการหล่อโลหะได้

1.2 อธิบายการทำชิ้นงานหล่อได้

1.3 บอกโลหะที่ใช้ในการหล่อได้

1.4 บอกลักษณะการใช้ชิ้นงานจากการหล่อโลหะได้

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 1-2
	ชื่อหน่วย ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

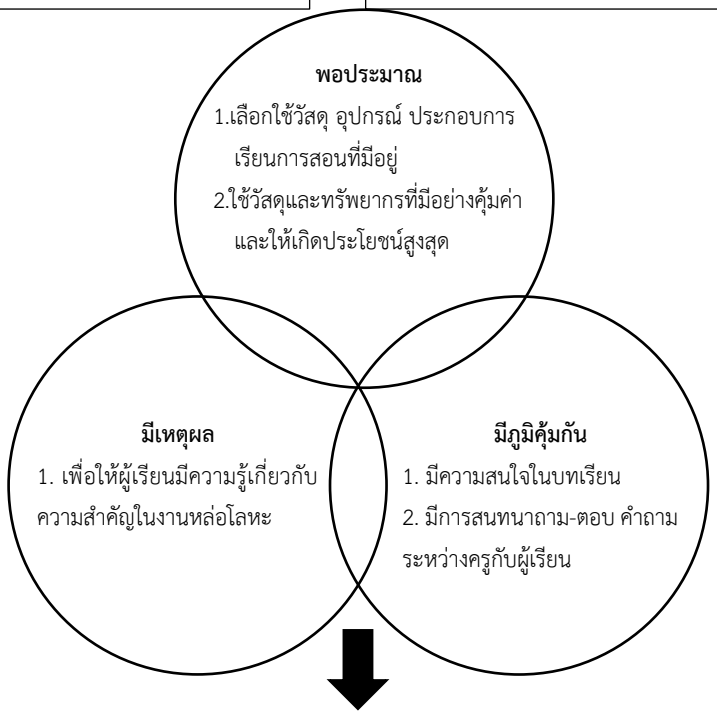
5. การบูรณาการหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

เงื่อนไขความรู้

1. อธิบายประวัติการหล่อโลหะ
2. อธิบายการทำชิ้นงานหล่อ
3. บอกโลหะที่ใช้ในการหล่อ
4. บอกลักษณะการใช้ชิ้นงานจากการหล่อโลหะ

เงื่อนไขคุณธรรม

1. ตรงต่อเวลา
2. มีวินัยและความรับผิดชอบต่อตนเอง
3. มีจิตใจสาธารณะต่อสังคม



สังคม

1. รู้จักการทำงานเป็นทีม
2. รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นผู้อื่น

วัฒนธรรม

1.มีความเคารพ นอบน้อมครูอาจารย์
2.การตรงต่อเวลา

สิ่งแวดล้อม

1.สภาพห้องเรียนมีความพร้อมและเหมาะสมต่อการเรียน
2.ดูแล บำรุงรักษาห้องเรียน

สมดุล/พร้อมรับการเปลี่ยนแปลง

1. มีความกระตือรือร้น ใฝ่หาความรู้
2. พัฒนาตนเองให้มีศักยภาพในการเรียนที่ดีขึ้น

ศาสตร์พระราชา

หลักทรงงาน

1.ทำตามลำดับขั้นตอน
2.ความเพียร
3.รู้ รัก สามัคคี
4.ทำให้ง่าย

ศาสตร์สากล

1. การทำชิ้นงานหล่อ
2. โลหะที่ใช้ในการหล่อ

ศาสตร์ภูมิปัญญา

1. การเผาเหล็กตีมีด

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 1-2
	ชื่อหน่วย ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

บทที่ 1
ความสำคัญในงานหล่อโลหะ

1.1 ประวัติการหล่อโลหะ

1.1.1 การหลอมโลหะ

ชิ้นงานหล่อนั้นได้จากการเทโลหะเหลวลงในแบบหล่อ ปล่อยให้เย็นและแข็งตัว ดังนั้นประวัติการหล่อเริ่มตั้งแต่เมื่อมนุษย์รู้จักหลอมโลหะและรู้จักทำแบบหล่อ กล่าวกันว่าเริ่มตั้งแต่ 4,000 ปีก่อนเริ่มคริสตศักราช แต่เราไม่อาจทราบเวลาที่แน่นอน

เมื่อมนุษย์เริ่มนำโลหะมาใช้งานนั้น ได้ทำเครื่องประดับโดยการตีทองหรือเงินให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ และภายหลังก็ได้นำทองแดงมาตีเพื่อเป็นอาวุธบ้าง เป็นผานไถบ้าง เนื่องจากโลหะเหล่านี้ปรากฏอยู่ในสภาพบริสุทธิ์ตามธรรมชาติ จึงนำมาใช้งานได้สะดวก

ต่อมามนุษย์พบโดยบังเอิญว่าทองแดงนั้นละลายได้ และได้ค้นพบว่าเมื่อเทโลหะเหลวลงในแบบหล่อจะสามารถทำเป็นชิ้นงานหล่อที่มีรูปร่างซับซ้อน เช่นเครื่องเรือนและเครื่องประดับต่าง ๆ ได้ ชิ้นงานหล่อในระยะแรก ๆ ทำด้วยบรอนซ์ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดง ดีบุกและตะกั่ว บรอนซ์มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำกว่าทองแดง

การหล่อบรอนซ์นั้นกระทำครั้งแรกในเมโสโปเทเมีย ประมาณ 3,000 ปีก่อนคริสตศักราช และเทคนิคนี้ได้รับการส่งทอดมาสู่เอเชียกลาง อินเดีย และจีน ได้มาถึงจีนราว 2,000 ปีก่อนคริสตศักราช ในประเทศจีนสมัยยินประมาณ 1,500 – 1,000 ปีก่อนคริสตศักราชก็ได้มีการหล่อภาชนะที่มีขนาดใหญ่ ๆ และมีคุณภาพดีได้สำเร็จ

เทคนิคการหล่อบรอนซ์ก็ได้รับการส่งทอดไปสู่ยุโรปในราว 1,500 – 1,400 ปีก่อนคริสตศักราช มีดาบ หัวหอก เครื่องประดับภาชนะต่าง ๆ และเครื่องตกแต่งใช้ในงานศพ ที่ได้ทำขึ้นในสเปญ สวิสเซอร์แลนด์ เยอรมันนี ออสเตรีย นอร์เวย์ เดนมาร์ค สวีเดน อังกฤษ และฝรั่งเศส

เทคนิคการหล่อบรอนซ์ในอินเดียและจีนได้รับการส่งทอดมาสู่ญี่ปุ่นและเอเชียอาคเนย์ ในญี่ปุ่นมีพระพุทธรูปงาม ๆ ที่ได้สร้างขึ้นในระหว่างคริสตศักราช 600 – 800

การนำเหล็กมาใช้นั้นก็เริ่มด้วยการตีเช่นเดียวกับทองแดง ชาวอัสสิเรียนและชาวอียิปต์ใช้เครื่องมือทำด้วยเหล็กในราว 2,800 – 2,700 ปีก่อนคริสตศักราช ต่อมาในราว 800 – 700 ปีก่อนคริสตศักราชในประเทศจีนได้มีการค้นพบการทำเหล็กหล่อจากเหล็กปิก (pig iron) อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำและมีฟอสฟอรัสอยู่มาก โดยใช้เตาหล่อแบบแบน (plane bed)

เทคนิคการหล่อดังกล่าวได้ไปถึงประเทศแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ในกรีซราว 600 ปีก่อนคริสตศักราช ได้มีอนุสาวรีย์ขนาดใหญ่ของเอปามินอนดาส และเฮอร์คิวลิส ตลอดจนอาวุธและเครื่องมือต่าง ๆ ที่เป็นชิ้นงานหล่อ

ในอินเดียในสมัยในสมัยดังกล่าวนี้ได้มีการหล่อเหล็กปิกและส่งไปขายที่อียิปต์และยุโรปแต่ไม่ได้มีการผลิตเหล็กหล่อต่อจากเหล็กปิกกันจริง ๆ จัง ๆ จนกระทั่งในคริศตศวรรษที่ 14 ในเยอรมันนี และอิตาลีได้มีการเปลี่ยนจากเตาหลอมแบบแบนไปใช้เตาบลาสต์ (blast furnace) ทรงกระบอกในการหลอมก็ใส่แร่ (ores) สลับกับถ่านไม้ ได้มีผลงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น ปืนใหญ่ ลูกปืนใหญ่ เตาอบ ท่อ ฯลฯ เป็นต้น

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 1-2
	ชื่อหน่วย ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

วิธีการหล่อในสมัยนั้นใช้การเทโลหะเหลวที่ได้จากแร่ลงไปในแบบเลย ไม่มีการทำเหล็กปิกก่อนแล้วจึงหลอมเหล็กปิกใหม่ และเทลงแบบดังที่ทำกันปัจจุบัน

ถ่านโคกนั้นได้ค้นพบในอังกฤษในคริศตศวรรษที่ 18 และได้มีการหลอมเหล็กปิกใหม่ในเตาเล็ก ๆ เพื่อทำชิ้นงานหล่อเป็นครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส สำหรับเตาหล่อนั้นเตาที่คล้ายคิวโบลา (Cupola) ในปัจจุบันได้มีผู้สร้างขึ้นเป็นครั้งแรกในอังกฤษ และการหลอมเหล็กปิกในทำนองคล้ายกับที่ทำอยู่ในปัจจุบันก็เริ่มขึ้นหลังจากนั้น

ถึงแม้ว่าจะมีการตีเหล็กเหนียว (steel) ตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ แต่เหล็กเหนียวหล่อ (cast steel) นั้นได้รู้จักทำกันเมื่อ H. Bessemer หรือ W. Siemens ได้พบวิธีทำเหล็กเหนียวจากเหล็กปิกในครึ่งหลังของคริศตศวรรษที่ 19

1.1.2 แบบหล่อ

กล่าวกันว่าในระยะแรกเมื่อเริ่มมีการหล่อทองแดงที่เมโสโปเตเมียนั้นได้ใช้วิธีเทน้ำลงไปบนทราย หลังจากนั้นก็ได้ใช้วิธีเทนำโลหะลงในโพรงซึ่งขุดไว้ในหิน หินเป็นหินชนิด sandstone, limestone, หรือ serpentine ซึ่งทำให้ขุดได้ง่าย และบางครั้งก็ใช้ดินเหนียวทำแบบหล่อ

ในระยะแรก ๆ เมื่อจะหล่อวัตถุแบน ๆ เช่นหัวขวานหรือดาบก็ใช้เฉพาะแบบส่วนล่าง (drag mold) โดยไม่มีแบบส่วนบน (cope mold) แต่ต่อมาก็ใช้ก็ใช้ทั้งแบบส่วนล่างและส่วนบน หลังจากนั้นก็ได้สามารถหล่อของที่ข้างในกลวงโดยใช้ไส้หรือคอร์ (core) ซึ่งทำด้วยดินเหนียวและผงถ่านไม้

นอกเหนือจากการทำแบบหล่อในหินและการทำแบบหล่อจากดินดังที่กล่าวมาแล้ว ยังได้มีการใช้แบบไม้ (wooden pattern) และแบบขี้ผึ้ง (wax pattern) สำหรับแบบขี้ผึ้งนั้นจะใช้ทรายผสมดินเหนียวพอกแบบขี้ผึ้ง แล้วให้ความร้อนจนขี้ผึ้งละลาย และเทขี้ผึ้งออก ทำให้เกิดโพรงขึ้นภายใน วิธีการดังนี้เป็นพื้นฐานสำหรับการหล่อโดยใช้แบบทราย (sand casting) และการหล่อวิธีขี้ผึ้งหาย (lose wax casting) ในปัจจุบัน กล่าวกันว่าวิธีการดังกล่าวใช้กันมายาวนานแล้วในราว 2,000 ปีก่อนคริสตศักราช หรือก่อนนั้น อย่างไรก็ตามเทคนิคการทำแบบหล่อทรายโดยใช้แบบไม้ดังที่ใช้กันในปัจจุบัน และเทคนิคการหลอมเหล็กก็เพิ่งจะมาสมบูรณ์แบบหลังจากคริศตศตวรรษที่ 18 ในยุโรป

1.2 การทำชิ้นงานหล่อ

ในการทำชิ้นงานหล่อจะต้องมีกระบวนการหลอมโลหะ การทำแบบการเท การรื้อแบบ และการทำความสะอาด ใช้เตาชนิดต่าง ๆ กันในการหลอมโลหะ กล่าวโดยทั่วไปคิวโปลาและเตาที่ใช้การเหนี่ยวนำไฟฟ้า

ความถี่ต่ำ (low frequency induction furnace) ใช้สำหรับเหล็กหล่อ (cast iron) เตาอาร์คไฟฟ้า (electric – are furnace) และเตาที่ใช้การเหนี่ยวนำไฟฟ้าความถี่สูงใช้สำหรับเหล็กเหนียวหล่อ และเตาครูซิเบิล (crucible furnace) ใช้สำหรับทองแดงผสมหรือโลหะเบาผสม ที่เป็นดังนี้เพราะเตาแต่ละชนิดเหมาะที่จะใช้หลอมโลหะแต่ละอย่างได้อย่างดีและประหยัด

แบบหล่อนั้นมักทำโดยการกระทุ้งอัดทราย ทรายนี้อาจอาจเป็นทรายหล่อธรรมชาติ หรือทรายผสมดินเหนียว แบบทรายทำงายและราคาถูกถ้าใช้ทรายที่เหมาะสม บางครั้งก็ใช้วัสดุประสาน (binders) ผสมกับทราย เช่นใช้น้ำแก้ว (water – glass) ซีเมนต์ furan resin, phenolic resin หรือน้ำมันที่ใช้ในการทำให้ทรายแห้ง (drying oil) วัสดุประเภทนี้จะทำให้แบบหล่อแข็งแรงขึ้น และมักทำให้การทำแบบง่ายขึ้นด้วย แต่การใช้

วัสดุเช่นนั้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น ดังนั้นจะต้องเลือกใช้โดยพิจารณาถึงรูปร่างวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานหล่อตลอดจนจำนวนที่ต้องการผลิต

นอกจากแบบหล่อทราย บางครั้งก็ใช้แบบหล่อทำด้วยโลหะ สำหรับการเทน้ำโลหะลงแบบนั้น น้ำโลหะจะวิ่งเข้าแบบโดยผ่านระบบรูเข้า (gate) ของแบบ ระบบรูเข้าจะต้องอยู่ในลักษณะที่ทำให้น้ำโลหะวิ่งข้าแบบได้สะดวกตามปกติจะอาศัยความดึงดูดของโลกดึงโลหะเข้าแบบ แต่บางครั้งก็ใช้ความดันอัดน้ำโลหะในระหว่างหรือหลังจากการเท

การหล่อแบบแม่พิมพ์ (die casting) เป็นวิธีการหล่อที่ใช้ความดันสูงอัดน้ำโลหะเข้าสู่แบบซึ่งทำด้วยโลหะอาจจะหล่อสิ่งของบาง ๆ ได้โดยใช้วิธีนี้

การหล่อโดยใช้ความดันต่ำ (low pressure casting) หมายถึงการใช้ความดันสูงกว่าบรรยากาศเล็กน้อยกระทำกับน้ำโลหะในเตา เพื่ออัดให้โลหะเหลววิ่งเข้าสู่แบบโดยผ่านท่อ

การหล่อโดยใช้แรงเหวี่ยง (centrifugal casting) เป็นวิธีการหล่อที่ใช้การหมุนแบบหล่อแล้วเทน้ำโลหะลงในแบบ ดังนั้นน้ำโลหะจะถูกอันด้วยแรงเหวี่ยงจงกระทั่งแข็งตัว การหล่อท่อก็ใช้วิธีนี้

หลังจากการเทจะต้องแกะชิ้นงานออกจากแบบและทำความสะอาด ส่วนที่ยื่นออกมาตรงระบบรูเข้าหรือครีบที่เกิดตรงที่แบบต่อกันจะต้องเอาออกและชิ้นงานจะได้รับการตกแต่งและทำความสะอาดเพื่อให้ดูสวยงาม ทั้งนี้โดยการพ่นเม็ดโลหะเข้ากระแทกผิว (shot blasting) หรือกระบวนการอื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน

หลังจากนั้นก็ตรวจสอบดูด้วยสายตาว่ารูปร่างลักษณะเป็นอย่างไร มีจุดเสียตรงไหนหรือไม่ และตรวจดูมิติ (dimension) ของชิ้นงานด้วย นอกจากนั้นยังมีการตรวจด้านโลหะวิทยาเพื่อหาจุดเสียภายใน เช่นโดยวิธีคลื่นเหนือเสียง (supersonic testing) หรือวิธีรังสี (radiographic inspection)ในบางกรณียังมีการตรวจสอบความแข็ง โครงสร้าง และส่วนผสม โดยตรวจชิ้นทดสอบซึ่งได้แบ่งมาจากโลหะหลอมที่ใช้เทชิ้นส่วนนั้น ๆ

ที่กล่าวคือวิธีการทำชิ้นงานหล่อ บางชิ้นก็ทำยาก บางชิ้นก็ทำง่ายขึ้นกับรูปร่าง ขนาด และความเที่ยงตรงที่ต้องการ ชิ้นงานที่มีความหนาต่างกันมาก ๆ ที่บางและกว่าง หรือที่ต้องใช้ไส้แบบยาวและบาง เป็น

ประเภทที่หล่อยาก ประเภทที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง หรือต้องการมุมคมมาก ๆ ก็หล่อได้ยากผู้ที่ทำการหล่อหรือผู้ที่ออกแบบชิ้นงาน จะต้องเข้าใจหลักการหล่อจึงจะได้ชิ้นงานหล่อที่มีคุณภาพดี

1.3 โลหะที่ใช้ในการหล่อ

1.3.1 เหล็กหล่อ

เหล็กหล่อเป็นโลหะผสมที่ประกอบด้วยเหล็ก คาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ แบ่งออกได้เป็น 6 ชนิด คือ เหล็กหล่อเทา เหล็กหล่อขั้นดีพิเศษ (high grade cast iron) เหล็กหล่อเทาผสม,เหล็กหล่อกราไฟต์กลม (spheroidal graphite cast iron) เหล็กหล่อมัลลีเบิล (malleable cast iron) และเหล็กหล่อเย็นเร็ว (chilled cast iron)

โครงสร้างของเหล็กหล่อเทาประกอบด้วยเฟอไรท์ (ferrite) หรือเฟอไลท์ (pearlite) หรือมีคาร์บอนอิสระซึ่งมีรูปร่างเป็นเกล็ดแทรกอยู่ในเนื้อเหล็ก คาร์บอนและซิลิคอนมีผลอย่างมากต่อโครงสร้างของเหล็ก ตลอดจนขนาดและรูปร่างของคาร์บอนที่แยกออกมาอยู่โดยอิสระ (free carbon) จากเฟอไรท์หรือเฟอไลท์ คุณสมบัติของเหล็กหล่อจะขึ้นกับโครงสร้างของเหล็กและขนาดและรูปร่างตลอดจนจำนวนของเกล็ดคาร์บอนความหนาของชิ้นงานและอัตราการเย็นตัวของชิ้นงานก็มีผลต่อโครงสร้างของเหล็กหล่อ เหล็กหล่อเทา

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 1
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 1-2
	ชื่อหน่วย ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

มีความแข็งแรงทางดึง (tensile strength) ประมาณ 10-30 kg/mm2 หรือ 100-300 MPa* แต่เปราะ จะหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 1200oC** มีคุณสมบัติการหล่อ (castability) ดีเยี่ยมและราคาถูก ดังนั้นจึงใช้เหล็กหล่อเทากันมาก

เหล็กหล่อขั้นดีพิเศษจะมีคาร์บอนและซิลิกอนน้อยกว่าเหล็กหล่อเทา เพื่อให้แข็งแรงกว่าเหล็กเทาเกล็ดคาร์บอนมีขนาดเล็กกว่า มีความแข็งแรงทางดึง 30-50 kg/mm2 หรือ 300-500 MPa จะหล่อได้ยากกว่าเหล็กหล่อเทา

เหล็กหล่อเทาผสมประกอบด้วยโลหะต่าง ๆ ที่นำมาผสม มีเกล็ดกราไฟท์ละเอียดมาก และมีโครงสร้างที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม ดังนั้นคุณสมบัติจะดีกว่าเหล็กหล่อเทา เหล็กหล่อเทาผสมนั้นแยกออกเป็น 2 ประเภท คือประเภทที่มีโลหะอื่นมาผสมเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ และประเภทที่มีโลหะอื่นมาผสมเป็นปริมาณมาก โลหะที่นำมาผสมได้แก่โครเมียม นิกเกิล ทองแดง โมลิบดีนัม วาเนเดียม (vanadium) ไทเทเนียม (titanium) ฯลฯ โลหะเหล่านี้จะทำให้เหล็กหล่อทนต่อความร้อน ความสึกหรอ ความกัดกร่อน (corrosion) ได้ดีขึ้น และมีคุณสมบัติการปอกด้วยเครื่องกลโรงงาน (machinability) ดีขึ้นเหล็กหล่อมัลลีเบิลทำจากเหล็กหล่อขาว โดยอบเหล็กหล่อเขาในเตาอบเป็นเวลานาน โครงสร้างซีเมนไทท์ (cementite) ของเหล็กหล่อขาวจะถูกเปลี่ยนเป็นเฟอไรท์หรือเพอไลท์ และคาร์บอนจะแยกตัวออกมามี

เหล็กหล่อมัลลีเบิลอยู่ 3 ชนิดคือ เหล็กหล่อมัลลีเบิลแบลคฮาร์ท (black heart malleable cart iron), เหล็กหล่อมัลลีเบิลไวท์ฮาร์ท (white heart malleable cast iron) และเหล็กหล่อมัลลีเบิลเพอไลท์

(pearlite malleable cast iron) ทั้งนี้แยกตามโครงสร้าง เหล็กหล่อมัลลีเบิลเหนือกว่าเหล็กหล่อเทาในด้านความทนต่อการกระแทก (toughness) และยืดตัวตามแรงได้มากกว่า (elongation) เหล็กหล่อชนิดนี้แพงเพราะต้องผ่านการอบ (anneal) ไม่เหมาะที่จะใช้ทำชิ้นงานหล่อหนา ๆ แต่เหมาะที่จะใช้ทำชิ้นงานที่บางเพราะทนต่อการกระแทกได้ดี

เหล็กหล่อกราไฟท์กลม (spheroidal graphite) นั้นทำขึ้นได้โดยเพิ่มแมกนีเซียม แคลเซียม หรือซีเรียม (cerium) ลงในน้ำโลหะ และกราไฟท์เป็นรูปกลม (spheroids) ก็จะแยกตัวออกมา เหล็กหล่อชนิดนี้เหนือกว่าเหล็กหล่อเทาทั้งในด้านความแข็งแรง ความทนต่อการกระแทก และความต่อการสึกหรอ แยกออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ต้องอบและชนิดที่ไม่ต้องอบ

เหล็กหล่อเย็นเร็ว (chilled cast iron) เป็นเหล็กหล่อที่ผิวเป็นเหล็กหล่อขาว และภายในเป็นโครงสร้างที่มีกราไฟท์แยกตัวออกมา ผิวจึงทนต่อการสึกหรอ และภายในก็ทนต่อการกระแทก มักใช้ทำชิ้นส่วนที่ต้องทนต่อการสึกหรอ

1.3.2 เหล็กเหนียวหล่อ

เหล็กเหนียวหล่อแยกได้เป็นเหล็กเหนียวคาร์บอนและเหล็กเหนียวผสม เหล็กเหนียวคาร์บอนมี 3 ชนิด คือ เหล็กเหนียวคาร์บอนน้อย (C < 0.2%) คาร์บอนปานกลาง (C 0.2-0.5%) คาร์บอนสูง (C > 0.5%) การที่คาร์บอนน้อยทำให้ความแข็งแรงทางตึงต่ำ ดึงยืดได้มาก ทนการกระแทกได้ดี และเชื่อมง่าย โครงสร้างของเหล็กเหนียวหล่อมีลักษณะหยาบและเปราะถ้าไม่ผ่านการกระทำด้วยความร้อน โครงสร้างจะมีลักษณะละเอียดและทนต่อการกระแทกผ่านการอบอ่อนและอบให้เนื้อละเอียดสม่ำเสมอ (annealing and

normalizing) อุณหภูมิหลอมเหลวของเหล็กเหนียวประมาณ 1,500 oC จะหล่อยากกว่าเหล็กหล่อธรรมดา แต่ใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องกลได้ดีเพราะมีความแข็งแรงสูงและราคาต่ำ

เหล็กเหนียวผสมหล่อมีแมงกานีส โครเมียม โมลิบดีนัม นิกเกิลผสมอยู่ อาจมีลักษณะดังกล่าวเพียงอย่างเดียวหรือหลายอย่างที่ผสมอยู่กับเหล็ก โลหะผสมเหล่านี้จะทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษ เช่น ทนต่อการสึกหรอ ทนต่อกรด ทนต่อการกัดกร่อน (corrosion) หรือทนต่อการกระแทก ตัวอย่างเช่นเหล็กเหนียวหล่อไร้สนิม (stainless cast steel) และเหล็กเหนียวหล่อทนความร้อน

1.3.3 ทองแดงผสมหล่อ

ที่เรียกว่าทองแดงผสมหล่อมี บรอนซ์ ทองเหลือง ทองเหลืองแข็งแรงพิเศษ (high tension brass) อลูมิเนียม บรอนซ์ ฯลฯ

บรอนซ์เป็นโลหะผสมที่ประกอบด้วยทองแดงและดีบุก บรอนซ์ที่ใช้กันมักมีดีบุกน้อยกว่า 15% อุณหภูมิหลอมเหลวประมาณ 1,000 oC ซึ่งต่ำกว่าของเหล็กผสม และเหล็กหล่อได้ดีเท่า ๆ กับเหล็กหล่อเทา ทนต่อการกัดกร่อนและการสึกหรอได้ดีจึงใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องกล แต่ราคาเป็น 5-10 เท่าของเหล็กหล่อเทา ดังนั้นจึงใช้ทำเฉพาะชิ้นส่วนที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ

บรอนซ์มี 2 ชนิด คือ ฟอสเฟอร์บรอนซ์ ซึ่งได้ได้รับการเติมฟอสเฟอรัส ทำให้ทนต่อการสึงหรอได้ดีขึ้นและบรอนซ์ตะกั่ว (lead bronze) ซึ่งมีตะกั่วผสมอยู่ ใช้ทำแบริ่ง

ทองเหลืองประกอบด้วยทองแดงและสังกะสี และทองเหลืองแข็งแรงพิเศษประกอบด้วยทองแดง อลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส นิกเกิล ฯลฯ โลหะต่าง ๆ ที่เข้าไปผสมนี้ทำให้มีคุณสมบัติทางกลได้ดีขึ้น

อลูมิเนียมบรอนซ์เป็นโลหะผสมระหว่างทองแดง อลูมิเนียม ฯลฯ ทนการสึกหรอและการกัดกร่อนได้ดี นอกจากนี้ยังมีชิ้นงานหล่อที่ทำด้วยทองแดงบริสุทธิ์

1.3.4 โลหะเบาผสมหล่อ

มีอลูมิเนียมผสมหล่อ และแมกนีเซียมผสมหล่อ ฯลฯ

อลูมิเนียมบริสุทธิ์หล่อยากและมีคุณสมบัติทางกลไม่ดี ดังนั้นจึงใช้โลหะผสมที่ทำให้มีคุณสมบัติดีขึ้น โดยการเติมทองแดง ซิลิกอน แมกนีเซียม แมงกานีส นิกเกิล ฯลฯ อลูมิเนียมผสมหล่อนี้เบา มีความนำความร้อน (thermal conductivity) สูง เหมาะสำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติดังกล่าว อลูมิเนียมผสมชุด Al-S, Cu-Si และ Al-Si-Mg ใช้สำหรับทำชิ้นส่วนเครื่องมือกล ชุด Al-Cu-Ni-Mg และ Al-Si-Cu-Ni-Mg ใช้สำหรับส่วนที่ต้องการทนความร้อน และชุด Al-Mg สำหรับชิ้นส่วนที่ต้องทนต่อการกัดกร่อนแมกนีเซียมผสมเบากว่าโลหะ (ที่ใช้กันเพร่หลาย) อย่างอื่น มีความถ่วงจำเพราะประมาณ 1.8 มักใช้อลูมิเนียม แมงกานีส เบริลเลียม ฯลฯ ผสมกับแมกนีเซียมในการทำโลหะผสม

1.3.5 โลหะผสมอื่น ๆ

สังกะสีผสมซึ่งมีอลูมิเนียมอยู่นิดหน่อยใช้ในการหล่อแบบแม่พิมพ์ (die casting) โมเนลเมทัล (Monel metal) เป็นนิกเกิลผสมชนิดหนึ่งที่มีทองแดงผสมอยู่ เฮลเทลลอย (hastelloy) ก็เป็นนิกเกิลผสม มีโมลิบดีนัม โครเมียม และซิลิกอนผสมอยู่

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 1
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 1-2
	ชื่อหน่วย ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

โลหะประเภทตะกั่วผสมมีโลหะใช้ทำตัวพิมพ์ ซึ่งมีตะกั่วทองแดง และดีบุกเป็นส่วนผสมและยังมีโลหะทำแบริงซึ่งมีตะกั่ว ทองแดงและพลวงเป็นส่วนผสม เป็นต้น

1.4 การใช้ชิ้นงานหล่อ

1.4.1 ปริมาณการผลิตของงานหล่อ

ในปี พ.ศ. 2513 มีการผลิตชิ้นงานทั่วโลกมากกว่า 80 ล้านตัน เหล็กหล่อเทามีปริมาณประมาณ 80% (น้ำหนัก) ของงานหล่อทั้งหมด รองลงมาคือเหล็กเหนียวหล่อ 15% โลหะหล่อนอกกลุ่มเหล็กมีประมาณเพียง 2-3% ประเทศที่ผลิตชิ้นงานหล่อมากมี สหรัฐอเมริกา สหภาพโซเวียต ญี่ปุ่น เยอรมันตะวันตก สหราชอาณาจักร ฝรั่งเศส อิตาลีและอินเดีย สหรัฐอเมริกาและสหภาพโซเวียตมีปริมาณการผลิตมากกว่าประเทศอื่น ๆ

1.4.2 คุณสมบัติที่ต้องการและโลหะหล่อที่ใช้คุณสมบัตินั้น ๆ

ชิ้นงานหล่อนั้นใช้ทำงานต่าง ๆ มากมาย ในการตัดสินเลือกโลหะที่ใช้จะต้องพิจารณาคุณสมบัติ อายุการใช้งาน ราคา ฯลฯ

คุณสมบัติที่ต้องการ	**โลหะหล่อ**	
ความแข็งแรง	เหล็กเหนียวหล่อ เหล็กหล่อคุณภาพดีพิเศษ (high grade cast iron) เหล็กหล่อกราไฟท์กลม เหล็กหล่อมัลลีเบิล	
ทนต่อการกระแทก	เหล็กเหนียว หล่อเหล็กหล่อกราไฟท์กลม เหล็กหล่อมัลลีเบิล	
หล่อได้สะดวก	เหล็กหล่อเทา บรอนซ์หล่อ อลูมิเนียมผสมหล่อ (Al-Si-Cu, Al-Si-Mg)	
เบา	อลูมิเนียมผสมหล่อ แมกนีเซียมผสมหล่อ	
มีความนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี	ทองแดงบริสุทธิ์หล่อ	
ทนต่อการสึกหรอ	Ni-Cr หล่อ เหล็กเหนียวแมงกานีสสูงหล่อ (high manganese cast iron) เหล็กหล่อกราไฟท์กลม เหล็กหล่อคุณภาพดีพิเศษ ทองแดงผสมหล่อ	
ทนต่อการกัดกร่อน (corrosion)	น้ำจืดและน้ำเค็ม	ทองแดงผสมหล่อ
	กรดไนตริก	เหล็กเหนียวหล่อไร้สนิม เหล็กหล่อมีโครเมียมมาก เหล็กหล่อมีซิลิกอนมาก
	กรดไฮโดรลิค	เฮสเทลลอย ทองแดงผสมหล่อ
	กรดกำมะถัน	เหล็กหล่อมีซิลิกอนมาก ทองแดงผสมหล่อ (ยกเว้นทองเหลือง) เหล็กเหนียวหล่อชนิดทนกรด เหล็กหล่อ Ni-resist
	Oxidation และ อุณหภูมิสูง	เหล็กหล่อโครเมียมมาก เหล็กเหนียวหล่อมี Cr-Ni มาก เหล็กหล่อเหนียวไร้สนิม
	ด่าง (alkali)	เหล็กเหนียวหล่อคาร์บอนน้อย ทองแดงผสมหล่อ เหล็กเหนียวหล่อไร้สนิม

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 1
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 1-2
	ชื่อหน่วย ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

ทนความร้อน	1,000-1,200 °C	เหล็กเหนียวหล่อทนความร้อน
	700-800 °C	เหล็กเหนียวหล่อไร้สนิม เหล็กเหนียวหล่ออลูมิเนียม เหล็กหล่อโครเมียมมาก เหล็กหล่อ Ni-Cr
	500-600 °C	เหล็กเหนียวหล่อผสมโลหะอื่นผสมน้อย เหล็กหล่อผสมมีโลหะอื่นผสมน้อย
	400 °C	เหล็กเหนียวคาร์บอน-หล่อ เหล็กเหนียวแมงกานีสสูง-หล่อ
คุณสมบัติที่ต้องการ	**โลหะหล่อ**	
ทนความร้อน	300 °C	เหล็กหล่อคุณภาพพิเศษ เหล็กหล่อกราไฟท์กลม เหล็กหล่อมัลลีเบิล
	250-300 °C	เหล็กหล่อเทา
	200-250 °C	ทองแดงผสมหล่อ
	100-200 °C	อลูมิเนียมผสมหล่อ
ทนต่ออุณหภูมิต่ำ	สูงกว่า -25 °C	เหล็กหล่อเทา
	-46 °C	เหล็กเหนียวหล่อคาร์บอนน้อย
	-73 °C	เหล็กเหนียวหล่อ 2.5 %
	-100 °C	เหล็กเหนียวหล่อ 3.5 %
	-196 °C	เหล็กเหนียวหล่อ 18 Cr-8 Ni บรอนซ์หล่อ

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 1
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 1-2
	ชื่อหน่วย ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

ชนิดของโลหะหล่อ	ตัวอย่างการใช้งาน
เหล็กหล่อเทา (รวมทั้งเหล็กหล่อชั้นดี)	ชิ้นส่วนรถยนต์ (เสื้อสูบ ฝาสูบ อ่างข้อเหวี่ยง ปลอกเสื้อสูบ จานถ่วง ฯลฯ) เครื่องกลโรงงาน (แท่นเครื่อง โต๊ะรองเครื่อง คันโยก) เครื่องกลน้ำ (สูบน้ำ กังหันน้ำ เปลือกสูบหรือกังหัน ใบพัดกังหัน) เครื่องทำใยผ้า เครื่องพิมพ์ เครื่องไฟฟ้า (โครงมอเตอร์ เปลือกมอเตอร์) ท่อน้ำเหล็กหล่อ ชิ้นส่วนเครื่องกล (เฟือง ข้อต่อส่งกำลัง ลูกรอก)
เหล็กหล่อมัลลีเบิล (malleable cast iron)	ชิ้นส่วนรถยนต์ (ลูกรอก เพลาข้อเหวี่ยง ปลอกเสื้อสูบ แขนดันวาลว์ ดุมล้อ) ชิ้นส่วนเครื่องกล (ข้อต่อท่อ วาลว์)
เหล็กหล่อกราไฟท์กลม (spheroidal graphite cast iron)	ชิ้นส่วนรถยนต์ (เพลาข้อเหวี่ยง ฯลฯ) อุปกรณ์ทำเหล็กเหนียว (ลูกกลิ้งรีดเหล็ก แบบหล่ออินกอท) ท่อน้ำเหล็กหล่อ และชิ้นส่วนเครื่องกลที่ต้องการความทนทานต่อการกระแทกสูงกว่าเหล็กหล่อเทา
เหล็กเหนียวคาร์บอนหล่อ และเหล็กเหนียวผสมหล่อ	ชิ้นส่วนเครื่องกลที่ต้องการความทนทาน ชิ้นส่วนรถไฟ (โครงข้อต่อระหว่างรถ) ชิ้นส่วนรถตักและขนดิน เครื่องกลน้ำ (ใบพัดเครื่องกังหันน้ำ เปลือกสูบน้ำ) อุปกรณ์ทำเหล็กเหนียว (ลูกกลิ้งรีดเหล็ก แท่นรับลูกกลิ้ง) เรือ (โครงส่วนท้าย เปลือกเครื่องกังหัน คันโยก) เครื่องกลแร่ (เครื่องโม่แร่ เครื่องขุดแร่)
ทองแดงผสมหล่อ	ชิ้นส่วนเครื่องกล (รองลื่น ก้านวาลว์ ปลอกเพลา) เครื่องกลน้ำ (สูบน้ำ ส่วนประกอบสูบน้ำ) เรือ (ใบพัด สูบน้ำ ฯลฯ)
โลหะผสมเบาหล่อ (light alloy casting)	ชิ้นส่วนรถยนต์ (เปลือกชุดเฟืองทดกำลัง เสื้อสูบ ฝาสูบ ท่อไอดี) สูบน้ำ โครงกล้องถ่ายรูป เปลือกมิเตอร์

	แบบทดสอบท้ายบทเรียน	**หน่วยที่** 1
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 1-2
	ชื่อหน่วย ความสำคัญในงานหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. จงอธิบายประวัติการหล่อโลหะ

.....

.....

.....

.....

2. อธิบายการทำชิ้นงานหล่อได้

.....

.....

.....

.....

3. บอกโลหะที่ใช้ในการหล่อได้

.....

.....

.....

.....

4. บอกลักษณะการใช้ชิ้นงานจากการหล่อโลหะได้

.....

.....

.....

.....

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. สาระสำคัญ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงคุณสมบัติของน้ำโลหะ กระบวนการแข็งตัว การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างและสภาพ (phase) โครงสร้างของโลหะหล่อในที่สุด รูปร่างและมิติ (dimensions) ของชิ้นงานหล่อ ผู้อ่านควรย้อนกลับมาอ่านบทนี้อีกครั้งหนึ่งหลังจากที่ได้อ่านบทอื่นๆ แล้ว

2. หัวข้อการเรียนรู้

2. หลักวิชาการหล่อโลหะ
   - 2.1 คุณสมบัติของน้ำโลหะ
   - 2.2 การแข็งตัวของโลหะ
   - 2.3 แผนภูมิสมดุลของโลหะผสม
   - 2.4 โครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อ
   - 2.5 รูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อ

3. สมรรถนะอาชีพประจำหน่วย

เข้าใจเกี่ยวกับหลักวิชาการหล่อโลหะ บอกคุณสมบัติของน้ำโลหะได้ อธิบายการแข็งตัวของโลหะได้ อธิบายแผนภูมิสมดุลของโลหะผสมได้ บอกโครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อได้ และบอกรูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อได้

4. จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เข้าใจเกี่ยวกับหลักวิชาการหล่อโลหะ

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.1 บอกคุณสมบัติของน้ำโลหะได้
2.2 อธิบายการแข็งตัวของโลหะได้
2.3 อธิบายแผนภูมิสมดุลของโลหะผสมได้
2.4 บอกโครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อได้
2.5 บอกรูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อได้

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

บทที่ 2
หลักวิชาการหล่อโลหะ

2.1 คุณสมบัติของน้ำโลหะ

2.1.1 ความแตกต่างระหว่างโลหะและน้ำ

น้ำโลหะเป็นของเหลวเช่นเดียวกับน้ำ แต่แตกต่างจากน้ำในประเด็นต่างๆ ดังนี้

ประการแรก ความเหลว (fluidity) ของโลหะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นอย่างมาก น้ำโลหะจะเป็นของเหลวเต็มที่ที่อุณหภูมิสูง แต่จะไกลจากการเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เกิดมีจุดเริ่มต้น การตกผลึก (crystal nuclei)

ประการที่สอง น้ำโลหะมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1.0gm/cm3 แต่ของเหล็กหล่อเท่ากับ 6.8~7.0 ของอลูมินัมผสมเท่ากับ 2.2~2.3 และของดีบุกผสมเท่ากับ 6.6~6.8 ดังนั้นลักษณะการไหลของน้ำและของโลหะจะต่างกันมาก การไหลของโลหะจะมีความเฉื่อย (inertia) มากกว่าและทำให้เกิดแรงกระแทกสูงกว่า

ประการที่สาม น้ำทำให้ผิวของภาชนะเปียก แต่น้ำโลหะไม่ทำให้เปียก ดังนั้นเมื่อน้ำโลหะไหลผ่านผิวแบบทราย มันจะไม่ซึมเข้าไปในทรายถ้าระยะระหว่างเม็ดทรายน้อยพอ ความแตกต่างดังกล่าวทำให้การไหลของน้ำโลหะในแบบหล่อต่างจากการไหลของน้ำ

2.1.2 ความหนืด (viscosity) ของน้ำโลหะ

การไหลของน้ำโลหะขึ้นกับความหยาบของผิวแบบหรือขึ้นกับวัสดุที่ใช้ทำผิวแบบ และขึ้นกับความหนืดของน้ำโลหะมากกว่าอย่างอื่น ความหนืดขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงความหนืดจะต่ำ และเมื่ออุณหภูมิต่ำความหนืดจะสูง เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนค่าสูงสุดของความหนืดเป็น 2~3 เท่าของค่าต่ำสุดของความหนืด ถ้าน้ำโลหะเย็นพอจะเกิดมีจุดเริ่มต้นการตกผลึก (crystal nuclei) และความหนืดจะเพิ่มขึ้นได้มาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนของจุดเริ่มต้น (nuclei) ในช่วงที่จุดเริ่มต้นตกผลึกยังต่ำกว่า 20% โดยปริมาตร ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาตรของจุดเริ่มต้น แต่เมื่อจุดเริ่มต้นมีเกิน 30% ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก เช่น มากเป็น 10 เท่าของความหนืดเดิม ความหนืดสูงจะทำให้โลหะเสียความสามารถในการไหล (flow-ability)

ความหนืดขึ้นกับชนิดของโลหะ ที่หลอมเหลวโดยสมบูรณ์ เทียบกับความหนืดของน้ำ เช่น อลูมินัมและดีบุกและโลหะบางชนิดมีความหนืดสูง เช่นทองแดงและเหล็ก แต่สำหรับสัมประสิทธิ์ของความหนืดคิเนมาติค (kinematic viscosity) ซึ่งเท่ากับความหนืดหารด้วยความหนาแน่นนั้น ของน้ำจะสูงกว่าโลหะทุกชนิด

2.1.3 การไหลของน้ำโลหะ

สมมุติว่าของเหลวในภาชนะไหลออกจากรูข้างภาชนะ ให้ h เป็นความสูงของผิวของเหลวนับจากระดับของจุดศูนย์กลางของรู ความเร็วของการไหลจะแทนได้ด้วยสมการข้างล่าง

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

$$P = \frac{y}{g}.Q.v$$

โดยที่ g คือความเร่งที่เกิดจากความถ่วง (gravity) และ C คือสัมประสิทธิ์ของความเร็ว

ในกรณีที่ทางออกเป็นท่อแทนที่จะเป็นรู จะมีแรงต้านการไหลซึ่งเกิดจากแรงความฝืดที่ผิวในของท่อ ดังนั้นท่อที่ยาวและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กจะทำให้ความเร็วองการไหลจากภาชนะลดลง ถ้าท่อโค้งความเร็วในการไหลจะลดลง เพราะพลังงานของของเหลวจะเสียไป เนื่องจากการเปลี่ยนในทิศทางการไหล ค่า C ในสูตรข้างบนจะลดลง การเปลี่ยนแปลงในค่า C นี้ไม่ขึ้นกับชนิดของโลหะ ถ้าโลหะอยู่ในสภาพหลอมเหลวโดยสมบูรณ์ ดังนั้นไม่จำเป็นต้องนึกถึงน้ำหนักจำเพาะ (หรือความหนาแน่น) และไม่ต้องคิดว่าเป็นโลหะชนิดใด เราอาจใช้สูตรเดียวกับสูตรที่ใช้กับน้ำได้

ถ้าของเหลวที่ออกจากภาชนะนั้นวิ่งเข้าชนกำแพงซึ่งตั้งฉากกับทิศทางของความเร็ว v ให้ Q แทนอัตราการไหล y แทนน้ำหนักจำเพาะของของเหลว และ g แทนอัตราความเร่งเนื่องจากความถ่วง จะได้ P ซึ่งเป็นแรงที่กำแพงได้รับ ดังนี้

จะเห็นว่าแรง P ของโลหะจะสูงกว่าน้ำ เพราะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่น ในการทำการไหลตรงๆ ให้โค้งนั้นต้องใช้แรงซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักจำเพาะ ดังนั้นเมื่อจะคิดเรื่องแรงที่เกิดจากการที่น้ำโลหะวิ่งเข้าชนกำแพงของแบบ จะต้องคิดถึงน้ำหนักจำเพาะ (ความหนาแน่น) ของโลหะด้วย

เมื่อน้ำโลหะวิ่งผ่านช่องว่างภายในแบบนั้น ไม่จำเป็นว่าโลหะจะต้องเป็นของเหลวทั้งหมด ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวมากๆ จะไม่มีโลหะที่แข็งตัวติดอยู่กับผิวของแบบ แต่ถ้าอุณหภูมิใกล้จุดหลอมเหลวหรือถ้าแบบรับความร้อนจากน้ำโลหะได้ดี ส่วนที่ติดกับผิวของแบบจะแข็งตัว และช่องที่โลหะไหลผ่านก็จะแคบลง นอกจากนั้นน้ำโลหะที่ไหลผ่านจะพาผลึกที่เกิดจากการแข็งตัวต่อไปด้วย ทำให้ความสามารถในการไหลลดลง และเมื่อช่องสำหรับที่น้ำโลหะจะไหลผ่านก็แคบลงด้วย บางครั้งน้ำโลหะจะถึงกับต้องหยุดไหล

2.1.4 ความตึงผิว (surface tension) ของน้ำโลหะ

เมื่อผิวของเหลวอยู่ตามลำพัง จะเกิดปรากฏการณ์ซึ่งมีลักษณะเสมือนกับมีเยื่อบางๆ มาหุ้มของเหลวนั้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าความตึงผิว ความตึงผิวของน้ำโลหะมีค่าสูงกว่าความตึงผิวของน้ำ นอกจากนั้นน้ำจะเกาะติดกำแพงโดยง่าย แต่โลหะจะไม่เกาะติดกำแพงและจะกลายเป็นเม็ดกลมๆ (เช่นเม็ดปรอท) ดังนั้นเมื่อน้ำโลหะสัมผัสแบบทรายจะมีแรงต้านทานไม่ให้น้ำโลหะซึมผ่าน ผิดกับน้ำ

2.2 การแข็งตัวของโลหะ

2.2.1 การแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์

เมื่อน้ำโลหะบริสุทธิ์ค่อยๆ เย็นลง จะเกิดการแข็งตัวขึ้นที่อุณหภูมิหนึ่งและการแข็งตัวจะเสร็จสิ้นลงที่อุณหภูมินั้น เราเรียกอุณหภูมินี้ว่าจุดแข็งตัว ซึ่งจะต่างกันสำหรับโลหะต่างๆ

ทองแดงแข็งตัวที่ 1,083 oC เงินที่ 961 oC อลูมินัมที่ 660 oC และดีบุกที่ 232 oC เป็นต้น

กระบวนการแข็งตัวของโลหะ มีดังนี้

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

ในอันดับแรกจะเกิดมีจุดเริ่มต้นการตกผลึก แล้วผลึกก็จะโตขึ้นจากจุดเริ่มต้น ในขณะเดียวกันจุดเริ่มต้นใหม่ๆ ก็จะเกิดขึ้น ในที่สุดน้ำโลหะทั้งหมดก็จะกลายเป็นเม็ดผลึก (grains) และจะมีขอบขั้นระหว่างเม็ดผลึก เรียกว่าขอบเม็ดผลึก (grain boundaries)

ขนาดของเม็ดผลึกขึ้นอยู่กับอัตราการเพิ่มของจุดเริ่มต้น และอัตราการโตขึ้นของผลึก ถ้าอัตราการโตชนะอัตราการเพิ่มก็จะเกิดเม็ดผลึกขนาดใหญ่ และถ้าอัตราการเพิ่มชนะอัตราการโตก็จะเกิดเม็ดผลึกขนาดเล็ก

2.2.2 การแข็งตัวของโลหะผสม

เมื่อโลหะผสมที่ประกอบด้วยธาตุมากกว่าหนึ่งชนิดเย็นลงจากสภาพของเหลวเม็ดผลึกที่เกิดขึ้นจะต่างจากเม็ดผลึกของโลหะบริสุทธิ์ ถ้าโลหะผสมที่ประกอบด้วยธาตุ A และธาตุ B แข็งตัว เม็ดผลึกที่เกิดขึ้นจะไม่ใช่เม็ดผลึก A ถูกกลืนเข้าไปใน B หรือ B ถูกกลืนเข้าไปใน A และในกรณีที่มีทั้ง A และ B อยู่ค่อนข้างมาก สองกรณีแรกคือสารละลายของแข็ง (solid solution) และกรณีหลังคือสารประกอบระหว่างโลหะ (intermetallic compound)

สารละลายของแข็งคือโลหะในสภาพที่อะตอมของ B เข้าไปแทนบางอะตอมของ A หรือที่อะตอมของ B เข้าไปแทรกอยู่ในโครงสร้างของ A สารละลายของแข็งจึงหมายถึงสิ่งที่มีการผสมกันในระดับอะตอมไม่ใช่เป็นการผสมกันทางกล สารประกอบระหว่างโลหะประกอบด้วยอะตอมของ A และของ B แต่ระบบของอะตอมในผลึกจะต่างจากทั้งระบบของ A และของ B นอกจากสารละลายและสารประกอบระหว่างโลหะแล้วยังมีกรณีที่นานๆ จะพบสักครั้ง คือกรณีที่ A หรือ B หรือทั้ง A และ B ปรากฏเป็นก้อนผลึกในสภาพบริสุทธิ์

โครงสร้างของโลหะผสมแยกออกเป็น 3 ประเภท คือ สารละลายของแข็ง สารประกอบระหว่างโลหะ และโลหะบริสุทธิ์ ถ้าเพิ่มจำนวนธาตุที่ผสมอยู่ในโลหะผสมก็จะมีผลึกมากชนิดขึ้น และโครงสร้างก็จะซับซ้อน

ในวิชาโลหะวิทยาแต่ละส่วนที่มีโครงสร้างเหมือนกันเรียกว่าสภาพ (phase) ดังนั้นโลหะผสมจะประกอบด้วยสภาพซึ่งเป็นประเภทสารละลายของแข็ง สารประกอบระหว่างโลหะและโลหะบริสุทธิ์ สำหรับเหล็กหล่อของผสมที่สำคัญคือเหล็ก คาร์บอนและซิลิกอน และมีสภาพต่างๆ ดังนี้ สารละลายของแข็งซึ่งประกอบด้วยเหล็กเป็นส่วนใหญ่ (ในกรณีนี้ซิลิกอนทั้งหมดและคาร์บอนบางส่วนถูกกลืนอยู่ในเหล็ก) สารประกอบ Fe3C เรียกว่าซีเมนไทท์ (cementite) และกาไฟท์บริสุทธิ์

2.2.3 การแข็งตัวของชิ้นงานหล่อ

การแข็งตัวของชิ้นงานหล่อเริ่มจากส่วนของน้ำโลหะที่สัมผัสแบบหล่อเมื่อความร้อนจากน้ำโลหะถูกแบบหล่อดึงไป และโลหะตรงส่วนนั้นๆ เย็นลงจนถึงจุดแข็งตัว และจุดเริ่มต้นการตกผลึก (crystal nuclei) โตขึ้น ภายในของชิ้นงานหล่อก็จะเย็นลงด้วย แต่เย็นช้ากว่าภายนอก ผลึกจะขยายจากจุดเริ่มต้นซึ่งอยู่ริมนอกเข้าสู่ภายใน ทำให้ผลึกมีลักษณะเรียวยาว (columnar) เรียกว่าโครงสร้างเสาเข็ม (columnar structure) จะเกิดโครงสร้างประเภทนี้อย่างชัดเจนถ้ามีความแตกต่างในอุณหภูมิมากจากผิวถึงภายใน เช่นการ

หล่อที่ใช้แบบหล่อโลหะ การใช้แบบหล่อทรายจะทำให้มีความแตกต่างในอุณหภูมิน้อย ดังนั้นจะไม่เกิดโครงสร้างเสาเข็มประเภทที่เห็นได้ชัด

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

บริเวณตรงกลางของชิ้นงานหล่อจะมีการเปลี่ยนแปลงในอุณหภูมิน้อย และจะเกิดเป็นผลึกรูปหลายเหลี่ยมที่ไม่แสดงการโน้มเอียงไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง

ในระหว่างที่น้ำโลหะกำลังเย็นตัว และบางส่วนของโลหะแข็งตัวไปแล้วถ้าเทโลหะที่ยังไม่แข็งตัวออกจะเห็นว่าผิวหน้าของส่วนที่แข็งแล้วมีลักษณะแยกออกได้เป็นสองแบบคือ แบบเรียบและแบบขรุขระ ถ้าเป็นโลหะที่มีช่วงอุณหภูมิระหว่างของแข็งตัวแคบ (หมายถึงช่วงอุณหภูมิระหว่างจุดเริ่มและจุดสิ้นสุดการแข็งตัว) ผิวหน้าจะเรียบและถ้าช่วงอุณหภูมิดังกล่าวกว้าง ผิวหน้าจะขรุขระ

นอกจากนั้นแบบหล่อที่เป็นโลหะจะทำให้เกิดผิวหน้าที่เรียบและแบบหล่อทรายทำให้เกิดผิวหน้าที่ขรุขระ ในกรณีที่ช่วงอุณหภูมิการแข็งตัวกว้าง จะเกิดมีผลึกที่มีลักษณะเป็นกิ่งไม้ (dendritic crystals) เติบโตขึ้นจากจุดเริ่มต้น และในที่สุดการแข็งตัวจะสิ้นสุดลงเมื่อบรรดาโครงสร้างรูปกิ่งไม้มาบรรจบกัน

การที่พบว่าผิวหน้าที่เหลือขรุขระหลังจากที่เทน้ำโลหะที่ยังไม่ทันแข็งตัวออกนั้นก็เพราะว่าน้ำโลหะที่อยู่ระหว่างโครงสร้างรูปกิ่งไม้ไหลออกมา ทำให้เห็นโครงสร้างรูปใบไม้ที่แข็งตัวแล้ว ผิวหน้าจึงดูขรุขระ บรอนซ์และเหล็กหล่อมีช่วงอุณหภูมิการแข็งตัวกว้าง ดังนั้น ผิวหน้าที่เห็นหลังจากเทน้ำโลหะออกจึงขรุขระ อลูมินัมบริสุทธิ์แข็งตัวที่ อุณหภูมิคงที่ แต่ความร้อนแฝงที่ได้รับการปล่อยออกในระหว่างการแข็งตัว มีมากจนทำให้ผิวหน้าขรุขระ ทั้งนี้สำหรับการหล่อที่ใช้แบบทราย ส่วนเหล็กเหนียวหล่อนั้นมีคาร์บอนเป็นปริมาณค่อนข้างต่ำ (0.5~2.0%) มีช่วงอุณหภูมิการแข็งตัวแคบ ดังนั้นผิวหน้าที่เหลือจากการเทจะเรียบ

การแข็งตัวของชิ้นงานโลหะค่อยๆ เริ่มจากผิวนอกไปจนถึงตรงกลาง เวลาทั้งหมดในระหว่างการแข็งตัวจากผิวนอกถึงตรงกลางเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ V/S อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของชิ้นงาน V และพื้นที่ผิวนอก S ซึ่งเป็นส่วนของชิ้นงานที่ส่งความร้อนให้สิ่งแวดล้อม

เพราะฉะนั้นไม่ว่ารูปร่างของชิ้นงานจะเป็นอย่างไร เช่นเป็นสี่เหลี่ยมสามเหลี่ยม หรือทรงกระบอก เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวจะเท่ากันถ้าค่า V/S เท่ากัน

ชิ้นส่วนที่มีรูปร่างเป็นกากะบาด มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ แต่มีพื้นที่ให้ความร้อนออกน้อย ยิ่งไปกว่านั้นแบบหล่อของชิ้นส่วนรูปร่างเช่นนี้จะร้อน ทำให้อัตราการดึงความร้อนจากงานหล่อต่ำ ดังนั้นเวลาทั้งหมดในระหว่างการแข็งตัวจึงมาก

อัตราการเติบโตของชั้นที่แข็งตัว (solidified layer) ของโลหะจะสูงสำหรับส่วนที่อยู่ติดผิวนอกและจะต่ำสำหรับส่วนที่อยู่ภายใน แต่ถ้าใช้ไส้แบบจะไม่เป็นดังที่ว่านี้ ถ้าใช้ไส้แบบที่เล็กไส้แบบเองจะร้อนจัดและไม่สามารถดึงความร้อนไปจากโลหะ ดังนั้นการแข็งตัวจะเริ่มจากผิวนอกและต่อไปจนถึงไส้แบบ

2.3 แผนภูมิสมดุลย์ของโลหะผสม

2.3.1 คุณลักษณะของแผนภูมิสมดุล

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนก่อนๆ โลหะผสมนั้นอาจประกอบด้วยสารละลายของแข็ง สารประกอบระหว่างโลหะและโลหะบริสุทธิ์ แผนภูมิสมดุลย์จะแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงในสภาพ (phase) ขึ้นกับอุณหภูมิและส่วนผสม (สัดส่วนของโลหะต่างๆ ในโลหะผสม) อย่างไร แผนภูมิเช่นนี้มีประโยชน์ในการศึกษาคุณสมบัติของโลหะผสมเป็นอย่างมาก โลหะผสมที่ประกอบด้วยสองธาตุเรียกว่าโลหะผสม 2 ธาตุ (binary alloy) และถ้าประกอบด้วยสามธาตุเรียกว่าโลหะผสม 3 ธาตุ (ternary alloy)

โลหะผสมแต่ละอันแต่ละประเภทต่างก็มีแผนภูมิสมดุลย์ต่างๆ กันไป เนื่องจากแผนภูมิสมดุลย์เป็นเรื่องซับซ้อนมาก ดังนั้นจะกล่าวถึงเฉพาะโลหะผสม 2 ธาตุเท่านั้น

บรอนซ์ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงและดีบุก และเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียวหล่อนั้น ที่จริงมีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่อีก แต่ธาตุเหล่านี้ไม่สู้จะมีผลต่อคุณสมบัติสำคัญของโลหะผสมดังกล่าวนัก ดังนั้นอาจถือว่าเป็นโลหะผสม 2 ธาตุนี้ได้ แต่ถ้าส่วนผสมใดๆ ของโลหะ ถึงแม้จะเป็นส่วนผสมที่ปริมาณน้อยแต่ถ้ามีอิทธิพลต่อคุณสมบัติเป็นอย่างมากก็จะต้องนำส่วนผสมนั้นๆ มาร่วมในการพิจารณาด้วย ในกรณีดังกล่าวจะต้องถือว่าโลหะผสมนั้นไม่ใช่โลหะผสม 2 ธาตุ แต่เป็นโลหะผสม 3 ธาตุ หรือ 4 ธาตุ (quarternary alloy)

