

การศึกษาอุณหภูมิเทที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาค และความแข็งของกระป๋องเครื่องดื่ม
อะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น

A STUDY OF POURING TEMPERATURE ON MICROSTRUCTURE AND
HARDNESS OF ALUMINIUM CANS BY GREEN SAND CASTING

นายชาญณรงค์ พุ่มพวง รหัส 51365108
นางสาวปิยภรณ์ มงคลวัจน์ รหัส 51365139

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 10/ก.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 15945732
เลขเรียกหนังสือ..... 255
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 459

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีการศึกษา 2554



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการงาน การศึกษาอุณหภูมิเทที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาค และความแข็งแรงของ
กระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น

ผู้ดำเนินโครงการงาน นายชาญณรงค์ พุ่มพวง รหัส 51365108
นางสาวปิยภรณ์ มงคลวัจน์ รหัส 51365139

ที่ปรึกษาโครงการงาน อาจารย์มานะ วีรวิกรม

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการงาน
(อาจารย์มานะ วีรวิกรม)

.....ที่ปรึกษาร่วมโครงการงาน
(อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงค์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ธณิกานต์ ชงชัย)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	การศึกษาอุณหภูมิเทที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาค และความแข็งของ กระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายชาญณรงค์ พุ่มพวง	รหัส	51365108
	นางสาวปิยภรณ์ มงคลวัจน์	รหัส	51365139
ที่ปรึกษาโครงการงาน	อาจารย์มานะ วีรวิกรม		
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2554		

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อปรับปรุงโครงสร้างจุลภาค และความแข็งของชิ้นงานฝา
กระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการหล่อในแบบทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720,
740 และ 760 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่อุณหภูมิเท 680,
700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ (Primary α -
Al) และเฟสยูเทคติกอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม (Eutectic Al-Mg) ในทุกอุณหภูมิเท โดยเฟสอัลฟา-
อะลูมิเนียมปฐมภูมิที่พบจะมีลักษณะเป็นเดนไดรต์ และมีเฟสยูเทคติกอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม เกิดขึ้น
ระหว่างแขนของเดนไดรต์ เมื่อเทน้ำโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิเทสูง จะทำให้พื้นที่เฉลี่ยของเฟส
เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิมิขนาดใหญ่มาก และหยาบ ซึ่งส่งผลทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานที่ได้ต่ำ
และเมื่อเทน้ำโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิเทลดลง จะทำให้พื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐม
ภูมิมิขนาดเล็ก และละเอียด ซึ่งส่งผลให้ค่าความแข็งของชิ้นงานที่ได้เพิ่มสูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการวิจัยนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์มานะ วีรวิกรม ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ทศพล ตริรุจิราภาพงศ์ และอาจารย์ชูลีพรย์ ปาไร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการ ในการให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ และความช่วยเหลือทางด้านต่างๆ ตลอดจนแนะนำวิธีการในการแก้ปัญหาและให้กำลังใจในการทำงานตลอดมา จนสามารถทำงานลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ธนิกันต์ ธงชัย และอาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์ ที่กรุณาเสียสละเวลามาเป็นอาจารย์สอนโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ ครูช่างประเทือง โมรราราย ครูช่างธวัชชัย ชูลบุตร ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง และนักวิทยาศาสตร์อิสริย์ วัตฤภาพ ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำโครงการ รวมไปถึงการแนะนำใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ อย่างถูกวิธี

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้ทำโครงการจนงานลุล่วงไปได้ด้วยดี และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เตาหลอมโลหะ แบบหล่อทรายขึ้น ถังจลึงจลึงแบบแสง เครื่องตัดชิ้นงาน เครื่องขัดโลหะ และเครื่องมือต่างๆ ภายในอาคาร

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ยืมใช้เครื่อง Optical Emission Spectrometer

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนในเรื่องค่าใช้จ่าย และกำลังใจจนสามารถศึกษาทำโครงการวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องทุกคนที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำโครงการนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายชาญณรงค์ พุ่มพวง