สำหรับแผนภูมิสมดุลย์ของโลหะผสม 2 ธาตุ แกนตั้งคืออุณหภูมิและแกนนอนแสดงอัตราส่วนของโลหะผสม จุด A และจุด B หมายถึงโลหะบริสุทธิ์ A และโลหะบริสุทธิ์ B จุด P ซึ่งอยู่ระหว่าจุด A และจุด B หมายถึงโลหะผสมที่มีโลหะ A อยู่ PB/AB และมีโลหะ B อยู่ AP/AB หลักการคิดเช่นนี้เรียกว่าความสัมพันธ์แบบคาน เพราะอาจคิดว่า AB เป็นคานวางอยู่บนจุดหมุน P ดังนั้นคานนี้จะอยู่ในสมดุลย์ได้ก็ต่อเมื่ออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของ A ที่ห้อยไว้ที่ A และน้ำหนักของ B ที่ห้อยไว้ที่ B จะเท่ากับ PB/AP จุด Q แสดงสภาวะ (state) ของโลหะผสม ซึ่งมีส่วนผสม P ที่อุณหภูมิ T

เส้นแผนภูมิสมดุลย์ แบ่งเนื้อที่ของแผนภูมิสมดุลย์ออกเป็นส่วนต่างๆ แต่ละส่วนอาจมีสภาพเดียวหรือมากกว่าหนึ่งสภาพ

ดังนั้นเมื่อดูแผนภูมิสมดุลย์จะได้รู้ทันทีว่าโลหะผสมที่แต่ละอุณหภูมิประกอบด้วยสภาพอะไรบ้าง ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในสภาพต่างกันมาก แล้วแต่ชนิดของโลหะผสม ดังนั้นโลหะผสมแต่ละชนิดจึงมีแผนภูมิสมดุลย์ของตนเอง

สารละลายของแข็ง a (แอลฟา) คือสารละลายของแข็งที่โลหะบริสุทธิ์ B ถูกกลืนอยู่ในโครงสร้างของโลหะบริสุทธิ์ A และสารละลายของแข็ง b (เบตา) คือสารละลายของแข็งที่โลหะบริสุทธิ์ A ถูกกลืนอยู่ในโครงสร้างของโลหะบริสุทธิ์ B

การเปลี่ยนแปลงแบบเพริเทคติค (peritectic transformation) หมายถึงการเปลี่ยนแปลงที่มีสภาพของแข็งใหม่เกิดขึ้นจากของเหลวและของแข็ง และสารละลายของแข็ง b ในขณะที่โลหะผสมสูญเสียความ

ร้อน (cooling) ส่วนที่แข็งตัวก่อนจะมีสภาพเป็น B หรือ b และส่วนที่แข็งทีหลังจะมีสภาพเป็นของแข็งที่เกิดขึ้นใหม่ โครงสร้างที่เกิดจากการแข็งตัวตามแบบนี้เรียกว่าโครงสร้างเพริเทคติค

2.3.2 ลำดับการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของเหล็กหล่อจากของเหลวจนเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

โครงสร้างของเหล็กหล่อขึ้นกับส่วนผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอน จะได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในสภาพของเหล็กหล่อและศึกษาว่าโครงสร้างอะไรเกิดขึ้นเมื่อไร โดยเลือกพิจารณาเหล็กหล่อที่มีคาร์บอน 3% ตั้งแต่เริ่มแข็งตัวจนกระทั่งเย็นถึงอุณหภูมิห้อง

การแข็งตัวเริ่มต้นที่จุด a และสิ้นสุดลงที่จุด b ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิไม่คงที่ในขณะที่เกิดการแข็งตัว เมื่อการแข็งตัวดำเนินไปถึงจุด m จะเห็นว่ามีผลึกรูปกิ่งไม้ (dendritic crystals) อยู่กับของเหลว สภาพของแข็งในสภาวะนี้คือสารละลายของแข็ง y (แกมมา) ซึ่งมีสภาวะแทนได้ด้วยจุด c สารละลายของแข็งนี้เรียกว่าออสเตไนท์ (austenite) ผลึกลักษณะรูปกิ่งไม้นี้เกิดขึ้นก่อนผลึกชนิดอื่น จึงมีชื่อว่าผลึกไพรมารี่ (primary crystals)

จุด c แสดง % ของคาร์บอนของออสเตไนท์ และจุด f แสดง % ของคาร์บอนของของเหลว เมื่ออุณหภูมิลดลงถึงจุด b จุด e จะแสดง % ของคาร์บอนออสเตไนท์ และจุด c แสดง % ของคาร์บอนของของเหลว เมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่าจุด b ของเหลวที่เหลือจะเริ่มแข็งตัว เม็ดผลึกที่เกิดจากการแข็งตัวของ

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

ของเหลวที่เหลือจะเป็นกราไฟท์ชิ้นเล็กปนกับออสเตไนท์ ผลึกที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้เรียกว่าผลึกยูเทคติค และเม็ดผลึกยูเทคติคที่เกิดขึ้นทีละอันสองอันเรียกว่า eutectic cell เม็ดผลึกยูเทคติคเหล่านี้ใหญ่ขึ้นเป็นลำดับ จนกระทั่งสัมผัสกับเม็ดยูเทคติคที่อยู่ข้างๆ เมื่อเสร็จสิ้นการแข็งตัว ในระหว่างการแข็งตัวอุณหภูมิจะคงที่ (ประมาณ 1,145 oC)

โครงสร้างยูเทคติค (eutectic structure) เกิดจากการที่โลหะผสมในสภาพของเหลว แข็งตัวที่อุณหภูมิเดียวกันทั้งหมด กล่าวโดยทั่วไปสภาพทั้งสองที่เกิดขึ้นจะอยู่สลับกันอย่างละเอียด แต่ว่าสำหรับเหล็กหล่อนั้น กราไฟท์จะยาวขึ้นด้วยในขณะที่เม็ดผลึกยูเทคติคโตขึ้น ทำให้โครงสร้างกิ่งไม้ของออสเตไนท์ (ที่มีอยู่เดิม) เห็นไม่ชัด ดังนั้นในที่สุดโครงสร้างจะกลายเป็นออสเตไนท์โดยมีกราไฟท์กระจายอยู่ทั่วไป

เมื่ออุณหภูมิต่ำลงกว่า 720 oC หลังจากที่โลหะได้กลายเป็นของแข็งทั้งหมด สารละลายของแข็ง y จะแตกออกเป็นสองสภาพ คือ สารละลายของแข็ง a และ Fe3C (iron carbide) ปรากฏการณีนี้เรียกว่าการแปรสภาพแบบยูเทคทอยด์ (eutectoid transformation) และมีชื่อเรียกเฉพาะว่าการแปรสภาพ A สำหรับโลหะผสมเหล็ก-คาร์บอน

สารละลายของแข็ง a ที่เกิดจากการแปรสภาพนี้เรียกว่าเฟอไรท์ (ferrite) และไอเอินคาร์ไบด์ (iron carbide) Fe3C เรียกว่าซีเมนไทท์ (cementite) ทั้งสองอย่างนี้เกิดขึ้นเป็นชั้นสลับกันทำให้มีลักษณะเป็นลาย

โครงสร้างที่เป็นลายรี้เรียกว่าเพอไลท์ (pearlite) ถ้าอัตราการเย็นต่ำมากๆ สารละลายของแข็งจะแปรสภาพเป็นสารละลายของแข็ง a และกราไฟท์

ดังนั้นที่อุณหภูมิห้องโครงสร้างของเหล็กหล่อเทาจะเป็นเพอไลท์ และมีกราไฟท์กระจายอยู่ทั่วไปหรืออาจจะเป็นเฟอไรท์กับกราไฟท์ หรืออาจเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะกลางๆ ระหว่างทั้งสองอย่างแรก

2.4 โครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อ

2.4.1 โครงสร้างของชิ้นงานเหล็กหล่อเทา

(1) โครงสร้างของเหล็กหล่อ

โครงสร้างพื้นฐานของเหล็กหล่อประกอบด้วยกราไฟท์ เฟอไรท์ ซีเมนไทท์และเพอไลท์ เหล็กหล่อชนิดที่ใช้กันมากที่สุดคือเหล็กหล่อเทาซึ่งมีกราไฟท์หรือคาร์บอนอิสระกระจายอยู่ในรูปเกล็ด

ในบางกรณีก็ใช้เหล็กหล่อกราไฟท์กลมซึ่งมีกราไฟท์ที่มีรูปกลม (spheroids) แทนที่จะเป็นรูปเกล็ดหรือใช้เหล็กหล่อขาวซึ่งมีคาร์บอนอยู่ในรูปซีเมนไทท์ทั้งหมด ไม่มีคาร์บอนอิสระ โครงสร้างที่ประกอบด้วยสภาพต่างๆ นี้เรียกว่าเมทริกซ์ (matrix) ทั้งนี้ไม่นับกราไฟท์ว่าเป็นส่วนหนึ่งของเมทริกซ์ และโครงสร้างพื้นฐานของเมทริกซ์ประกอบด้วยเฟอไรท์ ซีเมนไทท์และเพอไลท์ เพอไลท์เป็นโครงสร้างที่มีเฟอไรท์ที่เหนียวและซีเมนไทท์ที่แข็งและเปราะเรียงกันเป็นชั้นๆ ทนต่อการกระแทกได้ดี และทนต่อการสึกหรอได้ดีมาก ดังนั้นจึงเป็นโครงสร้างที่จำเป็นสำหรับเหล็กหล่อชนิดคุณภาพดีพิเศษ เฟอไรท์ชนิดที่เกิดในเหล็กหล่อเป็นซิลิโก-เฟอไรท์ (silico-ferrite) ซึ่งเหนียวแต่ถ้ามีมากนักก็ไม่ดี เพราะจะทำให้คุณสมบัติบางอย่าง เช่นความแข็งแรงในทางดึงตกต่ำลง แต่ในบางกรณีก็อาจต้องการให้มีเฟอไรท์มาก เช่น เมื่อต้องการความเหนียวในเหล็กหล่อมัลลีเบิลหรือเหล็กหล่อกราไฟท์กลม

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

ซีเมนไทท์จะไม่อยู่ในเมทริกซ์แต่ลำพัง แต่จะแยกมาอยู่เป็นสภาพหนึ่งในเมทริกซ์หรืออยู่รวมในโครงสร้างยูเทคติคกับออสเตไนท์ หรืออยู่ร่วมกับไอเอินฟอสไฟด์ (iron phosphide) เป็นสเตไดท์ (steadite) ซีเมนไทท์แข็งมาก และทำให้ความสามารถในการรับการปอกด้วยเครื่องกลโรงงาน (machinability) ลดลง ดังนั้นจึงควรเลี่ยงการเกิดซีเมนไทท์ ยกเว้นเมื่อต้องการให้ทนต่อการสึกหรอ

(2) โครงสร้างของกราไฟท์

กราไฟท์เป็นผลึกที่นุ่มและเปราะของคาร์บอน มีความแข็งบริเนล (Brinel hardness) HB ประมาณ 1 มีความแข็งแรงในทางดึงประมาณ 2kg/mm2 หรือประมาณ 20μPa และความหนาแน่นประมาณ 2.2 kg/cm3 สำหรับโครงสร้างของเหล็กหล่อที่ใช้กันส่วนมาก 85% ของคาร์บอนทั้งหมดจะอยู่ในสภาพ กราไฟท์ โครงสร้างละเอียดของกราไฟท์ยังแยกออกได้ตามรูปร่างและขนาด เช่น เล็กหรือใหญ่ เกล็ดหรือมีแฉกอยู่

โดยรอบ (asteroidal) เป็นก้อนๆ หรือกลม (spheroidal) สภาวะของชิ้นกราไฟท์มีผลเป็นอย่างมากต่อคุณสมบัติทางกลของเหล็กหล่อ ตัวอย่างเช่นเหล็กหล่อเทาซึ่งมีคาร์บอนอยู่ 3.6% และมีซิลิกอนอยู่ 2.1% มีกราไฟท์ในรูปเกล็ดที่มีความแข็งแรงทางดึง 18kg/mm2 หรือประมาณ 180μPa เทียบกับเหล็กหล่อกราไฟท์กลมที่มีปริมาณคาร์บอนและซิลิกอนเท่ากัน แต่มีกราไฟท์เป็นรูปกลม ปรากฏว่าเหล็กหล่อชนิดหลังนี้มีความแข็งแรงทางดึงถึง 55~70kg/mm2 หรือประมาณ 550~700μPa ความแตกต่างนี้เนื่องมาจากรูปร่างของชิ้นกราไฟท์ต่างกัน กราไฟท์ในรูปเกล็ดทำให้เกิดการเพิ่มความเค้น (stress concentration) ที่ตรงปลายแหลมของเกล็ด ถ้ามีแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากกับความยาวของเกล็ด สำหรับกราไฟท์รูปกลมนั้นจะมีการเพิ่มความเค้นน้อยกว่ามาก

(3) รูปร่างของชิ้นกราไฟท์ในเหล็กหล่อเทา

ชนิด A : กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (random orientation) กราไฟท์ชนิดนี้ปรากฏในเหล็กหล่อชนิดคุณภาพดีพิเศษ โครงสร้างส่วนใหญ่คือเพอไลท์ และ กราไฟท์มีขนาดที่เหมาะสม นอกจากนั้นการที่กราไฟท์มีรูปร่างโค้งทำให้เหล็กหล่อเทามีความแข็งแรงสูง กราไฟท์จะโค้งได้ก็เพราะออสเตไนท์ที่มีรูปร่างเป็นกิ่งไม้ (dendritic) ที่ตกผลึกก่อนอุณหภูมิยูเทคติค (pro-eutectic) หรือที่เรียกว่าผลึกไพรมารี่ กราไฟท์จะถูกตัดไปตามแนวของรูปร่างกิ่งไม้ของออสเตไนท์ ดังนั้นถ้าต้องการให้มี กราไฟท์รูปร่างโค้งให้มากก็จะต้องมีการกระทำให้มีผลึกไพรมารี่มากๆ น้ำโลหะที่มี % คาร์บอนสูงจะมีกราไฟท์โค้งอยู่น้อย เพราะมีผลึกไพรมารี่น้อย เพื่อให้มีผลึกไพรมารี่มากๆ จะต้องใส่ (inoculate) สารเคมีที่ทำหน้าที่ลดออกซิเจน (deoxidization) และช่วยให้เกิดกราไฟท์ (graphitization) เข้าไปในน้ำโลหะ

ชนิด B : เป็นกลุ่มๆ แต่ละกลุ่มมีกราไฟท์เรียงกระจายออกตามแนวรัศมีคล้ายดอกกุหลาบ (rosette grouping) การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (random orientation) กราไฟท์ชนิดนี้ประกอบด้วยก้อนยูเทคติค (eutectic cells) ซึ่งมีกราไฟท์ชิ้นเล็กๆ ที่เกิดขึ้นขณะเกิดการแปรสภาพแบบยูเทคติค กราไฟท์เล็กๆ เหล่านี้อยู่ตรงกลาง และกราไฟท์ขนาดใหญ่กว่าอยู่รอบๆ เรียงตามแนวรัศมี กราไฟท์ประเภทนี้มักเกิดตรงส่วนบางๆ ของชิ้นงานหล่อ ส่วนขนาดเนื้อที่ของกราไฟท์ยูเทคติคนั้นขึ้นกับอัตราส่วนผสมและอัตราการเย็น ในบางกรณีก็ไม่มีกราไฟท์ยูเทคติคเลย แต่มีกราไฟท์ที่เกิดตามแนวทางรัศมี

ถ้าน้ำโลหะมีออกซิเจนละลายอยู่เกินเกณฑ์ปกติจะมีกราไฟท์ยูเทคติค แต่ถ้าอัตราการเย็นสูงหรือมีซิลิกอนอยู่มากจะมีแต่เฟอไรท์อยู่กลางกลุ่มกราไฟท์ กราไฟท์ในลักษณะนี้มักเกิดร่วมกับกราไฟท์ชนิด A ในชิ้นงานหล่อบางๆ

ถ้าต้องการให้ชิ้นงานหล่อมีความแข็งแรงทางดึงประมาณ 25~30kg/mm2 หรือประมาณ 250~300μPa จะต้องมีกราไฟท์ชนิด B ที่มีกราไฟท์ยูเทคติคน้อยๆ ไม่เกิน 20~30%

กราไฟท์ชนิด B นี้จะมีอยู่หนาแน่นในเหล็กหล่อที่มี % คาร์บอนสูง เพราะมีการตกผลึกของกราไฟท์มาก ดังนั้นจะทำให้ชิ้นงานหล่ออ่อนแอ บางครั้งจะขาดครึ่งท่อนขณะกระทำด้วยเครื่องกลโรงงาน และถ้าดูตรงที่ขาดจะเห็นเป็นรูๆ เล็กๆ เหมือนเจาะด้วยเข็ม ถ้ายิ่งมีเฟอไรท์อยู่ตรงกลางแทนที่จะมีกราไฟท์ยูเทคติคด้วยแล้วจะยิ่งหักง่าย

ชนิด C : เกล็ดกราไฟท์เกิดทับกัน (superimposed flakes) การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (random orientation)

โครงสร้างชนิดนี้เกิดขึ้นสำหรับเหล็กหล่อที่มี % คาร์บอนมากกว่า % คาร์บอนของเหล็กหล่อที่มีส่วนผสมของยูเทคติค (เกิน 4.25%C) (hyper-eutectic) คาร์บอนที่มีอยู่จะอยู่ในสภาพกราไฟท์เสียมากจนกระทั่งที่เหลือจะเป็นเฟอไรท์เป็นส่วนมาก มีซีเมนไทท์น้อย กราไฟท์ชนิด C นี้จะมีผลึกกราไฟท์ไพรมารี่ที่ยาวและกว้าง และมีเกล็ดที่เกิดอุณหภูมิยูเทคติคมาทับหรือล้อมรอบกรอบกราไฟท์ไพรมารี่ โครงสร้างประเภทนี้เมื่อยิ่งมีเฟอไรท์อยู่มากด้วยจะอ่อนแอมาก ใช้ประโยชน์อะไรไม่ใคร่ได้

ชนิด D : เกล็ดกราไฟท์เกิดระหว่างออสเตไนท์ไพรมารี่รูปกิ่งไม้ (interdendritic segregation) การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (random orientation) สำหรับโครงสร้างแบบนี้กราไฟท์ชิ้นเล็กที่ตกผลึกที่อุณหภูมิยูเทคติคจะเกิดขึ้นระหว่างออสเตไนท์ไพรมารี่รูปกิ่งไม้ ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเมื่อมีสถานการณ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดแข็งตัวแต่น้ำโลหะยังไม่แข็งตัว (super cooling) เมื่ออุณหภูมิอยู่แถบอุณหภูมิยูเทคติค เงื่อนไขอันหนึ่งที่จะทำให้เกิดการแข็งตัวช้านี้คือการเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำโลหะและออกซิเจน (oxidation) ถ้าใส่สารเคมีเข้าไปในน้ำโลหะเพื่อช่วยในการเกิดกราไฟท์ (graphitizing inoculation) จะช่วยเฉลี่ยเลี่ยงมิให้เกิดการแข็งตัวช้าได้บ้างแต่ช่วยไม่มากถ้าในน้ำโลหะมีออกซิเจนอยู่มากขนาดเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย กราไฟท์ชนิด D บางครั้งก็เกิดตรงกลางกราไฟท์ชนิด B และบางครั้งก็เกิดตรงกลางของชิ้นงานหล่อหนาๆ ที่แข็งตัวทีหลังส่วนอื่น โครงสร้างชนิดนี้มักมีเฟอไรท์เป็นพื้นทำให้อ่อนแอ

ชนิด E : เกล็ดกราไฟท์เกิดระหว่างออสเตไนท์ไพรมารี่รูปกิ่งไม้ (interdendritic segregation), การเรียงตัวมีระบบอยู่บ้าง (preferred orientation)

กราไฟท์ชนิดนี้เกดขึ้นเมื่อ % คาร์บอนค่อนข้างต่ำ จะเกิดการลดความแข็งเพราะชิ้นกราไฟท์อยู่ติดๆ กัน เช่นเดียวกับชนิด D แต่บางครั้งความแข็งแรงก็สูงเพราะ % คาร์บอนต่ำจึงมีกราไฟท์น้อย

(4) รูปร่างของชิ้นกราไฟท์ในเหล็กหล่อกราไฟท์กลม

เหล็กหล่อกราไฟท์กลมมีกราไฟท์รูปร่างต่างๆ กัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการตกผลึก ถึงแม้ว่ารูปร่างของกราไฟท์ที่ไม่ใช่รูปกลมจะทำให้คุณสมบัติทางกลต่ำลง แต่เหล็กหล่อกราไฟท์กลมที่มีกราไฟท์รูปร่างเช่นในรูป III ก็ยังแข็งแรงกว่าเหล็กหล่อเทา ในกรณีที่เหล็กหล่อกราไฟท์กลมจะต้องมีความแข็งแรงทางดึงกว่า 55kg/mm2 (ประมาณ 550μPa) โดยไม่ต้องมีการกระทำเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติใดๆ หลังจากการหล่อ เพื่อให้มีความแข็งแรงถึงระดับนี้เหล็กหล่อควรมีกราไฟท์ที่มีรูปร่างกลมทั้งสิ้น

(5) โครงสร้างของชิ้นงานหล่อเย็นเร็ว

โครงสร้างที่เรียกว่าโครงสร้างชิ้นงานหล่อเย็นเร็วจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำโลหะที่มีส่วนผสมที่เหมาะสมถูกทำให้เย็นเร็ว ผลึกไพรมารี่ของเหล็กหล่อที่มี % คาร์บอนสูงกว่าผสมยูเทคติค (เกิน 4.25%C)

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

จะเป็นซีเมนไทท์ ส่วนผลึกไพรมารี่ของเหล็กหล่อที่มี % คาร์บอนต่ำกว่าส่วนผสมยูเทคติค (ต่ำกว่า 4.25%C) (hypo-eutectic) จะเป็นออสเตไนท์ การแข็งตัวที่อุณหภูมิยูเทคติคจะทำให้เกิดเลดีบูไรท์ (ledeburite) ซึ่งหมายถึงโครงสร้างยูเทคติคประกอบด้วยออสเตไนท์และซีเมนไทท์

โครงสร้างของด้านแหลม (nosetop) ของเพลาลูกเบี้ยว (camshaft) สำหรับเครื่องยนต์ โครงสร้างรูปกิ่งไม้ (dendrite) สีดำนั้นคือออสเตไนท์ที่อุณหภูมิเหนือยูเทคติค (pro-eutectic) และโครงสร้างพื้น (matrix) คือเลดีบูไรท์ จุดที่น่าสังเกตของชิ้นงานหล่อเย็นเร็วคือรูเล็กๆ และการตกผลึกของกราไฟท์ชิ้นเล็กๆ ซึ่งมักทำให้เกิดการสึกหรอชนิดเป็นรูๆ (pitting wear)

(7) ผลของส่วนผสมต่างๆ คือโครงสร้างของเหล็กหล่อ

(a) ผลของคาร์บอนและซิลิกอน

ส่วนผสมที่มีผลมากที่สุดต่อเหล็กหล่อคือคาร์บอนและซิลิกอน เพื่อให้ได้โครงสร้างที่ดีที่สุด ปริมาณคาร์บอนจะต้องอยู่ในขอบเขตที่เหมาะสม (จะขึ้นกับปริมาณซิลิกอน) ซิลิกอนช่วยการเกิดกราไฟท์ ถ้ามีซิลิกอนมากก็จะได้เหล็กหล่อเทา โครงสร้างของเหล็กขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและซิลิกอน แผนภูมิมอเรอร์ (Maurer diagram) แสดงว่าโครงสร้างชนิดต่างๆ ของเหล็กหล่อขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและซิลิกอนอย่างไร ในการสร้างรูปมอเรอร์ ใช้วิธีทำชิ้นทดลองทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 25mm ที่มีส่วนผสมต่างๆ โดยเทลงในแบบทรายแห้งที่อุณหภูมิ 1,250 oC และให้เย็นในอัตราคงที่ แล้วจำแนกโครงสร้างที่เกิดขึ้นออกเป็น 5 ประเภท เขต I จะเป็นเหล็กหล่อขาว เขต IIa เป็นเหล็กหล่อลายเป็นดวงๆ (mottled cast iron) มีซีเมนไทท์แยกอยู่ตามลำพัง เหล็กหล่อชนิดนี้มีโครงสร้างอยู่กึ่งกลางระหว่างเหล็กหล่อขาวและเหล็กหล่อเทา เขต II เป็นเหล็กหล่อที่มีเพอไลท์เป็นโครงสร้างพื้น (pearlitic cast iron) เขต iib เหล็กหล่ออ่อนที่มีเฟอไรท์แยกอยู่ตามลำพัง คือไม่เกิดสลับกับซีเมนไทท์เกิดเป็นเพอไลท์ และเขต III เป็นเหล็กหล่อเฟอริติค (ferritic cast iron) เหล็กหล่อชนิดนี้มีเฟอไรท์เป็นโครงสร้างพื้น แทนที่จะเป็นเพอไลท์ เป็นเหล็กหล่อที่อ่อนมากในการทำแผนภูมิมอเรอร์ได้สมมุติว่าคาร์บอนและซิลิกอนนั้นแทนกันได้ในด้านอิทธิพลต่อโครงสร้างของเหล็กหล่อ แผนภูมิมอเรอร์นี้จะถือว่าถูกต้องโดยสมบูรณ์ไม่ได้ แต่ก็ใช้ได้ในทางปฏิบัติได้จริงๆ เพราะส่วนกลางของแผนภูมิถูกต้องตามความเป็นจริง แผนภูมินี้ทำขึ้นโดยการจัดให้อัตราการเย็นคงที่ ดังนั้นเส้นต่างๆ ในแผนภูมิจะขยับตามอัตราการเย็น คือถ้าอัตราการเย็นสูงเส้นจะขยับไปทางขวา และถ้าอัตราการเย็นต่ำเส้นจะขยับไปทงซ้าย

(b) ผลของแมงกานีส

แมงกานีสไม่มีผลกระทบกระเทือนอย่างรุนแรงต่อโครงสร้าง นอกจากในกรณีที่มีซิลิกอนน้อย แมงกานีสมักจะกันไม่ให้เกิดกราไฟท์และรักษาซีเมนไทท์ให้คงอยู่ แมงกานีสทำให้เม็ดผลึกของเพอไลท์ละเอียด และกันไม่ให้เฟอไรท์เกิดอยู่ตามลำพัง ดังนั้นเมื่อต้องการโครงสร้างที่มีแต่เพอไลท์และกราไฟท์ ควรเติมแมงกานีส

(c) ผลของฟอสเฟอรัส

ฟอสเฟอรัสในเหล็กหล่อมักอยู่ในสภาพสเตไดท์ (ผลึกเกิดจากปฏิกิริยายูเทคติคมีไอเอินฟอสไฟท์ Fe3P เป็นองค์ประกอบ) ฟอสเฟอรัสกันไม่ให้กราไฟท์ตกผลึกและถ้ามีฟอสเฟอรัสเกิน 1% จะเกิดมีซีเมนไทท์หยาบขึ้นในบริเวณของเลดีบูไรท์ โครงสร้างนี้จะไม่ละเอียดถึงแม้จะทำให้เย็นเร็ว การเพิ่มฟอสเฟอรัสจะทำให้คาร์บอนละลายในเหล็กได้น้อยลง และดังนั้นจะเพิ่มซีเมนไทท์ โดยที่ปริมาณคาร์บอนไม่เพิ่ม เพราะฉะนั้นโครงสร้างนี้จะแข็งมาก

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

(d) ผลของซัลเฟอร์

ซัลเฟอร์ลดการละลายของคาร์บอนในน้ำเหล็ก ดังนั้นก็น่าจะถือได้ว่าซัลเฟอร์ช่วยให้เกิดกราไฟท์ แต่ตามความเป็นจริงเมื่อเพิ่มฟอสเฟอรัสกราไฟท์จะลดและมักจะทำให้เหล็กหล่อเป็นเหล็กหล่อขาวในกรณีเช่นนี้จะเกิดมีจุดแข็งเป็นพิเศษ (hard spots)

(e) ผลของสารอื่นๆ

นอกเหนือจากสารที่กล่าวมาแล้ว สารที่ช่วยให้เกิดกราไฟท์คือ ทองแดง นิคเกล และอลูมินัม และสารที่กันไม่ให้เกิดกราไฟท์คือ โครเมียม โมลิบดีนัม ฯลฯ

2.4.2 คุณสมบัติของชิ้นงานเหล็กหล่อ

(1) คุณสมบัติทางกลของชิ้นงานเหล็กหล่อเทา

จากการพิจารณาคุณสมบัติทางกล จะรู้ถึงความเหมาะสมของเหล็กหล่อชนิดต่างๆ ในการที่ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องกล คุณสมบัติดังกล่าวมีความแข็งแรงทางดึง (tensile strength) การยืดตัวก่อนขาด (elongation) ความแข็ง (hardness) ความแข็งแรงทางอัด (compressive strength) ความแข็งแรงด้านกระแทก (impact strength) ความแข็งแรงทางดัด (bending strength) ความแข็งแรงทางด้านการล้า (fatigue strength) ความทนต่อการสึกหรอ (wear resistance) ความสามารถในการรับการกระทำด้วยเครื่องมือกล (machinability) และการลดความสั่นสะเทือน (damping capacity) ฯลฯ จะได้กล่าวถึงเฉพาะคุณสมบัติที่สำคัญๆ สำหรับเหล็กหล่อเท่านั้น

(a) ความแข็งแรงทางดึงและการยืดตัวก่อนขาด

คาร์บอนมีผลกระทบกระเทือนอย่างมากต่อความแข็งแรงทางดึง ถ้ามีคาร์บอนน้อยความแข็งแรงจะเพิ่ม ซิลิกอนมีผลกระทบกระเทือนคล้ายๆ กับคาร์บอน แต่น้อยกว่า เหล็กหล่อเทาจะอ่อนแอถ้ามีซิลิกอนเกิน 2% เพราะจะมีซิลิโก-เฟอไรท์ ในโครงสร้าง และจะเปราะมากถ้ามีซิลิกอนถึง 2.2~2.5% หรือมากกว่านี้ ถ้ามีแมงกานีสต่ำกว่า 1.2% จะทำให้เหล็กหล่อเทาแข็งแรงขึ้น ฟอสเฟอรัสและซัลเฟอร์นั้นถ้าปริมาณไม่เกินระดับปกติก็ไม่สู้จะมีผลกระทบกระเทือนต่อเหล็กหล่อเทา

การยืดตัวก่อนขาดของเหล็กหล่อเทาประมาณ 0.3~1.2% ถ้าความแข็งแรงทางดึงสูงขึ้น การยืดตัวก่อนขาดจะลดลง

(b) ความแข็ง (hardness)

ความแข็งของเหล็กหล่อเทาเท่ากับ 130~270 ตามระบบบริเนล (Brinell Hardness) ความแข็งจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับโครงสร้าง กราไฟท์หยาบในโครงสร้างพื้นที่เป็นเฟอไรท์จะทำให้ความแข็งต่ำ และถ้ากราไฟท์ละเอียดและมีอยู่น้อยความแข็งจะสูง นอกจากนั้นความแข็งยังเป็นสัดส่วนกับความแข็งแรงทางดึง ดังนั้นจากการวัดความแข็งซึ่งเป็นวิธีทำได้ง่าย จะทำให้รู้ความแข็งแรงทางดึงได้

(C) ความแข็งแรงทางอัด (Compressive Strength)

ความแข็งแรงบทางอัดของเหล็กหล่อเทาเท่ากับ 3-5 เท่าความแข็งแรงทางดึง และมักจะสูงกว่าความแข็งแรงทางอัดของเหล็กเหนียว ถ้าความแข็งแรงทางดึงสูงขึ้นอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงทางอัดและความแข็งแรงทางดึงจะลดลง

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

(d) ความทนต่อการกระแทก (Impact strength)

เหล็กหล่อเทาเปราะทนการกระแทกไม่ใคร่ได้ ถ้ายิ่งมีคาร์บอน ซิลิกอนหรือฟอสเฟอรัสสูง ความทนต่อการกระแทกจะยิ่งน้อย การมีซีเมนไทท์และสเตไดท์ก็จะทำให้ความทนต่อการกระแทกลดลงด้วย

(e) ความสามารถในการรับกระทำด้วยเครื่องกลโรงงาน (Machinability) และความทนต่อการสึกหรอ (Wear Resistance)

เหล็กหล่อเทานั้นเป็นที่รู้กันว่าเป็นวัสดุที่ทำด้วยเครื่องกลโรงงานได้สะดวกและทั้งทนต่อการสึกหรอ กราไฟท์ทำหน้าที่หล่อลื่นทำให้กระทำด้วยเครื่องกลโรงงานได้สะดวก การที่มีความแข็งต่ำและความแข็งแรงทางดึงต่ำ ก็ทำให้กระทำด้วยเครื่องกลโรงงานได้ดีด้วย

โครงสร้างที่เป็นเพอไลท์ทนต่อการสึกหรอได้ดีกว่าโครงสร้างที่เป็นเฟอไรท์ โดยทั่วไปการที่มีความแข็งสูงจะทำให้ทนต่อการสึกหรอได้ดีขึ้น เหล็กหล่อโครงสร้างเพอไลท์ที่มีความแข็ง 180~200 ตามระบบบริเนล จะทนต่อการสึกหรอได้ดี เนื่องจากฟอสเฟอรัสทำให้เกิดสเตไดท์ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้ฟอสเฟอรัสเข้าผสมเพื่อเพิ่มความทนต่อการสึกหรอ นอกจากนั้นยังอาจเพิ่มความทนต่อการสึกหรอได้มากถ้าเติมโครเมียม นิเกล โมลิบดีนัม และทองแดง ฯลฯ เข้าไปเป็นส่วนผสม

(2) คุณสมบัติทางกายภาพ (physical) และทางเคมีของชิ้นงานเหล็กหล่อเทา

โครงสร้างของเหล็กหล่อเทาเป็นส่วนผสมของสภาพ (phase) ต่างๆ เช่นกราไฟท์ เฟอไรท์ เพอไลท์ ซีเมนไทท์ และนอกจากนั้นยังมีสเตไดท์ และแมงกานีสซัลไฟด์แต่ละสภาพมีคุณสมบัติต่างๆ กัน กังนั้นกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของเหล็กหล่อเปลี่ยนตามอัตราส่วนของการผสมของสภาพต่างๆ ดังกล่าว ต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงคุณสมบัติเฉลี่ยของเหล็กหล่อเทา

(a) ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของเหล็กหล่อเทาเท่ากับ 7.1~7.3 ที่อุณหภูมิห้อง จะขึ้นเป็นอย่างมากต่อปริมาณของกราไฟท์ ในสภาพน้ำเหล็กความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 6.75~6.95 ในสภาพของแข็ง การลดลงของความถ่วงจำเพาะเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มในอุณหภูมิ

(b) การขยายตัวเนื่องจากความร้อน

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของเหล็กหล่อเทาเท่ากับประมาณ 10x10-6 /oC ซึ่งต่ำกว่าของเหล็กเหนียวเล็กน้อย สัมประสิทธิ์การขยายตัวนี้ขึ้นกับส่วนผสม โครงสร้างและอุณหภูมิ เมื่อเทียบกับเหล็กหล่อขาว ของเหล็กหล่อเทาจะสูงกว่า ถึงแม้ว่าจะไม่ขึ้นกับส่วนผสมมากเท่ากับคุณสมบัติทางกายภาพอื่น แต่ก็กล่าวได้ว่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวจะลดถ้ามีปริมาณคาร์บอนมาก สำหรับส่วนผสมอื่นๆ นั้น ถ้ามีอยู่ในอัตราปกติ ก็แทบจะไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อสัมประสิทธิ์การขยายตัวเลย

(C) ความนำไฟฟ้า (Electric Conductivity)

กราไฟท์มีความต้านทานไฟฟ้ามากที่สุดในบรรดาสภาพ (phase) ทั้งหลายดังนั้น ปริมาณกราไฟท์ ลักษณะการกระจายตัว ตลอดจนรูปร่างของกราไฟท์จึงมีผลเป็นอย่างมากต่อความนำไฟฟ้า ถ้าเพิ่มคาร์บอนและซิลิกอนจะช่วยให้เกิดกราไฟท์มากขึ้น และดังนั้นจะลดความนำไฟฟ้า ถ้ามีปริมาณกราไฟท์เท่ากัน กราไฟท์หยาบจะทำให้ความนำไฟฟ้าต่ำกว่ากราไฟท์ละเอียด

(d) ความต้านท่านการกัดกร่อน (Corrosion Resistance)

เฟอไรท์ที่ถูกกัดกร่อนทางเคมี (chemical corrosion) มากที่สุด เพอไลท์จะทนการกัดกร่อนได้ดีกว่า ส่วนซีเมนไทท์นั้นมีความต้านทานการกัดกร่อนสูงมาก เหล็กหล่อสู้เหล็กเหนียวไม่ได้ในด้านการ

ทนกรดกัดกร่อน เพราะเหล็กและกราไฟท์เป็นขั้วของเซลไฟฟ้า ทำให้เกิดการกัดกร่อนด้วยวิธีกัลวานิค (galvanic corrosion) แต่เหล็กหล่อทนต่อน้ำและน้ำทะเลได้ดีกว่าเหล็กเหนียว โครงสร้างที่ละเอียดและที่มี กราไฟท์ละเอียดทนการกัดกร่อนได้ดีมาก ส่วนผสมอื่นๆ นอกเหนือจากคาร์บอนและซิลิกอนแทบจะไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อความต้านทานการกัดกร่อนเลย โครเมียม นิคเกลและทองแดงเป็นส่วนผสมที่เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนได้อย่างมาก

(3) คุณสมบัติของเหล็กหล่อกราไฟท์กลม

เหล็กหล่อกราไฟท์กลมมีความแข็งแรงและความเหนียว (ductility) สูงและมีคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีที่ต่างไปจากเหล็กหล่ออื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากกราไฟท์ในรูปเกล็ดที่ทำให้เหล็กหล่ออ่อนแอและเปราะได้กลายเป็นรูปกลมเสีย สังเกตได้ว่าความแข็งแรงของเหล็กหล่อกราไฟท์กลมชนิดต่างๆ จะต่างกันค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างในรูปร่างของกราไฟท์และในโครงสร้าง

ถ้ากราไฟท์ต่างก็มีรูปกลมมีขนาดเล็กและกระจายกันอยู่อย่างสม่ำเสมอความแข็งแรงจะสูง แต่เหล็กหล่อกราไฟท์กลมที่หล่อออกมาจริงๆ นั้น ที่กราไฟท์มีรูปร่างเป็นเกล็ด หรือเป็นรูปหนอนก็มี ในกรณีเช่นนี้ความแข็งแรงจะต่ำกว่ากรณีที่กราไฟท์มีรูปร่างกลม

ถ้าโครงสร้างพื้น (matrix) เป็นเฟอไรท์เหล็กจะมีความแข็งแรงต่ำ แต่มีความเหนียวสูง ถ้าโครงสร้างพื้นเป็นเพอไลท์จะไม่เหนียวแต่มีความแข็งแรงสูง ตามปกติโครงสร้างพื้นหลังจากหล่อเสร็จมีทั้งเฟอไรท์และเพอไลท์แต่ถ้านำไปอบให้อ่อน (anneal) จะได้โครงสร้างพื้นเป็นเฟอไรท์ และถ้าอบเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอ (normalize) จะได้โครงสร้างพื้นเป็นเพอไลท์

ส่วนที่บางๆ ของชิ้นงานหล่อจะมีโครงสร้างเป็นซีเมนไทท์เพราะเย็นเร็ว ดังนั้นจะแข็งมาก แต่เปราะ จึงมักนำไปอบเพื่อให้เป็นเฟอไรท์หรือเพอไลท์ เหล็กหล่อกราไฟท์กลมนี้ชุบแข็งได้ดีเท่าๆ กับเหล็กเหนียว ดังนั้นจึงทำให้โครงสร้างพื้นเป็นมาร์เตนไซท์ (martensite) ได้โดยการชุบแข็งทั้งชิ้นหรือเฉพาะที่ผิว เหล็กหล่อกราไฟท์กลมทนต่อการสึกหรอและความร้อนได้ดีกว่าเหล็กหล่อเทา

2.4.3 โครงสร้างและคุณสมบัติของเหล็กหล่อมัลลีเบิล

เหล็กหล่อมัลลีเบิลแยกออกได้ตามลักษณะโครงสร้างเป็นเหล็กหล่อมัลลีเบิลขาว (whit heart malleable cast iron) และเหล็กหล่อมัลลีเบิลดำ (black heart malleable cast iron) ในการทำเหล็กหล่อมัลลีเบิลขาวใช้วิธีลดคาร์บอนจากเหล็กหล่อขาวโดยการอบ จนกระทั่งผิวของชิ้นงานกลายเป็นเฟอไรท์และโครงสร้างภายในประกอบด้วยเพอไลท์เป็นโครงสร้างพื้นและมีคาร์บอนรูปร่างกลมอยู่ทั่วไป ชิ้นงานเหล็กหล่อมัลลีเบิลขาวที่บางจะทนการกระแทกได้ดี แต่ถ้าหนาไม่ใคร่ได้ผลจากการลดคาร์บอน ส่วนภายในจะแข็งและเปราะ ดังนั้นจึงใช้เหล็กหล่อมัลลีเบิลขาวทำชิ้นงานหล่อที่ขนาดเล็กหรือบางราว 4~6 mm

เหล็กหล่อมัลลีเบิลดำก็ทำโดยวิธีอบอ่อนเหล็กหล่อขาว ในกรณีนี้ซีเมนไทท์จะแยกออกเป็นเฟอไรท์และกราไฟท์ ดังนั้นถ้าหักออกจะเห็นพื้นที่หน้าตัดเป็นสีดำ เหล็กหล่อชนิดนี้เหนียวมาก เหล็กหล่อมัลลีเบิลทั้งสองชนิดทำจากเหล็กหล่อขาวโดยการอบเป็นเวลานาน ดังนั้นซีเมนไทท์จะแยกตัวออกและโครงสร้างประกอบด้วยโครงสร้างพื้นเป็นเฟอไรท์ ซึ่งเหนียวและมีก้อนกราไฟท์กลมหรือก้อน กราไฟท์ที่ไม่ใคร่กลมกระจายอยู่ทั่วไป ดังนั้นเหล็กหล่อประเภทนี้จึงมีความแข็งแรงและการยืดก่อนขาดสูงเท่าเหล็กเหนียว

เหล็กหล่อมัลลีเบิลขาวมีปริมาณซัลเฟอร์สูง และซิลิกอนต่ำ ส่วนเหล็กหล่อมัลลีเบิลดำมีปริมาณซิลิกอนสูงและซัลเฟอร์ต่ำ เหล็กหล่อมัลลีเบิลขาวมีแมงกานีสผสมอยู่เพื่อให้แข็งแรงขึ้น แต่ไม่ผสมมากจนกระทั่งกราไฟท์ไม่เกิด ส่วนเหล็กหล่อมัลลีเบิลดำมีแมงกานีสผสมอยู่เท่ากับ 1.7%xซัลเฟอร์+0.2~0.3% ซัลเฟอร์จะผสมกับแมงกานีสกลายเป็น MnS ดังนั้นเป็นการกันมิให้ซัลเฟอร์ไปขัดการเกิดกราไฟท์

นอกจากนี้ยังมีเหล็กหล่อมัลลีเบิลเพอไลท์ เหล็กหล่อมัลลีเบิลพิเศษ ฯลฯ โครงสร้างพื้นของเหล็กหล่อเหล่านี้ได้รับการปรับปรุงด้วยการผสมสารเช่น Mn, Ni, Cu, Mo ฯลฯ เข้าไป เพื่อให้ทนต่อการสึกหรอและการกัดกร่อนได้ดีขึ้น

2.4.4 โครงสร้างและคุณสมบัติของเหล็กเหนียวหล่อ

(1) โครงสร้างของเหล็กเหนียวหล่อ

เหล็กเหนียวหล่อเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอน ปริมาณคาร์บอนต่ำกว่าของเหล็กหล่อ และมักต่ำกว่า 1.0% นอกจากคาร์บอนแล้วยังมีซิลิกอน 0.20~0.70% แมงกานีส 0.50~1.00% ฟอสเฟอรัสต่ำกว่า 0.50% และซัลเฟอร์ต่ำกว่า 0.06%

โครงสร้างของเหล็กเหนียวหล่อที่มีคาร์บอนต่ำกว่า 0.80% ประกอบด้วยเฟอไรท์และเพอไลท์ ถ้ามีคาร์บอนมากขึ้นปริมาณเพอไลท์จะเพิ่มขึ้น เมื่อมีคาร์บอนเกิน 0.80% โครงสร้างจะประกอบด้วยเพอไลท์และซีเมนไทท์ ที่แยกออกมาอยู่ต่างหาก ปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีคาร์บอน 0.20% (x100) ปล่อยให้เย็นลงภายในเตาอบจาก 950oC หลังจากหล่อเสร็จ ส่วนที่ดำคือเพอไลท์ที่ขาวคือเฟอไรท์ ถ้ามีคาร์บอน 0.80% (x400) ปล่อยให้เย็นลงในเตาอบจาก 900oC จะเห็นว่าเต็มไปด้วยเพอไลท์

(2) คุณสมบัติของเหล็กเหนียวคาร์บอนหล่อ

เมื่อปริมาณคาร์บอนในเหล็กเหนียวคาร์บอนหล่อเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้น แต่การยืดก่อนขาด การลดลงของพื้นที่หน้าตัดก่อนขาด (reduction of area) และความทนต่อการกระแทกจะลดลง ความสะดวกในการเชื่อมจะลดลงด้วย ถ้าแมงกานีสเพิ่ม ความแข็งแรงทางดึงจะเพิ่มขึ้น แต่แมงกานีสไม่มีผลมากเท่าคาร์บอน

หลังจากหล่อเสร็จแล้วมักจะมีการกระทำด้วยความร้อนก่อนจะนำไปใช้งาน เช่น มีการอบให้อ่อน อบแล้วปล่อยให้เย็นในอากาศ เพื่อให้โครงสร้างสม่ำเสมอ (normalization) หรืออบแล้วปล่อยให้เย็นในอากาศแล้วจึงอบให้คลายความแข็ง (normalization and temper) เหล็กเหนียวคาร์บอนหล่อที่ผ่านการอบเพื่อให้โครงสร้างสม่ำเสมอจะมีเม็ดผลึกละเอียดกว่า มีจุดคราก (yield point) และความแข็งแรงทางดึงสูงกว่าเหล็กเหนียวคาร์บอน-หล่อ ที่ผ่านการอบอ่อน การยืดก่อนขาดและการลดลงของพื้นที่หน้าตัดก่อนขาดก็สูงกว่า การปรับปรุงคุณสมบัติโดยวิธีการอบเพื่อให้โครงสร้างสม่ำเสมอนี้จะยิ่งเห็นชัดถ้ามีปริมาณคาร์บอนมาก เมื่อเหล็กเหนียวคาร์บอนหล่อได้รับการอบให้คลายความแข็งที่ 650 oC หลังจากที่ได้ถูกปล่อยให้เย็นในอากาศ (normalizing) จุดครากและความแข็งแรงทางดึงจะลดลง ส่วนการยืดก่อนขาดและการลดลงในพื้นที่หน้าตัดก่อนขาดจะสูงขึ้น

ความทนต่อการกระแทกของเหล็กเหนียวลดลงเมื่ออุณหภูมิลด มีอุณหภูมิที่มีความทนต่อการกระแทกลดอย่างรวดเร็ว อุณหภูมินี้เรียกว่าจุดเปลี่ยน (transition temperature) อุณหภูมินี้เป็นดัชนีที่ใช้สำหรับวัดความทนต่อการกระแทกของโลหะที่ถูกใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ มีการใช้จุดเปลี่ยน 15 ft-1b (15ft-1b transition temperature) หรือ Tr15 เป็นการวัดว่าโลหะจะใช้ได้อย่างปลอดภัยที่อุณหภูมิต่ำเพียงใด อุณหภูมิ

	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

นี้คืออุณหภูมิที่ค่าความทนต่อการกระแทกที่วัดโดยวิธีชาร์ปี (charpy) ที่ใช้การทำรอยแหว่งในชิ้นทดสอบเป็นรูปตัว V (V-notched) เท่ากับ 15ft-1b

จุดเปลี่ยน (transition temperature) ขึ้นกับปริมาณคาร์บอนเป็นอย่างมากเมื่อคาร์บอนเพิ่มขึ้น 0.1%Tr15 จะเพิ่มขึ้น 13 oC สำหรับเหล็กที่มีคาร์บอน 0.3~0.57% การเปลี่ยนแปลงในความทนต่อการกระแทกของเหล็กเหนียวหล่อที่มีความแข็งแรงทางดึง 42 และ 46kg/mm2 หรือประมาณ 420 และ 460μPa เมื่อ อุณหภูมิเปลี่ยน

ในการวัดคุณสมบัติทางกลของเหล็กเหนียวคาร์บอน-หล่อนั้น อาจใช้ชิ้นทดสอบที่เป็นส่วนหนึ่งของชิ้นงานหล่อหรืออาจใช้ชิ้นที่หล่อขึ้นต่างหาก แต่เทพร้อมๆ กับงานหล่อ และต้องผ่านการอบให้อ่อนอบให้เนื้อสม่ำเสมอ หรืออบให้เนื้อสม่ำเสมอแล้วอบให้คลายความแข็งก่อนที่จะนำไปทดสอบหาคุณสมบัติทางกล

(3) โครงสร้างและคุณสมบัติของเหล็กเหนียวหล่อชนิดพิเศษ

เหล็กเหนียวหล่อชนิดพิเศษประกอบด้วยเหล็กเหนียวผสมหล่อส่วนผสมต่ำ เหล็กเหนียวผสมหล่อส่วนผสมสูง ทั้งสองอย่างทำขึ้นโดยเติมสารเพิ่มเติมจากส่วนผสมของเหล็กเหนียวคาร์บอนหล่อ เนื่องจากแมงกานีสและซิลิกอนนั้นมักจะใส่กันเป็นกระบวนการทำให้เหล็กบริสุทธิ์อยู่แล้ว ดังนั้นจะไม่ถือว่าเหล็กเหนียวหล่อที่มีแมงกานีสและซิลิกอนเป็นส่วนผสม เป็นเหล็กเหนียวหล่อชนิดพิเศษ ทั้งนี้นอกจากว่าจะใส่เข้าไปเพื่อให้เป็นสารผสม

เหล็กส่วนผสมต่ำ หมายถึง เหล็กที่มีสารผสม 1~2% เหล็กส่วนผสมกลางมีสารผสม 2~5% และส่วนผสมสูงมีสารผสมมากกว่านั้น แต่ไม่มีการแบ่งเขตกันโดยเคร่งครัดนัก เหล็กหล่อชนิดพิเศษมักได้รับการชุบแข็ง อบให้เนื้อสม่ำเสมอและอบเพื่อให้คลายความแข็ง ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็ก

(a) เหล็กเหนียวผสมหล่อส่วนผสมต่ำ

เหล็กเหนียวหล่อนั้นทำให้แข็งขึ้นและให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นโดยการชุบแข็งแต่ความรับการทำแข็ง (hard-enability) ค่อนข้างต่ำ และจะแข็งที่ผิวเท่านั้น แต่จะแข็งลึกลงไปได้โดยการเติม Mn, Cr, Mo หรือ Ni ลงไป เหล็กที่ได้รับการผสมดังกล่าวเรียกได้ว่ามีความรับการทำแข็งสูง การที่ทำให้เหล็กเหนียวแข็งขึ้นได้โดยการชุบนั้นก็เพราะมีคาร์บอนละลายอยู่ในออสเตไนท์ จุดดำแสดงค่าของเหล็กเหนียวเมื่อปริมาณคาร์บอนยังต่ำ ค่าความแข็งสูงสุดจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มในปริมาณคาร์บอน เมื่อได้ปริมาณคาร์บอนเกิน 0.5~0.6% แล้วความแข็งจะไม่เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์อันนี้ใช้ได้กับเหล็กเหนียวผสมหล่อด้วย ค่าความแข็งสูงสุดนั้นขึ้นกับปริมาณคาร์บอนแต่อย่างเดียว สารผสมชนิดต่างๆ ในปริมาณต่างๆ ที่เติมเข้าไปนั้นไม่เพิ่มความแข็งแต่ทำให้แข็งลงไปลึกขึ้น

ถ้าเหล็กผ่านการอบให้เนื้อสม่ำเสมอ แม้เหล็กเหนียวที่มีความรับการทำแข็งสูงก็จะปรากฏมีความแตกต่างกันน้อยระหว่างความแข็งที่ผิวและตรงกลาง ถ้าเหล็กเหนียวคาร์บอนได้รับการผสมด้วยสารผสม ความแข็งของเหล็กเหนียวที่ผ่านการอบให้เนื้อสม่ำเสมอจะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแข็งแรง มีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างจะคงที่ระหว่างคุณสมบัติทางกลสองอย่างใดๆ ของเหล็กเหนียวผสมหล่อส่วนผสมต่ำ ทั้งนี้ไม่ว่าส่วนผสมทางเคมีจะเป็นอย่างไร

โดยทั่วไปคุณสมบัติของเหล็กเหนียวหล่อจะตกลงเมื่อขนาดของชิ้นงานหล่อใหญ่ขึ้น นอกจากนั้นเมื่อขนาดใหญ่ขึ้นส่วนที่อยู่ตรงกลางจะมีความแข็งแรงและทนต่อการกระแทกต่ำกว่าส่วนที่อยู่ที่ผิว ที่เป็นดังนี้เพราะความแตกต่างในอัตราการแข็งตัว (solidifying rate) เมื่อขนาดใหญ่ขึ้นและเมื่อการแข็งตัวเคลื่อนเข้าไปใกล้ส่วนกลางของชิ้นงาน อัตราการแข็งตัวจะยิ่งช้าลง และโครงสร้างจะอ่อนแอลง

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

เหล็กเหนียวผสมหล่อส่วนผสมต่ำแบ่งออกได้เป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

เหล็กเหนียวหล่อแมงกานีสต่ำและเหล็กเหนียวหล่อแมงกานีสโครเมียม มีความรับการทำแข็งสูงกว่าเหล็กเหนียวคาร์บอนหล่อธรรมดา ดังนั้นเมื่อกระทำด้วยความร้อนเท่าที่จำเป็นแล้วก็จะได้เหล็กราคาไม่แพงที่มีความแข็งแรงและทนต่อการกระแทกค่อนข้างสูง เหล็กเหนียวหล่อคาร์บอนต่ำใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องกลที่ต้องการความแข็งแรงและความทนต่อการกระแทก และเหล็กเหนียวหล่อคาร์บอนสูงใช้สำหรับทำเฟือง (gear) หรือส่วนนอกสุดของล้อรถไฟ (tires) เพราะมีความทนต่อการสึกหรอสูง

เหล็กเหนียวหล่อโมลิบดีนัมและโครเมียมโมลิบดีนัมใช้สำหรับทำภาชนะที่ต้องรับอุณหภูมิหรือความดันสูง เช่น เสื้อของเครื่องกังหัน (turbine castings) เหล็กเหนียวหล่อโมลิบดีนัมใช้ได้ถึงอุณหภูมิ 500 oC เหล็กเหนียวหล่อ 1 Cr-0.5 Mo ใช้ได้ถึงอุณหภูมิ 550 oC ส่วนเหล็กเหนียวหล่อ 5 Cr-0.5 Mo ใช้ได้ถึงอุณหภูมิ 600 °C

โมลิบดีนัมที่เติมเข้าไป ได้ทำให้ความแข็งแรงด้านการยืดที่อุณหภูมิสูง (creep) สูงขึ้น โครเมียมนั้นนอกจากจะทำให้ทนต่อกรดและการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูงแล้ว ยังทำให้คาร์ไบด์คงความเป็นคาร์ไบด์และไม่แยกตัวเป็นกราไฟท์ วาเนเดียม (Vanadium) ช่วยทำให้ความแข็งแรงด้านการยืดที่อุณหภูมิสูง (creep strength) ของเหล็กเหนียว Cr-Mo สูงขึ้น ทั้งนี้โดยเติมลงไปก่อนกระทำด้วยความร้อนวิธีพิเศษ ภาชนะที่ต้องรับอุณหภูมิและความดันสูงมักต่อกับท่อโดยการเชื่อม ดังนั้นมักใช้เหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้เชื่อมได้สะดวกและดีที่สุด

(b) เหล็กเหนียวหล่อไร้สนิม (stainless cast steel)

เหล็กเหนียวหล่อไร้สนิมเป็นเหล็กเหนียวที่มีการผสมนิคเกลและโครเมียมเข้าไปเพื่อปรับปรุงความทนต่อการกัดกร่อน เหล็กชนิดนี้ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเยี่ยม และทนต่อการใช้ที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่าเหล็กเหนียวหล่อคาร์บอนธรรมดา เหล็กเหนียวเป็นสนิมเมื่อถูกน้ำหรือเมื่อทิ้งไว้ในบรรยากาศเพราะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน (oxidation) เหล็กเหนียวผสมที่มีปริมาณโครเมียมอยู่เกินระดับหนึ่งจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเหมือนกัน แต่เมื่อทำปฏิกิริยาแล้วจะเกิดเป็นออกไซด์ (oxide) คลุมผิวมิให้เกิดปฏิกิริยาอีกต่อไป ยิ่งมีโครเมียมมากก็จะเกิดปรากฏการณ์นี้มากขึ้น เหล็กเหนียวไร้สนิมส่วนมากมีโครเมียมเกิน 12%

นอกจากมีโครเมียมแล้ว ถ้าเติมนิคเกลลงไปอีก ความต้านทานการกัดกร่อนความทนทานต่อการกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ ความสามารถในการเปลี่ยนรูปร่าง (workability) และความสะดวกในการเชื่อมจะดีขึ้น เหล็กเหนียวไร้สนิมแบ่งออกได้เป็นเหล็กหล่อไร้สนิมมาร์เตนซิติค (martensitic) เฟอริติค (ferritic) และออสเตนิติค (austenitic) ทั้งนี้เรียกตามโครงสร้างของเหล็กชนิดนั้นๆ เหล็กหล่อไร้สนิมมาร์เตนซิ

ติคมีความรับการทำแข็งสูง และมีความต้านทานการกัดกร่อนสูงสุดในสภาพหลังจากการชุบแข็งและอบให้คลายความแข็ง เหล็ก 13 Cr จะแข็งขึ้นได้เมื่อปล่อยให้เย็นเองโดยไม่ต้องชุบ (จากอุณหภูมิชุบ) เหล็กชนิดนี้ใช้ได้ในบรรยากาศปกติ เมื่อมีสภาพอำนวยการกัดกร่อนเล็กน้อย และเหมาะสำหรับทำสิ่งที่ต้องการความแข็งแรงสูง ความแข็งและความทนต่อการสึกหรอสูง เช่นใช้ทำใบพัด (runer or bucket) เครื่องกังหันน้ำที่เรียกว่ากะพร้อ

เหล็กเหนียวไร้สนิมเฟอริติคหล่อ มีโครเมียมเกิน 16% ทำให้แข็งขึ้นโดยการชุบแข็งไม่ได้ เหล็กเหนียวชนิดนี้สู้เหล็กเหนียวไร้สนิมออสเตนิติคไม่ได้ในด้านความทนต่อการกัดกร่อน แต่ราคาไม่สู้แพง จึงมักใช้ทำอุปกรณ์สำหรับอุตสาหกรรมเคมี ทนต่อการกัดกร่อนของกรดไนตริคดีเป็นพิเศษ แต่ถ้ามีโครเมียมเกิน 18% ความทนต่อการกระแทกจะเสียไป จึงเปราะและหักง่ายหลังจากการเชื่อม เหล็กเหนียวไร้สนิมออสเตนิติคตามปกติ เห็นเหล็กเหนียวหล่อ 18Cr-8Ni ซึ่งเป็นเหล็กที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีที่สุด และมีคุณสมบัติทางกลดี

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

ที่สุด ส่วนสม Fe-Ni-Cr นี้จะทำให้โลหะผสม Fe-Ni-Cr มีโครงสร้างเป็นออสเตไนท์ทั้งหมด แต่ความทนต่อการกัดกร่อนนั้นจะดีที่สุดได้ก็ต่อเมื่อคาร์บอนละลายอยู่ในออสเตไนท์ ไม่แยกออกมาตกผลึก ในการใช้งานเหล็กเหนียวชนิดนี้จะมีโครงสร้างเป็นออสเตไนท์ทั้งหมด ในการชุบแข็งให้ชุบในน้ำเมื่อเหล็กมีอุณหภูมิ 1,000~1,100oC นอกจากนั้นยังมีเหล็กเหนียวหล่อ 25Cr-5Ni-2Mo ซึ่งใช้ทำชิ้นส่วนเช่นใบพัดเรือ เพราะทนต่อการกัดกร่อนของน้ำเกลือได้ดี

(c) โครงสร้างและคุณสมบัติของเหล็กเหนียวหล่อทนความร้อน

โดยทั่วไปเหล็กเหนียวหล่อทนความร้อน หมายถึงเหล็กเหนียวหล่อที่ใช้ได้ในอุณหภูมิสูงกว่า 650 oC ประกอบด้วยเหล็กเหนียวผสมหล่อส่วนผสมสูง ที่มีโคตรเมียมอยู่มากและเหล็กเหนียวผสมหล่อส่วนผสมสูงที่มีนิคเกลอยู่มาก เหล็กชนิดนี้ต่างจากเหล็กเหนียวหล่อทนการกัดกร่อนตรงที่มีคาร์บอนมากกว่าและมีความแข็งแรงสูงที่อุณหภูมิสูง คุณสมบัติที่เหล็กเหนียวหล่อทนความร้อนควรจะมี มีดังนี้

1) การคงสภาพของผิว (ทนต่อกรดและการกัดกร่อน)
2) ความทนต่อการยืด (creep) ที่อุณหภูมิสูง
3) ความทนต่อการกระแทกที่อุณหภูมิสูง
4) ความทนต่อการเกิดการเปราะเนื่องจากการเพิ่มคาร์บอน (carburizing)
5) ความทนต่อการล้าที่อุณหภูมิสูง
6) ความทนต่อการสึกหรอ และมีการเปลี่ยนรูปร่างน้อย

เหล็กเหนียวหล่อทนความร้อนใช้ทำชิ้นส่วนสำหรับเตาหลอมโลหะ อุปกรณ์กลั่นน้ำมันปิโตรเลียม หม้อเผาปูน (kiln of cement) หม้อน้ำ (boiler), เครื่องยนต์เจต เครื่องกังหันแก๊ส (gas turbine) อุปกรณ์ผลิตแก้ว อุปกรณ์ผลิตยางเทียม และเตาอบโลหะ

(d) โครงสร้างและคุณสมบัติของเหล็กเหนียวหล่อแมงกานีสสูง

เหล็กเหนียวหล่อแมงกานีสสูงนั้นเรียกว่าเหล็กเหนียวแฮดฟีลด์ (Hadfield steel) ด้วยเรียกตามชื่อผู้ที่คิดค้นนั้น เป็นเหล็กเหนียวที่มีแมงกานีส 11~14% และคาร์บอน 0.9~1.2% อัตราส่วนระหว่าง Mn ต่อ C เท่ากับประมาณ 10 โครงสร้างตามสภาพหล่อเสร็จเปราะมากเพราะมีคาร์ไบต์ตกผลึกที่ของเม็ดผลึกออสเตไนท์มาก แต่ถ้าเหล็กนี้ได้รับการชุบในน้ำเมื่อเหล็กมีอุณหภูมิ 1,000 oC โครงสร้างจะเป็นออสเตไนท์ล้วนๆ และความทนต่อการกระแทกจะดีขึ้นมาก ความแข็งของเหล็กเหนียวหล่อแมงกานีสสูงเท่ากับประมาณ 200 ตามระบบบริเนล แต่เมื่อได้รับการทุบหรือกระทำด้วยแรงขณะเย็น (cold working) ความแข็งจะเพิ่มขึ้นเป็น 550 ดังนั้น จึงมีความต้านทานต่อการสึกหรอสูงขณะรับการกระแทก เหมาะสำหรับทำอุปกรณ์บด (crusher) ปลอกเครื่องบดใช้ลูกกลิ้งกลม (ball-mill liner) หัวประแจรถไฟ (rail crossing)

2.4.5 โครงสร้างและคุณสมบัติของทองแดงผสมหล่อ

ทองแดงผสมหล่อเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงและสารอื่น มีอยู่หลายชนิดแต่ละชนิดมี % ของสารต่างๆ ต่างกัน

(1) บรอนซ์

บรอนซ์เป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงและดีบุก ตามปกติมีดีบุกน้อยกว่า 5% จะมีสีเหมือนทองแดง ถ้ามีดีบุกต่ำกว่า 5% แต่ถ้ามีดีบุกเพิ่มขึ้นจะเริ่มมีสีเหลืองๆ เข้ามาปน ถ้ามีดีบุกเกิน 15% จะมีสีส้ม

ความแข็งแรงทางดึงจะสูงสุดเมื่อมีดีบุก 10% และการยืดตัวก่อนขาด (elongation) จะสูงสุดเมื่อมีดีบุก 4% ชิ้นงานหล่อที่ทำด้วยบรอนซ์ถูกกัดกร่อนได้โดยแอมโมเนีย แต่จะไม่ถูกกัดกร่อนถ้าโดนน้ำ ไอน้ำ น้ำเค็ม ด่าง และจะทนต่อการสึกหรอด้วย

บรอนซ์ที่มีส่วนผสมเพียงแต่ทองแดงและดีบุกเท่านั้นจะมีความสามารถในไหล (fluidity) ต่ำ ดังนั้นมักจะเติมสังกะสี ฟอสเฟอรัสและตะกั่ว ฯลฯ ลงไป โลหะผสมที่มีสังกะสี 2%, ดีบุก 10% และทองแดง 88% เรียกว่าโลหะปืน (gun metal) โลหะชนิดดังกล่าวนี้ใช้กันมาก

(2) ฟอสเฟอร์บรอนซ์

เมื่อเติมฟอสเฟอรัสเข้าไปในบรอนซ์ทำให้ความแข็งแรงทางดึง ความแข็งและความต้านทานทางการสึกหรอดีขึ้น มีส่วนผสมดังนี้ ทองแดง 11~84% ดีบุก 9~16% และฟอสเฟอรัส 0.05~0.05% ใช้ทำเฟือง รองลื่น (bearings) และปลอก ฯลฯ

(3) ทองเหลือง

ทองเหลืองเป็นโลหะผสมที่มีส่วนผสมที่สำคัญคือทองแดงและสังกะสี ตามปกติมีสังกะสีไม่เกิน 60% จะมีสีแดงปนเหลืองถ้ามีสังกะสี 40% แต่จะมีสรเหลืองปนแดงถ้ามีสังกะสี 30% ทองเหลืองสู้บรอนซ์ไม่ได้ในด้านทนต่อดารกัดกร่อนและการสึกหรอ แต่ราคาถูกกว่าและหล่อได้สะดวกกว่า ชิ้นงานหล่อทองเหลือง

ใช้ทำชิ้นส่วนสูบน้ำ โลหะรองลื่น ปลอก เฟือง ฯลฯ ในกรณีที่ไม่ต้องการคุณสมบัติดีถึงบรอนซ์ ทองเหลืองที่มีดีบุก 1.0~1.5% เรียกว่าทองเหลืองทหารเรือ (naval brass) ทนน้ำทะเลได้ดี

(4) ทองเหลือง ความแข็งแรงทางดึงสูง (high tension brass)

ทองเหลืองความแข็งแรงทางดึงสูงเป็นทองเหลืองชนิดพิเศษ มีแมงกานีส นิคเกล อลูมินัม ดีบุก ฯลฯ ผสมอยู่เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล ใช้ทำใบพัดเรือและชิ้นส่วนเครื่องกลซึ่งต้องการความแข็งแรงและความต้านทางการสึกหรอ

(5) อลูมินัมบรอนซ์

มีส่วนผสมที่สำคัญคือทองแดงและอลูมินัมและมีนิคเกลและแมงกานีสผสมอยู่ ตามปกติมีอลูมินัม 8.0~11.5% นิคเกลต่ำกว่า 6.5% แมงกานีสต่ำกว่า 3.5% ที่เหลือเป็นทองแดง คุณสมบัติทางกลตลอดจนความต้านทานการกัดกร่อนและความต้านทานกรดสูงกว่าบรอนซ์และทองเหลือง แต่ว่าราคาค่อนข้างแพง ใช้ทำเฟือง ใบพัดและชิ้นส่วนเครื่องกลที่ต้องมีความต้านทานการสึกกร่อน และการสึกหรอ

2.4.6 โครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่ออลูมินัมผสม

มักใช้อลูมินัมในรูปโลหะผสมมากกว่าโลหะบริสุทธิ์ ทั้งนี้เพราะเมื่อเป็นโลหะผสมแล้วจะยังคงเป็นโลหะที่เบาอยู่ นอกจากนั้นคุณสมบัติทางกลและความสะดวกในการหล่อ (castability) ยังดีขึ้นด้วยเมื่อมีสารอื่นผสม สารที่ใช้ผสมมีทองแดง ซิลิกอน แมกนีเซียม นิคเกล ฯลฯ

(1) โลหะผสมอลูมินัม-ทองแดง อลูมินัม-ทองแดง-ซิลิกอน

โลหะผสมอลูมินัม-ทองแดง มีทองแดง 4.5% คุณสมบัติทางกลและความสามารถในการรับการกระทำด้วยเครื่องกลโรงงาน (machinability) อยู่ในเกณฑ์ดี แต่ในความสะดวกค่อนข้างต่ำโลหะผสมอลูมินัม-ทองแดง-ซิลิกอน มีซิลิกอน 4.5% ผสมเข้ากับโลหะผสมอลูมินัม-ทองแดง เพื่อให้หล่อได้สะดวก โลหะผสมชนิดนี้เรียกว่าเลาตัล (lautal) เป็นโลหะผสมอลูมินัมที่ใช้กันมาก ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องยนต์ มาตร (meters) และลำตัวของวาล์ว

(2) โลหะผสม อลูมินัม-ซิลิกอน และอลูมินัม-ซิลิกอน-แมกนีเซียม

โลหะผสมอลูมินัมซึ่งมีซิลิกอนประมาณ 2% (เป็นส่วนผสมยูเทคติค) เรียกว่าซิลูมิน (Silumin) หล่อได้สะดวก จึงใช่กันเป็นส่วนมากในการทำชิ้นส่วนเครื่องกลต่างๆ ไป แต่ถ้าไม่เติมส่วนผสมอย่างอื่นลงไป คุณสมบัติทางกลจะไม่ดีเพราะเม็ดผลึกซิลิกอนมีขนาดใหญ่ เมื่อเติมเนเตรียม (natrium) ลงไปแล้วกวนน้ำโลหะจะทำให้เม็ดผลึกละเอียด และคุณสมบัติทางกลดีขึ้น แต่วิธีนี้ใช้ไม่ได้ผลสำหรับชิ้นงานหล่อหนาๆ

คุณสมบัติทางกลของโลหะผสมอลูมินัม-ซิลิกอนจะดีขึ้นเมื่อเติมแมกนีเซียม ทองแดงหรือแมงกานีสลงไป และจะยิ่งดีขึ้นอีกถ้าผ่านการกระทำด้วยความร้อน โลหะผสมอลูมินัมที่มี Si 7~9% และ Mg

0.3~1.7% ทำให้แข็งได้โดยการกระทำด้วยความร้อนให้ Mg2Si ตกผลึก โลหะผสมนี้เรียกว่าแกมมา-ซิลูมิน (gamma-silumin) ใช้สำหรับทำกล่อง (casings) จานเบรค ฯลฯ

(3) โลหะผสมอลูมินัม-แมกนีเซียม

โลหะผสมอลูมินัมซึ่งมีแมกนีเซียมประมาณ 4% หรือ 10% มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงและมีคุณสมบัติทางกลดี มีความแข็งแรงทางดึงกว่า 30 kg/mm2 หรือประมาณ 300 μPa และมีการยืดก่อนขาดเกิน 12% ทั้งนี้หลังจากผ่านการกระทำด้วยความร้อน โลหะผสมชนิดนี้เรียกว่าไฮโดรนาเลียม (hydronalium) ใช้สำหรับทำชิ้นส่วนของอุปกรณ์ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เรือเดินทะเล เครื่องบิน ฯลฯ เมื่อชิ้นส่วนเหล่านั้นต้องทนต่อการกัดกร่อน

(4) โลหะผสมอลูมินัมทนความร้อน

โลหะผสม Y คือโลหะผสม Al-Cu-Ni-Mg จะไม่เปลี่ยนความแข็งแรงจนถึงอุณหภูมิ 200oC และความแข็งแรงยังคงสูงอยู่มากถึงแม้ที่อุณหภูมิ 300oC จึงใช้ทำลูกสูบและฝาสูบ โลหะผสม Lo-Ex คือโลหะผสม Al-Si-Cu-Ni-Mg มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ และมีความแข็งแรงสูงที่อุณหภูมิสูง จึงใช้ทำลูกสูบและชิ้นส่วนที่ต้องการคุณสมบัติในทำนองเดียวกันกับลูกสูบ

2.5 รูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อ

ชิ้นงานหล่อนั้นมีรูปร่างอย่างไรและมิติเท่าไรก็ได้ แต่ในบางกรณีที่ไม่คำนึงถึงรูปร่างหรือมิติเสียเลยจะทำให้หล่อยากและอาจมีจุดเสีย (defect) ที่เกิดขึ้นเพราะรูปร่างและขนาดไม่เหมาะสม บางครั้งก็ทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงควรพิจารณาเรื่องรูปร่างและขนาดอย่างละเอียด

ประการแรกเรื่องรูปร่างของกระสวน (pattern) ควรจะทำได้ง่าย กระสวนที่ทำยากจะทำให้เสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย ดังนั้นรูปร่างกระสวนจะต้องเป็นรูปร่างง่าย ยกเว้นกรณีที่มีความจำเป็นในด้านการใช้งาน

ประการที่สอง แบบหล่อ (mold) ควรจะทำได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งควรเลี่ยงรูปร่างที่ทำให้ทำแบบไม่ได้ โดยใช้แต่เพียงหีบบน (cope) และหีบล่าง (drag) หรือโดยที่ทำให้ต้องมีหน้าผ่า (parting surface) ซึ่งซับซ้อน

ประการที่สาม ชิ้นงานหล่อจะต้องไม่มีจุดเสีย ถึงแม้ว่ากระสวน (pattern) และแบบหล่อจะทำง่ายแต่ถ้าทำให้เกิดจุดเสียขณะเทหรือขณะแข็งตัวก็ใช้ไม่ได้ เช่นควรหลีกเลี่ยงชิ้นงานทางบางเกินไป หรือมีการเปลี่ยนแปลงในความหนามากเกินไป

ในบางครั้งโดยการเปลี่ยนรูปร่างหรือขนาดเพียงเล็กน้อย ก็ทำให้กระสวน (pattern) และแบบหล่อทำได้ง่ายทั้งจุดเสียก็ไม่มี ดังนั้นผู้ออกแบบและผู้ผลิตจะต้องประสานงานกันอย่างดี จึงจะได้งานที่ทำง่ายและมีคุณภาพดี

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

2.5.2 รูปร่างและมิติมาตรฐานของชิ้นงานหล่อ

(1) ความหนาต่ำสุด

จะต้องกำหนดมิติของชิ้นงานหล่อให้หล่อได้ง่าย ถ้าความหนาน้อยเกินไปน้ำโลหะจะเข้าไม่เต็มทำให้งานเสีย ดังนั้นจึงมีการกำหนดความหนาต่ำสุดขึ้น ความหนาต่ำสุดนี้ขึ้นกับชนิดของน้ำโลหะ ค่าที่กำหนดไว้นี้เป็นค่ามาตรฐาน จะใช้ความหนาต่ำกว่าที่กำหนดก็อาจทำได้สำเร็จ แต่จะสำเร็จได้ยาก

(2) ขนาดของไส้แบบ

ในการใช้ไส้แบบเพื่อทำให้เกิดรูในชิ้นงานหล่อนั้นจะต้องคำนึงถึงพื้นที่หน้าตัดและความยาวของไส้แบบ ถ้าไส้แบบมีขนาดเล็กและยาว ไส้แบบนั้นจะร้อนจัดจนทรายเกิดหลอมเหลว และแกสที่เกิดจากทรายจะทำให้เกิดรูแกส (blow hole) ในชิ้นงานหล่อ ดังนั้นไส้แบบจะต้องไม่มีรูปร่างยาวเรียว

(3) การเปลี่ยนแปลงในความหนา

ความหนาของชิ้นงานหล่อควรจะค่อยเปลี่ยนไม่ใช่เปลี่ยนกระทันหัน ถ้าการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเพียงด้านเดียวควรมีมุมลาด 15 องศา และถ้าเปลี่ยนทั้งสองด้านควรใช้มุมลาดด้านละ 7.5 องศา

(4) มุมฉากและมุมแหลม (หัวต่อรูปตัว L)

ส่วนที่มีรูปเป็นมุมฉากและมุมแหลมจะต้องมีการมนด้วยรัศมีที่เหมาะสมตรงมุมในนอกจากในกรณีพิเศษ ถ้าอัตราส่วนของความหนาที่มีบรรจบกันตรงหัวต่อต่ำกว่า 1.5 : 1 ให้ใช้รัศมี R ของมุมในเท่ากับ T/3 (T เป็นความหนาของส่วนที่หนากว่า) แต่ถ้าอัตราส่วนสูงกว่านั้น นอกจากจะต้องมีการมนตรงมุมแล้วยังต้องมีมุมลาดกำหนดมุมลาดไว้ดังนี้

$$L = 4(T-t)$$

$A = (T-t)$

T : ความหนาของส่วนที่หนากว่า

t : ความหนาของส่วนที่บางกว่า

และมุมลาดตามที่กำหนดไว้นี้จะเท่ากับ 15 องศา

รัศมีตรงมุมจะต้องเท่ากับ

$$R = T/3$$

ถ้าได้ค่าเป็นจุดทศนิยมให้ปัดขึ้นเป็นหน่วยเต็ม

(5) หัว ต่อ T และ Y

ตรงหัวต่อ T และ Y ความหนามักจะมาก ผู้ออกแบบจะต้องระวังมิให้ความหนามากจนเกินไป แต่ก็จำเป็นต้องมีการมนที่มุม (ทั้งๆ ที่การมนทำให้ความหนาเพิ่มขึ้น) เพราะถ้าไม่มนจะเกิดการร้าวที่หัวต่อ หรือมอฉะนั้นทรายที่อยู่ตรงมุมจะมีอุณหภูมิสูงจนหลอมละลาย รัศมีของการมนที่มุมจะต้องเท่ากับ T/3 ถ้าได้ค่าเป็นจุดทศนิยมให้ปัดขึ้นเป็นหน่วยเต็ม

ถ้าอัตราส่วนของส่วนหนาและส่วนบางต่ำกว่า 1.5 : 1 อาจต่อกันได้ตรงๆ เลย และมีมนตรงมุม แต่ถ้าอัตราส่วนสูงกว่านั้นจะต้องมีมุมลาดเพื่อมิให้เกิดการเปลี่ยนความหนาโดยกระทันหัน แต่โครง (rib) และปีก (fin) จะไม่มีมุมลาด ถึงแม้อัตราส่วนของความหนาจะสูง

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 3-4
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

2.5.3 ความเที่ยงของมิติของชิ้นงานหล่อ

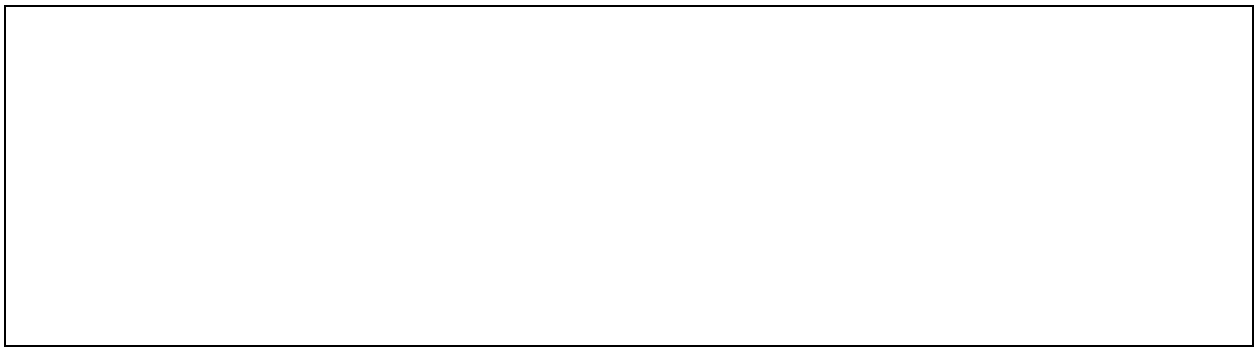
(1) ความคลาดเคลื่อนที่ยอมได้ (tolerances) ในมิติของความหนา

ความคลาดเคลื่อนในมิติของชิ้นงานหล่อเกิดจากความคลาดเคลื่อนในแบบไม้ การที่มีการขยับของแบบไม้ในแบบหล่อขนโพรงในแบบหล่อใหญ่กว่าแบบไม้ การวางไส้ไม่เที่ยง และความไม่สม่ำเสมอในการหดตัวเชิงปริมาตร (volumetric shrinkage) ของชิ้นงานหล่อ ฯลฯ ดังนั้นมิติของชิ้นงานหล่อจะต้องผิดไปบ้าง และดังนั้นจึงควรมีการกำหนดพิกัดที่ยอมได้ไว้

เหล็กหล่อเทาและเหล็กเหนียวหล่อ ถ้าไม่มีความต้องการให้มีมิติเที่ยงเป็นพิเศษ แต่ถ้ามีความต้องการพิเศษ ควรระบุความต้องการนั้นไว้ในแบบ (drawing)

(2) ความคลาดเคลื่อนที่ยอมได้ในมิติของความยาว

มิติใดที่ขึ้นกับทั้งแบบส่วนล่างและส่วนบน หรือขึ้นกับทั้งแบบหล่อและไส้แบบจะมีความผิดพลาดมากกว่ามิติที่ขึ้นอยู่กับอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว เช่นมิติที่ขึ้นกับเฉพาะแบบส่วนล่าง ถึงแม้แบบส่วนบนจะประกอบไม่ตรงแนวกับแบบส่วนบนก็จะไม่เกิดผลกระทบกระเทือนต่อมิตินั้น หรือมิติที่ขึ้นกับไส้หล่อเพียงอย่างเดียว ถึงแม้ไส้หล่ออาจจะเคลื่อนไปจากที่ที่ควรจะอยู่ ก็จะไม่เกิดผลกระทบกระเทือนต่อมิตินั้น ผู้ออกแบบเครื่องกลจะกำหนดความเที่ยงของมิติโดยไม่คำนึงถึงประเด็นข้างบน เป็นหน้าที่ของวิศวกรงานหล่อที่จะจัดการให้ชิ้นงานหล่อมีความเที่ยงตรงตามที่ต้องการ



	แบบทดสอบท้ายบทเรียน	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 2-3
	ชื่อหน่วย หลักวิชาการหล่อโลหะ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. จงบอกคุณสมบัติของน้ำโลหะ

.....

.....

.....

.....

2. จงอธิบายการแข็งตัวของโลหะ

.....

.....

.....

.....

3. จงอธิบายแผนภูมิสมดุลของโลหะผสม

.....

.....

.....

.....

4. จงบอกโครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อ

.....

.....

.....

.....

5. บอกรูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อ

.....

.....

.....

.....

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 4-5
	ชื่อหน่วย การจัดระบบงานหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. สาระสำคัญ

บทนี้ว่าด้วยเรื่องการกำหนดรูเท (sprue) รูล้น(riser) ทุ่นเย็น (chill) ฯลฯ สำหรับงานหล่อ การกระทำดังกล่าวนับได้ว่าสำคัญที่สุดในการการหล่อโลหะในการทำการหล่อจะต้องมีรูเท ซึ่งนำน้ำโลหะเข้าสู่ช่องว่างของแบบโลหะและต้องมรูล้นซึ่งส่งน้ำโลหะเข้าสมทบเมื่อมีการหดตัวขณะแข็งตัวและเย็นตัว ขนาดของรูเทและรูล้นขึ้นกับความหนาของชิ้นงานและชนิดของน้ำโลหะ ดังนั้นการกำหนดขนาดจึงเป็นงานที่ค่อนข้างยาก ยิ่งการนั้นยังต้องคำนึงถึงสภาวะของการเท เช่น อุณหภูมิโลหะขณะเท และอัตราการเทเนื่องจากคุณภาพของชิ้นงานหล่อข้นอยู่กับรูเท รูล้น สภาวะการเทต่างๆ ฯลฯ ดังนั้นการกำหนดสิ่งดังกล่าวนี้จึงควรกรทำด้วยความมัดระวัง

2. หัวข้อการเรียนรู้

3. การจัดระบบงานหล่อ

3.1 ระบบจ่ายน้ำโลหะ (gating system)

3.2 รูเข้าจากข้างล่าง

3.3 ทุ่นเย็น (chills)

3. สมรรถนะอาชีพประจำหน่วย

เข้าใจการจัดระบบงานหล่อ อธิบายระบบจ่ายน้ำโลหะ (gating system) รูเข้าจากข้างล่างได้และอธิบายขั้นตอนการทำทุ่นเย็น (chills)

4. จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

3. เข้าใจการจัดระบบงานหล่อ

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

3.1 อธิบายระบบจ่ายน้ำโลหะ (gating system) ได้

3.2 อธิบายรูเข้าจากข้างล่างได้

3.3 อธิบายขั้นตอนการทำทุ่นเย็น (chills) ได้

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 4-5
	ชื่อหน่วย การจัดระบบงานหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

บทที่ 3
การจัดระบบงานหล่อ

3.1 ระบบจ่ายน้ำโลหะ (gating system)

3.1.1 ชื่อและหน้าที่ของส่วนต่างๆ ของระบบจ่ายน้ำโลหะ

ระบบจ่ายน้ำโลหะคือทางที่น้ำโลหะเข้าสู่ช่องว่างของแบบหล่อ ทุกๆ ส่วนมีชื่อนับตั้งแต่แอ่ง (pouring cup) ที่รับน้ำโลหะลงมาจากเบ้า (ladle) จนถึงรูที่นำเข้าสู่ช่องว่างในแบบหล่อ ชื่อเหล่านี้มีแอ่งเท (basin) รูเท (sprue) รูวิ่ง (runner) และรูเข้า (ingate) แอ่งเทเป็นที่รับน้ำโลหะจากเบ้า

รูเท (sprue หรือ downsprue) เป็นทางที่นำน้ำจากอ่างเทไปสู่รูวิ่งและรูเข้า

รูวิ่ง (runner) เป็นทางที่นำน้ำโลหะจากรูเทไปยังส่วนต่างๆของแบบหล่อ

รูเข้า (ingate) เป็นทางที่น้ำโลหะจากรูวิ่งเข้าสู่ช่องว่างในแบบหล่อ

3.1.2 รูปร่างของเส้นต่างๆ ของระบบจ่ายน้ำโลหะ

(1) แอ่งเท (basin หรือ pouring cup)

แอ่งเทมีรูปร่างเป็นกรวยหรือถ้วย อยู่เหนือรูเท แอ่งเทต้องมีลักษณะที่จะกันมิให้สิ่งใดมาเจือปนในน้ำโลหะจสกเบ้าเข้าไปในรูเท ดังนั้นจะต้องไม่ตื้นนักถ้าอัตราส่วนระหว่างความสูงของระดับน้ำโลหะในแอ่งเทเรียกว่า Hและเส้นผ่าศูนย์กลางของอ่างที่เรียกว่าน้อยเกินไปเช่นต่ำกว่า 3 จะเกิดการหมุนตัวของน้ำซึ่งจะพาขี้กรันหรือสิ่งเจือปนอื่นซึ่งลอยอยู่ที่ผิวน้ำของโลหะเข้าไปในรูเทด้วย ดังนั้นความสูงของอ่างจึงควรจะมากที่สุดเท่าที่จะทำได้เช่นที่แสดงในรูป 4.2 แต่ถ้าลึกเกินไปการเทจะไม่สะดวกและจะมีน้ำโลหะเหลืออยู่ภายหลังมากเกินไปซึ่งเป็นการไม่ประหยัดดังนั้นมักให้ความสูงของแอ่งเป็น 5-6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางมีแอ่งเทมีส่วนกันขี้ตะกรัน(skim core)ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จะต้องเทน้ำโลหะลงในส่วนที่ห่างจากรูเท ส่วนกันขี้ตะกรันจะกันมิให้ขี้ตะกรันและสิ่งเจือปนผ่าน ปล่อยแต่น้ำโลหะที่สะอาดลอดข้างใต้เข้าสู่หรือเทบางครั้งก็มีจุกรูเท (sprue plug) อยู่ที่ทางเข้าของรูเท จะเปิดก็ต่อเมื่อมีน้ำโลหะในแอ่งเทเต็ม สิ่งเจือปนและขี้ตะกรันลอยอยู่ที่ผิวทำให้ไม่เข้ารูเท ถ้าแอ่งเทเล็กเมื่อเทียบกับชิ้นงาน อาจต้องมีการเติมน้ำโลหะลงแอ่งเทอีก 2-3 ครั้งก่อนที่แบบหล่อจะเต็ม ในบางกรณีก็ทำแอ่งให้ใหญ่กว่าช่องว่างในแบบหล่อ ทำให้เทน้ำดลหะลงในแอ่งเทให้เต็มครั้งเดียวพอ

(2) รูเท (sprue)

รูเทเป็นรูตรงและอยู่ในแนวตั้ง มีหน้าตัดเป็นรูปกลม บางครั้งหน้าตัดจะเท่ากันตลอดจากบนถึงล่าง แต่ส่วนมากจะใหญ่บนและค่อยๆเล็กลง รูเทหน้าตัดเท่ากันนั้นใช้เมื่อต้องการให้น้ำโลหะเข้าเร็วและสม่ำเสมอ รูเทหน้าตัดคอดลงนั้น ใช้เมื่อตองการกันมิให้สิ่งเจือปนเข้า คือต้องการปล่อยให้เข้าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทำรูเทโดยการทะลวงแบบหล่อด้วยท่อนของแข็งหรือใช้ปลอกทำด้วยวัสดุทนไฟ (refractory chamotte sleeve) วิธีทำประเภทหลังใช้สำหรับรูเทที่ยาว

(3) รูวิ่ง (runner)

รูวิ่งมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูหรือครึ่งวงกลมทั้งนี้เพราะทำหน้าตัดรูปร่างดังกล่าวบนหน้าผ่าได้ง่ายและนอกจากนั้นเส้นรอบวงของหน้าตัดยังมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับเนื้อที่ดังนั้นน้ำโลหะจะเย็นช้ารูวิ่งหนียิ่งใหญ่ยิ่งดีเพราะทำให้น้ำหล่อเย็นช้าใหญ่เกินไปจะสิ้นเปลืองมากรูป 4.6 แสดงมิติที่เหมาะของหน้าตัดสำหรับความยาวต่างๆของรูวิ่ง

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 4-5
	ชื่อหน่วย การจัดระบบงานหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

น้ำโลหะมีรูวิ่งไปยังคงมีสิ่งเจือปนลอยอยู่โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเริ่มเทดังนั้นควรพยายามเอาสิ่งเจือปนเหล่านั้นออก วิธีมีดังนี้

1) มีส่วนต่อเพื่อจัดสิ่งเจือปนตรงปลายรูวิ่งน้ำโลหะที่มาถึงในตอนแรกสุดพร้อมทั้งสิ่งเจือปนจะค้างอยู่ส่วนนี้

2) ทำให้น้ำโลหะหมุนก่อนถึงลูกเข้า น้ำโลหะเข้าเส้นสัมผัสแล้วหมุนๆทำให้สิ่งเจือปนรวมกันอยู่ตรงกลาง ใช้รูดัก (relief sprue) น้ำโลหะที่มาก่อนแล้ววิ่งขึ้นตามรูดักและสิ่งเจือปนก็จะค้างอยู่ในนั้นรูดักอยู่ถัดจากรูเทก่อนถึงรูวิ่ง

3) ใช้ที่กรองสิ่งเจือปนจะติดอยู่กับที่กรอง เมื่อน้ำโลหะไหลผ่านจานกรอง(strainer core)ซึ่งเป็นจานที่มีรูเล็กๆเป็นจำนวนมากควรใช้วัสดุประเภทกระเบื้องเผา(ceramic)ทำจานกรองบางครั้งก็วางจานกรองตรงทางเข้าของรูเท

(4) รูเข้า (Ingate) รูเข้านั้นมีขนาดเล็กกว่ารูวิ่งเพราะต้องการกันมิให้สิ่งเจือปนเข้าไปในช่องว่างของแบบหล่อหน้าตัดของรูปที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมคางหมู สี่เหลี่ยมมุมฉาก และครึ่งวงกลมรูเข้ามักจะคอดลงก่อนถึงช่องว่างของแบบหล่อแล้วจึงใหญ่ขึ้นเมื่อจะเข้าแบบทั้งนี้เพื่อกักเอาสิ่งหลุดติดมากับน้ำโลหะเช่นทรายไว้ไม่ให้เข้ามาในตอนที่เอารูเทออก มักส่วนที่คอดที่สุดเพื่อไม่ให้ตัดผิดโดยไปส่วนหนึ่งของชิ้นงานหล่อ

3.1.3 รูเข้าชนิดต่างๆ (classification of gating systems)

รูเข้ามีชนิดต่างๆกัน ชนิดของรูเข้าขึ้นอยู่กับรูปร่างชิ้นงานหล่อ ชนิดต่างๆ ของรูเข้า มีรูเข้าที่หน้าผ่า (paring gate) รูเข้าทางข้างบน (pop gate) รูเข้าทางข้างล่าง (bottom gate) รูเข้ารูปดินสอ (pencil gate) รูเข้าหลายระดับ (step gate) และรูเข้ารูปลิ่ม (wedge gate) ฯลฯ รูเข้าที่หน้าผ่าเป็นรูเข้าที่เข้าตรงกลางหน้าผ่าของแบบหล่อ เมื่อเข้าแล้วน้ำโลหะจะไหลลงไปในช่องว่างรูเข้าทางข้างบนเข้าตรงกับข้างบนของแบบหล่อในแนวตั้ง น้ำโลหะที่เข้าตาม

3.1.4 ระบบรูเข้าสำหรับชิ้นงานเหล็กหล่อ

การกำหนดระบบรูที่ผู้ทำแบบหล่อกำหนดเอาเองโดยไม่มีหลักเกณฑ์อะไรก็ทำกันมากแต่ก็มีโรงหล่อเป็นประจำไม่น้อยที่ใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะเป็นผู้กำหนดและเป็นส่วนหนึ่งของกระสวน แล้วส่งให้ผู้ทำแบบ

หล่ออย่างไรก็ตามการกำหนดตำแหน่งของระบบและมิติของระบบทางเข้า จะต้องคำนึงถึงมิติ รูปร่างและความหนาของชิ้นงาน ตลอดจนเวลาที่ใช้ในการเทและคุณลักษณะการไหลของน้ำโลหะ

วิธีต่อไปนี้ใช้ในการสำรวจระบบเข้าสำหรับเหล็กหล่อ

1. หาเวลาที่ใช้ในการ T ซึ่งขึ้นกับน้ำหนักของโลหะทั้งหมดที่ใช้ในการเท W อาจหา T ได้จากรูป 4.20 หรือจากตารางอื่น

2. หาปริมาตรที่เทต่อหน่วยเวลา Q จากน้ำหนัก W เวลาที่ใช้ในการเท T และน้ำหนักจำเพาะของโลหะ W/Ty = Q =va

3. ปริมาตรที่เทต่อหนึ่งหน่วยเวลา Q เท่ากับผลคูณพื้นที่หน้าตัดของรูเข้า a ดังนั้นจะหา a ได้ถ้ารู้ v v นั้นคำนวณ ได้จากความสูงของรูเท h โดยใช้สูตร V = C √2gh

G เป็นตัวเร่งเนื่องจากความดึงดูดของโลก 980 cm/sec2 และ c เป็นสัมประสิทธิ์ไหลเทากับ 0.5-0.6 สำหรับรูเข้าที่ซับซ้อน และเท่ากับ 0.9-1.0 สำหรับรูเข้าที่ไมซับซ้อน

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 4-5
	ชื่อหน่วย การจัดระบบงานหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

4. ถ้ามีรูเข้ามากกว่า 2รู พื้นที่หน้าตัดของรูเข้าแต่ละอันจะเท่ากับพื้นที่หน้าตัด a ที่หาได้จากข้างบนหารด้วยจำนวนรูเข้า รูเข้าจะต้องมีขนาดที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับค่าที่เพิ่งหาได้

5. มิติของรูเทและรูวิ่งหาได้จากพื้นที่หน้าตัดรวมของรูเข้า สำหรับเหล็กหล่อมีหลักเกณฑ์ดังนี้พื้นที่หน้าตัดของรูเท > พื้นที่หน้าตัดของรูวิ่ง > พื้นที่หน้าตัดของรูเข้า อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ทั้งสามเป็นดังนี้ 1:0.9:0.8 หรือ 1.0:0.75:0.5 ส่วนรูเข้าที่เข้าจากข้างล่าง (bottom gate) นั้น จะต้องมีพื้นที่หน้าตัดของรูเข้าที่ใหญ่ในกรณีเช่นนี้บางครั้งก็ใช้อัตราส่วน 1:1.1:1.2 หรือ 1:1.25:1.5 และ a ที่หาได้จากข้อ 3) จะเป็นพื้นที่หน้าตัดของรูเท ขนาดของรูวิ่งและรูเข้าก็จะหาได้จากอัตราส่วนข้างบนแต่เพื่อความสะดวกมีตาราง ซึ่งบอกขนาดของรุเท รูวิ่งและรูเข้ามาตรฐานสำหรับชิ้นงานหล่อต่างๆ จำนวนของรูวิ่งและรูเข้าขึ้นอยู่กับรูปร่างและชิ้นงาน น้ำโลหะจำต้องเข้าโพรงโดยสม่ำเสมอที่สุดเท่าที่จะทำได้ และ ระยะทางจากรูเทถึงโพรงจะต้องสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ เข้าจะต้องอยู่ในทิศทางที่จะทำให้น้ำโลหะไม่วิ่งเข้าชนแบบหรือชนไส้แบบ

3.1.5 ระบบทางเข้าสำหรับชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อ

วิธีการกำหนดระบบทางเข้าสำหรับสำหรับชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อก็คล้ายกับของเหล็กหล่อในการเทเหล็กเหนียวมักใช้เบ้าที่เทจากส่วนล่าง (bottom-pour) ในกรณีดังกล่าวจะใช้ส่วนรับน้ำโลหะตรงรูเทที่มีพื้นที่ใหญ่กว่าพื้นที่หน้าตัดของช่องเทของเบ้า เพื่อกันมิให้น้ำโลหะหก พื้นที่หน้าตัดของรูวิ่งจะใหญ่กว่ารูเทส่วนพื้นที่หน้าตัดของรูเข้าจะใหญ่กว่าของรุวิ่ง ทั้งนี้เพื่อให้น้ำโลหะวิ่งเข้าแบบดอย่างสะดวก หลักเกณฑ์การกำหนดขนาดมีดังนี้

พื้นที่หน้าตัดของรูเท =(1.4-1.5)x พื้นที่หน้าตัดช่องเทของเบ้า

พื้นที่หน้าตัดของรุเท : พื้นที่หน้าตัดของรูวิ่ง : พื้นที่หน้าตัดของรูเข้า = 1(1.52-2) : (2-4)

ที่ผิวในของรูเทจะมีปลอกทำด้วยวัสดุทนไฟ (chamotte sleeve) หรือท่อดินเผา (soil tube) กันมิให้ทรายติน้ำโลหะเข้าไปในโพรง

3.1.6 ระบบทางเข้าสำหรับชิ้นงานหล่อนอกกลุ่มเหล็ก (non-ferrous)

ในการหล่อโลหะผสมนอกกลุ่มเหล็กมักจะเกิดขี้ตะกรัน เม็ดผลึกหยาบและความไม่สม่ำเสมอของส่วนผสมในเนื้อชิ้นงาน (segregation) ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของโลหะนอกกลุ่มเหล็ก ดังนั้นจึงต้องพิจารณาคุณสมบัติของโลหะผสมแล้วใช้ระบบทางเข้าที่เหมาะสมระบบรูเข้าที่สำคัญๆ สำหรับโลหะผสมนอกกลุ่มเหล็ก มีรูเข้าชนิดรูล้น (riser gate) รูเข้าจากข้างล่าง(bottom gate) รูเข้ารูปดินสอ (pencil gate) รูเข้าหลายแขนง (branch gate) ฯลฯ

1. รูเข้าชนิดรูล้น รูเข้าชนิดรูล้นเป็นระบบรูเข้าซึ่งทำหน้าที่เป็นรูล้นด้วย ดังนั้นมิติจะต้องใหญ่พอที่จะทำให้ทำหน้าที่เป็นรูล้นได้ในการกำหนดจำนวนรูล้นให้คิดว่ารูล้นแต่ละอันใช้ได้ในอาณาเขต 8 เท่าของความหนา t ของชิ้นงาน มิติของรูเข้าชนิดรูล้นมีรูป 4.26 และหาได้จากสูตรต่อไปนี้

D2 =3t (หรือ t’)

H1 =1.5D2 ถึง 2D2

W1=0.8D2

W2=0.5D2

A=0.5D2 (สำหรับงานที่มีรูปร่างเป็นท่อนยาว)

A=0.8t (สำหรับงานที่มีรูปร่างเป็นแผ่น)

H2=1.5A

R1=D2

จำนวนของรูเข้า

n≥i/8xt(หรือt’)

n: จำนวนของรูเข้า

l: ความยาวของชิ้นงานหล่อ

เพราะฉะนั้นพื้นที่หน้าตัดรวมของรูเข้า (a1)=(n)(w2)(A)

อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของรุเทต่อพื้นที่หน้าตัดของรูวิ่งต่อพื้นที่หน้าตัดของรุเข้า

3.2 รูเข้าจากข้างล่าง

รูเข้าจากข้างล่างใช้สำหรับโลหะผสมที่มีขี้ตะกรันมาก ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันมิให้เกิดการวนของน้ำโลหะโดยใช้แอ่งเทใหญ่ น้ำโลหะจะค่อยๆ ไหลเข้าแบบด้วยความเร็วต่ำเพราะมีรูดัก (relief sprue) และ

เพราะลักษณะของรูวิ่ง ที่แอ่งจะต้องมีความกว้างยาวและลึกมากพอที่จะรับน้ำโลหะไว้ได้หมดโดยไม่ล้น ความลึกจะต้องไม่ต่ำกว่า 75 mm และตรงทางออกจะต้องมีการมนที่รัศมี 25-40 mm. รูเทอันที่โลหะผ่านอันแรก (primary sprue) มีขนาดมาตรฐานซึ่งได้กำหนดไว้โดยอาศัยประสบการณ์จากการปฏิบัติงานและอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดรูเทต่อพื้นที่หน้าตัดรูวิ่งต่อพื้นที่หน้าตัดรูเข้านั้นควรเท่ากับ 1:4:4 เพื่อให้น้ำโลหะไหลลงโดยไม่มีการวน

หลังจากที่หาขนาดของรูเทแล้วคำนวณหามิติอื่นๆ ได้ดังนี้

$D2\text{Ø} = 2.5\ D1\text{Ø}$

$H2 \geq 75mm$

$D3\text{Ø} = 3\ D1\text{Ø}$

$H3 = 2\ D3\text{Ø} = 6D1\text{Ø}$

$D4\text{Ø} < 1/2\ T$ และ $D4\text{Ø} \geq 8$

$H4 = 4D4\text{Ø}$

$D5 = \sqrt{a2}/1.2$

$H5 = 1.2D5$

D5 เป็นความกว้างและ H5 เป็นความสูงของของรูวิ่ง

จำนวนของรูเท (n)

$N = a1/\pi/4D42$

กำหนดให้ระยะระหว่างรูเข้า (pitch) เล็กกว่า 8T และให้ระยะระหว่างรูเข้าเท่าๆกัน

รูเข้ารูปดินสอ (pencil gate)การใช้รูเข้ารูปดินสอเป็นวิธีการที่ได้ผล ที่สุดในการป้องกันการเกิดโพรงเนื่องจากการหดตัวและกรเทน้ำโลหะเข้าโพรงแบบอย่างสม่ำเสมอ ในกรณีนี้น้ำโลหะ ลงมาจากข้างบนดังนั้นน้ำโลหะในแบบจะถูกรบกวนและจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนดังนั้นจึงไม่เหมาะสำหรับโลหะผสมจำพวกทองเหลืองหรือ

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 4-5
	ชื่อหน่วย การจัดระบบงานหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

อลูมิเนียม รูเข้ารูปดินสอนี้มีประโยชน์ในการกันมิให้น้ำโลหะกระแทกผิวแบบการหล่อหรือไส้แบบ และกันมิให้น้ำโลหะหมุนแล้วดูดเอาขี้ตะกรันเข้าไปในแบบหล่อมิติของรูเข้ารูปดินสอหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$d < 0.5T$

$H = 4D$

หลังจากหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเข้ารูปดินสอแล้วก็คำนวณหาน้ำหนักของน้ำโลหะที่จะต้องทีแล้วหาจำนวนรูเข้า รูเข้าหลายทาง (Branch gate) รูเข้าหลายทางใช้สำหรับชิ้นงานหล่อที่มีรูปร่างซับซ้อนและ

ใช้รูล้นข้าง (side riser) ไม่ได้เพราะถูกบังคับโดยชิ้นงานหล่อก็ต้องเริ่มโดยการหาอัตราการเทแล้วจึงหาขนาดของระบบทางเข้าอัตราการเทจะต้องไม่เร็วหรือช้าเกินไปคือจะต้องไม่ให้เกิดการไหลแบบบอลวนการมีขี้ตะกรันหรือทรายติดน้ำโลหะเข้าไปการที่มีโลหะเข้าไม่เต็มแบบเพราะแข็งตัวเสียก่อนและจะต้องพยายามให้อุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงานเพื่อให้ได้งานหล่อที่ดีไม่มีการร้าวหรือบิดเบี้ยว

พื้นที่หน้าตัดของรูเข้า(a3)นั้นหาได้จากตารางที่ 4.3 แล้วคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของรูวิ่ง (a2) และรูเข้า (a1)

จากอัตราส่วน a3 : a2 : a1 =1:2:2

สำหรับรูวิ่ง W2 = √a2 , H2 =W2

หน้าตัดของรูวิ่งนั้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเหมือนของเหล็กหล่อ

ความกว้าง W1 และความสูง H1 ของรูเข้าหาได้ดังนี้

H1 < 0.5H2

W1>2H1

P < 8T

4.2 รูล้น (riser)

3.2.1 รูล้นชนิดต่างๆและความแตกต่างในการใช้งาน

รูล้นทำหน้าที่ป้อนน้ำโลหะเข้าไปแทนส่วนที่หดในขณะที่แข็งตัว ดังนั้นน้ำโลหะในรูล้นจะต้องแข็งตัวก่อนน้ำโลหะในชิ้นงาน ถ้ารูล้นใหญ่เกินไปก็จะเป็นการสิ้นเปลืองและถ้าเหล็กเกินไปก็จะเกิดโพรงเนื่องจากการหดตัว

รูล้นแบ่งออกได้สองชนิดคือรูล้นข้างและรูล้นบน รูล้นข้างของชิ้นงานหล่อ และต่อกับรูเทและรูวิ่งโดยตรง ในขณะนี้ใช้ได้ผลดีสำหรับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กหรือขนาดกลางรูล้นบนอยู่ข้างบนของชิ้นงานซึ่งมักมีรูปร่างทรงกระบอกหรือมีขนาดใหญ่รูป 4.31 แสดงตัวอย่างของรูล้นข้างและรูป 4.32 แสดงตัวอย่างของรูล้นบน รูล้นที่เปิดให้น้ำโลหะสัมผัสบรรยากาศเรียกว่ารูร้อนเปิดส่วนรู้ร้อนที่ข้างบนปิด (มักเปิดด้วยรูปครึ่งทรงกลม) เรียกว่ารูล้นปิดรูล้นปิดจะไม่สามารถป้อนน้ำโลหะเมื่อนำโลหะที่ผิวในของรูล้นแข็งตัว เพราะมีความดันเหนือน้ำโลหะในรูล้นน้อยมาก (ใกล้สูญญากาศ) จะต้องมีไส้รูปกรวยปลายแหลมเสียบอยู่ด้านบนให้ความดันจากบรรยากาศเข้าช่วย รูล้นปิดจะทำให้ประหยัดน้ำโลหะเพราะสามารถใช้รูล้นปิดได้ขนาดเล็กกว่ารูล้นเปิดแต่เสียเวลาทำแบบหล่อมากกว่ารูล้นปิด

3.2.2 รูล้นสำหรับชิ้นงานเหล็กหล่อ

การหดของเหล็กหล่อในระหว่างแข็งตัวจะน้อยกว่าเหล็กเหนียวหล่อและโลหะผสมนอกจากเหล็กรูล้นมีหน้าที่ทำท่อน้ำโลหะเข้าไปแทนส่วนที่หดในขณะที่ส่วนที่แข็งตัวเพื่อการมีให้เกิดโพลงและต้องทำให้ทราย ขี้ตะกรัน ตลอดจนแก๊สที่ติดน้ำโลหะเข้าไปได้ผุดขึ้นมาในรูล้น จะได้ไม่ติดในชิ้นงานหล่อ เหล็กหล่อที่มีความแข็งแรงทางดึงเกิน 20 kg/mm2 (ประมาณมิว200Pa)...0-1%

ก่อนอื่นจะต้องหาขนาดของรูล้นที่จะทำให้สามารถป้อนน้ำโลหะเข้าไปแทนส่วนลดได้อย่างเพียงพอเนื่องจากน้ำโลหะที่สัมผัสผิวของแบบรูร้อนและพื่สัมผัสบรรยากาศจะแข็งตัวเสียก่อนเพราะอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วดังนั้นน้ำหนักเพียงส่วนหนึ่งของรูล้นเท่านั้นที่จะทำหน้าที่ของรูล้นไม่ใช่น้ำหนักทั้งหมด อัตราส่วนการป้อนน้ำโลหะที่ใช้ได้จริง (effective feed ratio) ของรูล้นข้างซึ่งต่อกับระบบทางเข้าจะต่างไปจากรูล้นบนซึ่งใช้น้ำโลหะที่ล้นขึ้นมาจากโพรงทั้งนี้เพราะอุณหภูมิของน้ำโลหะในแต่ละรูล้นต่างกันตารางที่ 4.4 แสดงอัตราส่วนการป้อนที่ใช้ได้จริง หมายความว่าถ้าน้ำหนักทั้งสิ้นของรูล้นเท่ากับ 100 kg น้ำหนักส่วนที่ทำหน้าที่ป้อนจริงสำหรับรูล้นข้างจะเท่ากับ 35 - 40 kg และสำหรับรูล้นบนเท่ากับ 30 - 35 kg

รูปร่างของรูล้นควรเป็นทรงกระบอกทั้งนี้เมื่อคำนึงถึงผลงานตามหน้าที่ของรูล้นและความสะดวกในการทำแบบหล่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกระบอกขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานเพียงอย่างเดียว เมื่อหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางได้แล้วมิติอื่นๆ

นอกจากนี้ยังมีรูล้นซึ่งต่อยอดจากชิ้นงานรูปร่างทรงกระบอกยาวเช่นปลอกเสื้อสูบหรือลูกสูบรูล้นชนิดนี้ใช้กันมากเพราะใช้ได้ดีกว่าอย่างอื่นในด้านการกำกับในการแข็งตัวดำเนินไปตามทิศทางที่ต้องการและในด้านการทำหน้าที่ของรูล้นเมื่อน้ำโลหะเข้าสู่แบบโดยใช้รูเข้ารูปดินสอรูป เมื่อหามิติและรูปร่างของรูล้นได้แล้วจะต้องพิจารณาเรื่องขอบเขตการทำงานของรูลอนโดยทั่วไปขอบเขตการทำงานของรูล้นจะเท่ากับประมาณ 8 เท่าของความหนาของชิ้นงานหล่อ

ในตำแหน่งใต้รูล้นถ้าความหนาของชิ้นงานหล่อเท่ากับ 40 mm. ขอบเขตการทำงานของรูล้นเท่ากับ320 mm นับจากขอบของรูล้นในทางด้านซ้ายและขวาตามลำดับ

3.2.3 รูล้นสำหรับชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อ

เหล็กเหนียวหล่อมีจุดหลอมเหลวสูง และมีสัมประสิทธิ์การหดตัวสูง นอกจากนั้นยังแข็งตัวเร็วกว่าเหล็กหล่อดังนั้นหน้าตัดของรูร้อนสำหรับเหล็กเหนียวหล่อจะต้องใหญ่กว่ามากรูล้นควรอยู่เหนือรูเข้าตรงตำแหน่งสูงสุดของชิ้นงานหล่อและในจุดเหนือส่วนที่หนาที่สุดของชิ้นงานและนอกจากนั้นจะต้องเอาออกได้สะดวกเมื่อหล่อเสร็จควรมีรูปร่างทรงกระบอก(รูป 4.38 แสดงตัวอย่างของรูล้น)

ส่วนจำนวนรูล้นนั้นหาได้จากสูตรต่อไปนี้(ดูรูป 4.39ประกอบ)

จำนวนรูล้น = ความยาวทั้งสิ้นของชิ้นงานที่รูล้นจะต้องทำหน้าที่ป้อนโลหะ (mm)

2 x ระยะการทำงานของรูล้น(DF) (mm)

ในกรณีที่มีเศษส่วนให้ปัดเป็นหน่วยหนึ่งเต็ม

เมื่อหาตำแหน่งรูปร่างและจำนวนรูล้นได้แล้วก็จะต้องหามิติของส่วนอื่นๆต่อไปปริมาตรของรูล้นนั้นได้จากปริมาตรของรูล้นส่วนปริมาตรของชิ้นงานหล่อซึ่งหาได้จากรูป 4.40 เป็นตัวประกอบที่ขึ้นกับรูปร่าง

L คือความยาวของชิ้นงาน Wคือความกว้างของชิ้นงานและ T คือความหนาของส่วนของชิ้นงานตรงที่ควรจะเป็นที่ตั้งรูล้น

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 4-5
	ชื่อหน่วย การจัดระบบงานหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

รูล้นควรมีรูปร่างทรงกระบอกแต่ในกรณีที่ไม่สามารถจัดรูนล้นไว้ในตำแหน่งที่ได้คำนวณไว้เพราะรูปร่างของหีบหล่อหรือรูปร่างของชิ้นงานและทำให้มีตำแหน่งระหว่างรูล้นที่รูล้นป้อนไม่ถึงก็ให้ใช้รูร้อนที่มีความหนาเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของรูปทรงกระบอกและให้ยืดส่วนกว้างออกไปในทางที่ป้อนไม่ถึงตนเป็นที่แน่ใจว่ารูล้นจะป้อนไปถึงจุดที่เติมป้อนไม่ถึงความสูงของรูล้น(H) นั้นถ้ามีปลอกที่ให้ความร้อนหรือความร้อนให้ใช้เท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลาง(D) ของรูล้นสำหรับรูล้นที่ไม่มีปลอกให้ใช้ความร้อนหรือฉนวนความร้อนใช้สูตรต่อไปนี้

ความสูงของรูล้น H = (1.5±0.2)x DØ ..... รูล้นทรงกระบอก

ความสูงของรูล้น H=(2.0±0.2)x แกนสั้น..... รูล้นรูปรี (elliptie)

3.2.4 รูล้นสำหรับชิ้นงานหล่อนอกกลุ่มเหล็ก(non-ferrous)

โดยทั่วไปชิ้นงานหล่อนอกกลุ่มเหล็กพบมากในขณะแข็งตัว ดังนั้นจะต้องป้อนน้ำโลหะเข้าไปในช่องว่างระหว่างเม็ดผลึกที่เกิดขึ้นระหว่างการแข็งตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สำหรับโลหะผสมทองแดงซึ่งประกอบด้วยโลหะที่มีจุดแข็งตัวต่างๆ กัน เป็นการยากที่จะวางระบบมาตรฐานสำหรับการป้องโลหะมีวิธีการกำหนดระบบการป้อนโลหะอยู่หลายต่างกันสำหรับต่างบริษัทแต่ไม่มีวิธีมาตรฐาน

ขอบเขตการทำงานของรูล้นสำหรับชิ้นงานหล่อมากกว่าของเหล็กหล่อ ทำให้ต้องเปลืองโลหะที่ใช้ทำรูล้นมากแต่ใช้ทุนเย็น(chill) เข้าช่วยก็จะสามารถเพิ่มขอบเขตการทำงานของรูล้น

3.3 ทุ่นเย็น (chills)

3.3.1 ทุ่นเย็นประเภทต่างๆ

ทุ่นเย็นคือ(สิ่งมักเป็นโลหะ)ที่ใช้วางติดกับส่วนของชิ้นงานหล่อที่ต้องการให้เย็นเร็วแบ่งออกได้ 3 ชนิดคือ ทุ่นเย็นนอก แบบหล่อโลหะที่ใช้เป็นทุ่นเย็น และทุ่นเย็นในทุ่นเย็นนอกนั้นใช้กับส่วนของชิ้นงานที่หนามากหรือที่รูล้นไม่สามารถป้อนน้ำโลหะได้ทุ่นเย็นนอกดูความร้อนจากส่วนนอกของชิ้นงานทุ่นเย็นชนิด แบบหล่อโลหะโดยทั่วไปใช้สำหรับชิ้นงานหล่อนอกกลุ่มเหล็กเพื่อให้เย็นเร็วและเพื่อให้ส่วนภายในทั้งหมดของชิ้นงานแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เพื่อกันไม่ให้เกิดการมีส่วนผสมต่างกันและการสูญเสียความทนต่อความดันของของเหลวขึ้นเย็นในใช้วางตรงจุดตัดหรือที่หน้าแปลนที่นูนขึ้นมาขนาดเล็กที่อยู่ห่างจากรูล้นทั้งนี้เพื่อกันมิให้เกิดโพรงในเนื้องาน

3.3.2 ทุ่นเย็นสำหรับชิ้นงานเหล็กหล่อ

เนื่องจากชิ้นงานเหล็กหล่อมีทองที่เกิดจากการหดตัวน้อยกว่าเหล็กเหนียวและโลหะนอกกลุ่มเหล็ก จึงมักต้องใช้ทุ่นเย็น แต่สำหรับเหล็กหล่อเหนียว ซึ่งปัจจุบันใช้กันมากนั้น ก็ใช้ทุ่นเย็นกันมากขึ้นเย็นทำให้เกิดการประหยัดโลหะที่ต้องใช้ทำรูล้น ทุ่นเย็นสำหรับชิ้นงานเหล็กหล่อใช้ในการกันมิให้เกิดโพรงที่เกิดจากการหดตัว โดยทำให้ส่วนที่หนาแข็งตัวและเย็นตัวเร็วขึ้น ทำให้ส่วนที่หนาและส่วนที่บางแข็งตัวพร้อมกัน ถ้าใช้ทุนเยอะหรือไม่เพียงพอจะทำให้เกิดจุดเสียกล่าวคือ การบิดเบี้ยวและรอยร้าวตลอดจนผลที่เกิดขึ้นจากการหดตัว

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 3
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 4-5
	ชื่อหน่วย การจัดระบบงานหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

3.3.3 ทุ่นเย็นสำหรับชิ้นงานเหล็กเหนียวหรอ

หน้าที่สำคัญของทุ่นเย็นสำหรับเหล็กเหนียวหล่อเพื่อการรักษาส่วนที่ไม่ได้รับน้ำโลหะป้อนจากรูล้นมิให้เสียการใช้ทุ่นเย็นนอกและทุ่นเย็นใดมักเป็นไปตามหลักเกณฑ์ต่อไปนี้