นางสาวปิยภรณ์ มงคลวัฒน์

เมษายน 2555

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....	1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	1
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	2
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ.....	2
บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอะลูมิเนียม.....	4
2.2 กระจกเครื่องตีอะลูมิเนียม.....	7
2.3 การหล่อโลหะ.....	12
2.4 การแข็งตัวของโลหะ.....	20
2.5 การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ.....	22
2.6 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test).....	24
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงการ.....	28
3.2 วัสดุ และอุปกรณ์.....	29
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์.....	33
4.1 รูปหุ่น.....	33
4.2 โครงสร้างจุลภาค.....	36
4.3 ความแข็ง.....	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ.....	43
5.1 บทสรุป.....	43
5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา.....	43
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไข.....	43
เอกสารอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก ก.....	45
ภาคผนวก ข.....	51
ภาคผนวก ค.....	53



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ.....	2
2.1 แสดงประเภทของโลหะอะลูมิเนียมเกรดงานหล่อ.....	5
2.2 การใช้งานในส่วนต่างๆ ของกระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียม.....	7
2.3 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมเกรด 3004.....	8
2.4 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมเกรด 5182.....	9
2.5 ชนิดของโลหะที่หล่อ และอุณหภูมิการเทน้ำโลหะ.....	17
2.6 ตัวอย่างการหาค่า Fineness Number.....	19
2.7 การเลือกใช้สารละลายของโลหะชนิดต่างๆ	23
2.8 แสดงอัตราส่วนการใช้ค่าความแข็งแบบบริเนล.....	24
3.1 แสดงส่วนผสมของฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียม ตรวจวัดโดยเครื่อง Optical Emission Spectrometer.....	29



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของกระป๋องเครื่องตีอะลูมิเนียม.....	7
2.2 แผนภูมิสมมูลของอะลูมิเนียม-แมงกานีส.....	9
2.3 แผนภูมิสมมูลของอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม.....	10
2.4 การเหนี่ยวนำโลหะในแนวตั้ง.....	14
2.5 ส่วนประกอบแบบหล่อทราย.....	15
2.6 โครงสร้างเดนไดรท์ที่เกิดจากงานหล่อ (Dendritic Structure).....	21
2.7 กล้องจุลทรรศน์แสง.....	23
2.8 แสดงภาพห้วกด และรอยกดในการทดสอบความแข็งบริเนล.....	25
3.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	28
3.2 แบบหล่อ (Pattern).....	30
3.3 ลักษณะชิ้นงานในแบบหล่อ.....	30
3.4 ทิศทางการขัดที่เหมาะสม.....	31
3.5 แสดงจุดบนชิ้นงานที่ใช้วัดความแข็ง.....	32
4.1 พรุณที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส.....	34
4.2 พรุณที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียส.....	34
4.3 รูพรุณที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส.....	35
4.4 ชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 740 องศาเซลเซียส.....	36
4.5 ชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 760 องศาเซลเซียส.....	36
4.6 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมผสมจากฝากระป๋องเครื่องตีอะลูมิเนียมในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 100 เท่า.....	37
4.7 พื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบ-ทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740, และ 760 องศาเซลเซียส.....	38
4.8 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 50 เท่า.....	39
4.9 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 50 เท่า.....	39
4.10 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 50 เท่า.....	40
4.11 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 740 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 50 เท่า.....	41
4.12 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 760 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 50 เท่า.....	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13	
ค่าความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้นที่อุณหภูมิ 680, 700, 720, 740, และ 760 องศาเซลเซียส.....	42