1) ชิ้นงานหล่อบางส่วนหนา บางส่วนบาง ใช้ทุ่นเย็นนอกและผู้เรียนใน

2) ชิ้นงานหล่อที่ความหนาของส่วนหนาสุดมากกว่า สองเท่าของความหนาของส่วนบางสุดท้ายทุ่นเย็นใน

3) การป้องกันมิให้เกิดโครงจากการหดตัวที่สุดตัดใช้ทุ่นเย็นนอกและทุ่นเย็นใน

4) มีการป้องกันมิให้เกิดรอยร้าวที่จุดตัดใช้ทุ่นเย็นนอก

3.3.4 การเลือกใช้ทุ่นเย็นสำหรับชิ้นงานหล่อนอกกลุ่มเหล็ก(non-ferrous casting)

ทุ่นเย็นนั้นใช่ส่วนมากกับชิ้นงานหล่อนอกกลุ่มเหล็กวัสดุที่ใช้ทำทุ่นเย็นมักเป็นเหล็กหล่อแต่สำหรับชิ้นงานหล่ออลูมินัม (aluminum alloy) ผสมมักใช้ทุ่นเย็นที่ทำด้วยวัสดุที่มีส่วนผสมเหมือนกับชิ้นงานหล่อนั้นชิ้นงานหล่อนอกกลุ่มเหล็กอาจแบ่งได้หลายชนิดเช่น ที่มีดีบุกเป็นส่วนผสมหลัก เช่นบรอนซ์ ที่มีสังกะสีเป็นส่วนผสมหลัก(tin base)เช่น ทองเหลือง ที่มีตะกั่วดี-บุกเป็นส่วนผสมหลัก เช่นบรอนซ์ตะกั่ว และอลูมินัมผสมตาราง 4.7 แสดงการใช้ทุ่นเย็นแยกตามวัสดุที่ใช้หล่อหน้าที่ของทุ่นเย็นก็เปลี่ยนไปตามชนิดของวัสดุที่ใช้หล่อด้วย

1) สำหรับชิ้นงานหล่อบรอนซ์ ช่วงอุณหภูมิแข็งตัวจะกว้าง และการป้อนโลหะเข้าสู่ที่ว่างระหว่างโครงสร้างรูปกิ่งไม้(dendrites)ก็ทำไม่ได้ เพราะบรรดาก้านของโครงสร้างชนิดนี้กั้นไว้ ดังนั้นจะเกิดโครงเล็กๆที่เกิดจากการหดตัวและทำให้คุณสมบัติของชิ้นงานในด้านความทนต่อความดันของของเหลวต้องต่ำลงเพื่อป้องกันมิให้เกิดจุดเสีย(defect)นี้โครงสร้างจะต้องประกอบด้วยเม็ดผลึกรูปเสาเข็มหน้าที่สำคัญของทุ่นเย็นคือการช่วยให้เกิดโครงสร้างชนิดดังกล่าว

2) สำหรับชิ้นงานหล่อ phosphor bronze และ bronzeตะกั่วนั้นทนเย็นทำหน้าที่กันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในส่วนผสมของฟอสฟอรัสและตะกั่วตามลำดับและกันมิให้เกิดโพรงเนื่องจากหมดตัวในกรณีของชิ้นงานหล่อบรอนซ์

3) ในกรณีของทองเหลือง ทองเหลืองความแข็งแรงสูง หรืออลูมินัมบรอนซ์โลหะเหล่านี้มีสัมประสิทธิ์การหดตัวสูงดังนั้นจึงใช้ทุ่นเย็นในการประหยัดโลหะที่ต้องใช้ทำรูล้นและกันมิให้เกิดการเสื่อมลงของคุณสมบัติทางกลเพราะใช้เวลาการแข็งตัวนานโดยเฉพาะอย่างยิ่งทองเหลืองความแข็งแรงสูงได้รับการกระทบกระเทือนในเรื่องนี้มากถ้าไม่มีทุนเย็นชิ้นงานหล่อทำด้วยโลหะชนิดนี้จะเกิดการร้าวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติกับเวลา (aging)นอกจากนั้นคุณสมบัติทางกลจะจบลงอย่างมาก อลูมินัมบรอนซ์ที่เย็นช้าๆจะเสียความแข็งแรงทางดึง(ซึ่งควรจะสูง) และความทนต่อการกระแทก ทั้งนี้เพราะสภาพ y ตกผลึก

4) สำหรับชิ้นงานหล่ออลูมิเนียมผสมทุ่นเย็นมีหน้าที่ทำให้โครงสร้างละเอียดในตำแหน่งที่จะได้รับการปอกผิวด้วยเครื่องกลโรงงานนอกจากนี้ยังมีหน้าที่ลดลงเนื่องจากการหดตัว

ได้มีการทดลองเพื่อหาวิธีที่ดีที่สุดที่จะหามิติและความหนาของทุ่นเย็น ถึงแม้จะถือว่าเป็นวิธีใช้โดยทั่วไปไม่ได้เพราะทุ่นเย็นที่ใช้การทดลองอาจมีรูปร่างไม่เหมือนกับทุ่นเย็นที่จะใช้ แต่ถ้าใช้ค่าที่ได้จากการ

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 4-5
	ชื่อหน่วย การจัดระบบงานหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

ทดลองที่ต่ำสุดก็จะทำให้มิติใช้ผิดมากนัก สูตรต่อไปนี้ใช่หามิติและความหนาของทุ่นเย็นการหาความหนาของทุ่นเย็นนอกและแบบหล่อโลหะ

$$T = at$$

T:ความหนา(mm) ของทุ่นเย็นนอกหรือแบบหล่อโลหะ

t : ความหนาของชิ้นงานหล่อซึ่งต้องการการใช้ทานเย็น(mm)

a : ค่าคงที่ขึ้นกับชนิดวัสดุชิ้นงานหล่อ

สูตรนี้ใช้ได้ในกรณี $T \leq 50mm$

การหาขอบเขตการใช้งานของทุ่นเย็นนอก

$$L=\beta\cdot(T+W)$$

L: ขอบเขตการใช้งานของทุ่นเย็น (mm)

T:ความหนาของทุ่นเย็น (mm)

β:ค่าคงที่ขึ้นกับวัสดุที่ใช้หล่อ

W:ความกว้างของทุ่นเย็น (mm)

การหามิติของทุ่นเย็นใน

$$D\emptyset = yt$$

$D\emptyset$: เส้นผ่าศูนย์กลางของทุ่นเย็น (mm.)

t: ความหนาของชิ้นงานที่จะต้องใช้ทุ่นเย็น (mm.)

y: ค่าคงที่ขึ้นกับวัสดุที่ใช้หล่อ

ถ้าจะต้องมีการเจาะ(drilling)หรือขยายรู(boring)หลังจากการหล่อจะต้องใช้ทุนเย็นใหม่ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่าศูนย์กลางของรูที่เจาะจำนวนครั้งในการที่ทุ่นเย็นจะถึงพิกัดความทน(endurance limit)เป็นเรื่องสำคัญถ้าใช้ทุ่นเย็นหลายๆครั้งเข้าผิวจะละลายเพราะเกิดการเปลี่ยนรูปเนื่องจากความร้อน(heat distortion)หรืออาจเกิดรอยร้าวเป็นเส้นละเอียดการใช้ทุ่นเย็นที่เสื่อมคุณภาพแล้วจะส่งผลเสียแก่ชิ้นงานหล่อดังนั้นจะต้องตรวจจำนวนครั้งที่ขึ้นเย็นจะใช้ได้

	แบบทดสอบท้ายบทเรียน	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 4-5
	ชื่อหน่วย การจัดระบบงานหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. อธิบายระบบจ่ายน้ำโลหะ (gating system)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงอธิบายรูเข้าจากข้างล่าง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. จงอธิบายขั้นตอนการทำทุ่นเย็น (chills)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. สาระสำคัญ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงแบบหล่อทราย ซึ่งเป้นแบบหล่อที่ใช้กันมากที่สุด และกล่าวถึงทรายทำแบบหล่อ ทรายทำแบบหล่อบางชนิดมีดินเหนียวเป็นตัวประสาน (binder) บางชนิดก็ใช้ประสานพิเศษ จะได้กล่าวถึงการทำแบบหล่อทราย

แบบหล่อทรายนั้นทำโดยใช้เครื่องมือหรือใช้เครื่องทำแบบหล่อ ในระยะหลังมีการทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องมากขึ้น เพราะความก้าวหน้าของเครื่องทำแบบหล่อทั้งขนาดเล็กและใหญ่

2. หัวข้อการเรียนรู้

4. แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ

4.1 การทำแบบหล่อด้วยมือ

42 การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่อง

4.3 การทำไส้แบบ

4.4 การฉาบผิวแบบหล่อ

4.5 อุปกรณ์เพิ่มเติมของแบบหล่อ

4.6 ทรายหล่อ

3. สมรรถนะอาชีพประจำหน่วย

รู้เกี่ยวกับวิธีการทำแบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ บอกวิธีการทำแบบหล่อด้วยมือ บอกวิธีการทำแบบหล่อโดยใช้เครื่อง บอกวิธีการทำไส้แบบ บอกวิธีการฉาบผิวแบบหล่อ บอกวิธีอุปกรณ์เพิ่มเติมของแบบหล่อ และบอกวิธีทรายหล่อ

4. จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

4. รู้เกี่ยวกับวิธีการทำแบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 บอกวิธีการทำแบบหล่อด้วยมือได้

4.2 บอกวิธีการทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องได้

4.3 บอกวิธีการทำไส้แบบได้

4.4 บอกวิธีการฉาบผิวแบบหล่อได้

4.5 บอกวิธีอุปกรณ์เพิ่มเติมของแบบหล่อได้

4.6 บอกวิธีทรายหล่อได้

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

บทที่ 4
แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ

4.1 การทำแบบหล่อด้วยมือ

การทำแบบหล่อด้วยมือนั้นใช้ในกรณีที่มีการผลิตเป็นจำนวนน้อยหรือเมื่อรูปร่างซับซ้อน ทำแบบหล่อด้วยการใช้เครื่องได้ยาก หรือชิ้นงานหล่อใหญ่ๆ ส่วนมากใช้ทรายที่ดินเหนียวเป็นตัวประสาน

4.1.1 วิธีทำแบบหล่อสำหรับหล่อบนๆ แบบหล่อล่างชนิดธรรมดา

ลำดับการทำแบบหล่อด้วยมือดดยทรายเปียก (green sand) มีดังนี้

1) วางกระดานรองแบบหล่อลบนพื้นเรียบ โดยมีกองทรายอยู่ข้างๆ
2) วางกระสวนและหีบสำหรับส่วนด้านล่าง (drag) ลงบนกระดาษรองแบบ หีบจะต้องใหญ่กว่ากระสวนพอที่จะทำให้ความหนาของทรายโดยรอบกระสวนเท่ากับ 30~50 mm จะต้องกำหนดตำแหน่งรูเทไว้ก่อน
3) คลุมผิวของกระสวนด้วยทรายผิว (skin sand) หรือ surface sand ที่ผ่านการร่อน (sieved) ให้ละเอียดแล้วหั้นของทรายผิวนี้ประมาน 30 mm
4) เททรายทำแบบหล่อ (molding sand) ลงบนทรายผิวแล้วกระทุ้งด้วยเครื่องมือกระทุ้ง (rammer) จะต้องระวังมิให้เครื่องมือกระทุ้งไปกระทุ้งกระสวนโดยตรง การกระทุ้งหรืออัดทรายโดยใช้ที่อัด (stamp) ก็กระทำตามหลักการเดียวกันนี้ หลังจากนั้นก็ปาดทรายที่กองพูนเหนือระดับขอบบนของหล่อหีบออก แล้วยกหีบพร้อมทั้งแบบหล่อและกระสวนขึ้นจากกระดานรองแบบ
5) พลิกหีบเอาส่วนล่างขึ้นบนแล้ววางลงบนกระดานรองแบบและวางอีกครั้งหนึ่งของกระสวนลงบนกระสวนครึ่งล่าง วางหีบสำหรับแบบหล่อส่วนบนครอบกระสวนแล้วโรยผงแยกหน้าผ่า(parting agent) ลงบนหน้าผ่า (parting surface) และบนผิวของกระสวน
6) วางกระสวนรูเท (sprue rod) และกระสวนรูล้นเข้าที่แล้วเททรายผิวและเททรายทำแบบหล่อลงในหีบ เสร็จแล้กระทุ้งถ้าหีบไม่มีเดือยหรือสลักสำหรับกำกับการวางแบบหล่อบนเข้ากับแบบหล่อล่าง จะต้องทำเครื่องหมายไว้เพื่อวางได้ถูกที่ แล้วยกแบบหล่อส่วนบนหรือแบบบน (cope) ขึ้นจากแบบหล่อส่วนล่างหรือแบบล่าง (drag) และวางบนกระดานรองแบบ
7) รูวิ่งและรูเข้านั้นอาจแซะเอาโดยใช้เกรียงหรือช้อน (spatula) ก็ได้ แต่ถ้าใช้กระสวนสำหรับรูวิ่งและรูเข้าวางต่อเข้ากับกระสวนของชิ้นงาน ก็ไม่ต้องใช้วิธีแซะโดยใช้เกรียงดึงกระสวนออกจากแบบห่อโดยใช้เข็มแล้ววางไส้แบบลงในโพรงของแบบ เสร็จแล้วประกบแบบบนเข้ากับแบบล่างเป็นอันเสร็จการทำแบบหล่อ มีหีบอยู่หลายชนิดที่ใช้ทำแบบหล่อ ที่ใช้กันมากที่สุดคือหีบไม้หรือโลหะสำหรับหีบบนและหีบล่างหีบกลมก็ใช้กัน นอกจากนี้ยังมีหีบที่แกะออกจากแบบหล่อได้ก่อนเท (removable flask) หีบที่ว่านี้แกะออกจากแบบหล่อ

ได้หลังจากทำแบบหล่อเสร็จ ดังนั้นอาจทำแบบหล่อได้หลายอันโดยใช้หีบเดียว หีบประเภทนี้มีหีบถอด (slip flask) ซึ่งถอดออกได้หลังจากทำแบบหล่อเสร็จ หีบประกับ (snap flask) ซึ่งมีบานพับติดอยู่ตรงมุมหีบและหีบแกะ (pop-off flask) ซึ่งแกะออกจากแบบหล่อได้โดยถอดปากจับ (clamp) ตรงมุมตรงข้ามสองมุมของหีบ

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

4.1.2 การทำแบบปาด (Loam molding)

แบบโลมใช้สำหรับทำชิ้นงานหล่ออันดียว หรือชิ้นงานใหญ่ๆ ใช้ในการทำแบบหล่อของท่อโค้ง หรือหีบทรงกระบอกหมุน (rotating drum) เครื่อทำแห้ง (dryer) สำหรับการผลิตกระดาษหรือล้อของเครื่องกังหัน (turbine rotator หรือ turbine wheel) ใช้กระสวนปาด (sweeping pattern หรือ strickle) ในการทำแบบปาด ในการทำแบบหล่อใช้วิธีหมุนแผ่นซึ่งมีรอยโหว่เป็นรูปหน้าตัดของชิ้นงานรวมแกนกลาง หรือวิธีลากใบปาด (strickle) ตามแผ่นกำกับ (guides) ซึ่งมีรูปร่างตามรูปร่างของชิ้นงาน ผิวของแบบหล่อทำด้วยโลม ซึ่งชื้นและละเอียด

ใช้ทรายแห้งธรรมดาหรือผงอิฐในการทำโลม ยกเว้นส่วนที่ใช้ทำแบบหล่อแสดงแบบหล่ออันใหญ่ ทำแบบบนพื้นหรือในบ่อ (pit) ใช้วิธีปาดในการทำแบบบาด การทำแบบหล่อโดยการปาดมีลำดับการทำดังนี้

1) วางหีบสำหรับแบบบนลงกระดานรองแบบหรือพื้นบน แล้ววาแผ่นรอง (center plate หรือ support) ลงตรงกลางของพื้นหีบ
2) แกนกลาง (center rod) ของใบปาดนั้นยึดในแนวตั้งโดยแผ่นรองและโครงยึด (trestle) จะต้องยึดโครงยึดไว้ไม่ให้เคลื่อนที่ แล้วจุดหมุนของแบบปาดก็จะถูกยึด ดดยวางน้ำหนักทับจุดยึดเหนือจุดหมุน
3) ในกรณีที่ทรายเปียกทำแบบหล่อ ให้เททรายทำแบบลงในหีบ แล้วทำรูปร่างคร่าวๆ ของชิ้นงานโดยการปาด ทรายจะพูนขึ้นหรือลึกเป็นร่องแล้วแต่ร่างของกระสวน เมื่อได้รูปร่างคร่าวๆ แล้วก็โปรยทรายผิวลงบนผิวของแบบหล่อ แล้วแต่งผิวของแบบหล่อให้เรียบร้อยโดยการปาดอีกครั้งหนึ่ง
4) ในกรณีที่ใชโลม (loam) ทำแบบหล่อก็ให้ใช้โลมแทนที่จะใช้ทราบผิวโปรยลงบนรูปร่างคร่าวๆ แล้วแต่งผิวของแบบหล่อให้เรียบร้อยโดยการปาดอีกครั้งหนึ่ง ในกรณีนี้ถ้าหมุนใบปาดซ้ำหลายครั้งจะกลับทำให้ผิวหล่อขรุขระขึ้น เพราะโลมไปติดกับใบปาด เมื่อเช็ดโลมที่ติดกับใบปาดออกแล้ว แล้วหมุนใบปาดทวนทิศทางเดิมอีกครั้งหนึ่ง ก็เป็นการเสร็จการแต่งผิวแบบหล่อในกรณีที่ไม่ใช้ใบปาดหมุนดังที่ได้กล่าวมา แต่ใช้การลากใบปาดตามแผ่นกำกับวิธีการทำก็จะคล้ายกับวิธีข้างบน

4.2 การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่อง

ในการทำแบบหล่อปริมาณมาก การใช้เครื่องจะทำให้การทำแบบจะมีประสิทธิภาพ และทำให่แน่ใจว่าจะได้แบบหล่อที่ดี ในการเลือกใช้เครื่องทำแบบหล่อจะต้องคำนึงถึงมิติ รูปร่าง น้ำหนัก จำนวนผลิต ฯลฯ ของชิ้นงสนหล่อโดยทั่วไปใช้เครื่องเล็กสำหรับชิ้นงานเล็กและเครื่องใหญ่สำหรับชิ้นงานใหญ่แต่อาจใช้เครื่องใหญ่สำหรับชิ้นงานเล็กหลายอันพร้อมๆ กันในหีบหล่อเดียว

4.2.1 การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องกระแทก (Jolt molding machine)

เครื่องนี้ใช้การกระแทกซ้ำหลายครั้งในแนวตั้ง หีบหล่อ กระสวนและทรายจะถูกยกขึ้นและปล่อยลงในจังหวะที่สม่ำเสมอ การเคลื่อนไหวขึ้นลงซ้ำๆ กันนี้จะอัดและกระทุ้งทรายในหีบหล่อซึ่งวางอยู่บนแผ่นกำกับ (match plate) ในการทำแบบนี้โดยวิธีนี้ ทรายส่วนที่สัมผัสจะถูกกระทุ้งจนแข็งดีแต่ส่วนที่ห่างจากผิวกระสวนจะไม่สู้แข็ง ความแข็งของแบบหล่อจะไม่สม่ำสมอ

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

เครื่องกลที่ทำให้เกิดการกระแทก ที่ใช้ในการทำแบบหล่อ อากาศอัดผ่านทางเข้าแล้วยกลูกสูบและโต๊ะซึ่งติดอยู่กับลูกสูบ เมื่อขอบล่างของลูกสูบผ่านรูทางออก อากาศใต้ลูกสูบจะระบายออกอย่างรวดเร็วและลูกสูบและโต๊ะจะตกลงจนกระแทกกับส่วนบนของเสื้อสูบ ทำให้ทรายในหีบถูกัดและกระทุ้ง เมื่อรูทางออกของอากาศถูกปิดเพราะโต๊ะลงมาปิดอากาศอัดจะยกโต๊ะอีกครั้งหนึ่ง แล้วโต๊ะก็จะตกลงมาอีกเช่นคราวที่แล้ว การเคลื่อนไหวขึ้นลงนี้เป็นไปอย่างรวดเร็ว

เครื่องทำแบบหล่อที่ใช้ทำครึ่งหนึ่งของแบบหล่อ (แบบบนหรือแบบล่าง) โดยใช้หีบโลหะ วิธีการทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องมีดังนี้

1) มีเครื่องสั่นติดอยู่กับแผ่นกำกับ (match plate)
2) ประกอบเดือยกำกับ (guide pins) เข้ากับแผ่นกำกับ แล้ววางหีบลงแผ่นกำกับโดยให้เดือยกำกับสวมรูของหีบ
3) วางหีบเติมทราย (filling box) ลงบนหีบหล่อแล้วใส่ทรายลงในหีบหล่อ
4) จับแบบหล่อด้วยมือและสั่นแผ่นกำกับ แล้วยกแบบหล่อขึ้นจากกระสวน แล้วยกแผ่นกำกับจากแบบหล่อ

4.2.2 การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องทำแบบหล่อชนิดอัด (squeeze molding machine)

การทำแบบหล่อโดยการอัดทรายด้วยแผ่นอัด (squeeze plate) โดยใช้ความดันจากน้ำมันหรือจากลม เรียกว่าการทำแบบหล่อโดยการอัด

การทำแบบหล่อโดยการอัดมีวิธีดังนี้

1) ติดเครื่องสั่นเข้ากับแผ่นกำกับ (match plute) ประกอบเดือยกำกับ (guide pins) เข้ากับแผ่นกำกับแล้ววางหีบหล่อลงบนแผ่นกำกับโดยสวมลงบนเดือยกำกับ
2) ใส่ทรายลงหีบหล่อ เกลี่ยให้ทรายข้างบนเรียบ แล้ววางแผ่นรอง (botton doard) ลงบนทราย
3) จัดแผ่นอัด (squeeze plate) เข้าที่เหนือหีบหล่อ
4) ทำการอัดโดยโยกคันอัด (squeeze lever)
5) หลังจากอัดอยู่ชั่วระยะเวลาหนึ่งก็ดึงคันอัดกลับที่เดิม แล้วเบนแผ่นอัด (squeeze plate) ออกไปอยู่ด้านข้าง เสร็จแล้วยกแผ่นรองออก
6) ยกหีบหล่อขึ้นจากเดือยกำกับในขนาดที่สั่นแผ่นกำกับด้วยเครื่องสั่น เป็นอันเสร็จการทำแบบหล่อ

4.2.3 การทำหล่อแบบโดยใช้เครื่องทำแบบหล่อชนิดกระแทกอัด (Jolt squeeze molding machine)

เครื่องทำหล่อที่นิยมใช้กันนโรงงานคือเครื่องทำแบบหล่อชนิดกระแทกอัด

1) ติดเครื่องสั่นเข้ากับแผ่นกำกับ ให้แผ่นกำกับอยู่ระหว่างหีบแบบบนและหีบแบบล่าง ให้หีบล่างอยู่ข้างบนแล้ววางลงบนแท่น หลังจากใส่ทรายลงในหีบล่างแล้วก็เริ่มการกระแทกโดยใช้เท้าขวากดวาลว์กระแทก (jolt-valve) หลังจากกระแทกได้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง ก็ปล่อยวาลว์กระแทก การกระแทกจะหยุด จะกระแทกนาน

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

เท่าไหร่นั้นจะต้องกะเอาจากรูปร่างกระสวน ความหนาของหีบ คุณสมบัติของทรายทำแบบสมรรถนะของเครื่องฯลฯ

2) วางแผ่นรองล่างลงบนหีบหล่อซึ่งมีทรายอยู่เต็ม แล้วพลิกทั้งหีบและแบบ กลับล่างขึ้นบน โดยใช้ขอบมนของแท่นเป็นจุดหมุน
3) ใส่กระสวนรูเข้า (gate stick) เข้าในหีบแบบบนซึ่งบัดนี้อยู่ข้างบนแล้วใส่ทรายลงในหีบ เสร็จแล้วปิดด้วยแผ่นบน (top board) แผ่นนี้จะมีรูเจาะไว้ก่อนดังนั้นกระสวนเข้าจะทลุแผ่นบนออกมาได้ จัดหัวอัด (squeeze head) เข้าที่เหนือหีบหล่อโดยใช้มือซ้าย และโยกคันอัดด้วยมือขวา แท่นและแบบจะเลื่อนจนหัวอัดอัดแบบทราย เมื่อปล่อยคันโยกจะเลื่อนลง เบนหัวอัดไปทางซ้ายโดยใช้มือซ้ายและยกแผ่นบนและกระสวนรูเข้าออก
4) ใช้เข่าซ้ายกดวาลว์สั่น (vibrator valve) ให้สั่นแผ่นกำกับยกหีบบนออก จากเดือยกำกับ แล้ววางบนโต๊ะทางด้านซ้าย ในทำนองเดียวกันยกแผ่นกำกับออกจากหีบล่างแล้วบนวางบนโต๊ะ

5) วางหีบแบบบนลงบนหีบแบบล่าง โดยสวมลงบนเดือยกำกับ ถ้ามีใส่แบบจะต้องใส่เสียก่อนวางหีบแบบบนทับหีบแบบล่าง

6) ปล่อยปากจับและแกะหีบออกจากแบบหล่อ เป็นอันเสร็จการทำแบบหล่อ

เครื่องทำแบบหล่อชนิดกระแทกอัดบางอันมีเครื่องกลใช้ในการดึงกระสวนออกจากแบบหล่อ เครื่องดึงกระสวนนี้มีประโยชน์เมื่อทำแบบค่อนข้างใหญ่เครื่องทำแบบหล่อชนิดกระแทกอัดที่มีเครื่องดึงกระสวนลงจากแบบหล่อ เครื่องทำแบบหล่อชนิดนี้ใช้ทำแบบหล่อบนและแบบหล่อล่างที่ใช้อยู่กันโดยทั่วไปได้เครื่องนี้มีวิธีการทำงานดังนี้

ประกอบแผ่นกระสวน (pattern plate) เข้ากับแท่นกระแทกและประกอบด้วยแผ่นอัดเข้ากับหัวอัด (squeeze head) แล้วปฏิบัติต่อไปดังนี้

1) ยกหีบหล่อเข้าเครื่อง ยกหีบหล่อขึ้นวางบนแท่นด้วยมือ

2) เลื่อนแท่นขึ้น เลื่อนแท่นสู่ตำแหน่งใช้งานโดยกดปุ่มเดินเครื่อง

3) ใส่ทราย ใสทรายเข้าหีบหล่อจากถังป้อนทราย (hopper)

4) กระแทก เริ่มการกระแทกเมื่อใส่ทรายเสร็จ การผสมทรายนั้นกระทำทั้งขณะใส่ทรายและขณะกระแทก

5) อัด เบนหัวอัดให้อยู่ในตำแหน่งหน้าตรงแล้วเริ่มอัด

6) เบนหัวอัดออก เบนหัวอัดให้อยู่ในตำแหน่งหน้าตรงแล้วเริ่มอัด

7) ดึงกระสวนออก กดปุ่มบังคับให้เครื่องสั่งทำงาน และเลื่อนแท่นลงและดึงกระสวนออก

8) แกะหีบออก แกะหีบออกด้วยมือทำความสะอาดกระสวน เป็นอันเสร็จ

ในบางกรณีการทำงานดังข้างบนกระทำโดยอัตโนมัติ

ถ้ามีทางส่งของชนิดลูกกลิ้ง (roller-conveyor) ทั้งสองข้างทำเครื่องแบบหล่อก็จะทำให้การยกหีบเข้าและออกจากเครื่องเป็นไปอย่างสะดวกและต่อเนื่อง ในโรงหล่อที่ทำการผลิตปริมาณมาก จะแยกทำแบบบนและแบบล่างโดยใช้เครื่องแต่ล่ะเครื่องแล้วส่งทอดโดยใช้ทางส่งของชนิดลูกกลิ้ง การใส่ไส้แบบและการปิดหีบนั้นกระทำในระหว่างที่หีบไปสู่โรงเทน้ำโลหะ

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

นอกจากนี้ยังมีหีบเครื่องทำแบบหล่อชนิดกระแทกอัดที่เรียกว่าชนิดอัดสั่นเครื่องชนิดนี้อัดแบบหล่อโดยการกระแทก (jolt) ความถี่สูง แต่มีช่วงการกระแทกต่ำ (small amplitube) แบบหล่อที่ทำโดยวิธีนี้แข็งดีและใช้เวลาในการทำแบบน้อย

4.2.4 การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องทำแบบหล่อชนิดความดันสูง

เครื่องทำแบบหล่อโดยการอัดทีใช้กันทั่วไป จะอัดผิวแบบหล่อด้วยความดันอย่างมาก 2~3 kg/cm (ประมาณ 2~3 μPa) เครื่องชนดความดันสูงจะอัดผิวแบบหล่อด้วยความดัน 7~30 kg/cm (ประมาณ 7~3 μPa) มักใช้ความดันไฮดรอลิคขบหัวอัดของเครื่องนี้ นอกจากนั้นหัวอัดยังแบ่งออกเป็นหลายส่วน แต่ล่ะส่วนขับด้วยท่อไฮดรอลิค 1 อัน ส่วนบนของท่อไฮดรอลิคจะต่อถึงกันหมดดังนั้นหัวอัดแต่ล่ะส่วนจะอัดทรายจนความต้านทานสมดุลย์กับความดันไฮดรอลิคดังนั้นแบบหล่อทั่วทั้งอันจะได้รับความดันสม่ำเสมอกัน

เครื่องชนิดนี้ใช้แบบหล่อที่แข็งพอถ้าเป็นหีบหล่อตื้นๆ แต่ถ้าหีบหล่อลึกเกิน 300mm แบบหล่อจะไม่แข็งพอโดยไม่มีการกระแทก ดังนั้นเครื่องแบบหล่อชนิดความดันสูงที่มีการกระแทก ดังนั้นเครื่องทำแบบหล่อชนิดความดันสูงที่มีการกระแทกจึงมีขายด้วย

4.2.5 การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องทำแบบหล่อชนิดเป่าและอัด (Blow squeeze inolding machine)

เครื่องทำแบบชนิดนี้เป่าทารยเข้าสู่แบบ แล้วอัดแบบหล่อวิธีการทำงานของเครื่องนี้มีดังนี้

1) เป่าทรายเข้าแบบ
2) อัดทรายโดยใช้ความดันไฮดรอลิค
3) ยกกระสวนอันหน้าขึ้นเพื่อให้แบบหล่อเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้
4) ดันเอากระสวนอันหลังออกและดันแบบหล่อไปข้างหน้า แบบส่วนนี้จะประกบกับแบบหล่อที่ทำไว้ล่วงหน้าแล้วเป็นคู่ๆ
5) คืนกระสวนหน้าและกระสวนหลังเข้าสู่ตำแหน่งเดิม
6) ในขณะที่กระทำตามกระบวนการข้างบนถังจ่ายทราย (hopper) ซึ่งข้างอยู่บนจะได้รับทรายเตรียมไว้ เพื่อใช้กับแบบหล่ออันต่อไป
7) ทำตามกระบวนการข้างบนซ้ำ สำหรับแบบหล่อแต่ล่ะอัน

การทำแบบโดยใช้เครื่องนี้ไม่ต้องใช้หีบหล่อ กระสวนหน้าจะทำโพรงด้านหน้าของแบบหล่อและกระสวนหลังทำโพรงด้านหลังของแบบหล่อ เมื่อต่อแบบหล่อเหล่านี้เข้าเป็นแถวก็จะได้โพรงเป็น จำนวนมาก วิธีการทำแบบหล่อวิธีนี้ใช้เวลาน้อยและมีประสิทธิภาพมาก

4.2.6 การทำแบบหล่อด้วยเครื่องเหวี่ยงทราย (Sand slinger)

เครื่องเหวี่ยงทรายเป็นเครื่องที่ส่งทรายเข้าหีบหล่อโดยเหวี่ยงทรายเข้าไปที่กระสวนอย่างแรงโดยใช้ตัวหมุน (impeller) ความเร็วสูง

เครื่องประกอบตัวหมุนความเร็วสูงและกล่องครอบ ตัวหมุนมีช้อน (impeller chip) เหวี่ยงทรายหนึ่งหรือสองอัน ช้อนเหวี่ยงทรายรับทรายจากด้านหลังของเครื่อง แล้วช้อนจะเหวี่ยงทรายออกทางดูทางออกของกล่องครอบ ภายในของกล่องครอบมีแผ่นลองกันไม่ให้กล่องครอบสึกหรอเพราะทราย ช้อนเหวี่ยงทรายเป็นกระเปาะรูปร่างคล้ายหัวไถทำด้วยเหล็กขาว (white iron) หรือเหล็กเหนียวชนิดพิเศษและติดอยู่กับตัวหมุน ประกอบเข้าและถอดออกได้สะดวกแผ่นลองที่ติดอยู่กับสู่วนในของกล่องกรอบก็ถอดได้สะดวกด้วย ถ้ามีช่องว่าง (clearance) ระหว่างแผ่นรองและช้อนเหวี่ยงทรายมากเนื่องจากการสึกหรอ สมรรถนะของเครื่องจะลดลง ดังนั้นจะต้องเปลี่ยนแผ่นลองและช้อนเสียใหม่ ถ้าความเร็วของการเหวี่ยงต่ำแบบลห่อจะไม่แข็งพอ ตัวหมุนจะต้องมีความเร็วรอบพอที่จะให้ความเร็วกว่า 30m/sec แก่ทรายการป้อนทรายเข้าสู่เครื่องเหวี่ยงนั้นกระทำโดยใช้สายพานส่ง (belt-conveyor) เครื่องเหวี่ยงสายชนิดนี้ใช้กันมากที่สุด เครื่องประกอบด้วยหัวเหวี่ยงทราย (ramming head) มอเตอร์ที่ใช้ขับตัวหมุน (ramming motor) สายพานส่งทรายสำหรับแขนของหัวเหวี่ยงทราย (ramming arm belt conveyor) ที่ยกแขนเหวี่ยงทราย (ramming arm lift) สายพานส่งทรายสำหรับแขนปั่นจั่น (jib arm belt conveyor) แท่นรับแขนปั่นจั่น (jip arm column) เครื่องกลส่งกำลัง (driving mechanism) ฯลฯ หัวเหวี่ยงทรายนั้นหมุนรอบแท่นปั่นจั่นได้ 270 องศา และเลื่อนเข้าได้ดังนั้นมีขอบเขตการทำแบบลหล่อได้กว้าง

เมื่อได้รับทรายจากถังจ่ายทรายแล้ว ทรายจะผ่านไปตามสายพานส่งทรายสำหรับแขนปั่นจั่น และตามสายพานส่งทรายสำหรับแขนของหัวเหวี่ยงทราย เข้าสู่หัวเหวี่ยงทรายแล้วทรายจะถูกเหวี่ยงด้วยความเร็วสูงจากช้อนเหวี่ยงทรายวิ้งติดอยู่กับตัวหมุน

การเลื่อนหัวเหวี่ยงทรายเข้าสู่ตำแหน่งเหนือหีบหล่อนั้นกระทำโดยดึงปุ่มจัยบที่หัวเหวี่ยงทราย ถ้าเป็นชนิดใช้มือ (manual) แต่ถ้าเป็นชนิดใช้ไฟฟ้าหรือไฮดรอลิคผู้ปฏิบัติงานที่นั่งอยู่หน้าหัวเหวี่ยงทรายหรือที่ตำแหน่งอื่นจะเลื่อนหัวเหวี่ยงทราบได้โดยโยกคันบังคับ

สมรรถนะของเครื่องเหวี่ยงขึ้นกับกำลังของมอเตอร์ขับเครื่องเหวี่ยง อัตราตามปกติมักจะเป็น 0.01~0.02 m /min ต่อ kW สำหรับเครื่องขนาดเล็กอัตราจะเป็น 0.05 m /min ต่อ 3.75 kW และสำหรับเครื่องขนาดใหญ่อัตราจะเป็น 0.6 m /min ต่อ 30~45 kW เป็นต้น เครื่องขนาด 15~20 kW เป็นขนาดที่ใช้กันมากที่สุด

นอกจากเครื่องเหวี่ยงชนิดอยู่กับที่ที่ติดอยู่กับแท่น แล้วยังมีชนิดที่เคลื่อนที่ได้ตามราง ชนิดนี้เรียกว่าเครื่องเหวี่ยงเคลื่อนที่ (motive slinger) ซึ่งประกอบด้วยโครงรับ (chassis) และมีเครื่องเหวี่ยงชนิดอยู่กับที่ (stationary slinger) และถังทรายวางอยู่บนโครงรับ

เครื่องเหวี่ยงทรายมีจุดดีและจุดเสียเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทำแบบหล่อธรรมดาดังนี้

จุดดี

1) เครื่องเหวี่ยงทรายเหมาสำหรับการทำแบบหล่อขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ มีช่วงของขนาดแบบหล่อที่ใช้เครื่องนี้ได้กว้าง
2) การเตรียมงานเพื่อทำแบบหล่อด้วยวิธีนี้ กระทำได้ง่าย

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

จุดเสีย

1) การปฏิบัติงานต้องการความชำนาญถึงระดับหนึ่ง ผู้ปฏิบัติงานจะรู้สึกล้าทั้งในร่างกายและหัวสมอง
2) มีส่วนที่สึกหรอที่จะต้องเปลี่ยนเป็นระยะๆ

4.3 การทำไส้แบบ

ไส้แบบคือทรายทำเป็นรูปร่าง ซึ่งใช้วางในโพรงของแบบหล่อเพื่อกันมิให้โลหะเข้าสู่ส่วนของชิ้นงานที่ต้องการให้เป็นรูปหรือช่องว่างไส้แบบมีหลายชนิด เช่นไส้แบบน้ำมัน (oil core) ไส้แบบ CO (CO core) ไส้แบบใช้ลม (airset core) ฯลฯ ชื่อต่างๆ เหล่านี้เรียกตามตัวประสานหรือตามกระบวนการทำไส้แบบ

4.3.1 การทำไส้แบบด้วยมือ

จะได้อธิบายวิธีการไส้แบบ โดยใช้หีบไส้แบบ (core box) เพื่อทำไส้แบบรูปร่างจะต้องใช้หีบไส้แบบการหนีของแกสออกจากไส้แบบนี้จะเป็นไปในทิศทางเดียว ดังนั้นจึงเจาะรูระบายแกสและมีช่องเจาะไว้เพื่อระบายแกสหลายๆรูต่อเนื่องกัน เพื่อส่งแกสออกจากแบบหล่อเมื่อทำเสร็จแร้วจะย่างไส้แบบเหนือเครื่องทำแห้ง (dryer) โดยหมุนไปรอบๆ และลบคมและแต่ผิวให้เรียบ โดยใช้เกรียง (spatula)

ในการทำไส้แบบด้วยมือจะต้องระมัดระวังในเรื่องต่อไปนี้:

1) บรรจุทรายทำไส้ลงในหีบอย่างสม่ำเสมอข
2) ตรวจตราดูมิติและตำแหน่งของเส้นเชื่อมรูระบายแกส ตลอดจนเส้นผ่าศูนย์กลางและตำแหน่งของรูระบายแก๊ส
3) ระวังอย่าให้ไส้แบบที่ทำเสร็จแล้วต้องบิดเบี้ยวหรือหัก

4.3.2 การทำไส้แบบโดยใช้เครื่อง :

ในการทำไส้แบบโดยใช้เครื่องจะใช้เครื่องเป่าไส้แบบ (core-blower) เมื่อเป่าอากาศเข้าไปในถังเก็บทราย (sand reservoir) ทรายทำไส้แบบจะถูกป้อนไปกับอากาศเข้าสู่หีบไส้แบบซึ่งมีปากจับติดกับถังจ่ายทราย อากาศจะหนีออกได้ทางรูระบายอากาศในหีบไส้แบบส่วทรายจะคอยู่ในหีบไส้แบบ เป็นไส้แบบที่ต้องการเสร็จแล้วปล่อยปากจับออกและแกะไส้แบบออกจากหีบ

ในการทำไส้แบบด้วยเครื่องจะต้องระมัดระวังในเรื่องต่อไปนี้

1) ออกแบบหีบไส้แบบให้ทำไส้แบบได้สะดวก หาทางที่จะป้องกันการสึกหรอที่เกิดจากทราย

2) จะต้องมีการระบายลมที่เหมาะสม เพื่อให้อากาศในหีบไส้แบบและอากาศที่ถูกเป่าเข้ามาในหีบ พร้อมกับทรายออกจากหีบได้สม่ำเสมอ รูปร่างตำแหน่ง และจำนวนของรูระบายอากาศเป็นส่วนสำคัญของการทำแบบไส้

4.4 การฉาบผิวแบบหล่อ

หลังจากที่ได้แกะกระสวนออกแล้ว ก็ใช้ผงกราไฟท์หรือผงไมคา (mica) ผสมน้ำทาหรือพ่นผิวแบบหล่อเพื่อให่ทำหน้าต่อไปนี้

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1) กันมิให้โลหะแทรกซึมเข้าในทรายและทำให้ทรายหลอมเหลว
2) เพื่อให้ผิวของงานหล่อเรียบ
3) เพื่อทำให้เอาทรายไส้แบบและทรายทำแบบหล่อออกได้ง่ายในตอนเขย่าทรายออก
4) กันมิให้เกิดจุดเสียเนื่องจากทรายเช่นการเกิดครีบ (finning)

เพื่อให้ทำหน้าที่ข้างบนได้ วัสดุที่ใช้ฉาบผิวต้องมีคุณสมบัติต่อไปนี้:

1) สามารถทนอุณหภูมิโลหะได้โดยไม่ละลาย
2) มีความแข็งแรงเมื่อทาเสร็จและแห้งแล้ว พอที่จะไม่ถูกน้ำโลหะดึงหลุดจากผิวหล่อ
3) มีความหนาของผิวฉาบพอที่จะกันมิให้น้ำโลหะซึมเข้าในทราย
4) เกิดแก๊สน้อยในขณะทำการหล่อ

4.4.1 การฉาบผิวแบบหล่อสำหรับแบบหล่อทรายเปียก

สำหรับแบบหลทราเปียกใช้ผงกราไฟท์ ผงไมคาหรือแป้งหิน (talc powder) ล้วนๆ ใช้วัสดุดังกล่าวในการโปรย (dusting) หรือทาผวแบบหล่อโดยใช้แปรง มีกระบวนการฉาบผิวดังนี้:

1) ถ้าเป็นวิธีโปรย ใช้ถุงผงหรือแป้งทำด้วยผ้าฝ้ายโปรยที่ผิวแบบในแนวตั้งก่อน
2) ถ้าเป็นวิธีทาใช้แปรงวิ่งมีผงหรือแป้งติดยู่ที่ปรายทาผิวแบบในแนวตั้งโยเริ่มจากล่างขึ้นสู่บน
3) มักจะมีผงหรือแป้งกองอยู่ที่ก้นของโพรงในแบบ จต้องกวาดหรือเป่าออก

4.4.2 การฉาบผิวแบบหล่อสำหรับแบบหล่อทรายแห้ง

สำหรับทรายแห้งใช้วัสดุต่อไปนี้

1) ใช้ผงกราไฟท์หรือถ่านไม้ ถ้าอุณหภูมิเทต่ำกว่า 1,350 °C ระวังอย่าให้เกิดฟองหรือแกสเนื่องจากตัวประสาน โดยการใช้ส่วนผสมต่อไปนี้

ก. กราไฟท์ผสม 100 ส่วน (กราไฟท์เกล็ด (scaly graphite) 0~40 ส่วน (กราไฟท์ผง (earthy graphite) หรือ black wash 100~60 ส่วน) เบนโทไนท์ (bentonite) 10~20 ส่วน (หรือดินทนไฟ (fire clay) 20~40) ส่วน

ข. กราไฟท์ผสม 100 ส่วน (กราไฟท์เกล็ด 20~50 ส่วน กราไฟท์ผงหรือถ่านโคก (Coke breeze) 80~50 ส่วน) เบนโทไนท์ 10~20 ส่วน (หรือดินทนไฟ 20~40 ส่วน)

ทั้งในสองกรณีข้างบนถ้าใช้ดินทนไฟ ให้ผสมน้ำดหลือง (molasses) 2~5 ส่วน หรือกรดลิกนินซัลฟอนิค (tignin sulfonic) น้อยกว่า 2 ส่วนเข้าด้วยต่อ 100 ส่วนของกราไฟท์ผสม

2) สำหรับอุณหภูมิเทสูงกว่า 1,350 °C จะต้องใช้วัสดุที่มีการเปลียนแปลงในคุณสมบัติน้อยเมื่อใช้ที่อุณหภูมิสูง ควรใช้ส่วนประสมเช่นตัวอย่างข้างล่าง

ก. กราไฟท์ผสม 100 ส่วน (กราไฟท์เกล็ด 90~80ส่วนผงถ่านโคก 20ส่วน) เบนโทไนท์ 10~20 ส่วน

ข. กราไฟท์เกล็ด 100 ส่วน แอมโมเนียมคลอไรค์ 0.5 ส่วน, เบนโทไนท์ 10~20 ส่วน ใช้น้ำผสม เท่ากับ 100~200% ของส่วนผสมข้างบนสำหรับการฉาบผิวแต่ละครั้ง แต่ถ้าใช้กราไฟท์เกล็ดกับเบนโทไนท์ ควรใช้น้ำมากกว่านี้ และถ้าใช้กราไฟท์ผงกับดินทนไฟควรใช้น้ำน้อยกว่านี้

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

วิธีฉาบผิวแบบหล่อทรายแห้งมีดังนี้

1) ตรวจว่าน้ำฉาบผิวข้นพอเหมาะหรือยังก่อนลงมือผิวฉาบ

2) ให้ฉาบผิวก่อนย่างแบบหล่อถ้าย่างเพียงครั้งเดียว และฉาบผิวหลังจากย่างครั้งแรกสำหรับแบบหล่อที่จะย่างครั้งที่สองครั้ง

3) ฉาบผิวโดยการพ่นหรือการทา

4) ฉาบผิวที่อยุ่ในแนวตั้งโดยพ่นหรือทาจากล่างขึ้นบน

5) ในกรณีที่ฉาบผิวของแบบหล่อทรายที่แห้งแล้ว ควรใช้น้ำผสมดินเหนียวทาผิวเสียก่อน

6) หลังจากพ่นหรือทาแล้ว ถ้าการฉาบยังไม่เรียบแต่งให้เรียบโดยใช้เกรียง (spatula)

7) ถ้าพ่นหรือทาฉาบผิวทับลงบนผิวที่ฉาบแล้วและแห้งแล้ว จะปรากฏว่าผิวฉาบมักจะหลุดออกในตอนเทน้ำโลหะ

4.5 อุปกรณ์เพิ่มเติมของแบบหล่อ

4.5.1 หมุนยึดใส่แบบ (Chaplets)

หมุนยึดใส่แบบคือชิ้นส่วนทำด้วยโลหะ ใช้ในการยึดใส่แบบ หมุนยึดใส่แบบนี้ถ้าไม่จำเป็นไม่ควรใช้ ในกรณีที่บ่าใส่แบบไม่สามารถยึดใส่แบบได้เพราะรูปร่างของแบบก็จำเป็นต้องใช้หมุดยึดใส่แบบ

รูปร่างและขนาดของหมุดยึดใส่แบบจะต้องเหมาะกับสภาพของชิ้นงาน และวัสดุที่ใช้ทำหมุดควรเป็นชนิดเดียวกับวัสดุของชิ้นงาน

4.5.2 เดื่อยเสริม (Mandrels)

เดือ่นเสริมคือโครงที่ใส่อยุ่ในใส่แบบหรือแบบหล่อเพื่อไม่ให้ไส้แบบหรือแบบลหล่อหักพัง ถ้าใช้เดื่อนเสริมอย่างไม่ถูกต้องจะเกิดผลเสียเป็นอย่างมากต่อประสิทธิภาพการทำแบบหล่อ และการแกะแบบหล่อ (shakeout operation) นอกจากนั้นยงัทำให้เกิดจุดเสีย (defects) ในการหล่ออีกด้วย

ข้อควรระวังเรื่องเดือยเสริมมีดังนี้

1) จะต้องคิดถึงการขยายตัวเนื่องจากคววามร้อน ในขณะที่ทำให้ไส้แบบหรือแบบหล่อแห้ง หรือในขณะเทน้ำโลหะ
2) จะต้องคิดถึงการหดตัวของชิ้นงานหล่อหลังจากเทเสร็จแล้ว
3) จะต้องใช้เดือยเสริมแต่ละอันได้หลายๆครั้ง
4) จะต้องเสริมความแข็งแรงของไส้แบบ ทำให้ทนความดันของน้ำโลหะได้

4.5.3 น้ำหนักทับแบบหล่อ (Weights)

ในการเทน้ำโ,หะลงในแบบหล่อ แบบบน (cope) จะได้รับแรงลอยตัว (buoyancy force) จากน้ำโลหะ ดังนั้นจะต้องมีน้ำหนักทับแบบบนเพื่อกันมิให้ลอย

จะคำนวนน้ำหนักที่จะต้องใช้จากสูตรต่อไปนี้

น้ำหนัก W = kPA (kg)

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

P : ความดันของน้ำโละตรหน้าผ่า (parting surface) (kg/cm)

A : พื้นที่หน้าตัดของโพรงแบบหล่อตรงหน้าผ่า (cm)Type equation here.

K : อัตราส่วนเผื่อ (safety factor)

P = yh

y : น้ำหนักจำพวกของน้ำโลหะ (เช่น 0.0073 kg/cm)

h : ความสูงของรูเทเหนือหน้าผ่า

ดังนั้นน้ำหนักจะทับแบบจะเท่ากับ

W = kyAh (kg)

ใช้อัตราส่วนเผื่อประมาณ 1.5~2.0

เพราะฉะนั้น W = (1.5~2.0) yAh (kg)

4.6 ทรายหล่อ

4.6.1 คุณสมบัติของทรายหล่อ

ทรายหล่อจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1) ขึ้นรูปได้ง่าย (formability) และทำแบบหล่อโลหะได้สดวก โดยที่มีความแข็งแรงพอ แบบหล่อที่ทำเสร็จแล้วจะต้องแข็งแรงพอที่จะยกไปได้ และเทน้ำโลหะเข้าไปได้โดยไม่เกิดอาการเสียหาย ดังนั้นจจะต้องมีความแข็งแรงที่อุณภูมิห้องและมีความแข็งแรงที่อุณภูมิสูง(hot strength)

2) จะต้องให้แก๊สซึมออกได้ (permeability) สะดวกพอ ถ้าอากาศหรือแก๊สที่เกิดขึ้นไม่สามารถซึมผ่านเม็ดทรายออกไปแบบหล่อเร็วพอในขณะเทน้ำโลหะแล้วอารเกิดจุดเสียประเภทรูโหว่ที่เกิดจากการหดตัวและรูพรุนที่ผิว

3) ขนาดของเม็ดทรายและปริมาณของเม็ดทรายและขนาดต้องเหมาะสมใช้ทรายละเอียดทำแบบผิวของชิ้นจะละเอียดดี แต่ถ้าเม็ดทรายละเอียดเกินไป แกสจะออกไม่ได้จะเกิดรูพรุน (blow holes) ดั้งนั้นจะต้องจัดให้ขนาดของเม็ดทรายและปริมาณของเม็ดทรายแต่และขนาดเหมาะสม

4)ต้องมีความทนไฟ (refractoriness) สูงพอ คือ ไม่ละลายที่อุณภูมิเทตาราง 5.1 แสดงอุณภูมิเทของน้ำโลหะชนิดต่างๆ เม็ดทรายและตัวประสานจะต้องมีความทนไฟพอ คือต้องทนได้เมื่อเทน้ำโลหะอุณภูมิสูงลงในแบบหล่อ

5) มีส่วนผสมีเหมาะสมเมื่อเม็ดทรายสัมผัสกับน้ำโลหะอุณภูมิสูงจะเกิดปฏิกริยาทางกายทางกายภาพ (physical) และทางเคมี ดั้งนั้นไม่ควรมีส่วนผสมใดๆ

6) นำทรายมาใช้ได้อีก ทรายที่จะดีจะต้องใช้ได้ทรายครั้งเพื่อความประหยัด

7) ทรายที่จะต้องใช้มีราคาถูกด้วย

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

4.6.2 ทรายหลิอชนิดต่างๆ

ทรายหลิอที่ใช้กันมากที่สุด ทรายภูเขา (mountain sand) ทรายทะเล (shore sand) ทรายแม่น้ำ (river sand) และทรายซิลิกา (silica sand)ทั้งหมดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในการใช้แบบหล่อนั้นใช้ทรายบางชนิดในสภาพที่เกิดอยู่ตามธรรมชาติและบางชนิดให้เม็ดได้ขนาดเสียก่อน ถ้าทรายมีดินเหนียวผสมหล่อ และกาะ3 ติดกันดี ก้ใช้ได้เลย แต่ถ้าเกาะติดกันไม่ดีพอจะต้องเติมดินเหนียวลงไป บางครั้งจะต้องเติมทั้งตัวประสาน และดินเหนียวลงไปด้วย ทรายภูเขานั้นโดยทั่วไปได้จากชั้นหินเก่าๆ มีดินเหนียวผสมอยู่ด้วย และส่วนมากต้องผสมน้ำเหนียว

น้อยลงกว่านั้น และติดกันไม่ดี จะต้องเติมดินเหนียวตามสัดส่วนที่เหมาะสมลงไปก่อน ทรายทะเลได้จากทรายหาดและทรายแม่น้ำได้จากแม่น้ำ ทรายชิริกา ในบางกรณีจากธรรมชาติ บางกรณีก็ได้จากการบดหินที่มีแร่ควอร์ท ที่เรียกว่า หินเขี้ยวหนุมาน ส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของทรายทุกชนิดคือ SiO จะมีสิ่งเจือปน เช่น ไม้คา หรือเฟลด์สปาร์ ที่เรียกว่าหินฟันม้า ทรายทะเลและทรายและทรายแม่น้ำจะมีสิ่งเจือปนดดยพาะอย่างยิ่งอินทรี อยู่มาก ในการใช้ทำแบบหล่อควรมีสิ่งเจทอปนเหล่านี้น้อยน้อยที่สุด ทรายซิลิกาที่ทำขึ้นจากการบดหินควอร์ทซ์มีสิ่งเจือปนอยู่น้อย และมี อยู่มาก 95 ทรายทะเล ทรายแม่น้ำ ทรายซิลิกาธรรมชาติ และทรายซิลิกาที่ทำขึ้นจากการบดหินควอร์ทซ์จะไท่เกาะติดกันเอง จะต้องเติมตัวประสานลงไปเพทีให้เม็ดทรายยึดกันก่อนที่จะนำไปใช้ทำแบบหล่อ

4.6.3 ส่วนประกอบของทรายหล่อ

(1) เม็ดทราย

เม็ดทรายหล่อแบ่งออกได้เป็นหลายชนิด มีชนิดเม้ดกลม เม็ดเกือบเหลี่ยมหรือมน เม็ดเหลี่ยม และเม็ดผลึกทรายชนิดเม็ดกลมใช้เป็นทรายหล่อได้ดี เพราะใช้ตัวปรานน้อยๆ ก็ทำให้มีความแข็งพอ นอกจากนั้นยังปล่อยอากาศให้ซึมผ่าน ได้ดีมากและทำให้น้ำโลหะไหลสะดวก ด้วย ทรายเม็ดผลึกไม่เหมาะที่จะทำทรายหล่อ เพราะในการผสมทรายจะเกิดการหักเป็นชิ้นเล็กๆ ทำให้ความทนต่อความร้อน ต่ำ อากาศซึมออกได้ยากและยังใช้ตัวประสานมากอีกด้วยทรายหล่อมักประกอบด้วยเม็ดทรายหลายขนาด แต่ตัวบางกรณีก็ร่อนทรายจนได้เม็ดขนาดเท่าๆ กันเสียก่อนจึงทำแบบหล่อ โดยทั่วไป2/3 ของเม็ดทรายสำหรับทรายหล่อควรมีขนาดอยู่ในช่องตามขนาดตรูตะแกร่งร่อน 3ขนาดติดๆกัน ส่วนอีก1/3 นั้นควรมีขนาดตามรูตะแกรงร่อนขนาดทั้ง3 แทนจะมีจะมีขนาดเม็ดเท่าๆกัน

(2) ดินเหนียว

ดินเหนียวประกอบ่ด้วยดินเหนียวขาวบริสุทธิ อิลไลท์ และมอนท์มอริลโลไนท์ ตลอดจนหควอร์ท เฟสด์สปาร์ ไมคาและและสิ่งเจือปนอื่น ถ้าเติมเข้าไปจะเหนียว (sticky) และถ้ามีน้ำมากจะมีลักษณะคล้ายแป้งเปียก (pasty) น้ำแห้งลงไปความเหนียวจะลดลงมาก ขนาดของเม็ดดินเหนียวอยู่รหว่าง 0.005 ~ 0.02 mm

(3) ตัวประสานชนิดอื่นๆ

บางครั้งไส้แบบทำด้วยทรายซึ่งมีน้ำมันพืชผสมอยู่ 1.5~3.0% แล้วแต่ย่างที่อุณหภูมิ 200~250 ℃ น้ำมันประเภทนี้มีน้ำมนละหุ่ง (linseed oil) น้ำมันถั่วเหลือง (soy sand oil) และน้ำมันโคลซา (colza oil) เป็นต้น ไส้แบบในลักษณะนี้เรียกว่าไส้แบบทรายผสมน้ำมัน (oil sand core) ไส้แบบชนิดนี้ไม่สลายตัวง่ายในตอนแกะแบบ

(4) ส่วนผสมพิเศษ

ใช้ผงถ่านหิน ผงยางมะดอย ผงถ่านโคก หรือผงกราไฟท์ ประมาณ 1% ดังนั้นการใช้ส่วนผสมในปริมาณที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องสำคัญ นอกจากนี้ยังอาจเกิดผลตรงข้ามกัยที่ต้องการถ้าใช้ของที่ไม่มีคุณภาพ

4.6.4 คุณสมบัติของทรายทำแบบหล่อ

(1) คุณสมบัติของทรายทำแบบหล่อชนิดเปียก

คุณสมบัติต่างๆ ของทรายที่มีดินเหนียวหรือเบนโทไนท์เป็นตวประสานเปลี่ยนไปตามปริมาณความชื่นในทรายดังนั้การควบคุมปริมาณเป็เรื่องสำคัญในการควบคุมคุณสมบัติการทำแบบหล่อ เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นอีกความแข้งแรงและการปล่อยซึม ถ้าความชื้นมากเกินไป ความแข็งแรงและการปล่อยซึมจะลดลง ถ้าความชื้นไม่พอความแข็งแรงจะลดลง เพราะความเกนียวของดินเหนียวจะลดลง นอกจากนั้นดินเหนียวในสภาพผงจะเข้าไปอุดที่ว่างระหว่างเม็ดทราย

4.6.5 การจัดระบบสำหหรับทรายทำแบบหล่อ

(1) กระบวนการนำทรายแบบหล่อกลับมาใช้

จะใช้ทรายทำแบบหล่อกันซ้ำหลายหน ไม่ว่าจะใช้กับน้ำโลหลชนิดใดทรายที่ถูกใช้งานแล้วจะถูกปรับให้เข้าสภาพที่จะใช้ใหม่ได้โดยการเติมทรายใหม่และตวประสานเข้าไป หลังจากเอาสิ่งเจื่อปนออกไปแล้ว จุดสำคัญของกระบวนการนี้คือการเอาผงละเอียดและสิ่งเจือปนออก แล้วผสมทรายทำให้ทรายเย็น

ทรายทำแบบหล่อจะถูกย่อยให้แตกเป็นชิ้น ในตอนนี้จะมีเป็นผงละเอียดเพิ่มขึ้น และแรงประสานของดินเหนียวจะลดลง ดังนั้นจะแยกเอาทรายที่เป็นผงละเอียดและดินเหนียวออกมา แล้วเติมทรายใหม่และตัวประสานเข้าไป ถ้าไม่ทำเช่นนี้ความแข็งแรงและการปล่อยซึมของทรายจะลดลง ทำให้เกิดจุดเสียเช่น เกิดทรายเข้าไปแทรกในชิ้นโลหะ และเกิดรูพรุนที่ผิว ฯลฯ

(2) เครื่องโม่ทราย (sand-mill) เครื่องผสมทราย (sand -mixer)

ปรับสภาพทรายทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องโม่ทรายหรือเครื่องผสมทราย ทั้งนี้แล้วแต่ชนิดของตัวประสานมักใช้เครื่องโม่ทรายในกรณีที่ตวประสานเป็นดินเหนียวและเครื่องผสมทรายสำหรับใช้น้ำมัน (drying oil) หรือโซเดียมซิลิเกท (sodium silicate)

(3) เครื่องย่อยทราย (sand-blender)

เครื่องย่อยทรายทำหน้าที่ย่อยทรายที่เนก้อนๆ หลังจากผสมลักษณะคล้ายฟันหวี ในขณะที่ทรายถูกพาไปตามสายยางก้อนทรายจะถูกย่อยโดย หวี แล้วจะถูกเหวี่ยงไปข้างหน้าเครื่อง ในขณะที่ทรายผ่านเครื่องนี้อากาศเข้าสัมผัสเม็ดทราย หรืออาจแยกเอาสิ่งเจือปน (ถ้ามี) ออกเสีย

(4) การร่อนทราย (sieving)

ในทรายนำทรายทำแบบหล่อที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้อีก มีการใช้เครื่องร่อนทรายในการแยกทรายเม็ดหยาบมากๆ หรือสิ่งเจือปนออก มีเครื่องร่อนอยู่สองชนิด คือชนิดหมุนและชนิดสั่น

(5) เครื่องแยกด้วยแม่เหล็ก

ในการปรับสภาพของทรายทำแบบหล่อที่ใช้แล้ว เพื่อนำมาใช้ใหม่ จะใช้เครื่องแยกแม่เหล็กในการแยกเหล็กออกจากทราย มีแม่เห็กที่ใช้กันอยู่สองชนิดคือ แม่เหล็กถาวร และแม่เหล็กไฟฟ้า

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

แม่เหล็กติดอยู่กับลูกรอก ตรงปลายสุดของสายพานส่งทราย ทรายจะเคลื่อนไปกัยสายพานจนถึงแม่เหล็ก และตกออกจากสายพาน ส่วนชิ้นเหล็กในทรายจะถูกดูดติดกับสายพานและหมุนตามสายพานจนเลยลูกรอกแล้วจึงตกจากสายพาน

(6) เครื่องทำให้ทรายเย็น (Sand-coler)

ในการที่จะทำให้ทรายเย็นได้เร็ว จะต้องให้อากาศที่ระบายความร้อนเข้าผสมเม็ดทรายให้มากที่สุด มีเครื่องทำให้ทรายเย็นแบบต่างๆ

4.6.6 การทดสอบทรายทำแบบหล่อ

(1) การวัดความชื้น

มักใช้วิธีนี้ในการวัดความชื่นของทรายทำแบบหล่อ

ชั่งน้ำหนักทรายให้ได้ 50 กรัม และนำเข้าไปทำให้แห้งโดยเตาอบโดยใช้อุหภูมิ 100~110 ℃ เป็นเวลาหนึ่งถึงสองชั่วโมงปล่ยให้อุณหภูมิเย็นลงถึงอุณหภูมิห้องในเครื่องทำให้แห้ง แล้วชั่งอีกครั้งหนึ่ง เพื่อหาว่าน้ำหนักลดลงเท่าไหร่

(2) การวัดการปล่อยซึม (Permeability test)

จะต้องมีช่องว่างระหว่างเม็ดทรายของแบบหล่อ เพื่อให้แก๊สจากแบบหล่อหรือจากน้ำโลหะซึมออกได้ในขณะเทการวัดปล่อยซคมเป็นการตรวจว่าแก๊สจะซึมออกได้สะดวกเพียงใด

(3) การวัดความแข็งแรง

มีวิธีการวัดความแข็งแรงทางอัดดังนี้ เตรียมชิ้นส่วนทดสอบมาตรฐาน (50mm x 50mm) โดยการกรทุ้งทรายสามครั้งในหลอดทำชิ้ทดสอบด้วยเครื่องกระทุ้งมาตรฐาน ลัวดันเอาชิ้นทดสอบออกเพื่อวดความแข็งแรง ให้แรงภาระกระทำกับชิ้นทดสอบจนแตกโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของทราย คำนวณความแข็งแรงทางอัดได้

(4) การวัดปริมาณดินเหนียว

วิธีการวัดปริมาณดิเหนียวมีดังนี้

นำทรายหล่อ 100 g เข้าอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 200~110 ℃ จนกระทั่งน้ำหนักเปลี่ยน หลงจากนั้นปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง ตักส่วนหนึ่งของทรายนี้ชั่งให้ได้ 50g พอดี แล้วใส่ลงในสารละลยโซดาไฟที่มีความเข้มข้น 0.15% ตากเม็ดทรายให้แห้งและปล่อยให้เย็ฯแล้วชั่ง

(5) การหาลักษณะการกระจาย (distribution) ของขนาดเม็ดทราย

วิธีการหาลักษณะการกระจายของเม็ดทรายดังนี้

ใช้ทรายที่แห้งแล้วที่ใช้การวัดปริมาณดินเหนียว (ในข้อ4) ทั้งหมด ในการหาลักษณะการกระจายใส่ทรายลงในตะแกรงอันบน จะมีตะแกรงซ้อนกันอยู่ จากรูขนาดใหญ่มาถึงรูขนาดเล็ก ปิดตะแกรงไม่ให้

ทรายหกแล้วสั่น 15 นาทีโดยใช้เครื่องสั่น เสร็จแล้วชั่งทรายที่มีอยู่ในตะแกรงแต่ละอัน แล้วหาเปอร์เซ็นของทรายแต่ละขนาด

	แบบทดสอบท้ายบทเรียน	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 6-7
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. จงบอกวิธีการทำแบบหล่อด้วยมือ

.....

.....

.....

.....

2. บอกวิธีการทำแบบหล่อโดยใช้เครื่อง

.....

.....

.....

.....

3. จงบอกวิธีการทำไส้แบบ

.....

.....

.....

.....

4. จงบอกวิธีการฉาบผิวแบบหล่อ

.....

.....

.....

.....

5. บอกวิธีอุปกรณ์เพิ่มเติมของแบบหล่อ

.....

.....

.....

.....

6. จงบอกวิธีทรายหล่อ

.....

.....

.....

.....

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 8-9
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. สาระสำคัญ

แบบหล่อทรายเปียกที่ใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสานนั้นราคาถูก แต่มีความแข็งแรงของแบบต่ำ ดังนั้นใช้ทำแบบหล่อหรือไส้แบบที่บางไม่ได้ นอกจากนั้นทรายที่ผิวแบบหล่อในบางครั้งก็หลุดติดไปกับน้ำโลหะขณะเทหรือถูกเซาะออกโดยการชนของน้ำโลหะ

ถ้าใช้แบบหล่อโลหะทรายแห้งเพื่อเลี่ยงการเกิดจุดเสียดังกล่าวก็จะต้องใช้เวลานานในการทำแบบหล่อให้แห้ง ดังนั้นจึงต้องมีการใช้ตัวประสานซึ่งทำให้แบบหล่อแข็งได้โดยเร็วแต่ในการใช้ตัวประสานพิเศษนี้จะต้องระวังไม่ให้เกิดแก๊ส การไม่ทนความร้อน หรือความลำบากในการทำแบบหล่อ ตัวประสานที่มีคุณสมบัติเหมาะสมมีน้ำแก้ว (water-glass) เรซิน (resins) ซีเมนต์ (cement) ฯลฯ คัวประสานบางชนิดจะทำให้แบบหล่อแข็งได้ที่อุณหภูมิห้อง และบางชนิดก็ต้องทำให้ร้อน

แบบหล่อเปลือก (shell molds) แบหล่อ CO2 แบบหล่อแข็งเองชนิดทรายไหล (fluid-sand) แบบหล่อหีบร้อน (hot box) แบบหล่อหีบเย็น (cold box) ฯลฯ เป็นแบบหล่อที่ใช้ตัวประสานพิเศษ

2. หัวข้อการเรียนรู้

5. แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ

5.1 แบบหล่อเปลือก

5.2 วิธีหีบร้อน (Hot box method)

5.3 วิธี CO2

5.4 แบบหล่อแข็งเอง (Self-hardening molds)

5.5 วิธีหีบเย็น (Cold box method)

5.6 การฉาบผิวแบบหล่อ (Mold coatings)

3. สมรรถนะอาชีพประจำหน่วย

รู้เกี่ยวกับแบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ บอกวิธีแบบหล่อเปลือกได้ บอกวิธีหีบร้อน (Hot box method) บอกวิธี CO_2 บอกวิธีแบบหล่อแข็งเอง (Self-hardening molds) บอกวิธีหีบเย็น (Cold box method) และบอกวิธีการฉาบผิวแบบหล่อ (Mold coatings)

4. จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

5. รู้เกี่ยวกับแบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

5.1 บอกวิธีแบบหล่อเปลือกได้

5.2 บอกวิธีหีบร้อน (Hot box method) ได้

5.3 บอกวิธี CO_2 ได้

5.4 บอกวิธีแบบหล่อแข็งเอง (Self-hardening molds) ได้

5.5 บอกวิธีหีบเย็น (Cold box method) ได้

5.6 บอกวิธีการฉาบผิวแบบหล่อ (Mold coatings) ได้

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 8-9
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

บทที่ 5
แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ

5.1 แบบหล่อเปลือก

5.1.1 วิธีการทำแบบหล่อเปลือก

วิธีการทำแบบหล่อเปลือกมีดังนี้

1) ใส่กระสวนทำด้วยเหล็กหล่อหรืออะลูมินัมซึ่งติดอยู่กับแผ่นโลหะเข้าในเตาอบ (ชนิดใช้ไฟฟ้าหรือแก๊ส) เพื่อทำให้ร้อนถึง 200 ~ 250° C ไว้ก่อน แล้วพ่นสารละลายซิลิโคน (silicone) ลงบนกระสวนเพื่อให้แกะแบบหล่อออกได้งาน
2) ประกอบแผ่นโลหะพร้อมกระสวนเข้ากับถังเท (dump box) แล้วปิดังโดยใช้แผ่นโลหะนั้นเป็นฝา
3) จับถังเทกลับหัว ทรายจะลงไปกองบนกระสวนเนื่องจากผลของการแข็งตัวเข้ารูป (thermosetting) ของเรซินที่ผสมอยู่ทราย จะเกิดเป็นเปลือกบางๆอยูบนกระสวน
4) ทิ้งกระสวนไว้ในตำแหน่งเดิมเป็นเวลาสอง – สามหรืออาจถึงหลายวินาทีแล้วจึงพลิกกลับสู่ตำแหน่งเดิม ทรายที่ไม่เกาะตัวกันเป็นเปลือกแข็งจะตกกลับเข้าไปในหีบเท ส่วนเปลือกหนา 5 ~ 7 mm จะติดอยู่กับกระสวน
5) พลิกแผ่นกระสวนกลับอีกครั้งหนึ่งแล้วนำเข้าใส่ในเตาอบ เพื่ออบเปลือกนี้ที่ 200 ~ 300° C เปลือกทั้งอันจะแข็งเป็นเวลา 2 ~ 3 นาที
6) นำแผ่นกระสวนออกจากเตาอบและถอดเปลือกจากกระสวนโดยหมุดดันแบบเปลือก (stripping pins) ซึ่งติดอยู่กลับกระสวนโลหะ

เมื่อถึงขั้นนี้ครึ่งหนึ่งของแบบหล่อเปลือกก็จะเสร็จเรียบร้อย แบบหล่อเปลือกอีกครึ่งนั้น ทำโดยวิธีเดียวกันแล้ว ทั้งสองครึ่งมาประกบกัน และยึดด้วยปากจับ (clip) หรือใช้ตัวประสานเรซินสังเคราะห์ประสานรอยต่อทำเป็นแบบหล่อที่สมบูรณ์ เสร็จแล้วเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อซึ่งวางอยู่เฉยๆ หรือมีทรายหยาบหรือเม็ดเหล็กเหนียว (steel shots) วางรอง

5.1.2 ทรายทำแบบหล่อเปลือก

แบบหล่อเปลือกมีอยู่สองชนิด คือชนิดทรายเรซิน (resin sand) และทรายเคลือบ (coated sand) ทรายเรซินได้จากการผสมทางกลของฟีโนลิคเรซิน (phenolic resin) เข้ากับทรายซิลิกา ทรายชนิดมีเรซินประมาณ 4 ~ 7 % ความถ่วงจำเพาะของผงเรซินและของทรายซิลิกาต่างกันมาก ทำให้ผสมอย่างสม่ำเสมอได้ยากดังนั้นจึงมีการเติมเมธิลแอลกอฮอล (methylalcohal) ลงไปเล็กน้อย

ทรายเคลือบคือทรายที่เม็ดทรายมีฟีโนลิคเรซินหุ้มอยู่โดยรอบ วิธีการทำทรายเคลือบมีดังนี้

1) ใส่เรซินในสภาพของเหลวลงเคลือบเม็ดทรายที่อุณหภูมิประมาณ 150° C (วิธีเคลือบร้อน หรือ hot coating method)
2) ใส่เรซินเข้าเคลือบเม็ดทรายที่อุณหภูมิห้อง (วิธีเคลือบเย็นหรือ cold process)
3) ทำให้ทรายซิลิการ้อน แล้วผสมกับผงเรซินนเคลือบเม็ดทราย (วิธีร้อนและแห้งหรือ dry hot process)

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 8-9
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

ทรายเคลือบดีกว่าทรายเรซินที่ไม่จำเป็นต้องใช้เรซินมากเท่า ทรายเคลือบต้องการเรซินเพียง 2.5 ~ 3.5% นอกจากนั้นทรายเคลือบยังต่างจากทรายเคลือบมีส่วนผสมฟีโนลิคเรซินสม่ำเสมอโดยตลอด ทำให้ได้แบบหล่อเปลือกที่มีเนื้อสม่ำเสมอและแข็งแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทำแบบหล่อเปลือกโดยวิธีเป่าควรใช้ทรายเคลือบเพราะถ้ามิฉะนั้นทรายและเรซินจะแยกกันในตอนเป่า

5.2 วิธีหีบร้อน (Hot box method)

5.2.1 เค้าโครงวิธีหีบร้อน

วิธีหีบร้อนคือ วิธีทำแบบหล่อหรือวิธีทำไส้แบบซึ่งใช้ทรายผสมตัวประสานชนิด เรซินแข็งเข้ารูปเพราะความร้อน (thermosetting) เป่าเข้าไปในหีบโลหะที่กำลังร้อน

มักจะใช้หีบเหล็กหล่อเป็นหีบไส้แบบสำหรับทำไส้แบบ ก่อนใช้จะต้องให้หีบไส้แบบร้อนถึง 200 ~ 300° C ทรายที่ถูกเป่าเข้าไปในหีบจะกันแข็งทันที เพราะได้ความร้อนจากหีบไส้แบบ แต่ส่วนในของไส้แบบหนา ๆ จะไม่แข็ง แต่ถ้าปล่อยไว้ที่อุณหภูมิเดิมต่อไปทรายทุกส่วนในไส้แบบจะเกาะ กันจนแข็ง นิยมย่างไส้แบบในระยะที่สองนี่ที่อุณหภูมิ 150 ~ 180° C การที่จะทำไส้แบบกลวงดังที่ทำสำหรับการทำแบบหล่อเปลือกนั้นทำได้ยาก การใช้วิธีดูดหรือดันด้วยอากาศจะไม่สามารถดึงเอาทรายภายในที่ยังไม่เกาะกันแข็งออกมาได้ไส้แบบชนิดนี้สลายตัวได้ง่าย ทำให้สะดวกในตอนเกาะแบบ ทั้งนี้เพราะเรซินจะไหม้ที่อุณหภูมิสูง

5.2.2 ทรายสำหรับวิธีหีบร้อน

ใช้ฟูรานเรซิน (furan resin) เป็นตัวประสาน มักใช้ฟูรานเรซิน 2 ~ 3% ผสมเข้ากับทรายและใช้กรดอ่อนๆสัก 20 ~ 30% ของเรซิน เป็นตัวช่วยการผสม ควรรักษาให้อุณหภูมิทรายก่อนผสมต่ำกว่าประมาณ 30° C ทรายผสมฟูรานเรซินจะต้องมีสิ่งเจือปนหรือผงฝุ่นน้อย และผิวเม็ดทรายต้องสะอาด มิฉะนั้นความแข็งแรงจะน้อยเมื่อทรายเกาะกันแข็ง

5.3 วิธี CO_2

5.3.1 วิธีทำแบบหล่อโดยใช้ CO_2

เติมโซเดียมซิลิเกท (water glass หรือน้ำแก้ว) ประมาณ 3 ~ 7% เข้าไปกับทรายซิลิกา แล้วผสมกันอย่างดี แล้วใช้ทรายผสมนี้ทำแบบหล่อ โดยใช้มือหรือโดยใช้เครื่อง แก๊ส CO_2 จะถูกปล่อย ให้ผ่านแบบหล่อโดยมีความดัน 1.0 ~ 1.5 kg/cm² (= 0.1 ~ 0.15 Pa) แบบหล่อจะแข็งตัวโดยเร็ว วิธีการทำแบบหล่อเช่นนี้ เรียกว่าวิธี CO2 วิธีนี้ใช้ทำไส้แบบได้ด้วย

ปฏิกิริยาของวิธี CO_2 ที่ทำให้เกิดการแข็งตัวมีดังนี้

1) อัดทรายลงในหีบไส้แบบแล้วเจาะรูแก๊สเข้าด้วยเข็มเจาะ
2) นำหีบไส้แบบมาประกบกันเข้าแล้วดึงเข็มเจาะออก
3) ปล่อยแก๊ส CO2 เข้ารูที่เจาะไว้ และซึมผ่านไส้แบบ
4) แกะไส้แบบออกจากหีบไส้แบบ

ได้มีการทำแบบหล่อและไส้แบบโดยวิธีแบบโดยวิธี CO_2 โดยใช้เครื่องและจัดทำเป็นกระบวนการอัตโนมัติ

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 5
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 8-9
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

5.3.2 ทรายสำหรับวิธี CO_2

ผสมน้ำแก้ว (water glass) 3 ~ 6% ลงไปกับทรายซิลิกาที่มีดินเหนียวอยู่น้อยที่สุด แล้วผสมกันให้ดีโดยใช้เครื่องโม่ทราย เม็ดทรายที่เหมาะกับวิธีนี้จะต้องมีรูปร่างกลม น้ำแก้วควรมีจำนวนโมล (mole) ของ SiO_2 ต่อจำนวนโมลของ Na_2O เกิน 2.5 ควรมีปริมาณความชื้นอิสระ (free moisture content) ต่ำกว่า 50% และควรมีความหนืดต่ำ

เวลาที่ใช้ในการผสมควรต่ำกว่า 5 นาที จะต้องใส่ของผสม (mixture) ไว้ในภาชนะปิดไม่ให้สัมผัสกับบรรยากาศแบบหล่อหรือไส้แบบที่ทำด้วยทรายผสมน้ำแก้วจะสลายรูปยาก และทำให้แกะแบบยาก ดังนั้นจึงใส่ผงถ่านโคกหรือผงยางมะตอย (pitch powder) และขี้เลื่อย (wooden powder) ลงไปด้วย ผงเหล่านี้จะไหม้เมื่อโดนน้ำโลหะทำให้แบบหล่อสลายรูปได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นผงจะกันมิให้น้ำโลหะแทรกเข้าไปในระหว่างเม็ดทรายทำให้ผิวงานหล่อเรียบ ใส่ผงยางมะตอย 0.5 ~ 2% และขี้เลื่อย 0.5 ~ 1.5%

5.4 แบบหล่อแข็งเอง (Self-hardening molds)

มีตัวประสานพิเศษที่ทำให้แบบหล่อแข็งได้เองโดยไม่ต้องใช้ CO_2 แบบหล่อชนิดนี้เรียกว่าแบบหล่อแข็งเองสิ่งที่ใช้เป็นตัวประสานที่มีตัวประสานอินทรีย์ (organic binder) ซีเมนต์ น้ำแก้ว ฯลฯ

ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการแข็งตัวจะเกิดขึ้นทันที หรือสักพักหนึ่งหลังจากที่ได้ผสมทรายและตัวประสาน ดังนั้นจะต้องมีการประสานงานระหว่างการผสมทรายและการทำแบบหล่อเมื่อผสมทรายเสร็จแล้วควรใช้ทันที ไม่ควรปล่อยทรายที่ผสมแล้วทิ้งไว้นาน ๆ ก่อนใช้ทำแบบ

5.4.1 แบบหล่อแข็งเองชนิดใช้ตัวประสานอินทรีย์

ตัวประสานอินทรีย์ ที่ใช้น้ำมันเช่นน้ำมันลินชีด (linseed oil) หรือฟูรานเรซิน (furan resin) ในกรณีที่ใช้น้ำมัน ผสมทรายซิลิกาด้วยน้ำมันเป็นปริมาณ 1 ~ 5% นอกจากนั้นใช้เมทัลลิคโซป (metallic soap) หรือสารส้ม (potassium permanganate) เท่ากับ 0 ~ 10% ของน้ำมันผสมเป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน

ถ้าใช้ฟูรานเรซิน ผสมทรายซิลิกาด้วยฟูรานเรซิน 2 ~ 3% นอกจากนั้นใช้กรดฟอสเฟอริคหรือกรดโบริคเท่ากับ 20 ~ 30% ของเรซินเป็นตัวช่วยทำให้แข็ง (hardening agent) ใช้โม่ทรายธรรมดาในการผสมทรายเป็นเวลา 2 ~ 5 นาที ระยะเวลาที่ทรายผสมแล้วยังใช้ได้ (ก่อนที่จะแข็งตัว) ขึ้นกับอุณหภูมิของทรายซิลิกาและสภาพบรรยากาศถ้าอุณหภูมิบรรยากาศในขณะผสมทรายและอุณหภูมิทรายต่ำการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนและการแข็งตัวจะช้า แต่ถ้าทรายมีอุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนเร็ว และแข็งตัวเร็ว ความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาและความเร็วในการเข็งตัวขึ้นอยู่กับปริมาณตัวช่วยทำให้แข็งด้วย

ความแข็งแรงของทรายจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหลังจากผสมทรายเสร็จ และความแข็งแรงทางอัดจะเท่ากับประมาณ 10 ~ 20 kg/cm² (1.0 ~ 1.5 μ Pa) หลังจากผสมเสร็จ 24 ชั่วโมง

5.4.2 แบบหล่อแข็งเองใช้ซีเมนต์

ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เท่ากับ 6 ~ 12 % ของทรายผสมกับทรายซิลิกา นอกจากนั้นใช้ตัวทำให้แข็งเช่นน้ำเหลือง (molasses) หรือแคลเซียมคลอไรด์หรือน้ำรวมเท่ากับ 50 ~ 100 % ของซีเมนต์ผสมเข้า

กับทราย ใช้เครื่องโม่ทรายชนิดชิมป์ซัน (Shimpsan) ผสมทรายและซีเมนต์เสียก่อนเป็นเวลา 2 นาทีแล้วจึงเติมน้ำแล้วผสมต่อไปอีก3 ~ 5 นาที บางครั้งเติมเศษไม้ชิ้นเล็กๆ หรือผงถ่านหิน (coal dust) เข้าไปด้วยเพื่อให้สลายรูป (collapsibility) ง่ายขึ้น

ในการทำแบบทรายผสมซีเมนต์ขณะที่ที่ยังเหลวอยู่ลงในหีบแบบหล่อ และดึงกระสวนออกก่อนที่ซีเมนต์จะแข็ง แต่จะต้องระวังไม่ให้เกิดรอยร้าว ถ้าเกรงว่าจะทำให้ฉีกหรือหักควรดึงกระสวนออกหลังจาก

แบบหล่อแข็งตัวแล้ว แต่จะดึงออกยาก ควรทำให้ผิวกระสวนเรียบ ให้มีมุมลาด (draft) พอ และทาผิวด้วยน้ำมันใสหรือน้ำมันก๊าส (kerosene) เพื่อให้ดึงง่าย

แบบหล่อขนาดที่ใช้ทรายผสมซีเมนต์นั้นนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องทำให้แห้งแต่ถ้าเป็นแบบหล่อขนาดใหญ่ควรอบที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 2 ~ 3 ชั่วโมง

5.4.3 แบบหล่อแข็งเองใช้น้ำแก้ว

(1) ใช้น้ำแก้วและขี้ตะกรัน

ทรายผสมด้วยตัวเติมเช่นขี้ตะกรัน (slag) หรือซีเมนต์จะแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องและจะมีความแข็งแรงพอสำหรับแบบหล่อเพราะขี้ตะกรันหรือซีเมนต์ทำหน้าที่เป็นตัวทำให้แข็งทรายผสมชนิดนี้ค่อนข้างถูกถ้าเทียบกับชนิดอื่น และจะสลายง่ายกว่าทรายที่แข็งโดยวิธี CO_2 ดังนั้นจึงใช้กันอยู่บ้าง ประเด็นที่ควรสังเกตเกี่ยวกับทรายชนิดนี้มีดังนี้

1) แบบหล่อจะตัวอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าเทน้ำโลหะเลยทันทีจะเกิดรูพรุนที่ผิวเพราะมีวามชื้นเหลืออยู่มากควรรอ 24 ชั่วโมงหลังจากทำแบบหล่อเสร็จก่อนเทน้ำโลหะเข้าแบบ
2) ควรดึงกระสวนออกจากแบบหล่อบนในช่วงเวลา 40 ~ 60 นาทีหลังจากทำแบบเสร็จ และในช่วงเวลา 90 ~ 120 นาทีสำหรับล่าง จะต้องทาผิวกระสวนตัวทำให้จาก (parting agent) อย่างเพียงเพื่อกันมิให้ผิวกระสวนเปื้อน
3) ทาผิวแบบหล่อด้วยผงกราไฟท์หรือวัสดุที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน ถ้าไม่ทาจะทำให้แกะแบบหล่อยากและผิวงานหล่อจะไม่เรียบ

(2) ใช้น้ำแก้วและผงโลหะ

ทรายที่ผสมน้ำแก้วและผงโลหะ เช่น Si หรือ Al จะแข็งตัวด้วยปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดความร้อน (exothermic reaction) ปฏิกิริยานี้จะรุนแรงและจะดึงน้ำไปใช้ทำไฮโดรเจน ดังนั้นจะได้แบบหล่อที่แข็งแรงและไม่มีความชื้นกระบวนการประเภทนี้ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือวิธีใช้ผงเฟอโรซิลิกอนแทนผงซิลิกอน กระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการ N

ประเด็นที่ควรสังเกตเกี่ยวกับการทำแบบหล่อชนิดนี้มีดังนี้

1) จะต้องให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเสียแต่เนิ่นๆ ก่อนเทน้ำโลหะ ถ้าเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อโดยไม่รอนานพอจะเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนเพราะแบบได้รับความร้อน และอาจทำให้เกิดการระเบิด
2) อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมิของบรรยากาศ ดังนั้นในการกำหนดส่วนผสมและเวลาที่ใช้ในการผสมจะต้องคำนึงถึงสภาพของบรรยากาศ

5.4.4 แบบหล่อชนิดทรายไหลและแข็งเอง (Fluid self-hardening sand molds)

ในการทำแบบหล่อทรายปกติจะต้องมีการกระทุ้งทราย โดยใช้ที่กระทุ้งหรือใช้การกระแทก-อัด (jolt-squeeze) หรือใช้วิธีเหวี่ยงทราย (slinging) การกระทุ้งต้องใช้แรงงานและเวลา และทำให้เกิดเสียง เพื่อเลี่ยงข้อไม่ดีต่างๆ ของการกระทุ้งจึงมีการหาวิธีจะทำให้แบบหล่อแข็งได้โดยไม่ต้องกระทุ้ง แบบหล่อชนิดทรายไหลและทรายแข็งเองเป็นแบบหล่อที่ไม่ต้องใช้การกระทุ้ง แต่ใช้ทรายซึ่งไหลได้เทลงในหีบ แล้วปล่อยให้แข็งเป็นแบบหล่อ

น่าคิดกันว่าถ้าเติมน้ำลงไปทรายจะไหลได้ง่ายขึ้น แต่ตามความจริงเติมน้ำเข้าไปจะเกิดปัญหาเพราะทรายจะแยกอออกจากน้ำ นอกจากนั้นการมีความชื้นมากจะทำให้มีรูพรุนที่ผิวของชิ้นงาน

ส่วนผสมที่ใช้มีดังนี้

1) ทรายผสมซีเมนต์ และมีตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการประสาน (interface reaction activator) ผสมอยู่1 ~ 2%
2) ทรายซิกาผสมน้ำแก้ว (water glass) ขี้ตะกรันหรือ slag ($2CaO•SiO_2$) ตัวช่วยให้เกิดฟอง (foaming agent) และมีส่วนผสมอื่นๆ อีก

ผสมทรายชนิดที่ 1 และ 2 โดยใช้เครื่องผสมทรายชนิดหมุน จะได้ทรายซึ่งไหลได้และแข็งตัวได้เอง เนื่องด้วยทรายนี้ไหลได้ดีมาก จึงไม่จำเป็นต้องมีการกระทุ้ง เพียงแต่เททรายลงในหีบแบบหล่อเท่านั้นก็ใช้ได้ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการทำแบบหล่อจึงสั้นเมื่อเทียบกับวิธีต้องใช้กระทุ้ง ตามวิธีนี้แบบหล่อจะแข็งตัวเองภายใน 2 ~ 3 ชั่วโมง

5.5 วิธีหีบเย็น (Cold box method)

5.5.1 การทำแบบหล่อชนิดหีบเย็น

ใช้ฟีโนลิคเรซิน (phenolic resin) โพลีโอโซไซยาเนท (polyisocyanate) หรือที่เรียกว่า M.D.I ผสมเข้ากับทรายซิลิกาในสัดส่วนที่เหมาะสม แล้วนำทรายที่ผสมเสร็จแล้วไปทำแบบหล่อโดยใช้ดครื่องทำแบบหล่อชนิดเป่าผ่านแก๊สอามีน (armine gas) เข้าสู่แบบหล่อแบบหล่อจะแข็งทันที หลังจากแข็งแล้วเป่าอากาศเข้าไปในแบบหล่อเพื่อไล่แก๊สอามีนที่เหลืออยู่ออกจากแบบหล่อและเข้าสู่น้ำยาที่ทำให้เป็นกลาง (neutralizing bath) เสร็จแกะเอาแบบออก การทำแบบหล่อชนิดนี้เรียกว่าวิธีหีบเย็น

1) ใช้อากาศเป่าทรายผสมแล้วเข้าหีบไส้แบบ
2) เป่าแก๊สอามีนเข้าสู่ไส้แบบใช้อากาศเป่าไล่แก๊สอามีนที่เหลือออกไปจากหีบไส้แบบ และเข้าสู่น้ำยาทำให้เป็นกลาง แล้วปล่อยแก๊สที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วไปในบรรยากาศ เนื่องจากแก๊สอามีนเป็นพิษ บรรดาแผ่นกันรั่ว (seal) ทั้งหลายจะต้องทำงานได้อย่างสมบูรณ์

5.5.2 ทรายสำหรับวิธีหีบเย็น

ตัวประสานสำหรับทรายใช้ในวิธีหีบเย็นประกอบด้วย ฟีโนลิคเรซิน (ของเหลว I) และ M.D.I (ของเหลว II) ใช้ตัวประสานทั้งสองชนิดร่วมเท่ากับ 2 ~ 3% ของทราย ผสมทรายนี้ค้างไว้ได้ 1 ~ 1.5 ชั่วโมง สำหรับแก๊สทำให้แข็งนั้นควรใช้แก๊สเอธิลอามีน (ethylamine) แทนที่จะใช้แก๊สเมธิลอามีน (methylamine)

ทรายที่จะนำมาผสม (row sand) ควรเป็นกลาง (neutral) หรือกรด (acidic) ทรายที่เป็นด่าง (alkaline) ใช้ทำแบบหล่อชนิดนี้ไม่ได้ ความชื้นควรต่ำกว่า 0.2% ถ้าความชื้นมากเกินไป ความแข็งแรงของ

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 8-9
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

แบบหล่อจะตกลงอย่างมาก อัตราส่วนที่จะทำให้ได้แบบหล่อที่ดีที่สุดคือของเหลวที่ I ต่อของเหลว II เท่ากับ 5 : 5 หรือ 4 : 6

5.6 การฉาบผิวแบบหล่อ (Mold coatings)

สำหรับแบบหล่อที่ใช้ตัวประสานพิเศษนั้นจะต้องเลือกใช้น้ำยาฉาบผิวที่เหมาะกับหมายเลขแสดงความละเอียดของเม็ดทราย (grain fineness number) ชนิดของโลหะ ความหนาและรูปร่างของชิ้นงาน และชนิดของตัวประสาน ฯลฯ น้ำยาฉาบผิวที่ใช้กันมากมีดังนี้

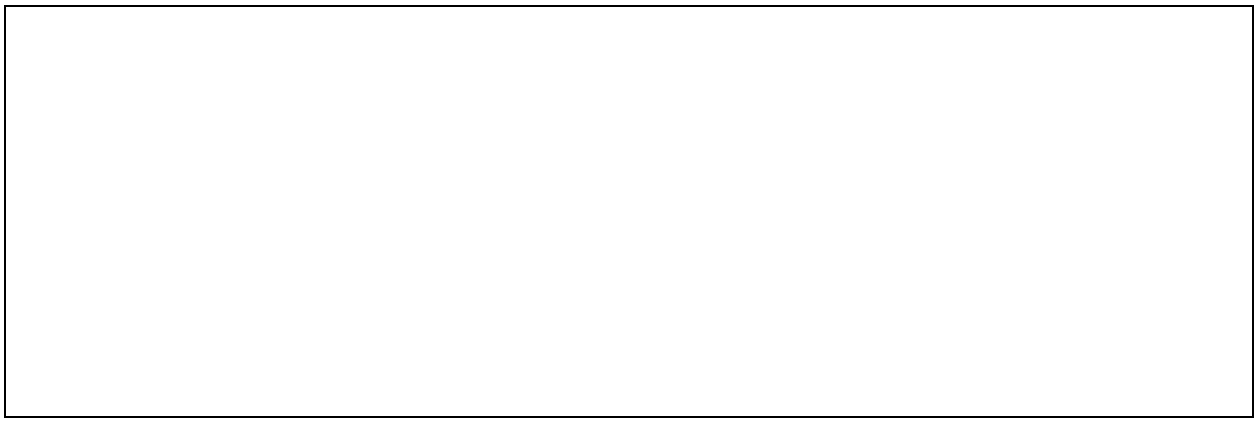
(1) น้ำยาฉาบผิวแบบหล่อ ชนิดน้ำ (Water mold coating)

กราไฟท์เกล็ด (scaly graphite) 35 ส่วน กราไฟท์ดิน (earthy graphite) 35 ส่วน ดินทนไฟ 15 ส่วน ตัวประสาน เช่นน้ำเหลือง (molasses) หรือตัวประสานอื่น 3 ส่วน วัสดุทนไฟ (refractories) ชั้นดี (เช่น zirconflower) 12 ส่วน และน้ำ 100 ~ 200 ส่วน ผสมกัน แล้วทาผิวแบบหล่อและทำให้แห้ง

(2) การฉาบผิวชนิดแห้งเร็ว

ใช้เมทานอล (methanol) อย่างดี 100 ส่วน ฟีโนลิคเรซิน (phenolic resin) 2 ส่วน น้ำมันสน (turpentine) 1.4 ส่วนผสมกัน แล้วใช้ของผสมที่ได้นี้ 60 ~ 70 ส่วนผสมกับกราไฟท์เกล็ด (scaly graphite) 20 ส่วน กราไฟท์ดิน (earthy graphite) 10 ส่วน ผงถ่านโคก (coke breeze) 20 ส่วน ดินทนไฟ 10 ส่วน และ zirconflower 40 ส่วน เมื่อผสมกันเสร็จแล้ว ใช้ทาผิวแบบหล่อแล้วอบหรือใช้ไฟเป่าจนแห้ง

น้ำยาฉาบผิวชนิดนี้ ใช้กับแบบหล่อหรือไส้แบบที่ทำด้วยทรายน้ำมัน (oil sand) หรือใช้กับแบบหล่อ CO2 หรือแบบหล่อเปลือก (shell molds) ในการฉาบผิวอาจใช้วิธีทา พ่น หรือจุ่มลงในน้ำยา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของแบบหล่อและความต้องการด้านประสิทธิภาพของการทำงาน



	แบบทดสอบท้ายบทเรียน	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 8-9
	ชื่อหน่วย แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. จงบอกวิธีแบบหล่อเปลือก

.....

.....

.....

.....

2. จงบอกวิธีหีบร้อน (Hot box method)

.....

.....

.....

.....

3. จงบอกวิธี CO_2

.....

.....

.....

.....

4. จงบอกวิธีแบบหล่อแข็งเอง (Self-hardening molds)

.....

.....

.....

.....

5. จงบอกวิธีหีบเย็น (Cold box method)

.....

.....

.....

.....

6. จงบอกวิธีการฉาบผิวแบบหล่อ (Mold coatings)

.....

.....

.....

.....

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. สาระสำคัญ

เตาคิวโปลานิยมใช้กัน ประกอบด้วยปลอกเหล็กเหนียวรูปทรงกระบอกวางในแนวตั้ง มีอิฐทนไฟอยู่ภายใน ใส่โลหะและถ่านโคกลงเตาทางช่องบรรจุ (charging door) เป่าลมเข้าเตาทางรูลม เมื่อถ่านโคกติดไฟโลหะจะละลาย น้ำโลหะและขี้ตะกรันนั้นเจาะออกเตาทางรูเจาะ ซึ่งอยู่ทางส่วนล่างของเตา ดังนั้นคิวโปลาโลหะจะได้รับความร้อนโดยตรงจากพลังงานที่เกิดจากเผาไหม้ของถ่านโคก โลหะจะหลอมละลายโดยมีประสิทธิภาพสูง

2. หัวข้อการเรียนรู้

6. การหลอมและการเทเหล็กหล่อ
   - 6.1 การหลอมเหล็กหล่อโดยใช้คิวโปลา
   - 6.2 การหลอมละลายเหล็กหล่อโดยใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ
   - 6.3 การตรวจและการปรับคุณสมบัติน้ำเหล็ก
   - 6.4 การเทเหล็กหล่อ

3. สมรรถนะอาชีพประจำหน่วย

รู้เกี่ยวกับการหลอมและการเทเหล็กหล่อ บอกวิธีการหลอมเหล็กหล่อโดยใช้คิวโปลา บอกวิธีการหลอมละลายเหล็กหล่อโดยใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ บอกวิธีการตรวจและการปรับคุณสมบัติน้ำเหล็ก และบอกวิธีการเทเหล็กหล่อ

4. จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

6. รู้เกี่ยวกับการหลอมและการเทเหล็กหล่อ

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

6.1 บอกวิธีการหลอมเหล็กหล่อโดยใช้คิวโปลาได้

6.2 บอกวิธีการหลอมละลายเหล็กหล่อโดยใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำได้

6.3 บอกวิธีการตรวจและการปรับคุณสมบัติน้ำเหล็กได้

6.4 บอกวิธีการเทเหล็กหล่อได้

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

บทที่ 6
การหลอมและการเทเหล็กหล่อ

6.1 การหลอมเหล็กหล่อโดยใช้คิวโปลา

คิวโปลานั้นใช้กันมากในการหลอมละลายเหล็กหล่อ เพราะมีข้อดีต่างๆที่เตาชนิดอื่นไม่มีต่อไปนี้

1. เป็นเตาที่สร้างง่ายและใช้ง่าย
2. หลอมละลายติดต่อกันโดยไม่ต้องหยุดได้
3. หลอมละลายในอัตราสูงได้
4. อุปกรณ์ที่ใช้และโสหุ้ยในการหลอมละลายมีราคาสูง
5. ปรับส่วนผสม (chemical composition) ได้มาก

6.1.1 ส่วนต่าง ๆ ของคิวโปลา

1) ส่วนต่าง ๆ ของคิวโปลาโดยย่อ

ส่วนต่าง ๆ ของคิวโปลาที่นิยมใช้กัน ประกอบด้วยปลอกเหล็กเหนียวรูปทรงกระบอกวางในแนวตั้ง มีอิฐทนไฟอยู่ภายใน ใส่โลหะและถ่านโคกลงเตาทางช่องบรรจุ (charging door) เป่าลมเข้าเตาทางรูลม เมื่อถ่านโคกติดไฟโลหะจะละลาย น้ำโลหะและขี้ตะกรันนั้นเจาะออกเตาทางรูเจาะ ซึ่งอยู่ทางส่วนล่างของเตา ดังนั้นคิวโปลาโลหะจะได้รับความร้อนโดยตรงจากพลังงานที่เกิดจากเผาไหม้ของถ่านโคก โลหะจะหลอมละลายโดยมีประสิทธิภาพสูง

2) การแบ่งเขตต่าง ๆ ในคิวโปลา

จากช่องบรรจุถึงรูเจาะแบ่งออกได้เป็นเขตต่าง ๆ ตามสภาพของโลหะในคิวโปลา เขตให้ความร้อนขั้นต้น เขตนี้จะเริ่มจากช่องบรรจุไปจนถึงตำแหน่งที่โลหะกำลังจะหลอมละลาย ในขณะเคลื่อนลงตามทางในเขตนี้โลหะจะร้อนขึ้นเป็นลำดับเขตหลอมละลาย ช่วงบนของส่วนที่โลหะละลาย เขตเพิ่มอุณหภูมิหลังละลาย นับจากเบื้องล่างของเขตหลอมละลายจนถึงระดับรูลมในระหว่างที่ผ่านเขตนี้ น้ำโลหะจะเพิ่มอุณหภูมิ

หลังจากละลายแล้วเขตเบ้า นับจากรูลมจนถึงก้นคิวโปลา เป็นที่เก็บน้ำโลหะและขี้ตะกรันในการแบ่งเขตอีกลักษณะหนึ่งภายในของคิวโปลา แบ่งออกได้เป็นเขตเพิ่มออกซิเจนและเขตลดออกซิเจน

เขตเพิ่มออกซิเจน ตั้งแต่ระดับรูลมจนถึงระดับกลางกองถ่านโคกก้นเตาในเขตนี้ถ่านโคกได้รับออกซิเจนเพิ่มอากาศที่เข้ามาทางรูลม

เขตลดออกซิเจน ส่วนที่อยู่เหนือเขตเพิ่มออกซิเจน แก๊ส CO_2 ซึ่งเกิดขึ้นในเขตเพิ่มออกซิเจน จะถูกลดออกซิเจนโดยที่ถ่านโคกดึงออกซิเจนไปจาก CO_2

3) สมรรถนะการหลอมละลาย (Melting Capacity)

สมรรถนะการหลอมละลายของคิวโปลาคิดเป็นตันต่อชั่วโมง สมรรถนะการหลอมละลายจะเปลี่ยนตามปริมาตรลมที่เข้าสู่เตา อัตราส่วนเหล็กต่อถ่านและสภาพปฏิบัติการอื่น ๆ ถึงแม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคิวโปลาจะไม่เปลี่ยน

4) ความสูงที่ใช้การได้จริง (Effective Height)

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

ความสูงที่ใช้การได้จริงของคิวโปลาคือความสูงนับจากระดับจุดศูนย์กลางของรูลม จนถึงส่วนล่างของช่องบรรจุ ในช่องนี้โลหะที่เข้าเตาจะได้รับความร้อนขั้นต้น ดังนั้นคิวโปลายาวๆ จะช่วยให้มีการ

ถ่ายเทความร้อนได้มากแต่ถ้ายาวเกินไปจะทำให้มีการต้านทานการไหลของอากาศมากเกินไป และอาจทำให้ถ่านโคกถูกอัดมากเกินไปเมื่อได้คิดในแง่ต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว ความสูงที่ใช้การได้จริงของคิวโปลามาตรฐานนักจะเท่ากับประมาณสี่ถึงหกเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของเตาที่ระดับรูลม

5) เขตเบ้า

เขตเบ้าคือเขตที่นับจากส่วนล่างรูลมถึงก้นเตา เขตเบ้าของคิวโปลาที่มีส่วนรับน้ำโลหะต่างหากจะตื้นเพราะไม่ต้องใช้รับน้ำโลหะ เขตเบ้าของคิวโปลาที่ใช้รีบน้ำโลหะด้วยจะลึก ตามปกติมักให้เขตเบ้ามีขนาดใหญ่พอที่จะรับเหล็กได้ 2-3 ครั้งบรรจุ

ในเขตเบ้ายังมีถ่านโคกดังนั้นจึงมีที่สำหรับน้ำโลหะเพียง 45% ของปริมาตรทั้งหมด เขตเบ้าไม่ควรใหญ่เกินจำเป็น เพราะจะทำให้เหล็กดูดเอาคาร์บอนและซัลเฟอร์จากถ่านโคก

6) รูเจาะ และรูขี้ตะกรัน

รูเจาะและรูขี้ตระกรันเขตเบ้า รูปร่างและตำแหน่งของรูเหล่านี้ขึ้นกับวิธีการเจาะเอาน้ำเหล็กและขี้ตะกรันออก กระบวนการเจาะเอาน้ำโลหะและขี้ตะกรันออกเป็นระยะ ๆ ตามวิธีนี้จะเจาะเอาน้ำเหล็กหรือขี้ตะกรันที่พักอยู่ในอ่างในเตาคิวโปลาเป็นระยะ ๆ จากรูเจาะและรูขี้ตะกรัน ทั้งนี้โดยใช้มือจับอุปกรณ์แล้วเจาะและอุดรู ส่วนผสมทางเคมีของน้ำเหล็กที่ได้โดยวิธีนี้จะเปลี่ยนเนื่องจากสัมผัสกับถ่านโคกและขี้ตะกรัน

ขบวนกรรมเอาขี้ตะกรันออกทางด้านหน้า ขบวนกรรมนี้ขี้ตะกรันจะไหลออกติดต่อกันไปโดยที่น้ำโลหะจะออกส่วนล่าง และขี้ตะกรันจะออกจากน้ำโลหะทันที ขบวนกรรมนี้ให้ผลดีที่สุดเพราะมีการ

เปลี่ยนแปลงในส่วนผสมทางเคมีน้อยที่สุดขบวนกรรมเอาขี้ตะกรันออกทางด้านหลัง รูเจาะและขี้ตะกรันอยู่คนละด้านจึงไม่จำเป็นต้องมีการแยกขี้ตะกรันออกจากน้ำโลหะ น้ำโลหะที่ออกอย่างติดต่อกัน ทั้งโดยวิธีเอาขี้ตะกรันออกทางด้านหน้าและด้านหลัง จะเข้าไปพักอยู่ในเตาพักน้ำโลหะ เมื่อต้องการน้ำโลหะก็เทออกได้เท่าที่ต้องการ

7) รูลม

รูลมทำหน้าที่ส่งอากาศเข้าเตาเพื่อให้ถ่านโคกเผาไหม้ อากาศจะต้องเข้าในปริมาณและความดันที่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณและทดลองหาพื้นที่หน้าตัดรวมของรูลมเพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสม ถ้าพื้นที่หน้าตัดรวมน้อยเกินไป ความเร็วลมจะสูงเกินไป ทำให้อุณหภูมิของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ต่ำลง แต่ถ้าพื้นที่หน้าตัดรวมใหญ่เกินไป ความเร็วลมจะลดลงและไม่ได้การเผาไหม้ที่สม่ำเสมอ ควรใช้เหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียวทำรูลมเพราะมีความแข็งแรงพอที่จะรักษามิติของรูลมไว้ได้ในขณะใช้งาน

8) กล่องลม

กล่องลมทำหน้าที่รวบรวมอากาศที่เป่ามาจากพัดลมเพื่อจ่ายผ่านรูลม เข้าสู่เตาอย่างสม่ำเสมอ ความกว้างของกล่องลมมีขนาดเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อส่งลมจากพัดลมและความสูงเท่าสี่เท่าของความกว้าง

6.1.2 ทฤษฎีการหลอมในคิวโปลา

1) ปฏิกริยาการเผาไหม้ในเตา

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

ในคิวโปลาความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาให้ความร้อนระหว่าง O2 จากอากาศที่ถูกเป่าเข้าเตา และ C ในถ่านโคกจะทำให้โลหะหลอมเหลวทำให้เกิดขี้ตะกรัน ส่งสิ่งเจือปนเข้าไปอยู่ในขี้ตะกรัน และลด

ออกซิเจนออกออกไซด์ การแสดงลักษณะการกระจายแก๊สของที่เกิดจากการเผาไหม้ O2 จากอากาศที่เข้าเตาทางรูป้อนลมทำให้เกิดปฏิกิริยาเพิ่มออกซิเจน ดังนี้

$C + O_2 \qquad CO_2 \qquad (1)$

ถ่านโคกจะเผาไหม้ในเขตนี้ และอุณหภูมิที่เขตนี้จะสูงกว่าที่อื่นในเตา เขตนี้เรียกว่าเขตเพิ่มออกซิเจนข้างบนของเขตนี้เป็นเขตลดออกซิเจน CO2 ซึ่งเกิดในเขตเพิ่มออกซิเจนจะเปลี่ยนเฉพาะบางส่วนเป็น CO โดยปฏิกิริยาลดออกซิเจนดังนี้

$CO_2 + C \qquad {}_2CO \qquad (2)$

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกริยาดูดความร้อนและเป็นปฏิกริยาที่เกิดเร็วขึ้นถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นในเขตสูงขึ้นไปในเตาและเนื่องจากเกิดปฏิกิริยานี้อุณหภูมิของแก๊สจะลดลง

ปฏิกิริยาตามสมการที่ (1) และสมการที่ (2) เกิดขึ้นเมื่อถ่านโคกสัมผัสกับอากาศที่เป่าเข้ามา ดังนั้นตำแหน่งที่ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดตลอดจนลักษณะการกระจายของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้จะขึ้นกับขนาดของถ่านโคก ปริมาตรอากาศเป่า ขนาดของรูลมและตัวแปรอื่น ในการหลอมโลหะด้วยคิวโปลา การควบคุมตำแหน่งของเขตเพิ่มออกซิเจนและเขตลดออกซิเจนนับเป็นเรื่องสำคัญ เพราะจะกระทบกระเทือนคุณภาพน้ำโลหะ ถ้าเขตเพิ่มออกซิเจนขยายขึ้นไปถึงส่วนบนของเตา โลหะที่ยังเป็นของแข็งจะต้องอยู่ในบรรยากาศเพิ่มออกซิเจนอันรุนแรง ทำให้โลหะได้รับออกซิเจนเพิ่มขึ้น เมื่อเป็นดังนี้จะเกิดผลเสียด้านการสูญเสีย Si เป็นอย่างมากในระหว่างการหลอม ให้เกิดคาร์บอนลักษณะแปลกๆ และเกิดการสูญเสียปริมาณโลหะและอื่นๆ

2) ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดขี้ตะกรันและการเปลี่ยนแปลงของส่วนผสมของน้ำโลหะ

ขี้ตะกรันของคิวโปลาประกอบด้วยวัสดุช่วยให้เกิดขี้ตะกรัน เช่นหินปูน วัสดุกรุเตา เถ้าที่เกิดจากถ่านโคกและออกไซด์ของโลหะ ส่วนผสมของขี้ตะกรันขึ้นอยู่กับสภาพปฏิบัติการ และชนิดของวัสดุที่ใช้ ส่วนผสมของขี้ตะกรันจะเป็นอย่างหนึ่งที่ทำให้ส่วนผสมของน้ำโลหะเปลี่ยนไปดังนั้นจึงควรมีการควบคุมส่วนผสมของขี้ตะกรัน

โดยทั่วไปถ้าอากาศที่เป่ามากเกินไปหรือถ้าอัตราส่วนระหว่างเหล็กและถ่านโคกต่ำ จะทำให้เกิดออกไซด์ของส่วนผสมของโลหะมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งออกไซด์ของซิลิคอนและแมงกานีสจะเพิ่มขึ้น และคุณภาพของน้ำโลหะก็จะต่ำลงเนื่องจากสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะทำการหลอมเหลว ออกไซด์เหล่านี้ในขี้ตะกรันทำปฏิกริยากับคาร์บอนในน้ำโลหะและถ่านโคกดังนี้

$$FeO + C = Fe + CO$$

$$SiO2 + 2C = Si + 2CO$$

ดังนั้นออกไซด์ดังกล่าวจะถูกลดออกซิเจน ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม ดังนั้นถ้าอุณหภูมิการหลอมโลหะสูงการสูญเสียของสารในเหล็ก (โดยที่สารนั้นๆ กลายเป็นออกไซด์) จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิ และการเกิดจุดเสียในชิ้นงานหล่อก็เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน

ประเด็นสำคัญอีกอันหนึ่งคือซัลเฟอร์จากถ่านโคกที่เข้าไปในน้ำโลหะ ถ่านโคกที่ใช้งานหล่อตามปกติมีซัลเฟอร์อยู่ 0.5 ~ 0.8 % และคาดกันว่าประมาณ 30% ของซัลเฟอร์นี้เข้าไปในน้ำโลหะ ซัลเฟอร์นี้

จะกลายเป็นซัลไฟด์ในน้ำโลหะและจะถูกดึงออกมาจากน้ำโลหะโดยการทำปฏิกริยากับ CaO ซึ่งมีอยู่มากในขี้ตะกรัน ปฏิกิริยาที่ว่านี้คือ

$$CaO + FeS = CaS + FeO$$

$$CaO + MnS = CaS + MnO$$

แต่มี FeO และ MnO อยู่มากในขี้ตะกรัน ปฏิกริยาจะดำเนินไปทางขวาได้ยาก ดังนั้นจะดึงเอาซัลเฟอร์ออกได้ไม่มากพอ ด้วยเหตุผลนี้จึงไม่ควรให้เกิดการเป็นออกไซด์มากนักในการหลอมโลหะ

3) ถ่านโคกและปริมาตรอากาศที่เป่าเข้าเตา

ถ้าเป่าอากาศเข้ามากเกินไปและมีถ่านโคกไม่พอ ระดับของถ่านก้นเตา จะลดลงและจะทำให้เหล็กเป็นออกไซด์ได้มาก ทั้งนี้เพราะเหล็กต้องอยู่ในบรรยากาศที่พาให้เกิดการเป็นออกไซด์ได้มาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาระดับถ่านก้นเตาให้สูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อที่จะป้องกันมิให้เหล็กเป็นออกไซด์และเพื่อให้ได้อุณหภูมิน้ำเหล็กสูงหน้าที่ของถ่านโคกที่บรรจุเข้าเตาคือการรักษาถ่านก้นเตาให้อยู่คงที่ และทำให้การทำงานของเตาเป็นไปอย่างต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน ปริมานถ่านโคกที่เพียงพอสำหรับแต่ละครั้งบรรจุนั้น จะต้องคำนวณหาโดยการพิจารณาถึงชนิดของเหล็ก ความแข็งแรงทางกลของถ่านโคก และปริมาณเถ้าซัลเฟอร์ ขนาดของถ่านโคกก็เป็นเรื่องสำคัญที่ควรพิจารณาด้วย ขนาดของถ่านโคกควรเท่ากับประมาณ 1/8 ~ 1/10 ของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของคิวโปลาและควรมีขนาดเท่าๆกันด้วย

ปริมาตรอากาศที่เป่าเข้าเตามีผลกระทบกระเทือนมากที่สุดต่อการเผาไหม้ของถ่านโคกในคิวโปลา และคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$Q = 1{,}000 \times W \times K \times L \times C$$

โดยที่ Q : ปริมาตรอากาศ m^3/min

W : อัตรการหลอมละลาย ton/hr

L : ปริมาตรอากาศที่ต้องใช้ในการเผาไหม้คาร์บอน 1 kg m^3/kg

K : ปริมาณถ่านโคกที่ต้องใช้ในการหลอมละลายโลหะ 1 kg kg

k : ปริมาณคาร์บอนใน 100 kg ของถ่านโคก kg

C : สัมประสิทธิ์การปรับตามสภาพ

ในสมการข้างบนมีการคิดการเปลี่ยนแปลงในขนาดถ่านโคกด้วย ปริมาตรอากาศเป่านั้นไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนเหล็กต่อถ่านโคกมากนัก ดังนั้นอาจหาปริมาณอากาศที่ต้องการได้จากสูตรต่อไปนี้

4) วัสดุที่ใช้ในการหล่อโดยคิวโปลา

เหล็กปิก วัสดุที่ใช้กับคิวโปลากันมากที่สุดคือเหล็กปิก เพื่อให้ได้ชิ้นงานหล่อที่ดีจะต้องใช้เหล็กปิกที่ดี มักจะใช้เหล็กปิกเท่ากับประมาณ 20 ~ 30% ของโลหะที่ใส่เข้าเตาทั้งหมด

เศษเหล็กเหนียว เหล็กเหนียวใช้แล้วที่สะอาดจะมีส่วนผสมที่เหมือนๆกัน และหาซื้อได้ในราคาถูก การที่เหล็กเหนียวมีคาร์บอนและซิลิกอนน้อยทำให้เหมาะที่จะใช้ทำชิ้นงานหล่อที่ต้องการ % ของ C และ % ของ Si น้อยๆ ตามปกติจะใช้เศษเหล็กเหนียวเท่ากับ 30 ~ 40 % ของโลหะทั้งหมด โดยเฉพาะในกรณี

เหล็กหล่อความแข็งแรงสูงจะต้องใช้เศษเหล็กมากกว่าปกติ ขนาดและรูปล่างของเหล็กเหนียวที่ใช้แล้วมีผลกระทบกระเทือนอย่างสำคัญต่อการรักษาสภาพการที่ถูกต้องภายในเตา เช่าถ้าใช้เหล็กเหนียวใช้แล้วอยู่ในรูป

แผ่นบางๆ จะมีการสูญเสียมวลโดยปฏิกริยาเพิ่มออกซิเจนเป็นอย่างมาก ตรงกันข้ามถ้าแผ่นเหล็กหนาเกินไปอุณหภูมิในเตาจะต่ำ

เหล็กหล่อใช้ซ้ำ เหล็กหล่อใช้ซ้ำหมายถึงชิ้นงานหล่อที่ใช้ไม่ได้ รูล้น รูเท รูวิ่ง หรือเหล็กหล่อที่ใช้ซ้ำที่ซื้อมาจากโรงงานหล่ออื่น ควรใช้เหล็กหล่อใช้ซ้ำที่มาจากโรงงานหล่อนั้นๆเองเพราะรู้ส่วนผสม เหล็กผสมสารปรับส่วนผสม หมายถึงวัสดุเช่น Fe-Si หรือ Fe Min เมื่อใช้เหล็กเหนียวใช้แล้วเปอร์เซ็นต์มากขึ้นก็จะต้องมีการปรับส่วนผสมโดยการใช้ ferro alloy ในการปรับส่วนผสมโดยพิจารณาเรื่องการเปลี่ยนแปลงในส่วนผสมของน้ำโลหะเนื่องจากปฏิกริยาเพิ่มออกซิเจนในขณะอยู่ในส่วนบนของเตา และที่เกิดจากปฏิกิริยากับขี้ตะกรันหรือถ่านโคก

การเปลี่ยนแปลงใน % C ซึ่งประกอบด้วยการลดคาร์บอนโดยปฏิกริยาเพิ่มออกซิเจนของน้ำโลหะขณะที่อยู่ส่วนบนของเตา และการเพิ่มคาร์บอนโดยปฏิกริยาระหว่างน้ำโลหะและถ่านโคกนั้นเกี่ยวข้องอย่างซับซ้อนกับสภาพปฏิบัติการ % C นั้นปรับได้โดยเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างเหล็กปิกและเหล็กเหนียวที่ใช้แล้วในการหลอมเหลว ควรเผื่อการสูญเสีย Si ประมาณ 10 ~ 25% และ Mn ประมาณ 15 ~ 30% การสูญเสียเหล่านี้จะต้องนำไปประกอบการคำนวณการปรับส่วนผสม % S จะเพิ่มเพราะได้ซัลเฟอร์จากถ่านโคก มักกำหนดให้ % S เพิ่มได้ไม่เกิน 0.1%