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ อะลูมิเนียม โดยอะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีการนำมาใช้งานในหลายๆ ด้านอย่างกว้างขวาง เช่น อุตสาหกรรมการขนานยนต์ อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมเครื่องดัด เนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นโลหะที่สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงสูง ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ถ่ายเทความร้อนได้ดี และสามารถพิมพ์ลวดลายได้ เช่น สามารถนำมาแปรรูปผลิตเป็นแผ่นฟอยล์ (Foil) สำหรับห่ออาหาร ถึงบรรจุสารเคมี ชิ้นส่วนรถยนต์ รวมไปถึงกระป๋องน้ำอัดลม และกระป๋องเบียร์ สังเกตได้ว่าบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมิเนียมเหล่านี้ สามารถใช้ได้เพียงแค่ครั้งเดียว ทำให้มีเศษขยะจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมากขึ้น

ดังนั้นการนำกระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำกลับมาใช้ใหม่ จึงเป็นทางเลือกที่จำเป็นต่อการลดปริมาณขยะ และเพื่อลดต้นทุนในการผลิต ด้วยเหตุนี้วิธีการนำกลับมาใช้ใหม่จึงเลือกการหล่อหลอมกระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมใหม่ เนื่องจากงานหล่อเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มีความหลากหลาย สามารถขึ้นรูปร่างที่สลับซับซ้อนได้ การออกแบบงาน และการคำนวณที่ง่าย สะดวก และเหมาะสมสำหรับออกแบบชิ้นงานหล่อที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อนมากนัก กระบวนการหล่อแบบทราย (Sand casting) เป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากการหล่อแบบทรายมีต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถนำทรายกลับมาใช้ใหม่ได้หลายรอบ

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษากรรมวิธีการหล่อกระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียม โดยใช้แบบหล่อทรายขึ้น (Green Sand Casting) ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส (°C) และทำการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาค และความแข็งแรงของชิ้นงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาค และความแข็งแรงของฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

โครงสร้างจุลภาค และความแข็งแรงของฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ผลการวิเคราะห์ ผลเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาค และความแข็งแรงของฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการงาน

1.5.1 วิธีการหล่อที่ใช้ในการทดลอง คือ การหล่อด้วยแบบหล่อทรายขึ้น รูปร่างชิ้นงานเป็น ทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร และยาว 15 เซนติเมตร

1.5.2 ขนาดเม็ดทรายตาม A.F.S Fineness No. 60-100

1.5.3 ความชื้นร้อยละ 2-5

1.5.4 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ กระจกป้องกันเครื่องตีอะลูมิเนียม

1.5.5 อุณหภูมิเทน้ำโลหะที่อุณหภูมิ 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส

1.5.6 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (Optical Microscope : OM)

1.5.7 วัดความแข็งของชิ้นงานด้วยเครื่องมือทดสอบแบบบริเนล (Brinell Hardness Test : HB)

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการงาน

กรกฎาคม 2554 ถึง เมษายน 2555

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการงาน

การดำเนินงาน	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.1 วางแผน และ กำหนดขอบเขตของ งานวิจัย	←→									
1.8.2 ศึกษาค้นคว้า ข้อมูลที่เกี่ยวข้องและ รวบรวมเนื้อหาที่ใช้ใน การวิเคราะห์ออกแบบ การทดลอง	←→									
1.8.3 ทำการทดลองเท โลหะหลอมเหลว โดย ปรับเปลี่ยนปัจจัยในการ เทโลหะหลอมเหลว				←→						

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) ขั้นตอน และแผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.4 ศึกษาโครงสร้าง จุลภาคของชิ้นงาน ด้วย กล้องจุลทรรศน์แบบแสง										
1.8.5 ศึกษาพื้นที่ และ ปัจจัยรูปร่าง ของ เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียม ปฐุมภูมิ										
1.8.6 ศึกษาความแข็ง ด้วยเครื่องทดสอบความ แข็งแบบบริเนล										
1.8.7 วิเคราะห์ และ สรุปเปรียบเทียบผลการ ทดลอง										
1.8.8 จัดทำรูปเล่ม										



บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอะลูมิเนียม

อะลูมิเนียมมีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ Al เลขอะตอมเท่ากับ 13 และเลขมวลอะตอมเท่ากับ 26.98 ขนาดของอะตอมวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.863 อังสตรอม (Å) มีระบบผลึกเป็นแบบ Face Centered Cubic (FCC) ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) เท่ากับ 2.70 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) มีจุดหลอมเหลว 660 องศาเซลเซียส อะลูมิเนียมที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปนั้น มีทั้งอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ และอะลูมิเนียมผสม

อะลูมิเนียม (Aluminium : Al) เป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่มีความสำคัญมาก และใช้งานมากที่สุดในการจำพวกโลหะเบาด้วยกัน ทั้งนี้ เพราะอะลูมิเนียมมีสมบัติเด่นหลายประการ คือ มีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา มีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง มีความเหนียวสูง สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย มีจุดหลอมต่ำ หลอมเหลวได้ง่าย มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับร้อยละ 62 ของทองแดงที่ผ่านการอบนิ่มเต็มที่ (International Anneal Copper Standard : IACS) ซึ่งไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับเงิน (Ag) และทองแดง (Cu) เนื่องจากอะลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา จึงนิยมใช้ทำเป็นตัวนำไฟฟ้าที่น้ำหนักเบา อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย มีค่าการนำความร้อนสูง จึงใช้ทำภาชนะหุงต้มอาหาร เป็นโลหะที่ไม่เป็นแม่เหล็ก อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ มีดัชนีการสะท้อนแสงกลับสูงมาก ทนต่อการผุกร่อนแต่กลับไม่ทนต่อการกัดกร่อนของกรด และต่างๆ ไป อีกทั้งยังมีราคาไม่แพง หาซื้อได้ง่าย

อะลูมิเนียมสามารถนำไปใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เครื่องบิน จรวด และซีปนาวุธ ทำภาชนะหุงต้มอาหาร ฝาครอบอุปกรณ์ไฟฟ้า หลังคารถโดยสาร แผ่นสะท้อนแสงในการถ่ายรูป จานสะท้อนแสงในคอมพิวเตอร์ ไฟหน้ารถยนต์ ลวดสายไฟฟ้าแรงสูง ทำบรรจุภัณฑ์ใช้ เช่น กระป๋อง ถัง หลอดยา หรือทำเฟอร์นิเจอร์ นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเป็นวัสดุในงานก่อสร้าง เช่น ท่อ บันได กรอบหน้าต่าง วัสดุที่ใช้ห่อหุ้มสิ่งของ (Aluminium Foil) ใช้เป็นวัสดุผสมลงในโลหะ เช่น ตัวเรือนเสื้อสูทรถยนต์ เป็นต้น จากการใช้งานที่แพร่หลายของอะลูมิเนียม อาจกล่าวได้ว่าอะลูมิเนียมมีความสำคัญเป็นอันดับสองรองจากเหล็ก

2.1.1 อะลูมิเนียมบริสุทธิ์

อะลูมิเนียมสามารถทำให้บริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 99.9 สมบัติของอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ คือ มีความเหนียวสูงมาก ทั้งนี้ก็เพราะอะลูมิเนียมมีระบบผลึกแบบ FCC นอกจากนั้นอะลูมิเนียมที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น (Cold Working) มาแล้วจะให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดประมาณ 178×10^6 นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) และวัดความแข็งได้ประมาณ 19 BHN (Brinell Hardness Number) (ชวลิต , 2542)

2.1.2 อะลูมิเนียมผสม

อะลูมิเนียมสามารถผสมกับโลหะได้หลายชนิด เช่น ทองแดง (Cu) แมกนีเซียม (Mg) สังกะสี (Zn) ซิลิคอน (Si) และแมงกานีส (Mn) โลหะที่ผสมกับอะลูมิเนียมเหล่านี้จะช่วยทำให้