6.1.3 การใช้คิวโปลา

1) ผนังเตา

ผนังเตา ประกอบด้วยอิฐทนไฟ วัสดุทนไฟหล่อสำเร็จรูป หรือวัสดุทนไฟใช้ในการปะ ถ้าต้องการให้ผนังเตาเป็นประเภทกรดก็ควรใช้วัสดุทนไฟ chamotle หรืออิฐแป้ง และควรใช้ magnesia หรือ doromite ถ้าต้องการผิวเตาประเภทต่างๆ ควรพอกผิวให้หนา 3 ~ 4 mm และเพื่อให้จับติดดีควรใช้น้ำให้น้อยที่สุด คิวโปลาทำผนังเตาใหม่นั้นควรปล่อยให้แห้งเองสัก 2 – 3 วัน แล้วจึงเผาถ่านโคกหรือฟืนในเตาเป็นเวลา 1 วันกับ 1 คืนเพื่อให้แห้งสนิท

การซ่อมผนังเตา ตามปกติในการเตรียมใช้คิวโปลาก็จะเริ่มโดยการซ่อมผนังเตาซึ่งถูกกัดกร่อน ไปในการใช้งาน โดยการเปิดเหล็กปิดก้นเตาออก ปล่อยให้ภายในของเตาเย็นลงแล้วจึงซ่อมส่วนที่ถูกกัดกร่อน มักจะต้องซ่อมเฉพาะเขตหลอมละลายที่อุณหภูมิสูง

จะต้องใช้สกัดหรือค้อนลมเพื่อเอาขี้ตะกรัน ถ่านโคก และเหล็กที่ติดอยู่ออกไปจนถึงส่วนวัสดุทนไฟ หลังจากนั้นอาจต้องเปลี่ยนอิฐทนไฟ หรือเพียงแต่ใช้วัสดุทนไฟปะ ทั้งนี้แล้วแต่สึกกร่อนไปแค่ไหน ควรให้มีน้ำน้อยที่สุดในวัสดุทนไฟที่ใช้ฉาบหรือปะ

ในการซ่อมรูลมและรูเจาะจะต้องระวังเรื่องขนาดรูปร่างและมุม หลังจากซ่อมเสร็จแล้วก็ปิดประตูกันแล้วใช้ทรายทำแบบหล่อบุก้นเตาให้หนาสัก 30-50 mm แล้วจึงใส่ทรายก้นเตาทับอีกทีแล้วตบให้แน่น

ส่วนล่างของเตาจะเรียวลงสู่รูลมด้วยมุม 5/1,000 ถึง 10/1,000 องศา การเรียวนี้ทำให้เจาะน้ำโลหะออกได้สะดวก ความหนาของทรายก้นเตาเท่ากับ 200 mm เป็นอย่างต่ำ ความหนานี้ขึ้นอยู่กับขนาดของคิวโปลาและจำนวนชั่วโมงปฏิบัติงาน

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

การอุ่นคิวโปลา หลังจากทำผิวเตาเสร็จ ควรปล่อยให้แห้งช้า ๆ อาจทำให้แน่นโดยการจุดถ่านโคกก้นเตา ดังจะได้กล่าวในตอนต่อไป รูเจาะและปากเตานั้นควรทำให้ร้อนโดยการเผาด้วยฟืนหรือถ่านโคกหรือใช้เตาฟู่ เพื่อป้องกันมิให้อุณหภูมิของน้ำโลหะที่ออกมาที่แรกต้องลดมาก

2) การเตรียมงาน

การจุดเตา หลังจากที่ได้ซ่อมเตาและทำให้แห้ง ควรเริ่มจุดเตา 3-4 ชั่วโมงก่อนกำหนดเจาะน้ำโลหะ เริ่มด้วยการใส่ฟืนลงไปที่ก้นเตา แล้วจุดให้ติดโดยการใช้ผ้าชุบน้ำมันหรือเตาฟู่ หลังจากไฟติดแล้วจึงใส่ถ่านโคกก้นเตาแล้วปล่อยให้ติดจนลุกโชน ถ้าใช้ตะเกียงแก๊สเป่าชนิดพิเศษสำหรับติดเตา จะติดถ่านโคกก้นเตาได้เลย โดยไม่ต้องใช้ฟืน ถ้าใช้วิธีหลังจะใช้เวลาน้อยกว่าวิธีแรก

การเป่าก่อนหลอม เมื่อเกิดการเผาไหม้จนเปลวไฟขึ้นส่วนบนของถ่านโคกก้นเตาแล้วก็ปิดรูมอง แล้วเป่าลมประมาณ 3-4 นาที ในระหว่างที่เป่าก่อนหลอมนี้ควรปรับระดับถ่านโคกก้นเตาให้ถูกต้อง โดยการใช้โซ่หรือเหล็กเหนียว วัดจากรูบรรจุสำหรับคิวโปลาเล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในต่ำกว่า 700mm ถ่านโคกก้นเตาสูง 1.5-1.8 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในก็พอ และสำหรับคิวโปลาขนาดใหญ่ ใช้ถ่านโคกก้นเตาสูง 1,200-1,300 mm

วัสดุบรรจุ ปริมาณโลหะที่บรรจุนั้นคำนวณโดยใช้ตารางควบคุมวัสดุ น้ำหนักโลหะสำหรับแต่ละครั้งบรรจุควรเท่ากับ 1/10 – 1/15 ของอัตราการหลอมต่อชั่วโมงของคิวโปลา ปริมาตรถ่านโคกสำหรับแต่ละครั้งบรรจุนั้นคิดจากอัตราส่วนระหว่างเหล็กและถ่านโคก ปริมาณขอหินปูนที่ช่วยทำให้เกิดขี้ตะกรันควรเท่ากับประมาณ 25 – 30 % ของน้ำหนักถ่านโคก ในการบรรจุควรใส่หินปูนเข้าไปก่อน แล้วจึงใส่โลหะและถ่านโคกตามลำดับ การบรรจุไม่สู้สำคัญนัก สิ่งที่ควรระวังมากคือ อย่าให้ขนาดของแต่ละชิ้นวัสดุต่างกันมาก ๆ

3) วิธีปฏิบัติ

การเริ่มเป่าลม หลังจากใส่วัสดุเข้าไปจนถึงส่วนล่างของประตูบรรจุแล้ว ปล่อยให้โลหะได้รับความร้อนประมาณ 15-20 นาทีก่อนจะเป่าลม แต่ถ้าช่วงนี้นานเกินไป ระดับของถ่านโคกก้นเตาจะต่ำเพราะเกิดการเผาไหม้ไปมาก เมื่อได้ปล่อยให้โลหะได้รับความร้อนเพียงพอแล้วก็เริ่มเป่าลม หลังจากนี้ประมาณ 3-4 นาที จะเห็นเหล็กละลายเป็นหยดๆ ตกผ่านรูมอง ตามปกติจะเริ่มเปิดรูเทครั้งแรกราว 15-20 นาที หลังจากเริ่มเป่าลม

น้ำโลหะที่ออกมาแต่แรกมีอุณหภูมิต่ำและส่วนผสมมักเปลี่ยนไปจากที่ต้องการมาก ดังนั้นตามปกติจะไม่ใช้ในการหล่อชิ้นงาน ถ้าต้องการให้ได้น้ำโลหะอุณหภูมิสูงตั้งแต่แรกจะต้องใช้ถ่านโคกก้นเตามาก ๆ และเป่าลมมาก ๆ หรือใส่แคลเซียมคาร์ไบด์ 1-2 % ผสมมากับถ่านโคกงวดแรก

การหลอมละลายและการเจาะ ถ้าเป็นคิวโปลาที่มีที่แยกขี้ตะกรันจะเป็นการแยกที่หน้าเตา หรือหลังเตาก็ตามจะเจาะน้ำโลหะออกได้ติดต่อกันโดยไม่ต้องหยุด ขี้ตะกรันจะออกมากับน้ำโลหะ แต่จะถูกแยกออกไป สำหรับคิวโปลาที่ใช้วิธีแยกขี้ตะกรันเป็นตอนๆ นั้นจะปิดรูเจาะเป็นระยะ ๆ ตามปริมาณน้ำโลหะและขี้ตะกรันในอ่างเก็บน้ำในเตา

จะต้องบรรจุถ่านโคก หินปูน และโลหะเข้าเตาเป็นระยะ ๆ อย่างสม่ำเสมอ เพื่อรักษาให้ระดับวัสดุอยู่ที่ส่วนล่างของประตูบรรจุ ในระหว่างการหลอมละลาย จะต้องตรวจอัตราการหลอมละลาย อุณหภูมิของน้ำเหล็กและความดันของลมเป่าอยู่เสมอ ดังนั้นจะต้องรักษาสภาวะในเตา กล่าวคืออุณหภูมิ ความดัน ความสูงของกองถ่านโคกก้นเตา ผนังเตา ฯลฯ ไว้ไม่ให้เปลี่ยนแปลง

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

ถึงแม้ว่าคิวโปลาจะทำงานโดยมีอัตราส่วนเหล็กต่อถ่านโคกที่ถูกต้อง และมีปริมาณลมเพียงพอ แต่ถ้าใช้งานไปนานเข้าระดับถ่านโคกก้นเตาจะลดลงเพราะผนังเตาในเขตหลอมละลายจะสึกกร่อนไป ดังนั้นเพื่อให้ระดับถ่านโคกก้นเตาที่จะคงต้องใส่ถ่านโคกเพิ่มเข้าไปเท่ากับประมาณหนึ่งครั้งบรรจุทุก ๆ หนึ่งชั่วโมง หรือหนึ่งชั่วโมงครึ่ง

วิธีการปฏิบัติเมื่อจะหยุดใช้เตา เมื่อใกล้จะสิ้นสุดการใช้เตา ความดันของอากาศจะลดลงเพราะความสูงของถ่านโคกก้นเตาจะลดลง ดังนั้นจึงต้องปรับประตูลม เพื่อรักษาให้ปริมาณอากาศคงที่ ถ้าปล่อยให้เตาทำงานต่อไปตามปกติจนกระทั่งโลหะที่อยู่เหนือกองถ่านโคกก้นเตาละลายหมด อาจจะมีโลหะไปติดผนังเตาเนื่องจากน้ำโบหะถูกเป่ากระจาย การสึกกร่อนของวัสดุทนไฟ หรือการเพิ่มออกซิเจนของเหล็กฯลฯ ดังนั้นจึงควรหยุดเป่าลมเมื่อยังมีวัสดุอีกประมาณ 2-3 ครั้งบรรจุอยู่เหนือถ่านโคกก้นเตา

พร้อมกับที่หยุดเป่าลมก็เปิดรูมอง และเอาเหล็กและขี้ตะกรันออกทางรูเจาะและรูขี้ตะกรัน หลังจากนั้นก็เปิดประตูก้นเตา ทำวัสดุทั้งหลายตกลงมากองบนทรายซึ่งจัดไว้ใต้คิวโปลา

ถ้าสิ่งต่างๆ ในเตาไม่ตกลงมา เมื่อเปิดประตูก้นเตา จะต้องใช้ท่อนเหล็กทะลวง ที่ไม่ตกมักเป็นเพราะทรายรองก้นเตามีดินเหนียวมากเกินไป ต้องปรับส่วนผสมของทรายก้นเตาให้มีดินเหนียวน้อยลง

4) สภาพการทำงานที่ถูกต้องของคิวโปลา

ในการหลอมละลายเหล็กโดยใช้คิวโปลา คุณลักษณะของเหล็กจะเปลี่ยนอยู่เสมอคือเปลี่ยนไปตามสภาวะของเตา ทั้งนี้แม้เตาจะทำงานติดกันในอัตราผลิตคงที่ ดังนั้นจะต้องปรับสภาวะตามความเปลี่ยนแปลงของเตา ทั้งนี้เพื่อให้ได้สภาวะการทำงานที่อยู่ในเกณฑ์ใช้ได้

(a) สภาวะที่จะทำให้ได้อุณหภูมิของน้ำโลหะสูงมีดังนี้

1. ความสูงที่ใช้ได้จริง

2. ปริมาณลมเป่ามากพอ (อัตราส่วนรูลมสูงพอ)
3. ใช้ถ่านโคกแข็งที่มีขี้เถ้าน้อย
4. ถ่านโคกก้นเตามีระดับสูง
5. การเป่าลมมากพอก่อนลงมือทำงานตามปกติ
6. ใช้ถ่านโคกมากพอ
7. ใช้โลหะที่มีขนาดและน้ำหนักเหมาะกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคิวโปลา
8. มีอัตราการหลอมละลายเหมาะกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคิวโปลา

(b) สภาวะที่จะทำให้ได้เหล็กที่ไม่ผ่านการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและเป็นเหล็กสะอาด ดังนี้

1. ถ่านโคกก้นเตามีระดับสูง
2. ใช้ถ่านโคกมากพอ
3. ใช้โลหะที่มีขนาดและน้ำหนักเหมาะกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคิวโปลา
4. ป้องกันมิให้มีลมเป่ามากเกินไปหรือความดันสูงเกินไป

(c) สภาวะที่จะทำให้เหล็กที่มีเนื้อสม่ำเสมอและมีส่วนผสมทางเคมีตามที่ต้องการมีดังนี้

1. ใช้เหล็กปิกใหม่ที่รู้ส่วนผสมทางเคมี
2. ควบคุมเหล็กใช้ดีแล้ว มีการจัดแบ่งประเภทของเหล็กใช้แล้ว
3. โลหะที่มีขนาดและน้ำหนักเหมาะกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคิวโปลา
4. ใช้รูลมที่ส่งลมเข้าได้เฉลี่ยเท่า ๆ กันทั่วพื้นหน้าตัด
5. ใช้เตาพักน้ำโลหะ

6.1.4 วิธีการใช้คิวโปลาในสมัยปัจจุบัน

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้มีการใช้คิวโปลาที่หล่อเย็นด้วยน้ำ และคิวโปลาใช้ลมเป่าร้อนกันในอุตสาหกรรมในระยะหลังๆ

1) คิวโปลาหล่อเย็นด้วยน้ำ

ผนังเตาในเขตหลอมละลายเหนือรูลม เป็นส่วนที่สึกกร่อนมากที่สุดในคิวโปลาและเมื่อสึกกร่อนไปมาก ๆ เปลือกเตาซึ่งเป็นเหล็กเหนียวจะร้อนจนแดง และต้องหยุดการทำงานของเตา นอกจากนั้นถ้า

ผนังเตาเหลือบางมาก ๆ จะต้องเสียวเวลาซ่อมนานดังนั้นระยะหลังๆ นี้จึงมีการใช้คิวโปลาหล่อเย็นด้วยน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเตาที่หล่อเย็นตรงเขตหลอมละลาย

มีคิวโปลาหล่อเย็นด้วยน้ำอยู่สองชนิด ชนิดแรกมีโพรงรอบเตาให้น้ำอยู่ และอีกชนิดหนึ่งใช้น้ำโปรยลงมาที่เปลือกเตาการหล่อเย็นวิธีแรกมักใช้กับคิวโปลาขนาดเล็ก ในการหล่อเย็นชนิดที่สองเปลือกเตาควรได้รับน้ำรินลงมาโดยรอบอย่างสม่ำเสมอ คิวโปลาชนิดหลังนี้ควรใช้เปลือกเตาหนากว่าชนิดแรกและควรหนากว่า 10mm ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการพิจารณาระหว่างการนำความร้อน (ต้องการให้เปลือกบาง) และความแข็งแรงทางกล (ต้องการให้เปลือกหนา) วิธีหลังมักใช้กับคิวโปลาขนาดใหญ่

คิวโปลาหล่อเย็นด้วยน้ำได้เปรียบตรงที่ทำให้ใช้งานได้นานก่อนต้องซ่อมและเมื่อต้องซ่อมก็ไม่ต้องซ่อมมากเท่าเตาที่ไม่มีการหล่อเย็นด้วยน้ำ นอกจากนั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงในส่วนผสมของเหล็กน้อย เพราะสภาวะภายในเตาจะไม่ค่อยเปลี่ยนเนื่องจากมีการสึกกร่อนของผนังเตาน้อย

เมื่อเร็วๆ นี้มีการใช้คิวโปลาหล่อเย็นด้วยน้ำที่ผนังเตาหนาเพียง 2-3 cm หรือไม่มีผนังเตาเลย คิวโปลาบางอันใช้วิธีหล่อเย็นโดยใช้น้ำหล่อเย็นเฉพาะรูลมซึ่งทำด้วยทองแดง ทั้งนี้เพื่อจำกัดให้การเผาไหม้อยู่ในเขตเฉพาะ และเพื่อไม่ให้สูญเสียความร้อนมากเกินไป

2) คิวโปลาใช้ลมร้อนเป่า

คิวโปลาตามปกติใช้ลมเป่าที่ได้จากบรรยากาศรอบเตา แต่มีคิวโปลาที่ใช้ลมที่ผ่านการทำให้ร้อนมาก่อนการใช้อากาศที่ทำให้ร้อนมาก่อนทำให้อุณหภูมิในเตาสูงขึ้นและมีข้อได้เปรียบต่าง ๆ ดังนี้

1) ทำให้อุณหภูมิน้ำโลหะจากคิวโปลาสูงขึ้น

2) ลดอัตราส่วนเหล็กต่อถ่านโคกได้โดยไม่ลดอุณหภูมิ

3) ลดการสูญเสียเนื่องจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและซิลิกอน แมงกานีส เหล็ก และโลหะผสมอื่น

4) อาจจะใช้โลหะคุณภาพต่ำได้ และลดค่าใช้จ่ายในด้านวัสดุ

5) เพิ่มอัตราการหลอมละลาย

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

มีวิธีการทำให้อากาศร้อนก่อนเป่าอยู่ 3 วิธี วิธีแรกใช้ความร้อนปกติ ของแก๊สคิวโปลา วิธีที่สองใช้ความร้อนแฝง ซึ่งเป็นแก๊สชนิดหนึ่งในคิวโปลา วิธีที่สามใช้แหล่งความร้อนต่างหากจากคิวโปลา เช่นในการเผาไหม้ของแก๊สหรือน้ำมัน อุณหภูมิลมที่ได้จากวิธีแรกเท่ากับ 150-160°C และไม่เห็นผลการได้เปรียบมากนัก อุณหภูมิลมที่ได้จากวิธีที่ 2 และ 3 เท่ากับ 350-500°C และจะเห็นผลการได้เปรียบอย่างชัดเจน

3) การลดความชื้นของลมเป่า

ความชื้นในลมเป่าจะทำให้อุณหภูมิน้ำโลหะต่ำลงและทำให้เกิดจุดเสียในชิ้นงานหล่อ เหตุที่เกิดข้อเสียดังกล่าวมีดังนี้

ความชื้นในอากาศทำปฏิกิริยากับถ่านโคก

$$H_2O + C \rightleftharpoons CO + H_2 \quad - 29.4 \quad \text{calories}$$

$$2H_2O + C \rightleftharpoons CO_2 + 2H_2 - 19.4 \quad \text{calorise}$$

ปฏิกิริยาข้างบนเป็นชนิดดูดความร้อน ดังนั้นความร้อนที่ควรได้จากถ่านโคกจึงเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ผลที่เกิดขึ้นคืออุณหภูมิในเตาจะลดลง เขตเพิ่มออกซิเจนจะขยายมากขึ้น และทำให้เกิดการหลอมละลายที่เหล็กทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเพื่อป้องกันมิให้เกิดผลเสียเนื่องจากความชื้น จึงมีการลดความชื้นของอากาศเป่า วิธีลดความชื้นที่ใช้กันแพร่หลายกับคิวโปลามีดังนี้

1. ลดความชื้นโดยใช้ซิลิกาเจล ในสภาพของแข็ง
2. ลดความชื้นโดยใช้ลีเธียม คลอไรด์ในสภาพสารละลาย
3. ลดความชื้นโดยลดอุณหภูมิในอากาศ เพื่อดึงความชื้นออกจากอากาศ

6.2 การหลอมละลายเหล็กหล่อโดยใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ

ตามธรรมดาเหล็กหล่อนั้นหลอมละลายกันด้วยคิวโปลา แต่การใช้ไฟฟ้าหลอมละลายกำลังแพร่หลายมากขึ้นในอุตสาหกรรมการใช้ไฟฟ้าหลอมละลายมีข้อได้เปรียบดังนี้

1. ควบคุมส่วนผสมและอุณหภูมิได้ง่าย
2. มีการสูญเสียโลหะน้อย
3. อาจใช้โลหะคุณภาพต่ำได้
4. ลดจำนวนผู้ปฏิบัติงาน
5. สภาพการทำงานดีขึ้น ผู้ปฏิบัติงานสะดวกและสบายขึ้น

มีเตาไฟฟ้าที่ใช้หลอมละลายเหล็กหล่อกันอยู่ในอุตสาหกรรมรวมสองชนิดคือ เตาเหนี่ยวนำและเตาอาร์ค ชนิดแรกโดยเฉพาะอย่างยิ่งเตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ ใช้กันมาก เพราะราคาถูกและใช้ง่าย

6.2.1 ประเภทและรูปร่างลักษณะของเตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ

เตาเหนี่ยวนำที่ใช้ในการค้าส่วนใหญ่ใช้ความถี่ 50-60 Hz แต่เมื่อเร็วๆนี้มีเตาที่ใช้ความถี่เป็น 3 เท่า คือ 150-180 Hz เตาเหนี่ยวนำแบ่งออกเป็นสองชนิดตามหลักการทำงานและรูปร่างลักษณะ ชนิดหนึ่งคือเตาเบ้า หรือเตาไม่มีแกน และอีกชนิดหนึ่งคือเตาช่อง

1) เตาเบ้า

เตาชนิดนี้มีอีกชื่อหนึ่งคือ เตาไม่มีแกน ส่วนของเตาที่ใช้เก็บน้ำโลหะมีลักษณะคล้ายเบ้า มีขดปฐมภูมิ ซึ่งหล่อเย็นด้วยน้ำอยู่รอบเบ้าและภายนอกของขดลวด มีแผ่นรูปแอกหลายชั้นทำหน้าที่เบนฟลักซ์แม่เหล็กเข้าหากันและทำหน้าที่ยึดขดลวด เตาประเภทนี้มีข้อได้เปรียบตรงที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน ใช้วัสดุทนไฟประเภทกรดซึ่งราคาต่ำและส่วนเก็บน้ำโลหะนั้นสร้างได้ง่าย แต่ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าเตาช่อง ในตอนเริ่มใช้เตาจะต้องมีแท่งโลหะ ขนาดใหญ่ทำหน้าที่ช่วยเริ่มติดเตาหรือใช้น้ำโลหะแทนก็ได้ ส่วนบนของเตาเปิดกว้าง ดังนั้นบรรจุวัสดุได้สะดวกเตาประเภทนี้เหมาะสำหรับหลอมละลายโลหะจากอุณหภูมิห้อง

2) เตาช่อง

ส่วนรับโลหะของเตาชนิดนี้แบ่งเป็นส่วนเบ้าและส่วนให้ความร้อน เตาประเภทนี้ยังแบ่งออกได้เป็นหลายชนิดตามตำแหน่งของแกนและจำนวนแกน ในแต่กรณีขดลวดรอบแกนทำหน้าที่เป็นขดปฐมภูมิและโลหะในส่วนช่องทำหน้าที่เป็นขดทุติยภูมิ

เตาช่องใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า แต่ต้องใช้วัสดุทนไฟที่เป็นกลาง ซึ่งมีราคาสูงกว่าและการสร้างเตาต้องใช้ฝีมือมากกว่า แต่ราคาเตานี้ยังถูกกว่าเตาเบ้า

เตาชนิดนี้เหมาะสำหรับการหลอมละลายติดต่อกัน และอาจเทน้ำโลหะออกได้โดยเอียงเตาเป็นมุมเล็กน้อย เตาประเภทนี้สร้างขนาดใหญ่ๆได้ง่ายปัจจุบันที่ใช้กันมีขนาดใหญ่มากๆ ขนาด 270 ตันก็มี

เนื่องจากลักษณะเตาทำให้ยากที่จะเริ่มใช้เตาโดยใช้โลหะในสภาพเย็นได้ดังนั้นจึงควรทิ้ง 20 – 30% ของน้ำโลหะไว้ในเตาเพื่อให้ใช้เตาต่อไปได้สะดวก จึงมักใช้เตาชนิดนี้เป็นเตาควบคู่ไปกับเตาอื่น เช่น เป็นเตาอุ่นน้ำโลหะจากคิวโปลาหรือจากเตาอื่น

6.2.2 คุณลักษณะสำคัญของการหลอมโลหะโดยใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ

คุณลักษณะของการหลอมโลหะโดยวิธีนี้ต่างจากการหลอมโลหะโดยคิวโปลาอย่างเห็นได้ชัดคือการกระเพื่อมของน้ำโลหะ แรงที่เกิดในเตาเหนี่ยวนำทำให้เกิดการกระเพื่อมเป็นสัดส่วนกลับกับความถี่กำลังหนึ่งส่วนสอง และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานไฟฟ้าที่เตาใช้ แรงนี้ทำให้ผิวส่วนกลางของน้ำโลหะในเตาปูดขึ้น เนื่องจากการกระเพื่อมนี้ส่วนผสมของน้ำโลหะจะเหมือนกันทั่วทุกส่วนของน้ำโลหะ และโลหะผสมเติมเข้าไปจะกลืนเข้าไปกับน้ำโลหะได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึง

ผลเสียของการกระเพื่อมคือการที่น้ำโลหะกระทำปฏิกริยากับออกซิเจนถ้าเก็บน้ำโลหะไว้ในเตานาน ๆ และนอกจากนั้นยังทำให้ผนังเตาถูกกัดกร่อนมากขึ้น ในการหลอมโดยคิวโปลาซัลเฟอร์และขี้เถ้าจากถ่านโคกเป็นผลเสียแก่น้ำโลหะ แต่สำหรับการหลอมโดยเตาเหนี่ยวนำจะไม่มีทางเกิดผลเสียดังกล่าว

ลักษณะการหลอมละลายในคิวโปลาต่างจากหลอมละลายในเตาเหนี่ยวนำ ในคิวโปลาโลหะจะได้รับการทำให้ร้อนไว้ก่อน และจะละลายในบรรยากาศแก๊ส CO และ CO2 แล้วจึงตกไปสัมผัสกับถ่านโคก ในเตาเหนี่ยวนำโลหะที่ถูกบรรจุเข้าเตาละลายในขณะสัมผัสกับน้ำโลหะ วิธีการนี้ทำให้ H2 N2 และ O2 กลืนเข้าในน้ำโลหะได้ง่าย H2 N2 และ O2 มากับโลหะที่ถูกบรรจุเข้าเตาในรูปของออกไซด์ ความชื้น น้ำหรือน้ำมัน

ส่วนผสมของน้ำโลหะที่เก็บไว้ในเตาเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เช่นถ้าเก็บไว้ที่ 1,500 °C จะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก %C จะลดลงเล็กน้อยแต่ถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงในส่วนผสม

มากขึ้น ถ้าใส่ Fe-Si หรือ Fe เข้าผสมกับน้ำเหล็กเพื่อปรับส่วนผสม จะปรากฏว่าโลหะผสมดังกว่าจะอยู่ในน้ำโลหะกว่า 90%

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

6.2.3 การใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่

1) ผนัง

การเลือกใช้ผนังเตาเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุดสำหรับการหลอมโลหะโดยใช้เตาเหนี่ยวนำ คุณลักษณะที่พึงประสงค์ของวัสดุใช้ทำผนังเตามีดังนี้

1. ทนความร้อนได้ดี
2. ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำโลหะหรือขี้ตะกรัน
3. ทนต่อการสึกหรอที่อาจะเกิดขึ้นขณะบรรจุโลหะหรือเมื่อเทน้ำโลหะ
4. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
5. กระทุ้งและอัดเข้ารูปได้สะดวก

(a) เตาเบ้า เตาชนิดนี้ใช้วิธีแห้ง เมื่อได้อัดเข้ารูปแล้วก็ใช้กรดบอริคใส่เข้าไป เพื่อทำให้ผนังเตาซึ่งเป็นเม็ดๆ หอมติดกันเป็นผิวแข็งทั้งนี้โดยไม่ใช้น้ำ จะต้องปรับปริมาณกรดบอริคตามอุณหภูมิการหลอมเหลว ถ้าใส่กรดมากเกินไปอัตราการเกิดการหลอมเหลวเป็นผิวแข็งจะสูงและจะทำให้เกิดรอยร้าว ขนาดใหญ่เนื่องจากความร้อนที่เกิดปฏิกริยาในการทำผนังเตาต้องเริ่มจากก้นเตา จะต้องกระทุ้งและทำให้ผิวที่ก้นเตาหนา 50-60 mm อาจใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่นค้อนลม ที่กระทุ้งทรายหรืออุปกรณ์ใช้มืออื่น ๆ ในการกระทุ้งให้เข้าตามรูปและขนาดของเตาเมื่อเร็วๆนี้มีการใช้เครื่องสั่นไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลายเพราะใช้สะดวกและได้ผลดี หลังจากทำผิวที่ด้นเตาแล้วก็วางเหล็กรูปทรงกระบอกหนา 3-10 mm ลงบนก้นเตานั้น แล้วจึงใส่วัสดุทำผนังลงในช่องว่างระหว่างรูปทรงกระบอกและเปลือกเตาหลังจากนั้นก็กระทุ้งทำผนังด้านข้างของเตา ในการที่จะได้ผนังเตาที่ดี นอกจากจะต้องมีวิธีการทำที่ดีแล้วยังต้องใช้เม็ดวัสดุขนาดปานกลางและขนาดของเม็ดต้องเท่า ๆกัน ส่วนบนของผนังเตาต้องทำด้วยวัสดุทนไฟที่หล่อเป็นรูปร่างได้ หรือที่เหนียวปั้นได้ ส่วนรูเทน้ำโลหะนั้นกรุด้วยอิฐทนไฟ

(b) การหลอมแข็งของผิวเตา สำหรับวิธีแห้งที่ใช้กับเตาเบ้านั้น หลังจากที่ทำผิวเตาเสร็จแล้วก็ส่งกระแสไฟฟ้าเข้าเตาทำการหลอมละลายเพื่อหลอมแข็งผิวเตา ขั้นแรกใส่ก้อนโลหะที่ใช้เริ่มการทำงานของเตา ก้อนนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในของเหล็กเหนียวทรงกระบอก แล้วจึงปิดสวิทช์และเพิ่มอุณหภูมิผิวเตาขึ้นในอัตรา 100 C/hr ในที่สุดเหล็กเหนียวทรงกระบอกและก้อนโลหะที่ใช้เริ่มงานจะละลาย รักษาอุณหภูมิไว้สูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว 100 C แล้วเทน้ำโลหะออกจากที่ได้รักษาอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลา 1 hr หรือกว่านั้น การหลอมแข็งก็จะเกิดขึ้นจากกระบวนการที่ได้กล่าวมานี้ เพื่อให้ผนังเตาแข็งแรงไปจนถึงระดับขี้ตะกรันควรจะใช้ปริมาณน้ำโลหะสูงกว่าปกติในการทำหลอมแข็ง หลังจากทำการหลอมแข็งแล้วควรใช้เตาติดต่อกัน 4-5 วันจึงจะทำให้ผนังเตาทนทานดี

สำหรับเตาช่องจะต้องเอาความชื้นออกให้หมดก่อนการหลอมแข็ง ทิ้งผนังเตาให้แห้งเองตามธรรมชาติเป็นเวลานานกว่า 10 วัน แล้วจึงอุ่นเบ้าโดยใช้เตาฟู่แก๊สหรือน้ำมันในการหลอมแข็งส่วนช่องมีวิธีทำอยู่สองวิธี วิธีแรกเป็นการหลอมละลายโลหะในส่วนช่องโดยวิธีเหนี่ยวนำ วิธีที่สองใช้การเผาไม้ทำเป็นวงแหวนใส่ไว้ในส่วนช่อง โดยใช้เตาฟู่

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

(c) โลหะที่ใช้ในการหลอมเหลวและบรรจุเข้าเตา

โลหะที่จะใส่เตาเพื่อหลอมเหลวมีเหล็กหล่อ เหล็กปิกใหม่ เศษเหล็กหล่อ เศษเหล็กเหนียว และขี้เหล็ก ถ้าหลอมเหลวโดยใช้คิวโปลาหากจะใช้เศษเหล็กเหนียวปริมาณมากๆ จะต้องพิจารณาด้านวิชาการอย่างมาก และถ้าใส่ขี้เหล็กเข้าไปโดยไม่มีวีการดำเนินการพิเศษจะประสพความลำบาก แต่ถ้าใช้เตาเหนี่ยวนำหลอมเหลวแล้วจะไม่ประสพปัญหาดังกล่าวเลย ดังนั้นเมื่อเทียบกับคิวโปลาแล้วเตาเหนี่ยวนำได้เปรียบตรงความสามรถใช้ดลหะราคาถูกได้ มักจะใช้อัตราส่วนผสมของโลหะต่างๆที่จะใส่เข้าเตา ถ้าต้องการปรับส่วนผสมของน้ำเหล็กก็ใส่โลหะผสมเจือเหล็กเข้าไปผสมเช่นเดียวกับเมื่อใช้คิวโปลา นอกจากนั้นมักจะใช้ตัวเพิ่มคาร์บอน เช่น คาร์บอนผง ถ่านโคกบด ฯลฯ ผสมเข้ากับน้ำเหล็ก เพราะในการใช้เตาไฟฟ้าจะไม่มีการเพิ่มคาร์บอนเหมือนคิวโปลา

ในการหลอมเหลวงวดต่อๆไป หลังจากที่หลอมงวดแรกแล้ว ไม่ควรเทน้ำโลหะที่ได้จากงวดแรกออกจากเตาให้หมด ควรทิ้งไว้ 30-50% แล้วดำเนินการบรรจุงวดอื่นๆ ต่อไปการกระทำดังนี้จะเกิดผลดีในแง่การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าและการรักษาผนังเตา ถ้ามีน้ำโลหะเหลือไม่ถึง 30% จะต้องระวังการลดประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแบะการบรรจุโลหะเข้าเตา

ในการหลอมเหลวโดยใช้เตาช่อง มักจะใช้เตาติดต่อกันไปหลังจากที่ได้ทำการหลอมแข็งผิวเตาโดยการหลอมละลายโลหะ ประเด็นสำคัญต่อการใช้เตาช่องมีดังนี้

อุณหภูมิขิงส่วนเบ้าและส่วนช่องต่างกัน 100-150 C

ควรหมั่นเอาขี้ตะกรันออกเพื่อรักษาผนังเตา

ถ้าระดับน้ำโลหะส่วนเบ้าต่ำเกินไป จะมีขี้ตะกรันเข้าไปอยู่ในส่วนช่องและจะทำให้เกิดการลดในประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า

6.3 การตรวจและการปรับคุณสมบัติน้ำเหล็ก

ก่อนที่จะเทน้ำเหล็กควรจะได้ตรวจสอบส่วนผสมและคุณสมบัติเสียก่อน และเมื่อตรวจแล้วถ้าจำเป็นก็ปรับคุณสมบัติเช่น โดยการใส่สารพิเศษ

6.3.1 วิธีการกรวดน้ำเหล็ก

1) การทดสอบโดยวิธีเย็นเร็ว

โดยทั่วไปจะใช้ชิ้นทดสอบรูปลิ่ม หรือรูปแบบที่ถูกจัดให้เย็นโดยเร็ว ในการทดสอบจะต้องตักน้ำเหล็กออกจากปากคิวโปลาหรือเบ้าแล้วเทลงฝนแบบหล่อของชิ้นทดสอบแล้วปล่อยให้เย็นหลังจากแข็งตัวแล้วก็หักชิ้นทดสอบออกเป็น 2 ส่วน แล้ววัดส่วนกว้างหรือส่วนลึกของส่วนที่เป็นเหล็กหล่อขาว ถ้า % ของ C และ Si มีน้อย มักจะเกิดส่วนที่เป็นเหล็กขาวลึกกว่ากรณีที่ % ของ C และ Si มีมาก ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของเหล็กหล่อขาวและคาร์บอนอิ่มตัวหรือ Seturated carbon (Sc) คาร์บอนอิ่มตัวหมายถึง (%C)/(4.23 - 0.312%Si)

2) การตรวจเยื่อหุ้มผิวบนของน้ำเหล็ก

อุณหภูมิต่ำกว่า 1,400°C จะเกิดมีเยื่อที่เกิดจากปฏิกิริยากับออกซิเจนอยู่บนน้ำโลหะ เยื่อนี้จะแตกออกเมื่อแก๊สจากน้ำโลหะดันและเกิดรูปต่างๆ จากการสังเกตรูปเหล่านี้จะพอรู้คุณสมบัติของน้ำโลหะอย่างคร่าวๆ เพราะน้ำเหล็กมีส่วนผสมต่างกันจะเกิดปฏิกริยากับออกซิเจนมากน้อยต่างกัน

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

3) การวิเคราะห์ด้านความร้อน

โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความแข็งตัว หรือจุดที่อุณหภูมิหยุดเปลี่ยนก่อนถึงอุณหภูมิยูเทคติค มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับคาร์บอนเทียบเท่า หรือ CE = C% + 1/3 (Si% + P)) เช่นในกรณีของเหล็กหล่อที่มี % C ต่ำกว่าส่วนผสมยูเทคติค หรือมี %C ต่ำกว่า 4.25% อุณหภูมิที่แบ่งสถานะของแข็งและของเหลวจะเป็นสัดส่วนกลับกับคาร์บอนเทียบเท่า ดังนั้นจะหาคาร์บอนเทียบเท่าของน้ำเหล็กได้ถ้ารู้จุดอุณหภูมิหยุดเปลี่ยนก่อนถึงอุณหภูมิยูเทคติค จุดดังกล่าวได้จากเส้นแสดงอัตราการเย็นตัว แล้วเทียบกับเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่อุณหภูมิหยุดเปลี่ยนและคาร์บอนเทียบเท่า ซึ่งได้มาจากการทดลอง การวัดคาร์บอนเทียบเท่าโดยวิธีใช้กันอย่างแพร่หลาย

4) การวัดอุณหภูมิ

ใช้เทอร์โมคัปเปิลเครื่องวัดอุณหภูมิโดยวิธีเปรียบเทียบสี ชนิดหลังใช้กันแพร่หลายเพราะถูกกว่าและใช้ง่าย

6.3.2 การปรับคุณสมบัติของน้ำเหล็ก

1) การใส่สารพิเศษ

(a) วิธีนี้ใช้การใส่โลหะหรือโลหะผสมลงไปในน้ำเหล็กก่อนเท โดยให้มีปริมาณน้อยพอที่จะไม่ทำให้เปลี่ยนส่วนผสมทางเคมีของเหล็ก จุดประสงค์ของการกระทำนี้เพื่อให้กราไฟท์กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วเนื้อเหล็ก และเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล

(b) สารพิเศษ

สารพิเศษที่ใช้มีสารพิเศษช่วยให้เกิดกราไฟท์และสารพิเศษรวม บรรดาสารพิษเหล่านั้นมีแคลเซียมซิลิไซด์ ซึ่งมีแคลเซียม 30-35% และเฟอโร-ซิลิกอน ซึ่งมี Si อยู่ 50-75% ที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด

(c) วิธีใส่สารพิเศษ

วิธีที่ง่ายที่สุดและได้ผลที่สุดคือการโรยสารพิเศษลงบนน้ำโลหะ ขณะที่ไหลจากปากเตาหรือเมื่อไหลจากเตาพักเข้าเบ้า บางครั้งก็จะใส่สารพิเศษไว้ที่ก้นเบ้า แล้วเทน้ำโลหะทับลงไปแล้วจึงกวนให้ผสมกัน ผลที่จะได้จากการใส่สารพิเศษจะลดลงถ้าทิ้งไว้นานหลังจากผสมแล้ว ดังนั้นจึงมีการใช้แท่งสารพิเศษติดอยู่ที่ปากเทของเบ้า ปริมาณสารพิเศษที่ใช้อยู่ราว 0.1-0.3% ของน้ำโลหะอุณหภูมิขณะใส่สารพิเศษควรสูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 1,400°C การใส่สารพิเศษมักจะให้ผลน้อย

2) การเติมโลหะผสม

บางครั้งมีการเติม Ni , Cr , Mo , ฯลฯ ลงไปในน้ำโลหะบ้างก่อนที่จะเททั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล ความทนต่อความร้อน ความทนต่อการกัดกร่อน ความทนต่อการสึกหรอ หรือคุณสมบัติอื่นในการเติมดังกล่าวนี้อาจใช้ 20% Fe-Ni 60% Fe-Cr เศษลวดทองแดง 60% Fe-Mo หรือโลหะผสมอื่นปนอยู่ด้วย เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นตัวทำให้กราไฟท์กลมเป็นกลาง และทำให้กราไฟท์กลมไม่แปรสภาพ ถ้าใส่ Mg เข้าไปในน้ำเหล็กเฉยๆ จะเกิดปฏิกิริยารุนแรง และทำให้ Mg เหลืออยู่ในน้ำเหล็กน้อย ดังนั้นจะต้องมีวิธีการมนการเติม Mg เข้าในน้ำเหล็ก

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

(1) วิธีเติมลงบนผิวบน

ใส่สารผสม Mg ลงบนผิวบนของน้ำเหล็ก แล้วกวนในเบ้าซึ่งใช้ในการผสมเบ้าจะต้องมีฝาปิดที่แข็งแรงเพื่อป้องกันมิให้ปฏิกริยารุนแรงลามออกมานอกเบ้า วิธีนี้ใช้เมื่อใส่ Mg น้อย ๆ

(2) วิธีเบ้าเปิด

ใส่สารผสมแมกนีเซียมลงที่ก้นเบ้าผสม แล้วเทน้ำเหล็กเข้าเบ้าและเทลงไปบนสารผสมนั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ อาจคลุมสารผสมนี้ด้วยกราไฟท์ หรืออาจใส่สารผสมแมกนีเซียมลงในโพรงก้นเบ้าแล้วปิดด้วยแผ่นเหล็กเหนียว หรือเศษเหล็กเหนียว แล้วจึงเทน้ำเหล็กทั้งนี้เพื่อให้การทำปฏิกริยาช้าลง

(3) วิธีจุ่ม

ใส่ก้อนสารผสมแมกนีเซียม (ขนาด 10-15mm) เข้าในกล่องจุ่มด้วยการทำกราไฟท์หรือเหล็กเหนียว แล้วจุ่มลงในเบ้าซึ่งมีน้ำเหล็กอยู่ วิธีนี้ใช้กันแพร่หลายที่สุด ในกรณีที่น้ำเหล็กมีปริมาณมากและน้อย

(4) วิธีการเติมโดยใช้ความดัน

เติมแมกนีเซียมบริสุทธิ์หรือโลหะผสมแมกนีเซียมซึ่งมีแมกนีเซียมอยู่มากเข้าไปในเบ้า โดยที่เบ้ามีฝาปิดสนิทและมีความดันบนน้ำโลหะมากถึงหลายบรรยากาศ (ความดัน 1 บรรยากาศเท่ากับ 14.7 % ต่อตารางนิ้ว) วิธีนี้ใช้ในกรณีผลิตปริมาณมากอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาแพงและใช้เทคนิคระดับสูง

ปริมาณของโลหะผสมแมกนีเซียมที่ต้องใช้นั้น ขึ้นอยู่กับวิธีการเติม เมื่อเติมแล้วต้องการให้มี Mg อยู่เท่ากับประมาณ 0.003-0.006% โดยน้ำหนักของน้ำโลหะทั้งหมด ถ้าอุณหภูมิของน้ำโลหะสูงหรือถ้าใช้โลหะผสมที่มีแมกนีเซียมมาก สัดส่วนของ Mg ที่เหลืออยู่ในน้ำโลหะจะน้อย ถ้ามีซัลเฟอร์ในเหล็กน้อยก็เติม Mg น้อยลงได้ หลังจากที่เติม Mg แล้วก็เติมเฟอโร-ซิลิกอน เท่ากับ 0.5-1.0% ของน้ำโลหะเข้าไปเพื่อกันมิให้เกิดเหล็กหล่อขาว ซึ่งอาจเกิดขึ้นเพราะเติม Mg

วิธีการกระทำทั้งสามคือการลดซัลเฟอร์ การเติมสารเคมีเพื่อให้กราไฟท์กลมและการเติมเฟอโร – ซิลิกอนต่างใช้เวลานาน ดังนั้นในการทำแต่ละอย่างจะต้องให้เสร็จโดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ปริมาณของ Mg ที่คงอยู่ในน้ำเหล็กและผลการทำกราไฟท์ให้กลมจะลดลงถ้ารอนาน ถ้าเทได้ภายใน 15-20 นาทีหลังจากการเติมสารต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 1,400°C จะได้กราไฟท์กลม แต่ถ้าช้ากว่านั้นกราไฟท์จะออกมาเป็นรูปเกล็ด

6.4 การเทเหล็กหล่อ

6.4.1 เบ้าเท

ใช้เบ้ารับน้ำเหล็กจากเตาก่อนเทเข้าแบบ มีเบ้าเทชนิดต่างๆ เช่น เบ้าที่มีแขน ใช้ในการยกและการเท เบ้าที่มีคันโคก (ขนาด 10-2,000 kg) เบ้าที่มีเฟืองในการทำให้เอียงขณะที่เท เบ้าที่เทจากข้างใต้พร้อมจุก (ขนาด 200-10,00 kg) ฯลฯ เบ้านั้นมีทั้งทรงกรวยและทรงกระบอก เบ้าชนิดปากเหมือนกาน้ำชาและชนิดเทจากข้างใต้สามารถกันไม่ให้ขี้ตะกรันปนเข้าไปกับน้ำเหล็ก เบ้าเหล่านี้ทำด้วยแผ่นเหล็กเหนียว และบุภายในด้วยวัสดุทนไฟ เช่นอิฐทนไฟ วัสดุทนไฟสำหรับเบ้าขนาดต่ำกว่า 500 kg ทำจากทรายซิลิกา ดินทนไฟและเศษอิฐทนไฟ อัตราส่วนประสมประมาณ 1.2 : 1.2 : 1 นวดให้เข้ากันด้วยมือ เติมน้ำ 10-15% แล้วจึงใช้บุเบ้าที่บุแล้วต้องใช้เตาฟู่แก๊สหรือเตาฟู่น้ำมัน ทำให้แห้งใช้เวลา 1/2 - 1 ชั่วโมง มักใช้ราวเดี่ยวและกว้านไฟฟ้าในการยกและเคลื่อนที่เบ้า

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

6.4.1 การระมัดระวังในการเท

1) การทำให้เบ้าแห้ง

ถ้าเบ้าไม่แห้งสนิทจะทำให้อุณหภูมิของน้ำเหล็กลดลง เกิดปฏิกริยาระหว่างน้ำเหล็กกับออกซิเจน และเกิดจุดเสีย เช่น รูพรุน ฯลฯ

2) การเอาขี้ตะกรันออก

จะต้องเอาขี้ตะกรันออกบนน้ำโลหะออกก่อนการเท ขี้ตะกรันเกิดจากการเติมสารเคมีหรือการที่ผิวเตาสึกกร่อนเพื่อความสะดวกในการขี้ตะกรันออก ใช้ขี้เถ้าของฟางหรือแป้งแก้ว โปรยทั่วผิวหน้าของน้ำโลหะ การที่ปิดผิวหน้านี้ช่วยให้อุณหภูมิไม่ตกด้วย

3) อุณหภูมิเท

อุณหภูมิเทผลกระทบกระเทือนต่อคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อเป็นอย่างมากถ้าอุณหภูมิเทต่ำไป น้ำโลหะจะแข็งเร็ว จะไหลไม่ดี และทำให้เกิดจุดเสีย เช่นรูโหว่ที่เกิดจากการหด รูพรุน และน้ำโลหะไม่เข้า ฯลฯ

4) เวลาที่ใช้ในการเท

จะต้องเทโดยไม่กระฉอกและเทให้เสร็จโดยเร็ว แอ่งรับน้ำเหล็ก ต้องเต็มอยู่เสมอขณะเท ควรจะต้องคำนวณเวลาที่ควรใช้ในการเท โดยคำนึงถึงน้ำหนัก ความหนาของชิ้นงาน ตลอดจนลักษณะของแบบ

6.4.3 การเทโดยอัตโนมัติ

สภาพการทำงานในขณะเทเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสำหรับคนทำงาน เพราะร้อนและมีฝุ่นและควัน และการเร่งความเร็วในการเท ในระยะหลังๆนี้ทำให้การเทโดยใช้แรงคนเป็นไปได้โดยยาก ดังนั้นการเทโดยอัตโนมัติจึงเป็นที่นิยมใช้กันในการหล่อที่ใช้แบบโลหะ และโลหะที่ใช้หล่อมีจุดหลอมเหลวต่ำ แต่สำหรับเหล็กหล่อใช้กันไม่มากเท่าเพราะอุณหภูมิหลอมเหลวสูง สำหรับเหล็กหล่อใช้วิธีเทโดยอัตโนมัติ 4 วิธีต่อไปนี้

1) ชนิดจุกอุด

ใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำชนิดหนึ่งชนิดช่องเป็นเบ้าเท ที่ก้นเบ้ามีจุกซึ่งปิดเปิดโดยใช้ความดันจากน้ำมันในกระบอกเตาทั้งอันจะเคลื่อนที่ไปกับแบบเหล่อตามตารางซึ่งขนานกับรางของแบบหล่อ เมื่อเทจนเต็มแล้วแสงอินฟราเรดจากน้ำโลหะที่รูล้น จะส่งสัญญาณไปที่โฟโตเซล ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ามีแอมปลิไฟเออร์ขยายพลังงานไฟฟ้านี้แล้วใช้ในการปิดจุก

2) ชนิดเบ้าเอียง

ใช้เบ้าซึ่งตามปกติใช้คนเท แต่เปลี่ยนแปลงทำให้เป็นเครื่องเทอัตโนมัติมีทั้งชนิดเดียวและชนิดชุดซึ่งประกอบด้วย เตาพักน้ำโลหะ และเบ้าอีกหลายเบ้า เตาชุดทำการเทโดยอัตโนมัติ โดยเอียงเบ้าเมื่อถึงแบบหล่อ ในการรับน้ำโลหะเบ้าจะเคลื่อนที่ไปยังเตาพักน้ำโลหะซึ่งมีจุก จะเปิดจุกปล่อยน้ำโลหะเป็นระยะ โดยการเปิดปิดจุกอย่างอัตโนมัติ ปริมาณน้ำเหล็กที่เบ้ารับไว้จะถูกกำหนดโดยอัตโนมัติโดยเครื่องชั่งซึ่งติดอยู่กับเบ้าเตาพักน้ำโลหะมีขนาด 2-3 ตัน และมักมีเบ้าเท 2-3 อัน เครื่องเทอัตโนมัตินี้ใช้ได้กับเครื่องทำแบบหล่อความเร็วสูง ชนิดที่ใช้เวลาในการทำแบบหล่อเพียง 12 วินาที

3) ชนิดความดัน

ตามวิธีนี้น้ำเหล็กในเตาพัก จะถูกดันออกทางปากเทโดยใช้อากาศอัด เครื่องชิดนี้มีเตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำชนิดช่อง ซึ่งมีปากรับน้ำเหล็ก ปากเท และระบบส่งอากาศอัด

	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

4) ชนิดสูบแม่เหล็ก – ไฟฟ้า

สูบแม่เหล็ก –ไฟฟ้า คือสูบที่ให้แรงดันแก่น้ำเหล็ก โดยใช้ปฏิกิริยาแม่เหล็ก-ไฟฟ้าระหว่างสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ และกระแสที่เกิดจากการเหนี่ยวนำในน้ำเหล็ก น้ำเหล็กจะถูกยกขึ้นตามปากเทซึ่งลาดขึ้น และจะไหลเข้าแบบทางรูของปากเท เครื่องเทแบบนี้ประกอบด้วยอ่างรับน้ำโลหะ สูบแม่เหล็ก-ไฟฟ้าและปากเท เครื่องนี้จะทำตามสัญญาณบังคับอย่างรวดเร็ว

	แบบทดสอบท้ายบทเรียน	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 10-11
	ชื่อหน่วย การหลอมและการเทเหล็กหล่อ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. จงบอกวิธีการหลอมเหล็กหล่อโดยใช้คิวโปลา

.....

.....

.....

.....

2. จงบอกวิธีการหลอมละลายเหล็กหล่อโดยใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ

.....

.....

.....

.....

3. จงบอกวิธีการตรวจและการปรับคุณสมบัติน้ำเหล็ก

.....

.....

.....

.....

4. จงบอกวิธีการเทเหล็กหล่อ

.....

.....

.....

.....

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 7
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 13-14
	ชื่อหน่วย การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. สาระสำคัญ

เมื่อได้ดึงชิ้นงานหล่อจากหีบหล่อแล้ว ก็จะต้องเอาทรายที่ติดกับชิ้นงานออกตัดเอารูเท รูวิ่ง รูล้น และตัดครีบออก แล้วจึงทำความสะอาดผิวชิ้นงาน ในการกระทำดังกล่าวอาจใช้เครื่องหรือใช้มือ แต่ควรใช้เครื่องให้มากที่สุด การกระทำต่อชิ้นงานหล่อหลังหล่อเสร็จแล้วแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือการเอาทรายทำแบบหล่อและทรายไส้แบบออกจากชิ้นงานหล่อ และประเภทหลังคือการกะเทาะเอาครีบและทรายที่เหลือออก

2. หัวข้อการเรียนรู้

7. การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน
   - 7.1 คุณสมบัติของน้ำโลหะ
   - 7.2 การแข็งตัวของโลหะ
   - 7.3 แผนภูมิสมดุลของโลหะผสม
   - 7.4 โครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อ
   - 7.5 รูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อ

3. สมรรถนะอาชีพประจำหน่วย

เข้าใจเกี่ยวกับการกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน บอกคุณสมบัติของน้ำโลหะ อธิบายการแข็งตัวของโลหะ อธิบายแผนภูมิสมดุลของโลหะผสม บอกโครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อ และบอกรูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อ

4. จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

1. เข้าใจเกี่ยวกับการกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.1 บอกคุณสมบัติของน้ำโลหะได้
2.2 อธิบายการแข็งตัวของโลหะได้
2.3 อธิบายแผนภูมิสมดุลของโลหะผสมได้
2.4 บอกโครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อได้
2.5 บอกรูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อได้

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 7
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 13-14
	ชื่อหน่วย การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

บทที่ 7
การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน

7.1 การแกะชิ้นงานและทรายออกจากหีบหล่อ

7.1.1 การแกะชิ้นงานจากแบบหล่อ

วิธีการแกะชิ้นงานจากแบบหล่อขึ้นกับชนิดของแบบหล่อและวิธีการทำแบบ

(1) กรณีแบบหล่ออันล่างมีสัน (rib) เสริมความแข็ง

ในกรณีก่อนที่จะแกะชิ้นงานจากหีบหล่อหีบล่างจะต้องแยกหีบล่างและหีบบนออกจากกันก่อน ยกหีบบนขึ้นโดยใช้เครื่องยกหรือปั้นจั่น แต่วิธีจะแตกต่างกันสำหรับกรณีที่ชิ้นงานติดขึ้นมากับหีบบนหรือติดอยู่กับหีบล่าง ถ้าชิ้นงานติดหีบบนขึ้นไป จะส่งทั้งหมดไปที่เครื่องสั่นออก ซึ่งจะแยกทรายส่วนใหญ่ออกมาจากชิ้นงานและแบบบนหลังจากนั้นก็ส่งชิ้นงานไปยังสายพานส่งของที่สั่นได้ หรือเอาไปที่เครื่องเอาทรายออกหรือเครื่องอื่นในลักษณะนี้ และจะส่งหีบบนตามสายพานไปยังส่วนทำแบบหล่อ ในทำนองเดียวกันก็จะส่งหีบล่างกลับไปยังส่วนทำแบบหล่อหลังจากแกะทรายออกแล้ว ถ้าชิ้นงานติดอยู่กับหีบล่างแล้วหีบบนถูกยกออกไป ก็ให้ยกชิ้นงานหล่อออก หลังจากเอาทรายออกแล้วก็ส่งไปยังขบวนกรรมต่อไป อาจต้องเอาชิ้นงานหล่อออกโดยจับแบบล่างกลับหัว

(2) กรณีแบบหล่ออันล่างไม่มีสันเสริมความแข็ง

ในกรณีใช้แรงดันหีบบน โดยดันจากข้างบน ทั้งนี้ไม่ต้องแยกหีบบนจากหีบล่าง เมื่อดันเอาชิ้นงานและทรายออกแล้วก็ส่งตรงไปยังเครื่องเอาทรายออก (shake-out machine) หรือสายพานส่งของที่สั่นได้ สำหรับหีบบนและหีบล่างให้ดำเนินการเหมือนในข้อ (1) นอกจากนั้นในกรณีที่ใช้แรงดันชิ้นงานหล่อออกจากหีบก็อาจหักรูเทและรูวิ่งออกได้ไปในตัวด้วย ดังนั้นวิธีนี้ปฏิบัติได้ง่ายกว่ากรณีหีบล่างมีสันและนอกจากนั้นยังมีจุดได้เปรียบอื่นอีก

(3) กรณีไม่มีหีบหล่อ

ในกรณีนี้ไม่ต้องมีการเอาหีบหล่อออก และไม่ต้องกระทำการเกี่ยวกับหีบบนและหีบล่างดังที่ได้ทำมา เพียงแต่ใส่ชิ้นงานหล่อและแบบหล่อเข้าไปในเครื่องเอาทรายออก หรือวางลงบนสายพานลำเลียงชนิดสั่น ดังนั้นกรณีนี้ทำง่าย

7.1.2 เครื่องเอาทรายออกและทำความสะอาดผิวชิ้นงาน

(1) เครื่องเขย่า (Shake-Out Machine)

เครื่องนี้เอาทรายออกโดยการเขย่า แบบหล่อซึ่งวางอยู่บนตะแกรงของเครื่องเขย่าถูกเขย่าการสั่นสะเทือนจะผ่านหีบบนและหีบล่างไปถึงทรายและชิ้นงานหล่อ ทำให้ทรายแตกออกและตกลงผ่านตะแกรง สายพานลำเลียงจะรับทรายที่หล่นออกและขนออกไป คงเหลือแต่ชิ้นงานหล่ออยู่บนตะแกรง เครื่องเขย่าแบ่งออกได้ตามลักษณะการเขย่าเป็น 2 ชนิด เครื่องเขย่าที่มีแกนหมุนหลายอัน (แกนหมุน 2 อัน 3 อัน) มีกลไกที่ทำให้ชิ้นงานเครื่องที่ไปในทิศทางที่กำหนดไว้ ในการเอาทรายออกใช้วิธีเขย่าขึ้นลง และสามารถส่งชิ้นงานโดยอัตโนมัติไปยังขบวนกรรม (pro-cess) ต่อไป สำหรับเครื่องเขย่าที่มีแกนหมุนอันเดียว มีแต่กลไกที่

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 7
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 13-14
	ชื่อหน่วย การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

เขย่าขึ้นลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีที่ผลักให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ เครื่องเขย่าสามารถเอาทรายออกและลำเลียงชิ้นงานหล่อโดยอัตโนมัติ นอกจากนั้นยังทำให้คนไม่ต้องอยู่ในบรรยากาศของควัน ฝุ่นและความร้อน เครื่องเขย่าใช้ได้กับชิ้นงานที่มีน้ำหนัก 0.5-30 ตัน เวลาที่ใช้ในการเขย่าขึ้นกับขนาดของชิ้นงานและวิธีการทำแบบหล่อ และในกรณีที่มีการลำเลียงจากขบวนกรรมหนึ่งไปยังอีกขบวนกรรมโดยอัตโนมัติจะต้องเลือกเครื่องสั่นที่ทำงานได้เร็วพอ แต่โดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 30-60 วินาที

(2) เครื่องทะลวงไส้แบบ (Core Knock-Out Machine)

หลังจากที่ชิ้นงานหล่อผ่านการเขย่าเอาทรายออกแล้วก็ถูกปล่อยให้เย็น แล้วจึงเอาไส้แบบออกชิ้นงานจะวางอยู่โดยมีท่อลมกระหนาบอยู่ทั้งสองข้างแล้วทรายไส้แบบจะถูกเขย่าและทะลวงออก

เครื่องทะลวงไส้แบบนี้ใช้สำหรับกรณีต่อไปนี้ เมื่อทรายแตกออกยาก เช่นเมื่อไส้แบบมีน้ำมันเป็นตัวประสานหรือแบบหล่อทำด้วยทรายชนิดแข็งเอง (self-hardening) และเมื่อเอาทรายออกยากเช่นทรายในช่องน้ำหล่อเย็นของเสื้อสูบเครื่องยนต์ ในการเอาทรายออกจากชิ้นงานธรรมดาใช้เวลาเพียง 20-60 วินาที แต่ในบางกรณีจะเกิดการแตกร้างหรือแตกเพราะถูกกระทุ้งอยู่นานเกินไป จึงจำเป็นที่จะกำหนดเวลาการเอาทรายออกที่ไม่นาเกินไป แล้วเลือกใช้เครื่องที่มีสมรรถนะที่จะทำงานเสร็จได้ตามเวลาที่ต้องการ สมรรถนะของเครื่องขึ้นกับขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน ชนิดของไส้แบบ นอกจากนั้นจะต้องควบคุมความดันของลมในท่อให้เหมาะสม (3-10 kg/cm2) และในการจับชิ้นงานก็ต้องเลือกจับส่วนที่แข็งที่สุด

(3) การพ่นด้วยน้ำและพ่นด้วยโลหะ

ใช้การพ่นน้ำเอาทรายออกและทำความสะอาดได้ดังนี้ วางชิ้นงานลงบนโต๊ะหมุนซึ่งอยู่ภายในตู้หรือกล่องที่ปิดมิดชิด ผู้ปฏิบัติงานซึ่งอยู่นอกตู้มองผ่านรูมองแล้วพ่นน้ำ ความดันสูงราว 150 kg/cm2 เข้าสู่ชิ้นงานโดยปืนพ่นน้ำ ปืนพ่นน้ำนั้นอาจเลื่อนขึ้นลงในแนวดิ่งเลื่อนซ้ายขวาตามแนวราบ และสามารถปรับมุมได้สะดวก ดังนั้นจะสามารถพ่นทรายทั้งภายในและภายนอกชิ้นงานออกได้ เครื่องนี้ไม่ทำให้เกิดฝุ่น จึงไม่ต้องมีเครื่องดูดฝุ่น และเครื่องมือที่ใช้ก็ได้ไม่จำเป็นต้องกันฝุ่นได้ (dust proof) แต่มีจุดเสียเปรียบตรงที่จะต้องมีเครื่องกำจัดน้ำเสีย และจะต้องมีเครื่องเก็บทรายแห้ง หลังจากแยกออกจากน้ำแล้ว

ถ้าเอาทรายออกและทำความสะอาดผิวโดยการพ่นด้วยโลหะ มีวิธีการดังนี้ วางชิ้นงานหล่อลงบนโต๊ะหมุน หรือแขวนไว้กับที่แขวนแล้วใส่ไว้ในตู้ แล้วยิงด้วยเม็ดโลหะ (ลูกกลมเหล็กเหนียว เม็ดตัดจากลวดหรือแผ่นสี่เหลี่ยม) จากข้างบนและข้าง ๆ ของตู้ ทรายจะหลุดออก และเมื่อยิงอยู่นานผิวโลหะจะสะอาด สมรรถนะการทำความสะอาดโดยการยิงเม็ดโลหะของเครื่องชนิดต่าง ๆ เครื่องยิงด้วยเม็ดโลหะแบ่งออกได้ตามวิธีการยิงและชนิดของตู้ได้ดังนี้

1. ชนิดหมุนกวน (tumbler type)
2. ชนิดถังทำงานเป็นช่วง ๆ (batch barrel type)
3. ชนิดถังำงานต่อเนื่อง (continuous batch type)
4. ชนิดโต๊ะ (table type)
5. ชนิดแขวนลำเลียง (hanger-conveyor type)

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 7
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 13-14
	ชื่อหน่วย การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

7.1.3 การจัดการกับทรายที่เอาออกจากงานหล่อ

ทรายที่เอาออกจากชิ้นงานและหีบบนหีบล่างมีอุณหภูมิสูงและปนกับโครงไส้แบบ (core grid) ครีบชิ้นงานน้ำโลหะที่หกแล้วแข็งตัว และในบางกรณีก็มีรูเท รูวิ่ง และรูล้นดังนั้นก่อนที่จะเลียงทรายไปยังถังจ่ายทราย (hop-per) จะต้องแยกเอาสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ออกเสียให้หมดก่อน อาจเอาออกได้โดยใช้เครื่องแยกที่ใช้ล้อขับสายพานลำเลียงแต่วิธีที่ดีกว่าคือการใช้แม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งอยู่เหนือสายพานลำเลียง ดูดชิ้นงานใหญ่ออกจากทราย ทรายทำแบบหล่อและทรายทำไส้แบบต่างกันมาก ดังนั้นจำเป็นต้องแยกทรายทั้งสองชนิดออกจากกันโดยใช้เครื่องต่างชนิดแยกทรายแต่ละชนิดออกไป หรือสายพานลำเลียงทรายออกเป็นสองสาย

7.2 การตกแต่งชิ้นงาน

7.2.1 การเอารูเทและรูล้นออก

ในการเอารูเทและรูล้นออก อาจใช้วิธีต่าง ๆ ต่อไปนี้ จะใช้วิธีใดนั้นขึ้นกับขนาดของชิ้นงาน คุณภาพของวัสดุ และลักษณะการวางรูเทและรูล้น

1. ตีหัก
2. ตัดออกด้วยแกส
3. ตัดออกด้วยอาร์ค
4. ตัดออกด้วยวิธีกล

วิธีตีหักใช้กันมากที่สุดในการหล่อเหล็กหล่อเทาหรือเหล็กหล่อมัลลีเบิลวิธีนี้แยกออกเป็นวิธีใช้พลังงานคนคือการใช้ค้อนตี และวิธีใช้พลังงานกลเช่นการสั่น การกระแทกหรือการกด ในทางปฏิบัติถึงแม้ว่ากรณีที่รูเท และรูล้น หักออกเองเนื่องจากการกระแทกเพื่อเอาทรายทำแบบออกหรือการเขย่าในเครื่องเขย่า แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะหักรูเทและรูล้นออกขณะที่ชิ้นงานอยู่ในเครื่องเขย่า หรืออยู่บนสายลำเลียงแขวน (hanger conveyor) เพื่อให้ชิ้นงานเย็นลงหรืออยู่บนสายพานลำเลียงปกติหรือบนพื้น และในบางกรณีก็ใช้เครื่องอัดโดยมีที่รับและกำกับชิ้นงาน (jig) หรือใช้เครื่องหมุนกวน (tumbler) เพื่อเอารูเทและรูล้นออกในขณะเดียวกับที่เอาทรายออก

วิธีตัดแก๊สนั้นใช้สำหรับเหล็กเหนียวหล่อ ถ้ามีปัญหาในการใช้แกสตัดเช่นเมื่อตัดเหล็กเหนียวโลหะผสมสูงดังเช่นเหล็กเหนียวไร้สนิมและเหล็กแมงกานีสสูง หรือถ้ามีปัญหาในการตัดด้วยแกสถึงแม้จะใช้กับเหล็กหล่อ หรือโลหะผสมนอกกลุ่มเหล็ก (non ferrous) ก็ตาม ก็ใช้วิธีตัดออกด้วยอาร์ค

การตัดโดยวิธีกลหรือการเลื่อยนั้นส่วนมากใช้กับชิ้นงานหล่อโลหะผสมทองแดง หรือโลหะผสมเบา (light alloy) การเลื่อยช้ากว่าการใช้แกสตัด แต่เมื่อตัดแล้วผิวจะเรียบ และตัดได้เที่ยงตรง ทำให้ไม่ต้องตกแต่งมาก นอกจากนั้นถ้าส่วนนั้นของงานจะต้องผ่านงานเครื่องกลโรงงานก็จะได้เปรียบตรงที่ไม่ต้องเผื่อไว้มาก อีกประการหนึ่งการเลื่อยทำให้ไม่เกิดปัญหาด้านการบิดเบี้ยวหรือร้าวเนื่องจากความร้อน และในกรณีที่ชิ้นงานทำด้วยวัสดุราคาแพงก็สามารถทำให้รอยตัดแคบและถ้าจะเก็บเศษที่เกิดจากการตัดก็ได้ เครื่องที่ใช้เลื่อยมีเครื่องตัดราคาสูง (high speed cutter) หรือเครื่องเลื่อยสายพาน (band saw)

7.2.2 การตกแต่ง

เท่าที่เป็นมามักใช้ค้อนถาก (chipping hammer) กันมาก ในการตกแต่งรอยตัดครีบ รูเท และรูล้น เนื่องจากวิธีนี้ทำให้เกิดเสียงดังมาก และคนงานจะเหนื่อยมาก จึงมีการเปลี่ยนไปใช้วิธีใหม่ ๆ

(1) ค้อนถาก

ใช้ค้อนถากลม โดยที่หัวเป็นสกัด มักใช้อากาศอัดที่มีความดัน 5-7 kg/cm2 เนื่องจากเหตุผลข้างบนจึงควรลดการใช้ค้อนถากลงให้มากที่สุด แต่สำหรับการเอาครีบภายในออกนั้น วิธีอื่นใช้ไม่สะดวกจึงใช้วิธีนี้กันโดยทั่วไปที่โรงหล่อต่าง ๆ

(2) เจียรนัย

มักใช้เครื่องเจียรนัยกันทั้งภายนอกภายในชิ้นงาน ในการเอาครีบส่วนที่ไม่ใช้และส่วนที่มีทรายไหม้ติดอยู่ออกจากชิ้นงาน เครื่องเจียรนัยแบ่งออกได้เป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้เครื่องเจียรนัยมือ (hand grinder) เครื่องเจียรนัยเหวี่ยง (swing grinder) เครื่องเจียรนัยตั้งโต๊ะ (bench grinder) และเครื่องเจียรนัยอัตโนมัติ (auto-grinder) การเลือกใช้ชนิดใดขึ้นกับรูปร่างของชิ้นงาน ตาราง 9.2 แสดงหินเจียรนัยสำหรับต่าง ๆ ชนิดของหินเจียรนัยที่เหมาะสมขึ้นกับคุณภาพของวัสดุที่ใช้หล่อและชนิดของเครื่องเจียรนัย

(3) การใช้แกสเซาะ (Gas Gouging)

ในการตกแต่งเหล็กเหนียวหล่อ ใช้แกสเซาะประกอบอาร์ค (arc gouging) หรือประกอบเปลวไฟ (flame gouging) ใช้วิธีอาร์คคาร์บอนกันมากที่สุด ตามวิธีนี้โลหะที่ละลายเพราะความร้อนจากอาร์คจะถูกเป่าออกไป โดยอากาศมีความดัน 5-7 kg/cm2 เป่าขนานกับอีเลคโทรดคาร์บอน มีการใช้ออกซิเจนแทนอากาศอัด แต่มีข้อเสียตรงที่ทำให้โลหะทำปฏิกริยากับออกซิเจนมาก โดยการใช้อากาศหรือออกซิเจนเป่านี้จะทำให้สามารถตัดโลหะได้อย่างเรียบสำหรับวิธีเปลวไฟนั้นจะมีหัวเป่าติดกับเครื่องตัดด้วย แกสจะกระทำการเซาะด้วยเปลวไฟได้ โดยการเพิ่มอัตราการเป่าของออกซิเจนที่ความดันค่อนข้างต่ำ โดยการใช้หัวตัดที่มีรูปร่างเหมาะสมและควบคุมความดันและอัตราการไหลของออกซิเจน จะทำให้สามารถเซาะเอาจุดเสียบนผิวงานออกไปได้

7.3 การซ่อมชิ้นงานหล่อ

ในกรณีที่พบหลังจากปาดผิวด้วยเครื่องกลโรงงานแล้วว่ามีจุดเสียในชิ้นงานหล่อเช่นมีทรายหรือขี้ตะกรันแซกอยู่ในเนื้อโลหะ มีรอยร้าวที่ผิวงาน หรือมีรูพรุน มีรอยบุ๋มเกิดจากการหดตัว มักจะทำการซ่อมโดยการเชื่อม ถึงแม้จะตัดสินใจได้ยากว่าควรซ่อมหรือไม่แต่ก็มีหลักอยู่ว่า เมื่อซ่อมแล้วความแข็งแรงทางกล ความเกร็ง (rigidity) ฯลฯ จะอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้หลังจากการซ่อมหรือไม่ จะเกิดตำหนิน่าเกลียดหลังจากการซ่อมหรือไม่ อาจจะทดลองทำการซ่อมชิ้นงานอื่นดูก่อนว่า เมื่อซ่อมแล้วจะหวังผลได้เพียงใด และถ้าตัดสินใจว่าจะซ่อมก็จะต้องกำหนดระดับมาตรฐานการเชื่อม ในกรณีของชิ้นงานเล็ก ๆ ผลิตปริมาณมาก ควรต้องสำรวจค่าซ่อมก่อนลงมือซ่อม เพราะมีบ่อย ๆ ที่หล่อใหม่ดีกว่าซ่อม วิธีต่าง ๆ ที่ใช้ซ่อมชิ้นงานหล่อมี เชื่อม พ่นโลหะ ซ่อมโดยวิธีกลและอุด (impregnation) แต่ใช้วิธีเชื่อมกันมากที่สุด

7.3.1 การซ่อมโดยการเชื่อม

(1) การซ่อมโดยการเชื่อมสำหรับเหล็กหล่อธรรมดา

ใช้การเชื่อมอาร์คคลุม (shielded) หรือเชื่อมแกส แต่เนื่องจากความร้อนจากการเชื่อมมักเกิดการเป็นรูขนาดแกสซึมผ่านได้ (gas porosity) การบิดเบี้ยว การร้าว และอาจทำให้เกิดซีเมนไทท์ซึ่งทำให้

	ชื่อหน่วย การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

แข็ง ในการซ่อมทุกกรณีส่วนที่ได้รับการเชื่อมจะต้องได้รับการสกัดและเจียรนัย และเช็ดเอาน้ำมันหรือไขมันออกโดยใช้น้ำมันเบนซินหรือทินเนอร์ จนกระทั่งได้ผิวโลหะที่สะอาด การเชื่อมอาร์คคลุมแบ่งออกได้เป็นเชื่อมเย็น และเชื่อมร้อน ในการเชื่อมเย็นไม่มีการทำให้ชิ้นงานร้อนไว้ก่อน ใช้ธูปเชื่อมทำด้วยเหล็กเหนียวอ่อนหรือโลหะผสมนอกกลุ่มเหล็ก (non-ferrous alloy) ในการเชื่อมเป็นแนวนูนยาวไม่เกิน 50 mm ใช้วิธีเป็นช่วง ไม่ต่อกันเป็นเส้นไปกลับ (weaving) และหลังจากเอาขี้โลหะออกแล้วก็ตอก (peen) โดยใช้ค้อนถาก (ค้อนเคาะขี้ตะกรัน) ควรจะอบเหนียวหลังจากเชื่อมแล้ว ใช้การบากต่อไปนี้ในการเชื่อม ชนิดจุก (plug type) ชนิด V ชนิด U และชนิด X ในการเชื่อมร้อนทำให้ชิ้นงานร้องไว้ก่อนที่อุณหภูมิ 100-300 oC แล้วเชื่อมโดยใช้ธูปเชื่อมทำด้วยเหล็กหล่อเหนียวอ่อนหรือโลหะผสมนอกกลุ่มเหล็ก ตาราง 9.3 แสดงส่วนผสมของธูปเชื่อม

(2) การเชื่อมซ่อมเหล็กหล่อกราไฟท์กลม

ใช้ธูปเชื่อมที่มีส่วนผสมเช่นเดียวกับชิ้นงานหล่อ และใช้ฟลักซ์ซึ่งประกอบด้วยแมกนีเซียมและอาร์เซนิค เชื่อมโดยวิธีเชื่อมแกสและอบอ่อนหลังจากการเชื่อม อีกวิธีหนึ่งเชื่อมหลังจากการทำให้ร้อนขั้นต้นถึงอุณหภูมิ 70-200 oC ใช้ธูปเชื่อมคลุม (shielded) ทำด้วยโลหะผสมเหล็ก-นิกเกิลและอบคลายความเค้น (anneal) 1-2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 700-800 oC

(3) การเชื่อมซ่อมเหล็กเหนียวหล่อ

ใช้การบากวิธี U, V หรือ X สำหรับซ้อมการร้าวหรือการแตก ในการซ่อมอย่างอื่นใช้วิธีจุก (plug) ซึ่งมนที่ก้นและใช้มุมระหว่าง 70-90o สำหรับด้านข้าง ทำความสะอาดผิวงานโดยใช้แปรงลวด สกัด เครื่องเจียรนัยมือหรือโดยการเซาะอาร์ค-อากาศ ฯลฯ อุณหภูมิการให้ความร้อนขั้นต้นขึ้นกับปริมาณคาร์บอน ใช้วิธีการเชื่อมแบบอาร์คคลุม และใช้วิธีต่าง ๆ ต่อไปนี้ (แล้วแต่กรณี) เชื่อมแนวนูนไปกลับ (weaving) แนวนูนตรง แนวนูนเรียงเอียง (cascade) แนวนูนเรียงตรง (block) ในการเชื่อมหลายชั้นสำหรับรอยบากใหญ่และใช้วิธีเรียงชั้นตามแนวนอน หรือการเรียงชั้นตามแนวควง (screw) สำหรับการบากแบบจุกที่ลึก จะต้องเคาะ (peen) หลังจากการเชื่อมทุกชั้น การอบหลังเชื่อมกระทำโดยให้ความร้อนทั่วทั้งชิ้นงานที่อุณหภูมิ 600-650 oC แล้วอบคลายความเค้น ระยะเวลามาตราฐานในการอบหลังเชื่อมประมาณ 1 ชั่วโมงต่อความหนา 25 mm

(4) การบัดกรีแข็ง (Brazing)

การบัดกรีแข็งคือการประสานโลหะโดยใช้ตัวประสานเป็นโลหะต่างชนิด ในขณะที่โลหะนั้นอยู่ในภาวะของเหลวโดยที่อุณหภูมิหลอมเหลวของตัวประสานต่ำกว่าของชิ้นงาน สำหรับงานบัดกรีแข็งมีบัดกรีเงินและบัดกรีทองเหลือง ฯลฯ ตาราง 9.6 แสดงส่วนผสมของวัสดุบัดกรีและตาราง 9.7 แสดงการใช้วัสดุบัดกรีสำหรับชิ้นงานทำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ

(5) การเชื่อมไหล (flow welding)

ในวิธีนี้จะหล่อส่วนที่ขาดไปหรือแหว่งไปใหม่ โดยติดแบบหล่อเข้ากับส่วนที่แหว่งไปแล้วเทน้ำโลหะที่มีส่วนผสมเหมือนกับชิ้นงานลงไปในแบบ วิธีนี้ใช้กับโลหะผสมทองแดงได้สะดวกกว่าเหล็กหล่อ ถ้าใช้กับเหล็กหล่อให้ใช้น้ำเหล็กที่มีคาร์บอนและซิลิกอนสูงและจะต้องทำให้ชิ้นงานร้อนไว้ก่อนที่อุณหภูมิ 400-600 °C

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 7
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 13-14
	ชื่อหน่วย การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

(6) การเชื่อมจุดไฟ (thermit welding)

วิธีนี้ใช้กับรูโหว่หรือรอยร้าวขนาดใหญ่ จะต้อใช้วัสดุทนไฟทำเป็นแบบสำหรับส่วนที่เสียไปแล่วใส่อลูมิเนียมและเหล็กออกไซด์ผงในเบ้าแล้วจุดไฟเผาไหม้ หลักการของการเชื่อมวิธีนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกริยาให้ความร้อนที่ให้อุณหภูมิสูงถึง 3,000 oC แล้วเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้

(7) การพ่นโลหะ (metal spraying)

วิธีพ่นโลหะกึ่งหลอมเหลวเป็นเม็ดลงบนผิวชิ้นงานที่เสีย ใช้กับกรณีที่ผิวหยาบ ความหนาไม่พอ มีทรายหรือมีขี้ตะกรันติดอยู่ในเนื้อโลหะ ก่อนพ่นโลหะควรทำความสะอาดชิ้นงานโดยการยิงด้วยเม็ดโลหะและทำให้ร้อนไว้ก่อนที่ 300-350 oC โลหะที่ใช้พ่นมีสังกะสี โลหะผสมทองแดง เหล็กเหนียวนิกเกิล และโลหะผสมนิกเกิลโครม ฯลฯ

7.3.2 การซ่อมโดยวิธีกล (mechanical repair)

มีวิธีต่าง ๆ เช่นอุดด้วยชิ้นโลหะ ใช้ปลอกอัด หรือยึดด้วยโลหะ (metal locking) ฯลฯ ใช้ปลอกอัดเมื่อรูเสื้อสูบโตเกินไปหลังจากการกระทำด้วยเครื่องกลโรงงานแล้ว หรือเมื่อความหนาน้อยไป หรือรั่ว การยึดด้วยโลหะนั้นเป็นประเภทใช้ปากจับ (clamp) เหมาะสำหรับซ่อมรอยร้าว

7.3.3 การอุด (impregnation)

เหมาะสำหรับที่มีการเสียเล็ก ๆ น้อย ๆ ในด้านผิวหยาบ หรือมีทรายแทรกอยู่ในเนื้อโลหะ แต่การเสียกระจายเป็นเขตกว่าง หรือเมื่อเกรงจะเกิดการรั่วของน้ำมันหรือน้ำ วิธีนี้ใช้กับชิ้นงานที่ทำด้วยเหล็กหล่อ อลูมิเนียม โลหะผสมแมกนีเซียม หรือทองแดง หลังจากทำความสะอาดแล้วใส่ชิ้นงานลงในถังใส่ของเหลวใช้อุดที่อุณหภูมิประมาณ 50 oC แล้วลดการเพิ่มความดัน ของเหลวใช้อุดซึ่งอาจจะเป็นโซเดียมซิลิเคท หรือเรซิ่นสังเคราะห์ จะเข้าไปอุดรูพรุน เสร็จแล้วล้างชิ้นงานในน้ำ ทำให้แห้ง เข้าขบวนกรรมกันสนิม แล้วทำให้แห้งอีกครั้งหนึ่ง

7.3.4 วิธีอื่น ๆ

(1) การใช้พลาสติกอุด

พลาสติกที่ใช้อุดเป็นผงผสมส่วนใหญ่ประกอบด้วยผงโลหะและเรซิ่นสังเคราะห์ ใช้ผงนี้อุดหรือเติมส่วนที่เสียความแข็งแรงจะต่ำกว่าโลหะ วิธีนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ซ่อมเพื่อความสวยงาม

(2) การปะ

ใช้แผ่นโลหะปะเพื่อปิดรูโหว่ จะต้องทำให้ชิ้นงานร้อนอยู่ก่อนที่ 160-190 oC

7.4 การปรับคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อด้วยความร้อน (heat treatment)

ชิ้นงานหล่ออาจจะต้องผ่านหรือไม่ต้องผ่านการปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนก็ได้ จะผ่านหรือไม่ผ่านวิธีใดขึ้นกับคุณสมบัติและการใช้งานของชิ้นงาน

การปรับด้วยความร้อนคือการปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะโดยการอบชิ้นงาน ให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสม รักษาระดับอุณหภูมินั้นไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง แล้วทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิระดับปานกลางด้วยความเร็วที่เหมาะสม หรืออาจเป็นการทำให้ชิ้นงานร้อนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสม หลังจากที่ชิ้นงานได้ถูกทำให้เย็นแล้วครั้งหนึ่ง การปรับด้วยความร้อนที่ใช้กับชิ้นงานหล่อทีการอบให้คลายความเค้นที่อุณหภูมิต่ำ การอบปรับคุณสมบัติ

(annealing) การอบเพื่อปรับปรุงผลึก (normalizing) การอบและชุบแข็ง และการอบคลายความแข็ง (tempering)

การอบให้คลายความเค้นที่อุณหภูมิต่ำคือวิธีการลดความเค้นที่เกิดจากการหล่อหรือที่เหลืออยู่เนื่องจากการเชื่อมซ่อมโดยอบชิ้นงานที่ 450-650 oC (ต่ำกว่าเส้น A1)* แล้วปล่อนให้เย็นช้า การอบปรับคุณสมบัติกระทำเพื่อกำจัดโครงสร้างกิ่งไม้ชนิดหยาบที่มีอยู่ในชิ้นงาน และทำให้โครงสร้างของผลึกสม่ำเสมอทั่วชิ้นงาน วิธีนี้จะต้องอบชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงแล้วให้เย็นช้า ๆ ในเตาอบปรับคุณสมบัติ (annealing furnace) นอกจากนี้ยังมีวิธีเรียกว่าอบเพื่อให้เกิดกราไฟท์ (graphitizing annealing) ซึ่งแยกซีเมนไทท์ออกเป็นเหล็กและกราไฟท์

การอบเพื่อปรับปรุงผลึก (normalizing) คือการปรับปรุงผลึกของเหล็กเหนียวหล่อโดยการอบที่อุณหภูมิสูงกว่าเส้น A3 40-60 oC แล้วปล่อยเย็นในอากาศนิ่งถึงอุณหภูมิห้อง

การทำแข็ง (hardening) คือการรักษาโครงสร้างของเหล็กที่อุณหภูมิสูงให้คงอยู่เช่นนั้นจนถึงอุณหภูมิห้อง ทำได้โดยอบที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤต (critical) แล้วจุ่ม (quench) ในของเหลว ด้วยวิธีการนี้จะได้โลหะที่แข็งมาก

การอบคลายความแข็ง (tempering) คือการอบเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งที่อุณหภูมิเหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้ได้โครงสร้างที่ถาวร (stable) และเพื่อให้ได้ชิ้นงานทนต่อการกระแทก (tough)

วิธีการเหล่านี้ตลอดจนอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ขึ้นกับคุณสมบัติและขนาดของชิ้นงาน ดังนั้นถ้าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานก็จะไม่ได้คุณสมบัติที่ต้องการ

7.4.1 การปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กหล่อด้วยความร้อน

(1) การอบปรับคุณสมบัติ (annealing)

มักจะใช้เหล็กหล่อกันในสภาพที่ปรากฏหลังจากการหล่อ แต่ถ้าไม่ต้องการให้เกิดการบิดเบี้ยวแม้เพียงเล็กน้อย หรือถ้าไม่ต้องการให้แข็งนัก จะต้องอบปรับคุณสมบัติ การบิดเบี้ยวเกิดจากการที่ยังคงมีความเค้นที่เกิดจากการหล่อเหลืออยู่ในชิ้นงาน โดยการอบที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้น A1 และรักษาอุณหภูมินั้นไว้ชั่วระยะเวลาอันสมควรแล้วจึงปล่อยให้เย็นช้า ๆ ในเตาอบความเค้นนั้นจะหายไป วิธีดังกล่าวเรียกว่าการอบปรับที่อุณหภูมิต่ำและมีประเด็นที่สำคัญดังนี้

(2) การชุบแข็งและการอบคลายความแข็ง

มักจะกระทำกับเหล็กหล่ออย่างดีที่มีความแข็งแรงสูง ไม่เหมาะที่จะทำกับเหล็กหล่อที่ค่อนข้างอ่อนที่มีเกล็ดกราไฟท์หยาบ การชุบแข็งและอบคลายตัวจะทำให้ชิ้นงานทนต่อการสึกหรอได้อย่างดี มักใช้กับชิ้นส่วนที่ต้องรับการถูไถ

จะต้องอบชิ้นงานที่อุณหภูมิประมาณ 800 oC ก่อนชุบในของเหลว ควรชุบในน้ำมันเพื่อมิให้เกิดการร้าวหากเกรงจะเกิดการร้าวในขณะอบควรอบที่อุณหภูมิ 400-500 oC เสียก่อนที่จะเพิ่มอุณหภูมิถึง 800 oC การอบคลายความแข็งนั้นกระทำที่อุณหภูมิ 400-500 oC หลังจากที่ชุบแล้ว โดยวิธีนี้จะได้รความแข็งและความแข็งแรง (strength) ในเกณฑ์ปานกลาง

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 7
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 13-14
	ชื่อหน่วย การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

7.4.2 การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับเหล็กหล่อมัลลีเบิล

(1) การอบเพื่อให้ได้เหล็กหล่อแบลคฮาร์ทมัลลีเบิล (black heart malleable)

เมื่อชิ้นงานเหล็กหล่อขาวได้รับการอบตามขบวนกรรดังกล่าว เพอไลท์จะกลายเป็นออสเตไนท์ที่เส้น A1 ดังนั้นโครงสร้างจะกลายเป็นออสเตไนท์ แต่มีซีเมนไทท์แทรกอยู่บ้าง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิน 900 oC ซีเมนไทท์นั้นจะแตกตัวออกเป็นเหล็กและกราไฟท์ตามปฏิกิริยาดังนี้

Fe3C3Fe + C (คาร์บอนอิสระหรือกราไฟท์)

ขบวนกรรมนี้เรียกว่าการอบขั้นแรก หรือการทำกราไฟท์ขั้นแรก กราไฟท์เกิดขึ้นในตอนนี้เรียกว่ากราไฟท์ที่ได้จากการอบและจะมีรูปร่างกลม เหล็กที่แยกออกมาจากซีเมนไทท์จะถูกกลืนเข้าไปในออสเตไนท์ โครงสร้างนี้จะถาวรมีอุณหภูมิเหนือเส้น A1 ออสเตไนท์จะกลายเป็นเพอไลท์และกราไฟท์ที่มีอยู่จะแทรกอยู่ในเพอไลท์เป็นบางส่วน เมื่ออุณหภูมิต่ำลงอีกในอัตราการเปลี่ยนที่ต่ำ ซีเมนไทท์ในเพอไลท์จะกลายเป็นเหล็กและ กราไฟท์ในทำนองเดียวกันกับการเกิดกราไฟท์ครั้งแรก เหล็กจะถูกกลืนเข้าไปอยู่ในเฟอไรท์ซึ่งอยู่ในเพอไลท์และกราไฟท์จะเข้ามาสมทบกับกราไฟท์ที่มีอยู่ก่อน ขบวนกรรมหลังนี้เรียกว่าการอบขั้นที่สองหรือการทำกราไฟท์ขั้นที่สอง

(2) การกระทำเพื่อให้ได้เหล็กหล่อเพอลิติคมัลลีเบิล (pearlitic malleable)

การอบขั้นแรกตลอดจนการลดอุณหภูมิลงมาถึงประมาณ 860 oC นั้นเหมือนกับกรณีทำเหล็กหล่อแบลคฮาร์ทมัลลีเบิล หลังจากนั้นก็จุ่มในน้ำมัน และจะได้โครงสร้างเป็นมาร์เตนไซท์โดยมีกราไฟท์แทรกอยู่บ้างหลังจากนั้นอบคลายความแข็งเป็นเวลาหลายชั่วโมงที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้น A1 จะเกิดเม็ดผลึกเพอไลท์ และดังนั้นจะได้เหล็กหล่อเพอลิติคมัลลีเบิล คุณสมบัติทางกลขึ้นอยู่กับปริมาณการเกิดเม็ดผลึก เพอไลท์ ดังนั้นจะต้องเลือกอุณหภูมิอบคลายความแข็ง และเวลาที่ใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งานของชิ้นงานหล่อ

7.4.3 การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับเหล็กหล่อเหนียว (ductile cast iron)

(1) การอบเพื่อแก้เหล็กหล่อขาวที่เกิดจากการเย็นเร็ว (chill)

คุณสมบัติของชิ้นงานเหล็กหล่อเหนียวขึ้นกับความหนาเป็นอย่างมาก ในส่วนที่บางจะเกิดเป็นเหล็กหล่อขาวได้โดยง่าย จึงต้องอบเพื่อแก้ไข เนื่องจากเหล็กหล่อเหนียวมีปริมาณคาร์บอนและซิลิกอนมากกว่าของเหล็กหล่อแบลคฮาร์ทมัลลีเบิล ซีเมนไทท์จึงแตกตัวโดยง่าย การเป็นเหล็กหล่อขาวจะหมดไปเมื่อได้อบที่อุณหภูมิ 850-900 oC เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง

(2) การอบเพื่อให้ทนต่อการกระแทก (toughness)

โดยทั่วไปเมื่อหล่อชิ้นงานเหล็กหล่อเหนียวเสร็จมักจะไม่ได้ความแข็งตามที่ต้องการเพราะความแข็งย่อมขึ้นกับส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงาน ความหนาและรูปร่างและสภาวะการหล่ออื่น ๆ ดังนั้นจึงต้องควบคุมความแข็งโดยการอบ จะทนต่อการกระแทกได้มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับลักษณะการใช้งาน ในการอบให้ทนต่อการกระแทกจะต้องทำให้เพอไลท์กลายเป็นกราไฟท์และเฟอไรท์เป็นบางส่วนหรือทั้งหมด

(3) การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับจุดประสงค์พิเศษ

เพื่อเพิ่มความทนต่อการสึกหรอของเหล็กหล่อเหนียวมักทำให้ผิวแข็ง หรือทำแข็งเป็นบางส่วน อาจเลือกใช้กรรมวิธีต่อไปนี้อันใดอันหนึ่งแล้วแต่ลักษณะการใช้งาน

1) หลังจากอบที่ 870-900 °C ปล่อยให้เย็นในอากาศ

2) หลังจากอบที่ 870-450 °C จุ่มในน้ำมัน และอบที่อุณหภูมิ 400-450 °C

7.4.4 การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับเหล็กเหนียวหล่อ

(1) การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับเหล็กเหนียวคาร์บอนหล่อ

สำหรับชิ้นงานหล่อรูปร่างซับซ้อนที่ทำด้วยเหล็กเหนียวคาร์บอนซึ่งมีคาร์บอนเกิน 0.4% ใช้วิธีอบที่อุณหภูมิต่ำเพื่อลดความเค้นที่เกิดจากการหล่อ ในการอบนี้กระทำที่อุณหภูมิ 550-650 °C และอบอยู่

นานในอัตรา 1 ชั่วโมง ต่อความหนา 25 mm แล้วให้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้องในอัตรา 30-60 °C ต่อชั่วโมง การลดความเค้นที่เกิดจากการเชื่อมซ่อมก็ต้องกระทำโดยการอบที่อุณหภูมิต่ำ การอบเพื่อให้เม็ดผลึกละเอียดและทำให้เหล็กเหนียวหล่อทนต่อการกระแทก กระทำที่อุณหภูมิ 50-80 oC เหนือเส้น A3 อบนานในอัตรา 1 ชั่วโมงต่อความหนา 25 mm แล้วให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องในอัตรา 30-40 oC ต่อชั่วโมง ตาราง 9.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติทางกลก่อนและหลังการอบ

(2) การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับเหล็กเหนียวพิเศษหล่อ

a) การอบปรับโครงสร้าง

ทั้งเหล็กเหนียวพิเศษหล่อและเหล็กหล่อเหนียวคาร์บอนหล่อมีโครงสร้างกิ่งไม้ (dendrite) อยู่ในชิ้นงานเมื่อหล่อเสร็จ ในการอบ-ชุบแข็งและอบคลายความแข็ง โครงสร้างนี้จะขยายใหญ่ขึ้นทำให้คุณสมบัติทางกลต่ำลงดังนั้นควรอบเหล็กเหนียวพิเศษหล่อที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงคือ 1,000-1,050 oC เพื่อปรับโครงสร้างเสียก่อนอบชุบแข็ง คือปรับโครงสร้างให้สม่ำเสมอและให้ไม่มีโครงสร้างใบสน การให้เย็นในอากาศนั้นดีในแง่ที่จะทำให้เม็ดผลึกละเอียด แต่อาจเกิดการบิดเบี้ยวหรือร้าว ดังนั้นสำหรับเหล็กเหนียวพิเศษหล่อจึงมักให้เย็นในเตาอบ ถ้าให้เหล็กเหนียวพิเศษหล่อเย็นเองภายในแบบทรายหลังจากหล่อเสร็จอาจเกิดการร้าวหรือเกิดความเค้นสูง ดังนั้นจึงควรรีบเอาเข้าอบในสภาพที่มีแบบทรายหุ้มอยู่ โดยไม่ต้องตัดรูล้น รูเข้า ฯลฯ

b) การอบ-ชุบแข็ง

การชุบในน้ำหรือน้ำมันเพื่อให้แข็งและเพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกลดีพอประมาณนั้นย่อมเป็นที่ต้องการ แต่มักใช้ได้กับชิ้นงานรูปร่างไม่ซับซ้อนและขนาดต้องเล็กหรือปานกลางเท่านั้น มิฉนั้นอาจเกิดการร้าวหรือบิดเบี้ยวมักใช้อากาศในการทำให้เย็นกันมากกว่า เพราะปลอดภัยกว่าและอาจใช้ของเหลวพิเศษในการทำให้เย็นก็ได้ การใช้อากาศทำให้เย็นนั้นอาจทำได้โดยพ่นอากาศอัดเข้าสู่ชิ้นงานทำให้เย็นเร็วขึ้นและทำให้ชิ้นงานแข็งขึ้นเมื่อทำแข็งเสร็จแล้วจะต้องรีบนำไปใส่ในเตาอบคลายความแข็ง (tempering) ไม่ควรปล่อยทิ้งไว้เฉย ๆ อุณหภูมิสำหรับการอบให้คลายความแข็งต่างกันสำหรับเหล็กเหนียวชนิดต่าง ๆ แต่จะอยู่ในราว 465-500 oC

c) การอบคลายความแข็ง (tempering)

ในการตัดสินใจว่าจะอบที่อุณหภูมิเท่าไรจะต้องทำเส้นโค้งการอบโดยคำนึงถึงลักษณะการทำแข็ง ทั้งนี้สำหรับแต่ละชนิดของเหล็กเหนียว ถ้ายิ่งทำแข็งไว้น้อยก็ยิ่งต้องอบที่อุณหภูมิต่ำเพื่อรักษาความแข็งแรง (strenght) ของชิ้นงาน ดังนั้น % การยืด % การลดพื้นที่หน้าตัด และความทนต่อการกระแทกจะต้องต่ำลง เพราะฉะนั้นการทำแข็งด้วยอากาศจะเสียเปรียบการชุบในน้ำมันในแง่นี้ อีกเรื่องหนึ่งที่ต้องระวังคือสำหรับเหล็กเหนียวบางชนิดจะเปราะเมื่ออบเพื่อคลายความแข็ง เหล็กเหนียวแมงกานีส-โครเมียมหล่อ เหล็กเหนียวซิลิกอนแมงกานีสหล่อ ฯลฯ นั้นเกิดการเปราะได้ง่ายมาก ดังนั้นจะต้องไม่อบที่อุณหภูมิ 500-550 oC เพราะเป็นเขต

เปราะ หรือถึงแม้จะอบที่อุณหภูมิสูงกว่าเขตเปราะ เมื่อให้เย็นลงผ่านเขตเปราะก็ต้องให้ผ่านไปเร็ว ๆ ในเขต 500-550 °C อุณหภูมิอบคลายความแข็งจะต่างกันบ้างเล็กน้อย จะขึ้นกับลักษณะการอบ จุดประสงค์การใช้งาน และชนิดของเหล็กเหนียว แต่มักอบกันในเขต 600-680 °C

(3) การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อน สำหรับเหล็กเหนียวไร้สนิมหล่อ

a) เหล็กเหนียวไร้สนิมมาร์เตนไซท์หล่อ

1. การอบปรับโครงสร้าง (annealing)

ในการอบหลังการหล่อควรอบเพื่อขจัดโครงสร้างกิ่งไม้และควบคุมขนาดเม็ดผลึกถ้าเหล็กเหนียวไร้สนิมมาร์เตนไซท์ซึ่งเป็นเหล็กเหนียวโครเมียมชนิดหนึ่ง (13% Cr) เย็นลงช้า ๆ ในเขตอุณหภูมิเปรียวโครงสร้าง (trans formation temperature) คือ 800-900 oC จะเกิดคาร์ไบด์ขึ้นที่ขอบเม็ดผลึก ทำให้เปราะมาก ดังนั้นสำหรับเหล็กเหนียวไร้สนิมโครเมียมหล่อนี้จึงต้องอบเพื่อให้โครงสร้างสม่ำเสมอ (normalize) ที่อุณหภูมิระหว่าง 950-1,000 oC แล้วจึงอบที่อุณหภูมิต่ำ (low-temperature anneal) ที่ 700-750 oC ถ้าไม่เกิดคาร์ไบด์หลังจากหล่อเสร็จที่เม็ดผลึกของชิ้นงานหล่อขนาดเล็กหรือกลางก็ไม่จำเป็นต้องอบ (normalize)

2. การทำแข็งและอบเพื่อคลายความแข็ง

การทำแข็งและอบเพื่อคลายความแข็งนั้นมักกระทำกันเพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อน (corrosion) และเพื่อให้มีคุณสมบัติทางกลสูง ในการทำแข็งก็มักใช้อากาศทำให้เย็นเช่นเดียวกับเหล็กเหนียวพิเศษหล่อ เพื่อกันมิให้เกิดการบิดเบี้ยวหรือร้าว สำหรับชิ้นงานที่ใช้อากาศในการทำให้เย็น อบเพื่อให้คลายความแข็งที่อุณหภูมิ 700-750 oC จะต้องเลี่ยงไม่ให้อยู่ในเขตอุณหภูมิที่ทำให้เปราะคือ 450-550 oC นานนัก

b) เหล็กเหนียวไร้สนิมเฟอร์ไรท์หล่อ

เหล็กเหนียวส่วนมากที่อยู่ในจำพวกเหล็กเหนียวไร้สนิมเฟอร์ไรท์หล่อ (23-28% Cr) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่าง a-iron และ r-iron และมีคุณลักษณะพิเศษซึ่งทำให้ต้องระวังในการปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนดังนี้

1) ควรควบคุมขนาดเม็ดผลึกในระหว่างการหล่อ เพราะการทำให้เม็ดผลึกละเอียดโดยการกระทำด้วยความร้อนภายหลังการหล่อนั้นทำได้ยาก

2) เปราะและมีความนำความร้อนต่ำ

3) ถ้าทำให้ร้อนไว้ที่อุณหภูมิ 400-600 oC หรือถ้าเย็นลงช้า ๆ ในเขตนี้เหล็กไร้สนิมชนิดนี้มีคุณสมบัติพิเศษซึ่งจะทำให้เกิดการเปราะ ทำนองเดียวกับการเปราะของเหล็กเหนียวมาร์เตนไซท์หล่อเนื่องจากการอบคลายความแข็ง ดังนั้นไม่ว่าจะมีส่วนผสมทางเคมีอย่างไรการอบเพื่อปรับโครงสร้าง (annealing) ให้กระทำที่ 800-850 oC มักให้อุณหภูมิการอบสูงไว้ แต่อบไม่นาน อบนานประมาณ 20-40 นาที สำหรับความหนา 25 mm ก็พอ วิธีการปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนวิธีนี้ใช้สำหรับการอบชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมซ่อมด้วย

c) เหล็กเหนียวไร้สนิมออสเตไนท์หล่อ

เหล็กเหนียวไร้สนิมออสเตไนท์ (18% Cr 8% Ni) ทนการกระแทกได้ดีแม้ในสภาพหล่อเสร็จ ดังนั้นจะไม่มีใคร่เกิดรอยร้าวเช่นเหล็กเหนียวไร้สนิมชนิดอื่น แต่อาจเกิดการบิดเบี้ยวได้ง่าย เมื่ออบเหล็กชนิดนี้ที่อุณหภูมิ 500-900 oC จะเกิดคาร์ไบด์และสภาพ (phase) อื่นขึ้น ทำให้ความต้านมานการกัดกร่อน

(corrosion) ลดลงจุดประสงค์ในการอบปรับโครงสร้างก็คือการทำให้คาร์ไบด์และสภาพอื่นที่เกิดขึ้นในการหล่อได้ละลายกลายเป็นสารละลายแข็ง (solid solution) ให้มากที่สุดและในขณะเดียวกันก็ลดความเค้นที่เกิดจาก

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 7
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 13-14
	ชื่อหน่วย การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

การหล่อ การตัดรูล้นหรือการเชื่อมซ่อม ฯลฯ การอบปรับนี้กระทำที่ 1,000-1.100 oC แล้วปล่อยให้เย็นในอากาศแต่สำหรับชิ้นงานขนาดเล็กหรือปานกลางอาจไม่ต้องอบ การชุบแข็งนั้นช่วยกันมิให้เกิดคาร์ไบด์และสภาพอื่นจึงทำให้ได้ความต้านทานการกัดกร่อนสูงสุด การชุบในน้ำมันนั้นเป็นที่ต้องการ แต่ในกรณีที่ชิ้นงานมีขนาดใหญ่หรือมีรูปร่างซับซ้อน ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวหรือร้าวได้ง่ายก็ควรชุบในน้ำมันหรือใช้อากาศทำให้เย็น อุณหภูมิก่อนชุบอยู่ในร้าว 1,000-1,100 oC ถ้าคิดถึงด้านการไม่ต้องการให้เม็ดผลึกหยาบ ก็อบโดยใช้เวลายิ่งสั้นยิ่งดี แต่เพื่อให้สามารถคาร์ไบด์เข้าร่วมเป็นสารละลายแข็งได้เพียงพอจะต้องอบในอัตรา 1 ชั่วโมงต่อความหนา 25 mm สำหรับเหล็กเหนียวโครเมียมสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จัดอยู่ในเหล็กจำพวกเหล็กเหนียวออสเตไนท์นี้จะไม่มีการทำแข็ง นอกจากมีความต้องการพิเศษ

7.4.5 การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับโลหะผสมทองแดงหล่อ

(1) ทองเหลือง

ทองเหลืองลูกปืน (cartridge brass, 70% Cu-30% Zn) จะมีแต่ α-phase เสมอ ไม่แต่ที่อุณหภูมิปกติเท่านั้น แต่ที่อุณหภูมิสูงด้วย ดังนั้นการอบเพื่อปรับโครงสร้างจากสภาพหล่อเสร็จจะทำให้เกิดผลดีบ้าง แต่การทำแข็งนั้นเกือบจะไม่ได้ผลเลย

ทองเหลืองมันซ์ (muntz brass, 60% Cu-40% Zn) ประกอบด้วย α และ β-phase ไม่ว่าอุณหภูมิเท่าใด ในสภาพหล่อเสร็จจะมี β-phase มากกว่าปริมาณตามทฤษฎี ดังนั้นในการอบปรับ β-phase จะลดลง ทำให้ชิ้นงานทนการกระแทกได้ดีขึ้น การทำแข็งนั้นจะเพิ่มความแข็งแรงทางดึง (tensile strength)

(2) บรอนซ์

a) การอบปรับ (annealing)

การอบปรับจะไม่เป็นผลอันใดสำหรับบรอนซ์ที่มีดีบุกต่ำกว่า 5% แต่สำหรับบรอนซ์ที่มีดีกว่าดีบุก 5% เมื่ออบ โครงสร้างเมื่อหล่อเสร็จจะกลายเป็น α และ β-phase ดังนั้นจะทนการกระแทกได้ดีขึ้น ตาราง 9.10 แสดงผลการอบปรับของบรอนซ์ที่มีดีบุก 15%

b) การทำแข็งและอบเพื่อคลายความแข็ง

บรอนซ์ที่มีดีบุก 12-32% จะมีปฏิกริยายูเทคตอยด์ (eutectoid transformation) โดยที่ β-phase

7.4.6 การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับโลหะผสมอลูมิเนียมหล่อ

สำหรับโลหะผสมอลูมิเนียมหล่อส่วนมาก แบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือโลหะผสม Al-Si ซึ่งมีจุดพิกัดของ α-solution คือจุด α อยู่ใกล้ไปทางด้านอลูมิเนียม และอีประเภทหนึ่ง โลหะผสม Al-Cu ซึ่งมีจุดพิกัดไกลจากด้านอลูมิเนียมมาก ชนิดแรกทำแข็งไม่ได้ แต่จะแข็งขึ้นที่อุณหภูมิสูงคือเหนือเส้น a-b

ส่วนประเภทหลังนั้นถ้าอบที่อุณหภูมิดังกล่าวจะอ่อนลง เพราะเป็นการมิให้เกิดโครงสร้าง δ นอกจากนั้นโดยการอบโลหะผสมประเภทหลังจะเกิดเม็ดผลึก γ ละเอียด เป็นการเกิดการแข็งตามอายุ (age hardening) ดังนั้น ถ้านำโลหะผสม Al-Cu ที่มี 2-3% Cu ไปอบที่ประมาณ 500 oC และหลังจากการเก็บไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลานาน ก็ลดอุณหภูมิโดยอบที่ 150 oC เป็นเวลานานอีก ความแข็งแรงทางดึงจะเพิ่มมากขึ้น ใช้แบบทราย มีส่วนผสม 4.5% Cu 0.9% Si และ 0.98% Fe หลังจากอบที่ 500 oC เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ชุบน้ำแล้วอบที่ 160 °C ในที่สุดจะได้ความแข็งแรงทางดึง 14.8 kg/mm2 (ประมาณ 148 μ Pa) และเปอร์เซ็นต์การยืด 4.5

	แบบทดสอบท้ายบทเรียน	หน่วยที่ 7
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 13-14
	ชื่อหน่วย การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. จงบอกคุณสมบัติของน้ำโลหะ

.....

.....

.....

.....

2. จงอธิบายการแข็งตัวของโลหะ

.....

.....

.....

.....

3. จงอธิบายแผนภูมิสมดุลของโลหะผสม

.....

.....

.....

.....

4. จงบอกโครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อ

.....

.....

.....

.....

5. บอกรูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อ

.....

.....

.....

.....

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. สาระสำคัญ

จุดเสียในงานหล่อมีลักษณะต่างๆ กันหลายลักษณะ โดยทั่วไปจุดเสียขึ้นอยู่กับวิธีการทำแบบและการเท และไม่ขึ้นกับชนิดของวัสดุหรือประเภทของงานหล่อ เมื่อได้สำรวจจนทราบแน่ถึงสาเหตุของจุดเสียก็จะแก้ไขได้ไม่ว่างานหล่อจะทำด้วยวัสดุอะไร ในการทำชิ้นงานหล่อขึ้นมานั้นจะต้องมีขบวนกรรมมากมาย วิธีการปฏิบัติอันใดอันหนึ่งในแต่ละขบวนกรรมอาจเป็นสาเหตุของจุดเสีย ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะวิเคราะห์ได้ถูกต้องว่าอะไรเป็นสาเหตุแน่ ผู้วิเคราะห์ต้องมีประสบการณ์มากจึงจะวิเคราะห์ได้ถูก ในการทำงานของโรงหล่อแต่ละโรงจะต้องมีการวางเทคนิคและขบวนกรรมมาตรฐาน เมื่อเกิดจุดเสียขึ้นสิ่งแรกที่ควรจะสำรวจคือวิธีการปฏิบัติต่างๆ ที่ใช้ในการทำชิ้นงานหล่ออันที่มีจุดเสียเป็นไปตามวิธีมาตรฐานหรือไม่ ในบางกรณีก็ต้องมีการประลองเพื่อหาสาเหตุ ลักษณะที่สำคัญของจุดเสียในงานหล่อและวิธีการแก้ไขมีดังนี้

2. หัวข้อการเรียนรู้

8. จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข
   - 8.1 จุดเสียชนิดต่างๆ และลักษณะ
   - 8.2 จุดเสียในชิ้นงานเหล็กหล่อ
   - 8.3 จุดเสียของชิ้นงานเหล็กหล่อกราไฟท์กลม
   - 8.4 จุดเสียของชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อ
   - 8.5 จุดเสียของโลหะผสมทองแดงหล่อ
   - 8.6 จุดเสียของโลหะผสมเบาหล่อ

3. สมรรถนะอาชีพประจำหน่วย

รู้เกี่ยวกับจุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข บอกลักษณะจุดเสียชนิดต่างๆ และลักษณะ บอกลักษณะจุดเสียในชิ้นงานเหล็กหล่อ บอกลักษณะจุดเสียของชิ้นงานเหล็กหล่อกราไฟท์กลม บอกลักษณะจุดเสียของชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อ บอกลักษณะจุดเสียของโลหะผสมทองแดงหล่อ และบอกลักษณะจุดเสียของโลหะผสมเบาหล่อ

4. จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

8. รู้เกี่ยวกับจุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข

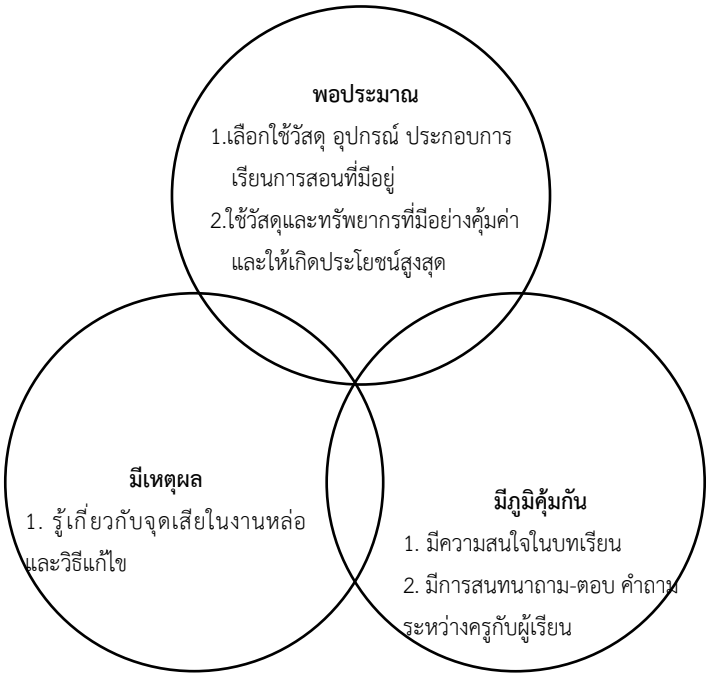
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

8.1 บอกลักษณะจุดเสียชนิดต่างๆ และลักษณะได้
8.2 บอกลักษณะจุดเสียในชิ้นงานเหล็กหล่อได้
8.3 บอกลักษณะจุดเสียของชิ้นงานเหล็กหล่อกราไฟท์กลมได้
8.4 บอกลักษณะจุดเสียของชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อได้
8.5 บอกลักษณะจุดเสียของโลหะผสมทองแดงหล่อได้
8.6 บอกลักษณะจุดเสียของโลหะผสมเบาหล่อได้

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

5. การบูรณาการหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

เงื่อนไขความรู้	เงื่อนไขคุณธรรม
1. บอกลักษณะจุดเสียชนิดต่างๆ และลักษณะได้ 2. บอกลักษณะจุดเสียในชิ้นงานเหล็กหล่อได้ 3. บอกลักษณะจุดเสียของชิ้นงานเหล็กหล่อกราไฟท์กลมได้	1. ตรงต่อเวลา 2. มีวินัยและความรับผิดชอบต่อตนเอง 3. มีจิตใจสาธารณะต่อสังคม



สังคม	วัฒนธรรม
1. รู้จักการทำงานเป็นทีม 2. รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นผู้อื่น	1.มีความเคารพ นอบน้อมครูอาจารย์ 2.การตรงต่อเวลา

สิ่งแวดล้อม	สมดุล/พร้อมรับการเปลี่ยนแปลง
1.สภาพห้องเรียนมีความพร้อมและเหมาะสมต่อการเรียน 2.ดูแล บำรุงรักษาห้องเรียน	1. มีความกระตือรือร้น ใฝ่หาความรู้ 2. พัฒนาตนเองให้มีศักยภาพในการเรียนที่ดีขึ้น

ศาสตร์พระราชา

หลักทรงงาน	ศาสตร์สากล	ศาสตร์ภูมิปัญญา
1.ทำตามลำดับขั้นตอน 2.ความเพียร 3.รู้ รัก สามัคคี 4.ทำให้ง่าย	1. จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	-

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

บทที่ 8
จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข

8.1 จุดเสียชนิดต่างๆ และลักษณะ

คณะกรรมาธิการหล่อโลหะระหว่างชาติได้แบ่งประเภทของจุดเสียออกเป็น 9 ประเภทคือ

(1) หางหนูหรือสะเก็ดบานปลาย

(2) โพรง

(3) รอยร้าว

(4) ผิวหยาบ

(5) น้ำโลหะวิ่งเข้าไม่เต็มแบบ

(6) มิติผิด

(7) มีสิ่งแปลกปลอมหรือมีความไม่สม่ำเสมอในเนื้อเหล็ก

(8) การบิดเบี้ยว

(9) จุดเสียที่มองไม่เห็น

จุดเสียเหล่านี้เกิดจากการออกแบบ (รูปร่างของชิ้นงาน) วัสดุที่ใช้ ขบวนกรรม การปรับคุณสมบัติของทราย การทำแบบหล่อ การเท การแต่งขั้นสุดท้าย ฯลฯ หรือหารออกแบบการหล่อ (รูเท รูวิ่ง ฯลฯ) จุดเสียชนิดเดียกันอาจเกิดจากสาเหตุที่ต่างกัน รูปร่างของจุดเสียขึ้นกับวัสดุที่ใช้หล่อแต่ถือว่าเป็นจุดเสียประเภทเดียวกัน

8.2 จุดเสียในชิ้นงานเหล็กหล่อ

8.2.1 รูพรุน (blow holes)

(1) ลักษณะ

เป็นจุดเสียที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดในงานหล่อ รูพรุนมีรูร่างต่างๆกัน รูพรุนอาจจะเป็นรูที่ผิวงานหรืออาจจะเป็นที่โพรงภายใน มักเป็นโพรงอยู่ใต้ผิวเล็กน้อย รูพรุนมีสีต่างกันแล้วแต่สาเหตุ คือสีในกรณีที่มีการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และกรณีที่ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน สำหรับเหล็กหล่อและเหล็กเหนียวหล่อจะเป็นสีดำหรือสีน้ำเงินและโ,หะผสมสีทองแดงจะเป็นสีน้ำตาลหรือเหลือง

(2) สาเหตุ

1) การหลอมเหลวที่มีการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน

2) ปากคิวโปลาและเบ้าไม่แห้งพอ ทำให้น้ำโลหะมีแก๊ส

3) อุณหภูมิเทต่ำ

4) เทช้า

5) แอ่งรับน้ำโลหะในแบบหล่อและระบบรูเข้าเปียก

6) แบบหล่อปล่อยซึมไม่มากพอ

7) ไม่มีการปล่อยแก๊สออกจากไส้แบบมากพอ

8) แบบหล่อไม่แห้งพอ

9) เกิดแก๊สจากแบบหล่อมากเกินไป

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

10) ความดันของน้ำโลหะน้อยเกินไป

11) เกิดแก๊สจากหมุดยึดไส้แบบ ทุ่นเย็นในหรือทุ่นเย็นนอก

(3) วิธีการแก้ไข

(1) ในการหลอมเหลวโดยใช้คิวโปลา จะต้องให้ได้น้ำโลหะที่ใส โดยรักษาระดับความสูงของถ่านโคกก้นเตาโดยไม่เป่าลมมากเกินไป โดยการย่างบริเวณก้นเตาและผิวเตาให้แห้งก่อนใช้งาน และโดยการใช้ตัวลดออกซิเจนนอกจากนั้นจะต้องให้ได้น้ำโลหะอุณหภูมิสูง โดยการควบคุมปริมาณถ่านโคกให้เหมาะสม ปากเตาและเบ้าจะต้องแห้งสนิท

(2) รูพรุนมักเกิดขึ้นถ้าอุณหภูมิเทต่ำ หรือเมื่อตำแหน่งของรูเทไม่เหมาะสม หรือใช้เวลานานเกินไป จึงจำเป็นต้องวางรูเทให้ถูกจุดและเทน้ำโลหะที่อุณหภูมิสูงพอและเทอย่างรวดเร็ว

(3) nเนื่องจากรูพรุนเกิดจากการที่แบบหล่อปล่อยซึมไม่มากพอ หรือเมื่อมีความชื้นเฉพาะจุดหรือมีวัสดุที่ทำให้เกิดแก๊ส จึงต้องแก้ในจุดต่างๆ ดังกล่าว

(4) ในกรณีที่ปล่อยแก๊สออกจากไส้แบบไม่มากพอ โดยเฉพาะเมื่อมีน้ำโลหะหุ้มไส้แบบไว้เกือบมิด จะเกิดรูพรุนใหญ่ขนาดที่แก้ไขไม่ไหว ดังนั้นจึงต้องจัดให้มีทางแก๊สออก หรือโดยผสมขี้เถ้าถ่านโคกเข้ากับทรายไส้แบบ หรือโดยปล่อยให้แก๊สออกทางบ่าไส้แบบ

(5) ถ้าระดับน้ำโลหะในรูเทต่ำเกินไป ความดันของน้ำโลหะจะต่ำกว่าความดันของแก๊สในแบบหล่อ ดังนี้การที่ความดันของน้ำโลหะต่ำจะทำให้เกิดรูพรุน

11.2.2 รูเข็ม (pin holes)

(1) ลักษณะ

รูเข็มคือรูซึ่งมีผิวในเรียบ และมักเป็นรูกลม ขนาดของจุดเสียแบบรูเข็มอยู่ในราว 1 ~ 2 mm หรือต่ำกว่าคือเป็นรูเล็กๆ คล้ายรูที่เกิดจากเข็มเจาะ รูเข็มมักเกิดขึ้นทั่วๆ ผิวงานภายในของรูมีสีขาวเงินหรือสีน้ำเงินที่เกิดจากปฏิกิริยากับออกซิเจน

(2) สาเหตุ

เช่นเดียวกับรูพรุน

(3) วิธีแก้ไข

เช่นเดียวกับรูพรุน

11.2.3 รูแก๊สที่เกิดจากทุ่นเย็น

(1) ลักษณะ

รูแก๊สเป็นรูพรุนชนิดหนึ่งที่เกิดใกล้หมุดยึดไส้แบบ ทุ่นเย็นหรือทุ่นเย็นใน ภายในรูจะเรียบและรูมีขนาดต่างๆ กัน

(2) สาเหตุ

ถ้าผิวของทุ่นเย็น หมุดยึดไส้แบบ ฯลฯ ที่สัมผัสกับน้ำโลหะเป็นสนิมหรือถ้าวัสดุที่ฉาบผิวกลายเป็นไอได้ง่ายจะทำให้เกิดรูแก๊ส รูแก๊สอาจเกิดจากการที่ความชื้นในแบบหล่อกลายเป็นไอและไปกลั่นตัวที่ผิวทุ่นเย็น แล้วปฏิกิริยากับน้ำโลหะเกิดเป็นแก๊ส

(3) วิธีแก้ไข

ก่อนที่จะใส่ทุ่นเย็นและหมุดยึดไส้แบบจะต้องขัดเสียให้ดี เพื่อป้องกันมิให้เกิดสนิม ควรเคลือบทุ่นเย็น ทุ่นเย็นใน ฯลฯ ด้วยดีบุก แต่ถ้าเคลือบด้วยวัสดุที่ใช้บัดกรีจะทำให้เกิดรูพรุน มักจะจัดให้มีร่องที่ผิวตรงสัมผัสกับน้ำโละเพื่อให้แก๊สหนีออกได้ง่าย

8.2.4 โพรงที่เกิดจากการหดตัว

(1) ลักษณะ

โพรงที่เกิดจากการหดตัว เกิดจากการหดเมื่อโลหะแข็งตัว ภายในของโพรงประกอบด้วยผลึกรูปกิ่งไม้ สำหรับเหล็กหล่อผิวในของจุดเสียชนิดนี้มีสีน้ำเงิน

(2) สาเหตุ

โพรงและรูโหว่ที่เกิดจากการหดตัว เกิดจากสาเหตุชุดเดียวกัน คือเกิดในขณะที่โลหะแข็งตัว โดยที่ส่วนต่างๆ ของชิ้นงานแข็งตัวไม่พร้อมกัน มักจะเกิดที่ส่วนที่แข็งตัวหลังสุด เหล็กหล่อจะหดตัว 2.0 % โดยเฉลี่ยเมื่อแข็งตัว แต่จะขยายตัว (เมื่อแข็งตัว) ถ้าหนามาก และจะกับกลายเป็นหดตัวถ้าหนาน้อย เหล็กหล่อที่มีคาร์บอน 3.4% จะขยายตัวเมื่อแข็ง ถ้าความหนาเท่ากับประมาณ 25 mm แต่ถ้าปริมาณคาร์บอนต่ำลงจะกลายเป็นหดตัว ที่ความหนาเท่ากัน ถ้าใช้แบบหล่อทรายเปียกเหล็กหล่อจะหดตัวเมื่อแข็งตัว สาเหตุของการเกิดจุดเสียเนื่องจากการหดตัวมีดังนี้

1) อุณหภูมิต่ำเกินไป ทำให้รูล้นแข็งตัวเร็วจึงป้อนน้ำโลหะได้ยาก
2) ความสูงของรูล้นน้อยเกินไป หรือเมื่อเทไม่เทเผื่อให้มีน้ำโลหะในรูล้นมากพอ
3) วัสดุที่ใช้บรรจุเข้าเตามีสนิมและสิ่งไม่บริสุทธิ์มาก
4) การออกแบบหรือการทำรูล้นไม่ดี
5) น้ำโลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้หดตัวมากเมื่อแข็งตัว
6) อุณหภูมิเทต่ำ และน้ำโลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เนื่องจากถ่านก้นเตาในคิวโปลาต่ำเกินไป
7) คอของรูล้นเล็กเกินไป
8) ตำแหน่งของรูล้นไม่เหมาะ ระยะที่ต้องป้อนน้ำโลหะสูงเกินไป
9) แบบหล่อพองเมื่อโดนความดันน้ำโลหะ ทั้งนี้เนื่องจากกระทุ้งไม่แน่นพอ
10) แบบหล่อทรายที่มีมุมแหลม และไส้แบบหล่อทำด้วยทรายที่บางและล้อมรอบด้วยน้ำโลหะที่จุดดังกล่าวนี้จะร้อนมากทำให้เกิดเป็นจุดร้อน (hot spot) ซึ่งทำให้เกิดโพรงเนื่องจากการหดตัว
11) เมื่อรูล้นป้อนน้ำโลหะได้ยากเพราะมีการเปลี่ยนแปลงความหนาโดยกะทันหัน
12) เมื่อชิ้นงานหล่อมีมุมแหลมเกินไป หรือส่วนที่ยื่นออกมีขนาดเล็กเกินไป (รัศมีเล็กเกินไป)

(3) วิธีแก้ไข

(a) การจัดลำดับการแข็งตัวก่อนหลัง

การแข็งก่อนแข็งหลังของส่วนต่างๆ ของชิ้นงานจะต้องเป็นไปในทางที่จะทำให้รูล้นทำงานได้ผลที่สุด ส่วนที่ได้รับน้ำโลหะเข้าเต็มก่อนจะมีอุณหภูมิต่ำที่สุด และส่วนที่เต็มหลังสุดจะมีอุณหภูมิสูงสุด

การวางรูล้นไว้ส่วนที่เต็มหลังสุดเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ในกรณีเช่นนี้ควรเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อทางรูล้น a, b เป็นวิธีที่ดี แต่สำหรับวิธี c จะไม่สามารถป้อนโลหะร้อนๆ เข้าแทนที่การหดตัวได้ ถึงแม้จะเทน้ำโลหะอุณหภูมิสูงลงรูเท น้ำโลหะที่เข้ารูล้นซึ่งอยู่ตรงส่วนหัวจะมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้รูล้นทำงานไม่ได้ดี

(b) การใช้ทุ่นเย็น

วิธีนี้คือวิธีใช้ทุ่นเย็นในการบังคับให้เกิดการแข็งตัวของส่วนต่าง ๆ ก่อนหรือหลังตามที่ต้องการทั้งนี้เพื่อให้ล้นทำงานได้ดีขึ้น น้ำโลหะจะถูกป้อนเข้าสู่ขอบซึ่งอยู่โดยรอบ จากรูล้นข้าง แต่จะไม่สามารถป้อนเข้าหน้าแปลนนูน (boss) ได้ เพราะต้องผ่านส่วนที่บาง ทำให้ไม่ได้รับผลจากรูล้นเลย ดังนั้นจึงจัดทุ่นเย็นไว้ที่ส่วนล่างของหน้าแปลนนูนและเอารูล้นไว้ข้างบน ดังนี้โลหะเริ่มแข็งจากข้างล่างและรูล้นจะทำหน้าที่ได้อย่างดี เนื่องจากอาจเกิดรูโหว่ตรงที่ผนังตัดกันเพราะป้อนโลหะเข้ายาก จึงจัดให้แข็งก่อนโดยใช้ทุ่นเย็น

(c) เขตใช้ได้ผลของรู

เขตการใช้ได้ผลของรูขึ้นกับวัสดุที่ใช้หล่อ วิธีการเท และความหนา มักจะกะกันโดยประมาณว่าเขตใช้ได้ของการป้อนน้ำโลหะจากรูล้นควรเท่ากับ 8 เท่าของความหนาของงาน

8.2.5 การหดตัวที่เกิดตรงส่วนนอก

(1) ลักษณะ การหดตัวที่เกิดตรงส่วนนอกทำให้เกิดรูที่ผิวนอกของชิ้นงาน ทั้งนี้เพราะการหดตัวขณะที่โลหะแข็งตัว

8.2.6 โพรงที่เกิดจากการหดตัว

(1) ลักษณะ

โพรงที่เกิดจากการหดตัวเกิดจากสาเหตุเดียวกับจุดเสียที่เกิดจากการหดตัวที่ส่วนในและการหดตัวที่ส่วนนอกและอาจเกิดตรงส่วนที่หนาที่แข็งตัวหลังสุด จะเกิดเป็นกลุ่มรูเล็ก ๆ ซึ่งมีโครงสร้างกิ่งไม่หยาบที่ผิวในและมักเกิดขึ้นตรงส่วนหนา ส่วนที่หนาตัดตัดกัน ส่วนเว้าของมุมมน (concave fillet part) ฯลฯ ของชิ้นงานหล่อ

8.2.7 ผิวหยาบเป็นโครงสร้างของเม็ดผลึก

(1) ลักษณะ

ผิวหยาบเห็นเป็นโครงสร้างของเม็ดผลึกเกิดจากการเย็นช้า จะเกิดกระจายทั่วส่วนที่หนาและเมื่อแต่งด้วยเครื่องกลโรงงานแล้วจะดูขรุขระเหมือนหนังหมู

(2) สาเหตุ

ผิวหยาบดังกล่าวนี้เกิดจากกราไฟท์ เมื่อขนาดการอิ่มตัวของคาร์บอน (carbon saturation degree) เท่ากับ 1 หรือสูงกว่าเนื่องจากโลหะมีปริมาณคาร์บอนสูง หรือถ้าเย็นช้า จะเกิดเกล็ดกราไฟท์ ทั่วผิวของส่วนที่หนา โครงสร้างเช่นนี้มีความแข็งแรงทางดึงต่ำ และจะให้ผิวหยาบเมื่อทำเครื่องกลโรงงานแล้ว ดังนั้นชิ้นงานที่มีจุดเสียประเภทนี้จึงใช้ไม่ได้

(3) วิธีแก้ไข

ต้องเปลี่ยนส่วนผสมของน้ำโลหะ หมายความว่าต้องควบคุมปริมาณของ C, Si และ P ให้เหมาะกับความแข็งแรงที่ต้องการและความหนา

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

8.2.8 สะเก็ดที่เกิดจากผิวแบบหล่อหลุด

(1) ลักษณะ

ทรายที่หลุดเป็นแผ่นหรือเป็นก้อนจากผิวแบบจะเข้าสู่โพรงของแบบหล่อ และมักไปอยู่กับแบบหล่อบน ดังนี้จะทำให้มีทรายแทรกอยู่ในเนื้อโลหะ ส่วนที่ทรายหลุดออกไปจะเกิดเป็นตำหนิ รูปแผ่นหรือรูปก้อน

(2) สาเหตุ

ผิวของแบบหล่อขยายตัวเพราะความร้อนจากน้ำโลหะและบางส่วนอาจหลุดติดน้ำโลหะไป จุดเสียชนิดนี้เรียกว่าสะเก็ดที่เกิดจากทรายหลุด ทรายที่หลุดจะไปกับน้ำโลหะและกลายเป็นส่วนหนึ่งของชิ้นงานหล่อ จุดเสียอีกชนิดที่คล้าย ๆ กันที่เรียกว่า buckle เกิดจากสาเหตุเดียวกันและมักเกิดจากการที่ทราบที่ผิวแบบหล่อบนซึ่งได้รับความร้อนรังสีจากน้ำโลหะเป็นเวลานาน จนเสียความแข็งแรงและหลุดลงมา สาเหตุโดยละเอียดมรดังนี้

1) เทช้าเกินไป
2) อุณหภูมิเทสูงเกินไป
3) ทรายไม่ทนต่อความร้อน
4) ตำแหน่งของรูเทไม่ถูกต้อง น้ำโลหะเข้าแบบหล่อหลังจากส่วนนั้นต้องรับความร้อนเฉพาะจุดมาแล้ว
5) ทรายมีวัสดุหนืดและมีดิน (slit) มากเกินไป
6) ซ่อมแบบหล่อไม่เรียบร้อย
7) ทาน้ำฉาบผิว (black wash) หนาเกินไป
8) เหล็กยึดไส้แบบหล่อขยายตัว
9) กระทุ้งไม่แน่นพอ
10) ไม่มีทางให้แก๊สออกมากพอ
11) ทรายไม่ปล่อยซึม (permeable) มากพอ

(3) วิธีแก้ไข

วิธีแก้ไข เห็นได้ชัดแล้วจากสาเหตุในข้อ (2) โดยทั่วไปแล้วก็จะต้องเพิ่มความทนต่อความร้อนของทราย และทำให้ความแข็งที่เกิดจากการกระทุ้งสม่ำเสมอ โดยลดความชื้นของทรายและเพิ่มตัวประสานใช้ทรายที่การขยายตัวน้อย หรือเติมผงไม้ลงไปเพื่อให้ทรายหยุ่นตัวมากขึ้น ส่วนระบบรูเทต้องเป็นไปตามนี้

1) เวลาเทต้องสั้น

2) การไหลเข้าแบบต้องเฉลี่ยไปทั่วๆ ไม่ให้บางส่วนต้องถูเสียดสีมากเป็นพิเศษ

3) ปลายของรูเทจะต้องไม่ติดกับแบบหล่อหรือไส้แบบหล่อ ดังนั้นจะต้องจัดให้น้ำโลหะเข้าแบบหล่อจากด้านล่างคือไม่ให้วิ่งเข้าตรง

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

8.2.9 จุดเสียหางหนู หรือจุดเสียเป็นเส้นๆ

(1) ลักษณะ

จุดเสียหางหนูเป็นจุดเสียที่ผิว ทรายที่ผิวแบบหล่อขยายตัวและน้ำโลหะแทรกเข้าใต้ส่วนที่ขยายตัวนั้น หลังจากหล่อเสร็จและเอาทรายออกแล้วจะเห็นเป็นรอยโหว่เป็นรูปเส้น เนื่องจากดูคล้ายหางหนู จึงเรียกจุดเสียนี้ว่าหางหนู

(2) วิธีแก้ไข

วิธีแก้ไขเหมือนกับของสะเก็ดที่เกิดจากผิวแบบหล่อหลุด

8.2.10 แบบหล่อหักเป็นบางส่วน

(1) ลักษณะ

เป็นรอยปูดขึ้นมารูปร่างไม่แน่นอน เนื่องจากแบบหล่อบางส่วนหักและหลุดออก และทรายที่หลุดออกจะแทรกอยู่ในเนื้อโลหะตรงส่วนอื่น

(2) สาเหตุ

1) ไม่ได้กระทุ้งแน่นพอเพราะทำแบบหล่อโดยไม่ระมัดระวัง และนอกจากนั้นการเสริมความแข็งแรงด้วยตะปูแบบหล่อยังไม่เพียงพอ ส่วนของแบบหล่อที่อ่อนแอจะหักเพราะดึงกระสวนออกแรงเกินไปหรือมุมลาดของกระสวนน้อยเกินไป

2) ทรายไม่แข็งแรงพอ

3) กระทำกับแบบหล่ออย่างรุนแรง

(3) วิธีแก้ไข

เนื่องจากสาเหตุของจุดเสียเกิดจากความไม่ระมัดระวัง วิธีแก้ไขก็คือใช้ความระมัดระวังอย่างมากในการทำแบบหล่อ

8.2.11 แบบหล่อปูดขึ้นที่หน้าผ่า

(1) ลักษณะ

ในการประกอบแบบหล่อบนเข้ากับแบบหล่อล่าง ส่วนหนึ่งของแบบหล่อจะหักและตกลงไปในแบบหล่อ ดังนั้นตรงที่แบบหล่อหักออกจะเกิดเป็นส่วนยื่นออกมาในชิ้นงานหล่อ และทรายที่หลุดออกมาจะทำให้เกิดโพรงเพราะมีทรายแทรกในเนื้อโลหะตรงที่ทรายตรงไปกองอยู่ในแบบหล่อ

(2) สาเหตุ

ถ้าส่วนแบบหล่อบนและแบบหล่อล่างไม่ประกบกันดี ส่วนที่ยื่นออกจะถูกกดจนหักและทรายที่หลุดออกจะอยู่ในแบบหล่อ

(3) วิธีแก้ไข

ตรงหน้าผ่า (parting surface) จะต้องแบนเรียบ โดยใช้กระดานทำแบบหรือตรวจแต่งให้เรียบ หรือลองประกอบดูก่อน แล้วยกขึ้นตรวจว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นที่หน้าผ่าหรือไม่ และภายในแบบหล่อมีทรายล้นอยู่หรือไม่

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

8.2.12 ทรายติดกระสวน

(1) ลักษณะ

ในการดึงกระสวนออกทรายผิวแบบหล่ออาจหลุดออกมาด้วย ดังนั้นจะทำให้เกิดรอยปูดที่ผิวงานหล่อทำให้ผิวหล่อดูน่าเกลียด

(2) สาเหตุ

1) ในการดึงกระสวนออก เมื่อมีทรายผิวหลุดติดออกมาด้วยก็มิได้มีการซ่อมและแต่งแบบ

2) ทรายมักติดกระสวนที่ผิวขัดมันไว้ไม่ดีและเปียก ถ้าทำให้กระสวนร้อยเสียก่อนใช้ทรายจะไม่ติด

3) ทรายที่ร้อน ทรายที่ไม่ชื้นพอ ทรายที่ไม่มีดินเหนียวปนอยู่พอมักจะติด

4) กระทุ้งแบบหล่อไม่แน่นพอ

5) แป้งที่ใช้งานกับกระสวนเพื่อให้ถอดออกง่ายไม่ดีพอ

6) มุมลาดของกระสวนไม่มากพอ

7) ไม่ได้สั่นกระสวนมากพอขณะดึงออก

(3) วิธีแก้ไข

1) ทรายต้องเย็นพอ

2) ถ้าใช้กระสวนทำด้วยโลหะและกระสวนแผ่น (pattern plate) ต้องทำให้ร้อนก่อน

3) ใช้ทรายที่แข็งแรงพอแลใช้แป้งอย่างดี

4) กระทุ้งแบบหล่อให้แน่นพอ

5) การขยับให้กระสวนคล้ายการติดแน่นและการสั่นกระสวนต้องมากพอ

8.2.13 ทรายหลอมแข็ง (sintering)

(1) ลักษณะ

จุดเสียที่เกิดจากการหลอมแข็งคือทรายและโลหะที่หลอมผสมกันอยู่และติดอยู่กับผิวงาน เกิดจากการที่ทรายส่วนหนึ่งที่ผิงแบบหล่อหลอมตัว

(2) สาเหตุ

1) น้ำโลหะมีความตึงผิวน้อย

2) ความดันสถิตและความดันจลน์ของน้ำโลหะสูงเกิน

3) อุณหภูมิเทสูงเกินไป

4) ทรายหยาบเกินไปและกระทุ้งน้อยเกินไป

5) ทรายทนความร้อนได้น้อยเกินไป

6) ตัวประสานทรายมากเกินไป

7) วัสดุทำผิวไม่ดี

(3) วิธีแก้ไข

1) ต้องใช้ทรายที่ทนความร้อนสูง

2) ต้องผสมเหล็กออกไซด์ เข้ากับทรายให้ดี

3) ต้องกระทุ้งทรายให้แน่น

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

4) ต้องใช้ทรายที่มีการกระจาย (distribution) ของขนาดเม็ดกว้างพอ

8.2.14 น้ำโลหะแทรกเข้าในเนื้อทราย

(1) ลักษณะ

จุดเสียชนิดนี้เกิดขึ้นเมื่อน้ำโลหะแทรกเข้าในผิวของแบบหล่อโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะแทรกเข้าในผิวของไส้แบบที่อุณหภูมิสูง และทรายจะหลอมผสมกับน้ำโลหะ จุดเสียเช่นนี้มักจะเกิดขึ้นกับส่วนที่มีอุณหภูมิสูงเช่นตรงมุมแหลมหรือเกิดกับไส้แบบขนาดเล็กหรือปานกลาง

(2) สาเหตุ

น้ำโลหะแทรกเข้าในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายที่ผิวแบบหล่อและเข้าผสมกับทราย

(3) วิธีแก้ไข

เหมือนกับของจุดเสียที่เกิดจากการหลอมแข็ง ในกรณีจุดเสียชนิดนี้จุดสำคัญอยู่ที่ความต้านทานความร้อนของทรายและการกระทุ้งทราย

8.2.15 แบบหล่อโป่ง

(1) ลักษณะ

ความดันของน้ำโลหะสูงมากทำให้แบบหล่อโป่งละทำให้ชิ้นงานโป่งเป็นแห่งๆ

(2) สาเหตุและวิธีแก้ไข

การโป่งเกิดจากการที่แบบหล่อโป่งออกสู่ด้านนอกเพราะความดันน้ำโลหะหรือเมื่อไส้แบบถูกอัดจนยุบมีวิธีแก้ไขดังนี้

1) ต้องเพิ่มความแข็งแรงทางอัดของแบบหล่อ

2) การกระทุ้งทรายต้องเพียงพอและสม่ำเสมอทั่วแบบหล่อ

3) ต้องใช้แบบหล่อที่แห้ง ความแข็งแรงทางอัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อแบบหล่อแห้ง

8.2.16 การเคลื่อนของแบบหล่อ

(1) ลักษณะ

ส่วนที่มาบรรจบกันตรงหน้าผ่าไม่ตรงกัน

(2) สาเหตุและวิธีแก้ไข

สาเหตุของการเคลื่อนมีดังนี้

1) ศูนย์ของกระสวนเคลื่อนหรือเดือยกำกับเคลื่อน

2) ศูนย์หรือเดือยกำกับของหีบไส้แบบเคลื่อน

3) ศูนย์ของกระสวนแผ่นเคลื่อน

4) เดือยกำกับของหีบแบบหล่อหลวม

5) ศูนย์ของแบบหล่อทำด้วยโลหะเคลื่อน

6) หีบแบบหล่อไม่แข็งแรงพอ

7) เกิดการเคลื่อนหลังจากประกบแบบหล่อแล้วในการแก้ไขก็แก้ตามสาเหตุนั้น ๆ

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

8.2.17 ไส้แบบเขยื้อน

(1) ลักษณะ

ไส้แบบถูกดันให้ลอยขึ้นโดยน้ำโลหะ ทำให้ผนังของชิ้นงานด้านบนบางหรืออาจจะโหว่ในบางกรณี

(2) สาเหตุ

เมื่อได้รับแรงดันให้ลอยไส้แบบโก่งหรือเขยื้อนขึ้นให้มิติของงานผิดไปหรืออาจทำให้เกิดรูโหว่

8.2.18 รอยร้าวหรือรอยแตก

(1) ลักษณะ

รอยร้าว (หรือรอยแตก) แบ่งออกได้เป็นสองประเภทคือรอยร้าวที่เกิดจากการหดตัวและรอยร้าวที่เกิดจากการเค้นค้าง รอยร้าวที่เกิดจากการหดตัวมักเกิดที่มุมชิ้นงานตรงที่มีมุมรัศมีน้อยๆ ความกว้างอาจจะมากหรือน้อยแต่ขอบรอยร้าวมักจะมน รอยร้าวจำพวกหนึ่งในประเภทที่เกิดจากความเค้นค้างคือการฉีกเนื่องจากความร้อนเกิดที่อุณหภูมิสูง และอีกจำนวนหนึ่งคือรอยร้าวที่เกิดที่อุณหภูมิต่ำ

8.2.19 การเกิดเหล็กหล่อเย็นเร็ว (chills)

(1) ลักษณะ

บางส่วนของชิ้นงานหรือส่วนของโลหะใกล้ผิวงานเย็นเร็วจนเกิดเป็นเหล็กหล่อขาวส่วนเย็นเร็วนี้จะแข็งมาก แต่งด้วยเครื่องกลโรงงานได้ ส่วนที่อยู่ภายในถัดเข้าไปจะเป็นเหล็กหล่อเทาผสมกับเหล็กหล่อขาว และถัดไปจากนั้นอีกจะเป็นเหล็กหล่อเทา

(2) สาเหตุ

1) ส่วนผสมของโลหะไม่เหมาะสม

2) น้ำเหล็กมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมละลายมากเกินไป

3) เย็นเร็ว

4) ปริมาณคาร์บอนและซิลิกอน

8.2.20 การเกิดเหล็กหล่อเย็นเร็วกลับทาง

(1) ลักษณะ

ปรากฏการณ์นี้หมายถึงกรณีที่เกิดมีเหล็กหล่อขาวเกิดขึ้นที่ส่วนกลาง (ภายใน) ของผนังชิ้นงาน

(2) สาเหตุ

สาเหตุของปรากฏการณ์นี้ไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่จะแก้ไม่ให้เกิดขึ้นได้โดยลดปริมาณซัลเฟอร์และเพิ่มปริมาณแมงกานีส

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

8.2.21 น้ำโลหะเข้าไม่ถึง (misrun) และน้ำโลหะแข็งปิดทาง (cold shut)

(1) ลักษณะ

Misrun หมายถึงกรณีที่มีน้ำโลหะเข้าไม่เต็มแบบ cold shut หมายถึงการเกิดรอยแหว่งที่ผิวงานหรือผนังของงาน เนื่องจากน้ำโลหะสองสายที่มาบรรจบกันไม่ประสานกัน

(2) สาเหตุ

1) ผนังบางเกิดไป

2) อุณหภูมิเทต่ำเกินไป

3) เทช้าเกินไป

4) น้ำโลหะไหลเข้าส่วนต่างๆ เร็วช้าต่างกัน เพราะระบบรูเข้าไม่ดี

5) ทางปล่อยแก๊สออกจากแบบหล่อไม่เพียงพอ

6) ระบบรูล้นไม่ดี

(3) วิธีแก้ไข

1) อุณหภูมิเทต้องสูง

2) เทให้เร็ว

3) เพิ่มทางปล่อยแก๊สออกจากแบบหล่อ

8.2.22 ขี้ตะกรันแทรกอยู่ในเนื้องาน

(1) ลักษณะ

ขี้ตะกรันเป็นวัสดุที่ไม่ใช้โลหะเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีในขณะหลอมละลาย ขณะแข็งตัวตัวหรือขณะเท

(2) สาเหตุ

1) น้ำโลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน

2) ใส่สารพิเศษมากเกินไป

3) เทนานเกินไป

4) ไม่มีแอ่งเท

5) ไม่กระทุ้งผิวแบบหล่อให้แน่นพอ

6) โพรงของแบบหล่อไม่สะอาดพอ

7) แบบหล่อไม่ปล่อยซึมมากพอ

8) ระบบรูเทไม่ดี

(3) วิธีแก้ไข

แก้ไขโดยป้องกันมิให้เกิดสาเหตุต่างๆ

8.2.23 ทรายแทรกอยู่ในเนื้อโลหะ

(1) ลักษณะ

ทรายอาจแทรกอยู่ในเนื้อโลหะตรงผิวงานหรือแทรกอยู่ภายใน

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

8.2.24 การบิดโก่ง

(1) ลักษณะ

การบิดโก่งเกิดจากความเค้นเนื่องจากความร้อน เกิดภายหลังการเท

(2) สาเหตุ

ชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่นหรือยาวอาจบิดโก่ง เนื่องจากเกิดการหดตัวไมพร้อมกัน ทำให้เกิดความเค้นต่างกันในส่วนต่างๆ

8.3 จุดเสียของชิ้นงานเหล็กหล่อกราไฟท์กลม

จะได้เปรียบเทียบลักษณะจุดเสียของงานเหล็กหล่อกราไฟท์กลมกลับการเหล็กหล่อเทา จุดเสียที่มิได้ยกขึ้นมาเปรียบเทียบถือได้ว่ามีลักษณะเหมือนกับของงานเหล็กหล่อเทา

11.3.1 ขี้โลหะ (Dross)

(1) ลักษณะ

จุดเสียชนิดนี้หมายถึงวัสดุประเภทขี้ตะกรันซึ่งมักติดอยู่ที่ผิวงานในส่วนแบบบนหรือที่ผิวบนของไส้แบบ จุดเสียขี้โลหะมีลักษณะดำๆ และผิวงานหลังจากการกระทำโดยเครื่องกลโรงงานแล้วจะไม่เรียบตรงจุดเสีย

(2) สาเหตุ

1) น้ำโลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน

2) ปริมาณคาร์บอนมากเกินไป

3) เติมแมกนีเซียมมากเกินไป

4) ปริมาณซัลเฟอร์มากเกินไป

5) แบบหล่อไม่แห้งพอ

8.3.2 โครงสร้างยูเทคติค

(1) ลักษณะ

จุดเสียชนิดนี้มีลักษณะดำและเป็นจุดๆ เกิดที่ผิวงานด้านบนของชิ้นงานผนังหนา หรือที่บริเวณใต้รูล้นกราไฟท์เกิดเป็นโครงสร้างยูเทคติค และไม่เกิดเป็นกราไฟท์กลม โครงสร้างนี้มักเกิดที่ส่วนที่แข็งตัวช้า

(2) วิธีแก้ไข

1) ใช้ทุ่นเย็นเพื่อให้เย็นเร็ว

2) แบบหล่อต้องแห้งที่สุด

3) ความเร็วเทต้องสูงและอุณหภูมิเทต้องต่ำ

8.4 จุดเสียของชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อ

จุดเสียของงานเหล็กเหนียวหล่อเกิดจากสาเหตุเดียวกับของงานเหล็กหล่อ ดังนั้นวิธีแก้ไขจึงคล้ายกับของเหล็กหล่อ ปัญหาสำคัญที่สุดในเรื่องจุดเสียของเสียของเหล็กเหนียวหล่อคือโพรงที่เกดจากการหดตัวทรายแทรกในเนื้อโลหะ

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

8.4.1 โพรงเกิดจากการหดตัว

(1) ลักษณะ

(2) สาเหตุ

การเกิดโพรงเนื่องจากการหดตัวนั้นได้กล่าวไว้ในตอนที่ว่าด้วยเหล็กหล่อแล้ว ในกรณีของเหล็กเหนียวหล่อช่วงของอุณหภูมิที่เกิดการแข็งตัวจะแคบ ในการออกแบบการหล่อจะต้องควบคุมการให้แข็งตัวก่อนหลังโดนจัด รูล้น ทุ่นเย็น พอกข้าง ฯลฯ

8.4.2 ทรายแทรกในเนื้อโลหะ

(1) ลักษณะ วิธีแก้ไข

ความสามารถในการไหลของน้ำเหล็กเหนียวไม่สู้ดี ดังนั้นผิวแบบหล่อมักถูกเซาะหลุดทำให้ทรายที่หลุดเข้าแทรกในเนื้อโลหะ วิธีแก้ไขดังนี้

1) จะต้องไม่ให้น้ำโลหะวิ่งเข้ากระทบหล่อโดยตรง

2) ต้องใช้อิฐทนไฟหรือวัสดุทนไฟอื่นในการทำรูเทและรูวิ่ง

3) ต้องกระทุ้งแบบหล่อไม่แน่นพอ

4) แบบหล่อต้องแห้งพอ

8.5 จุดเสียของโลหะผสมทองแดงหล่อ

จุดเสียสำหรับบรอนซ์หล่อคือผิวหยาบเห็นเป็นเม็ดผลึก และสำหรับทองเหลืองหล่อที่มีสังกะสีและอะลูมินัมผสมอยู่ จุดเสียคือโพรงเกิดจากการหดตัว และการมีขี้ตะกรันในเนื้อโลหะ วิธีแก้ไขมิให้เกิดโพรงเนื่องจากการหดตัวสำหรับแมงกานีสบรอนซ์และอะลูมินัมบรอนซ์เหมือนกับของเหล็กเหนียวหล่อ คือแก้โดยการปรับหรือเพิ่มรูล้นและใช้ทุ่นเย็นสัมผัสกับน้ำโลหะโดยตรง จะได้กล่าวถึงการเกิดผิวหยาบเห็นเป็นเม็ดผลึกสำหรับบรอนซ์หล่อและการเกิดโพรงเนื่องจากการหดตัวสำหรับอะลูมินัมบรอนซ์

8.5.1 การบิดผิวหยาบเห็นเป็นเม็ดผลึก

(1) ลักษณะ

การเกิดผิวหยาบเห็นเป็นเม็ดผลึกอาจเกิดที่ตรงกลางของหน้าตัดหรือที่ผิวผ่านงานเครื่องกลโรงงานแล้วของชิ้นส่วนผนังหนา จุดเสียนี้อาจทำให้น้ำรั่วออกได้

(2) สาเหตุ

เนื่องจากช่วงอุณหภูมิที่เกิดการแข็งตัวจะกว้างสำหรับโลหะผสมทองแดงที่มีดีบุกผสมอยู่มาก จึงเกิดโครงสร้างกิ่งไม้หยาบถ้าอัตราการเย็นต่ำ และทำให้เกิดจุดเสียขึ้น

(3) วิธีแก้ไข

1) ต้องลดอุณหภูมิเท

2) ให้อัตราการเย็นตัวสูงโดยใช้ทุ่นเย็น

3) ขนาด จำนวน และตำแหน่งของรูล้นต้องเหมาะสม

	แผนการจัดการเรียนรู้	**หน่วยที่** 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

8.5.2 ขี้โลหะ

(1) ลักษณะ

น้ำโลหะอะลูมินัมบรอนซ์มักจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ถึงแม้ในระหว่างที่ไหลผ่านระบบรูเข้าก็เกิดเยื่อออกไซด์ ออกไซด์นี้จะลอยอยู่ที่ผิวของงานหล่อส่วนบนและกลายเป็นจุดเสียขี้โลหะ

(2) สาเหตุ

1) แบบหล่อไม่แห้งพอ

2) วัสดุฉาบผิวไม่ดี

3) การปล่อยซึมไม่ดีพอ

4) รูปร่างและขนาดของรูเทไม่ดี

(3) วิธีแก้ไข

1) ต้องใช้วิธีป้อนโลหะจากด้านล่าง

2) ปากเทของเบ้าจะต้องอยู่ใกล้แอ่งเทที่สุด

3) เบ้าและแบบหล่อต้องแห้งพอ

8.6 จุดเสียของโลหะผสมเบาหล่อ

จุดเสียของโลหะผสมเบาหล่อเหมือนกับเหล็กหล่อ โพรงเนื่องจากหดตัว จุดเสียขี้โลหะ รูพรุนเป็นจุดเสียที่เกิดบ่อยกว่าจุดเสียประเภทอื่น โพรงเนื่องจากหดตัวนั้นก็แก้ได้โดยใช้ทุ่นเย็นและออกแบบระบบรูล้นให้เหมาะสม เช่นเดียวกับในกรณีของเหล็กเหนียวหล่อ

8.6.1 รูพรุน

(1) ลักษณะ

รูพรุนเกิดขึ้นเมื่อแกสโดยเฉพาะอย่างยิ่งแกสไฮโดรเจนซึ่งอยู่ในน้ำโลหะโดยความดันของน้ำโลหะในระหว่างการแข็งตัวของโลหะ

(2) สาเหตุ

1) มีแกสในน้ำโลหะในระหว่างการหลอมละลาย

2) น้ำโลหะอมแกสเข้าไว้ในระหว่างในระหว่างการเท

3) เกิดปฏิกริยาระหว่างโลหะหลัก (base metal) และความชื้นของแบบหล่อ

4) อุณหภูมิการหลอมละลายสูงเกินไป และใช้เวลาหลอมละลายนานเกินไป

(3) วิธีแก้ไข

1) ลดแกสในน้ำโลหะโดยเป่าแกสเฉื่อยผ่านน้ำโลหะ มักใช้ไนโตรเจน

2) ลดแกสโดยใช้คลอไรด์

3) ลดแกสโดยใช้ตัวซึ่งมักเป็นฟลูออไรด์ของโลหะแอลคาไลน์-เออร์ธ์

4) หลอมละลาย

8.6.2 ขี้โลหะ

(1) ลักษณะ

น้ำโลหะอะลูมัมผสมมักจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนง่ายมาก ออกไซด์ที่ผสมอยู่ในน้ำโลหะหรือที่เกิดระหว่างการเทจะลอยอยู่ที่ผิวของส่วนบนของงาน หรืออยู่ภายในของชิ้นงาน ทำให้เกิดเป็นจุดเสียขี้โลหะ

(2) สาเหตุ

1) เกิดอะลูมินัมออกไซด์ระหว่างการหลอมละลาย

2) มีขี้โลหะติดมากับน้ำโลหะหรือเกิดขึ้นในแบบหล่อ

3) แบบหล่อไม่แห้งพอ

(3) วิธีแก้ไข

1) ต้องออกแบบระบบการเทการไหลไม่ให้เกิดการอลวนของน้ำโลหะ อัตราส่วนของรูเทต่อรูวิ่งต่อรูเข้าต้องเท่ากับ 1:2:2, 1:2:4, หรือ 1:4:4 และใช้วิธีการป้อนน้ำโลหะจากด้านล่าง

2) ต้องทำให้แบบหล่อมีความชื้นน้อยที่สุด แบบหล่อทรายแห้งใช้ได้ดีกว่า

3) สำหรับโลหะผสมแมกนีเซียมห้ามใช้น้ำโลหะก้นเบ้า

4) สำหรับโลหะผสมแมกนีเซียมควรใช้เบ้าชนิดเหยือก (pot) เทด้วยมือ

	แบบทดสอบท้ายบทเรียน	**หน่วยที่** 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. จงบอกลักษณะจุดเสียชนิดต่างๆ และลักษณะ

.....

.....

.....

.....

2. จงบอกลักษณะจุดเสียในชิ้นงานเหล็กหล่อ

.....

.....

.....

.....

3. จงบอกลักษณะจุดเสียของชิ้นงานเหล็กหล่อกราไฟท์กลม

.....

.....

.....

.....

4. จงบอกลักษณะจุดเสียของชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อ

.....

.....

.....

.....

5. จงบอกลักษณะจุดเสียของโลหะผสมทองแดงหล่อ

.....

.....

.....

.....

6. จงบอกลักษณะจุดเสียของโลหะผสมเบาหล่อ

.....

.....

.....

.....

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 9
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 17-18
	ชื่อหน่วย วิธีการหล่อพิเศษ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. สาระสำคัญ

วิธีการหล่อพิเศษมีหลายวิธี ได้แก่ การหล่อเหวี่ยง การหล่อแบบแม่พิมพ์ การหล่อความดันต่ำ การหล่อด้วยแบบหล่อโลหะ วิธีขี้ผึ้งหาย การหล่อต่อเนื่อง ฯลฯ การหล่อแต่ละวิธีมีลักษณะพิเศษในด้านแบบหล่อและวิธีการแข็งตัว ในด้านวิธีการหล่อแบบผลิต และต้นทุนในการผลิต จุดประสงค์ในการศึกษาในการหล่อต่างๆ ก็เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพและความเที่ยงตรง

2. หัวข้อการเรียนรู้

9. วิธีการหล่อพิเศษ
   - 9.1 ข้อเปรียบเทียบการหล่อชนิดต่างๆ
   - 9.2 การหล่อเหวี่ยง
   - 9.3 การหล่อแบบแม่พิมพ์
   - 9.4 การหล่อด้วยความดันต่ำ
   - 9.5 การหล่อในแบบหล่อโลหะ (การหล่อด้วยแรงถ่วง)
   - 9.6 วิธีขี้ผึ้งหาย

3. สมรรถนะอาชีพประจำหน่วย

เข้าใจเกี่ยวกับวิธีการหล่อพิเศษ อธิบายข้อเปรียบเทียบการหล่อชนิดต่างๆ อธิบายการหล่อเหวี่ยง อธิบายการหล่อแบบแม่พิมพ์ อธิบายการหล่อด้วยความดันต่ำ อธิบายการหล่อในแบบหล่อโลหะ (การหล่อด้วยแรงถ่วง) และอธิบายวิธีขี้ผึ้งหาย

4. จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป

9. เข้าใจเกี่ยวกับวิธีการหล่อพิเศษ

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

9.1 อธิบายข้อเปรียบเทียบการหล่อชนิดต่างๆ ได้

9.2 อธิบายการหล่อเหวี่ยงได้

9.3 อธิบายการหล่อแบบแม่พิมพ์ได้

9.4 อธิบายการหล่อด้วยความดันต่ำได้

9.5 อธิบายการหล่อในแบบหล่อโลหะ (การหล่อด้วยแรงถ่วง) ได้

9.6 อธิบายวิธีขี้ผึ้งหายได้

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 9
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 17-18
	ชื่อหน่วย วิธีการหล่อพิเศษ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

บทที่ 9
วิธีการหล่อพิเศษ

9.1 ข้อเปรียบเทียบการหล่อชนิดต่างๆ

วิธีการหล่อพิเศษมีหลายวิธี ได้แก่ การหล่อเหวี่ยง การหล่อแบบแม่พิมพ์ การหล่อความดันต่ำ การหล่อด้วยแบบหล่อโลหะ วิธีขี้ผึ้งหาย การหล่อต่อเนื่อง ฯลฯ การหล่อแต่ละวิธีมีลักษณะพิเศษในด้านแบบหล่อและวิธีการแข็งตัว ในด้านวิธีการหล่อแบบผลิต และต้นทุนในการผลิต จุดประสงค์ในการศึกษาในการหล่อต่างๆ ก็เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพและความเที่ยงตรง

9.2 การหล่อเหวี่ยง

การหล่อเหวี่ยงเป็นวิธีการหล่อโดยเทน้ำโลหะเข้าไปในแบบหล่อที่กำลังหมุน ได้มีการผลิตงานหล่อที่ไม่มีจุดหมายเสีย และเนื้อแน่นจำนวนมากๆ ด้วยวิธีใช้แรงเหวี่ยงนี้ ตามนัยนี้วิธีนี้จึงเหมาะสำหรับการหล่อรูปทรงกระบอก วิธีที่ใช้กันทั่วไปได้แก่วิธีหล่อในแนวนอน ชิ้นงานหล่อจะถูกหล่อโดยหมุนแบบหล่อรอบแกนกลาง แต่ในกรณีที่งานหล่อสั้นๆ (ตามแนวแกน) หรืองานรูปวงล้อก็ใช้วิธีหล่อในแนวตั้งด้วยเหมือนกัน วิธีนี้หล่อโดยหมุนแบบหล่อรอบแกนตั้ง ไม่ต้องใช้ไส้แบบในการหล่อเหวี่ยงในแนวนอน แต่อาจต้องใช้ไส้แบบในการหล่อแบบแนวตั้งในบางกรณี แบบหล่อที่ใช้กับวิธีเหวี่ยงนี้มีแบบโลหะซึ่งใช้งานได้ทนทาน แบบหล่อกราไฟท์หรือแบบหล่อทราย ในกรณีที่ใช้แบบหล่อโลหะนิยมใช้เหล็กเหนียวทนความร้อน และมีน้ำหล่อเย็นด้วย หรือใช้เหล็กเหนียวธรรมดาก็ได้เพื่อความประหยัด หรือใช้แบบหล่อด้วยแบบหล่อโดยหล่อเย็นด้วยอากาศ โลหะที่หล่อโดยวิธีเหวี่ยงนี้ได้แก่เหล็กเหนียวหล่อ เหล็กหล่อ ทองแดงผสม ฯลฯ การหล่อเหวี่ยงโลหะเบาผสม เพิ่งจะนำมาใช้เมื่อเร็วๆนี้เอง แม้ว่าการเอาไซด์ออกจะยากก็ตาม

9.3 การหล่อแบบแม่พิมพ์

การหล่อแบบแม่พิมพ์เป็นวิธีซึ่งน้ำโลหะถูกอัดเข้าไปในแบบแม่พิมพ์โลหะหรือแบบหล่อโลหะที่มีความละเอียดละออ ด้วยความเร็วภายใต้อุณหภูมิสูงและความดันสูง การหล่อด้วยวิธีนี้จะได้งานหล่อที่บางมีความ

ละเอียดลออสูง ผิวของงานละเอียด สามารถผลิตเป็นปริมาณมากๆ ในเวลาสั้นๆ การหลอมแบบแม่พิมพ์โดยมากใช้กับงานหล่อโลหะผสมที่ต้องการความเที่ยงตรง มีจุดหลอมเหลวต่ำ เช่นพวกอลูมินัมผสม สังกะสีผสม เป็นต้น วิธีนี้ยังใช้ผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีความเที่ยงตรงอีกหลายชนิด เช่น ชิ้นส่วนรถยนต์ที่ต้องการมิติที่เที่ยงตรงมาก อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องมือสื่อสารโทรคมนาคม ฯลฯ หรือสิ่งจำเป็นประจำวัน เช่นเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน อุปกรณ์เครื่องใช้ในสำนักงาน ฯลฯ ความต้องการหล่อแบบแม่พิมพ์เพิ่งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อไม่นานมานี้ เครื่องหล่อแบบแม่พิมพ์ได้มีขนาดใหญ่โตขึ้นเมื่อเร็วๆนี้ และได้มีการปรับปรุงทางเทคนิคต่างๆ ในด้านกรรมวิธีการหล่อแบบแม่พิมพ์โดยอัตโนมัติ และในการปรับปรุงหล่อแบบโลหะ และคุณภาพของงานหล่อแบบแม่พิมพ์

1) โลหะที่เหมาะกับการหล่อแบบแม่พิมพ์

โลหะที่เหมาะกับการหล่อแบบแม่พิมพ์ได้แก่อลูมินัมผสม แมกนีเซียมผสม ทองแดงผสม หรือโลหะที่มีจุหลอมเหลวต่ำทั่ว ๆ ไป เช่นสังกะสี ตะกั่วและดีบุกเป็นต้น อลูมินัมใช้มากที่สุด ที่รองลงมาคือสังกะสี โลหะอื่น ๆ มิใช่น้อยเมื่อเทียบกับอลูมินัมและสังกะสี อลูมินัมผสมสำหรับการหล่อแบบแม่พิมพ์ที่ใช้กันมากที่สุด

มีส่วนผสม 12% Si และ 2.5 Cu มีการไหลตัวดี และกระทำด้วยเครื่องมือกลง่าย เมื่อต้องการให้ทนการผุกร่อนควรใช้อลูมินัมผสมที่มี 12% Si เท่านั้นจะเหมาะกว่า แต่จะทำให้การกระทำด้วยเครื่องกลไม่สะดวกเท่า ในกรณีที่ใช้สังกะสีผสมหล่อแบบแม่พิมพ์โลหะพวกตะกั่ว ดีบุก และแคดเมียมอาจเป็นเหตุให้เกิดการผุกร่อนแถวๆขอบเม็ดผลึก จึงต้องจำกัดให้มีปริมาณน้อยมาก สังกะสีผสมที่มี 4% A1 และมี Mg เล็กน้อยไม่ผุกร่อนที่ขอบเม็ดผลึก จึงใช้กันแพร่หลาย

แมกนีเซียมผสมที่หล่อด้วยวิธีแม่พิมพ์เป็นโลหะเบาที่สุด และกระทำด้วยเครื่องมือกลได้ดีที่สุดด้วยความแข็งแรงต่อหน่วยน้ำหนักมากกว่าของอลูมินัมผสม แมกนีเซียมผสมโดยปกติจะมีอลูมินัมผสมอยู่ราว 9% ถ้าไม่มีอลูมินัมผสมอยู่เลย แมกนีเซียมผสมจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และจะแตกเพราะเปราะที่อุณหภูมิสูง

ส่วนทองแดงผสมที่เหมาะกับการหล่อแบบแม่พิมพ์ได้แก่ทองเหลืองที่มีส่วนผสม 60% CU และ 40% Zn ซิลซินบรินซ์ ฯลฯ เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีโลหะแบ็บบิทท์ที่ใช้หล่อโดยวิธีแม่พิมพ์ในรูปของดีบุกผสม แต่ตะกั่วผสมเกือบจะไม่มีใช้เลย

โลหะผสมส่วนใหญ่ดังกล่าวมาแล้วนั้นเมื่อหล่อด้วยแบบแม่พิมพ์จะมีความแข็งแรงสูงกว่าหล่อด้วยวิธีอื่นๆ

2) วิธีการผลิต

วิธีการผลิตงานหล่อแบบแม่พิมพ์นั้น ปกติใช้เครื่องหล่อใช้เฉพาะหล่อแบบแม่พิมพ์ วิธีนี้น้ำโลหะจะถูกเทเข้าไปยังแบบหล่อโลหะที่ประกอบอยู่กับเครื่องหล่อ

เครื่องห้องร้อนใช้กับโลหะผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสังกะสี และใช้แรงปิดแม่พิมพ์น้อย ส่วนวิธีห้องเย็นใช้กับโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูง สูงกว่าอลูมิเนียมผสม และเครื่องแบบนี้ต้องใช้แรงปิดแม่พิมพ์มากกว่า เกี่ยวกับกลไกลสำหรับเปิด - ปิดแม่พิมพ์มีอยู่หลายประเภทด้วยกันเช่น ใช้มือเปิดปิด อากาศอัด หรือใช้ความดันไฮดรอลิค เครื่องหล่อแบบแม่พิมพ์ชั้นดีในปัจจุบันเป็นแบบแนวนอน ทำงานด้วยแรงอัดน้ำมันและควบคุมด้วยไฟฟ้า เครื่องห้องร้อน ทำงานด้วยระบบอัตโนมัติ เครื่องสามารถทำงานได้ครบหนึ่งรอบ โดยการกดปุ่มเริ่มเดินเครื่องครั้งเดียว เครื่องชนิดห้องเย็นทำงานโดยระบบกึ่งอัตโนมัติ ในการทำงานให้เสร็จครบหนึ่งรอบจะต้องกดปุ่มสองครั้ง ครั้งหนึ่งเพื่อปิดแบบหล่อแม่พิมพ์ และอีกครั้งหนึ่งเพื่ออัดน้ำโลหะเข้าโพรงในแบบหล่อแม่พิมพ์ เครื่องอัตโนมัติเหล่านี้ย่อมไม่สามารถที่จะทำให้ทุกขบวนกรรมของการหล่อแม่พิมพ์เป็นไปได้โดยอัตโนมัติ ถ้าหากงานที่ต้องใช้มือ เช่นการประกอบแบบโลหะ การทำความสะอาด การทาวัสดุกันติดแบบ การเอาผลิตผลออก ฯลฯ เป็นต้น

3) ขนาดและความหนาของงานหล่อที่หล่อโดยวิธีหล่อแบบแม่พิมพ์

การหล่อแม่พิมพ์มีจุดยากอยู่บ้างในการใช้ไส้แบบ แต่การหล่อวิธีนี้สามารถผลิตงานหล่อที่มีรูปร่างซับซ้อนได้

ขนาดของงานหล่อแบบแม่พิมพ์ขึ้นกับสมรรถนะของเครื่องหล่อ และความหนาของงานก็ถูกจำนัดเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดจุดเสียที่เนื่องมาจากคุณลักษณะการแข็งตัวของน้ำโลหะ ความสามารถในการทำงานของเครื่องหล่อแบบแม่พิมพ์ทั่วๆไปบอกไว้เป็นแรงที่ใช้ปิดแม่พิมพ์ และแรงนี้จะต้องมากกว่าผลคูณความดันที่ดันน้ำโลหะเข้าแบบหล่อและพื้นที่หน้าตัด ของชิ้นงานในแนวขนานกับระนาบที่แบ่งระหว่างแม่พิมพ์อันอยู่กับที่และแม่พิมพ์อันเคลื่อนที่ โดยปกติแรงปิดแม่พิมพ์จะเท่ากับ 10-15 เท่าของแรงอัดจากหัวอัด ซึ่งเท่ากับความดันคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของหัวอัด ขนาดและพิกัดน้ำหนักของชิ้นงานหล่อแม่พิมพ์ ความหนาของชิ้นงานที่

พอเหมาะอยู่ราว 1.5 ถึง 8.0 mm แต่ถ้ามีบางส่วนที่บางประมาณ 1mm ก็ทำได้ แต่ความหนาของชิ้นงานต้องต่ำกว่า 10mm และจะต้องพยายามทำให้แต่ละส่วนของชิ้นงานมีความหนาเท่าๆกัน เพื่อหลีกเลี่ยงจุดเสียที่เกิดขึ้นภายใน

4) ความเที่ยงตรงของมิติและการแต่งชิ้นงาน

ผิวงานหล่อนั้นเรียบมาก และความขรุขระของผิวงานต่ำกว่า 13 ไมครอน เมื่อหล่อเสร็จหรือหลังจากขัดเงาด้วยหนังสัตว์ที่สามารถจะฉาบผิวด้วยโลหะหรือเคลือบผิวด้วยสารเคมีได้ ความเที่ยงตรงของมิติดีเยี่ยมดังที่กล่าวไว้ข้างล่างนี้ ดังนั้นส่วนมากงานที่หล่อเสร็จไม่จำเป็นต้องกระทำด้วยเครื่องมือกลอีก ถ้าต้องกำหนดให้เผื่อกลึงก็เผื่อไว้ในราว 0.5 – 1 mm ก็พอ

5) แบบหล่อ (ทำด้วย) โลหะและการพิจารณาด้านค่าใช้จ่าย

แบบหล่อโลหะนับว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเครื่องหล่อแบบแม่พิมพ์ แต่มีการหล่อด้วยวิธีอื่นๆที่ใช้แบบหล่อโลหะในทุกกรณี การที่จะตกลงว่าหล่อโลหะอะไร แบบโลหะมีความคงทนแค่ไหน และราคาของ

แบบหล่อเป็นเท่าใด ย่อมขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อโลหะนั้นและราคาของผลผลิตต่อชิ้นจะขึ้นกับจำนวนผลิตผล หรือจำนวนครั้งของการอัด

9.4 การหล่อด้วยความดันต่ำ

ในการหล่อความดันต่ำนี้จะใส่น้ำโลหะเข้าไปในเบ้าปิดมิดชิด และใช้แก๊สความดันต่ำกว่าหนึ่งบรรยากาศ อัดน้ำโลหะ ขั้นต่อไปน้ำโลหะจะถูกกดดันไปในทิศทางฝืนความดึงดูดของโลกผ่านเข้าไปทางท่อป้อนและเทเข้าไปในแบบหล่อที่อยู่ด้านบน รูล้นไม่จำเป็นต้องมีและท่อป้อนทำหน้าที่เป็นรูล้นไปด้วย จะเห็นว่าการหล่อความดันต่ำ น้ำโลหะจะได้รับความดัน จึงถูกดันเข้าสู่แบบหล่อซึ่งมักทำด้วยโลหะ ดังนั้นจึงหล่อเป็นจำนวนมากๆได้

9.5 การหล่อในแบบหล่อโลหะ (การหล่อด้วยแรงถ่วง)

วิธีการหล่อในแบบหล่อโลหะ กระทำได้โดยเทน้ำโลหะลงไปในแบบหล่อโลหะเช่นเดียวกับการหล่อด้วยแบบทราย การหล่อด้วยวิธีนี้ผิดกับการหล่อแบบแม่พิมพ์ และไม่ต้องใช้ความดัน นอกจากได้รับความดันจากน้ำโลหะแบบวัสดุที่ใช้กันมากในการทำแบบหล่อโลหะ มีเหล็กเหนียวพิเศษหรือเหล็กหล่อผสม วิธีนี้สามารถผลิตงานหล่อได้เที่ยงตรงมาก และได้คุณภาพดีมาก ค่าทำแบบหล่อโลหะสูงแต่ว่าถ้าใช้ได้นานก็คุ้ม สำหรับโลหะที่หล่อด้วยวิธีนี้โดยทั่วไปได้แก่โลหะผสมนอกกลุ่มเหล็กที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ

9.6 วิธีขี้ผึ้งหาย

วิธีนี้เป็นแบบหนึ่งของการหล่อประณีต และบางทีก็เรียกว่าการหล่อสวมที่ สมัยก้อนใช้หล่องานศิลปะอุตสาหกรรม แต่เมื่อไม่นานมานี้กลับกลายเป็นใช้ผลิตเป็นอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วและกว้างขวาง เช่นงานหล่อจำนวนมากๆ หรือการหล่อโลหะผสมชั้นดีเยี่ยม ดังเช่นใบของกังหันของเครื่องยนต์เจท พอสรุปขั้นขบวนกรรมได้ดังต่อไปนี้

1. ทำแม่พิมพ์โลหะสำหรับหล่อขี้ผึ้งทำเป็นกระสวน
2. หล่อกระสวนขี้ผึ้งและระบบรูเข้า โดยใช้แม่พิมพ์โลหะ
3. ประกอบกระสวนขี้ผึ้งเข้ากับระบบรูเข้า จะมีลักษณะเหมือนต้นไม้
4. เคลือบผิวที่กระสวนที่ประกอบแล้ว

5. กระสวนขี้ผึ้งที่ประกอบแล้วถูกปกคลุมด้วยวัสดุซึ่งจะใช้เป็นแบบหล่อ
6. ไล่ขี้ผึ้งออกโดยเผาที่ 100-110°C
7. ย่างแบบหล่อที่อุณหภูมิ 800 – 1,100°C
8. ทำการตกแต่งขั้นสุดท้ายให้เรียบร้อย

ดังนั้นวิธีนี้จึงกลายมาเป็นการหล่อที่เหมาะสมมากสำหรับงานหล่อที่เที่ยงตรงแน่นอนที่ใช้โลหะผสมชั้นดี ในการตัดสินใจว่าจะใช้หรือไม่ใช้วิธีการหล่อนี้ต้องพิจารณา และต้องเปรียบเทียบวิธีนี้กับวิธีอื่นๆ

	แบบทดสอบท้ายบทเรียน	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา หล่อโลหะ (2102-2107)	**สอนครั้งที่** 15-16
	ชื่อหน่วย วิธีการหล่อพิเศษ	**ชั่วโมงรวม** 5 **ช.ม.**

1. จงอธิบายข้อเปรียบเทียบการหล่อชนิดต่างๆ

.....

.....

.....

.....

2. จงอธิบายการหล่อเหวี่ยง

.....

.....

.....

.....

3. จงอธิบายการหล่อแบบแม่พิมพ์

.....

.....

.....

.....

4. จงอธิบายการหล่อด้วยความดันต่ำ

.....

.....

.....

.....

5. จงอธิบายการหล่อในแบบหล่อโลหะ (การหล่อด้วยแรงถ่วง)

.....

.....

.....

.....

6. จงอธิบายวิธีขี้ผึ้งหาย

.....

.....

.....

.....