อะลูมิเนียมมีสมบัติทางกลเปลี่ยนแปลงไปตามที่เราต้องการ เช่น โลหะผสมอะลูมิเนียม เกรด 4032 (Alloy 4032) ประกอบไปด้วยทองแดงร้อยละ 0.9 แมกนีเซียมร้อยละ 1.1 ซิลิคอนร้อยละ 12.2 และ นิกเกิลร้อยละ 0.9 โดยน้ำหนัก เมื่อนำอะลูมิเนียมชนิดนี้ไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนจะได้ความแข็งแรง ประมาณ 120 BHN และความแข็งแรงสูงสุดเท่ากับ 892 เมกะปาสคาล (MPa) เห็นได้ว่าเมื่อผสม โลหะชนิดอื่นลงไป อะลูมิเนียมจะทำให้อะลูมิเนียมผสมนั้น มีสมบัติทางกลสูงขึ้นมาก ด้วยเหตุผล ดังกล่าวนี้เองจึงทำให้มีการใช้งานอะลูมิเนียมผสมอย่างกว้างขวาง นอกจากนั้นโลหะอะลูมิเนียมผสม ยังสามารถปรับปรุงสมบัติทางกลโดยกรรมวิธีทางความร้อนได้อีกด้วย (ชวลิต, 2542)

2.1.3 อะลูมิเนียมงานหล่อ (Cast Aluminium Alloys)

ในสหรัฐอเมริกา มีมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับกันอยู่ 2 มาตรฐาน คือ มาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) เช่น ASTM B 26, B 85 และ B 108 และมาตรฐานของบริษัทอะลูมิเนียมแห่งอเมริกา ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตอะลูมิเนียมที่ใหญ่ที่สุดในอเมริกา มาตรฐานดังกล่าวจึงมีอิทธิพลในวงการค้ามาก และเป็นที่ยอมรับใช้มากกว่ามาตรฐานแรก ระบบการตั้ง ชื่ออะลูมิเนียมหล่อตามมาตรฐานของบริษัทอะลูมิเนียมแห่งอเมริกานั้นใช้ตัวเลข 2 หลัก หรือ 3 หลัก แทนชื่อโลหะ

ตัวเลข 2 หลักใช้แทนโลหะอะลูมิเนียมผสมที่มีซิลิคอนเป็นธาตุผสมหลัก สำหรับ ตัวเลข 3 หลักนั้นตัวเลขหลักแรกใช้แทนกลุ่มโลหะผสมที่มาธาตุๆ หนึ่งเป็นธาตุผสมหลัก เช่น 2xx.x เป็นกลุ่มโลหะผสมของอะลูมิเนียมที่มีทองแดงเป็นธาตุผสมหลัก เป็นต้น สัญลักษณ์ที่ใช้แทนธาตุผสม หลักตัวอื่นๆ ดูได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงประเภทของโลหะอะลูมิเนียมเกรดงานหล่อ

Cast Aluminum Alloys	Major Alloying Element
1xx.x	Aluminum of 99.0% or higher
2xx.x	Copper
3xx.x	Silicon with additions of Copper/ Magnesium
4xx.x	Silicon
5xx.x	Magnesium
6xx.x	Unused series
7xx.x	Zinc
8xx.x	Tin
9xx.x	Other elements

ที่มา : ฐานนิยม (2552)

โดยทั่วไปแล้วอะลูมิเนียมผสมในกลุ่ม 3xx.x และ 4xx.x นั้นจะมีความสามารถในการหล่อที่ดี เกรดที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือ A356 เป็นต้น การเรียกชื่อบางครั้งอาจมีตัวอักษร ภาษาอังกฤษนำหน้าตัวเลข เช่น A, B, C, D ทั้งนี้เพื่อแสดงว่ามีการดัดแปลงส่วนผสมของโลหะให้ผิด ไปจากเดิม เพื่อให้เหมาะกับเงื่อนไขต่างๆ

2.1.4 การประยุกต์ใช้งานอะลูมิเนียม

จากสมบัติต่างๆ ของโลหะผสมอะลูมิเนียมประเภทต่างๆ ทำให้อะลูมิเนียม และอะลูมิเนียมผสม เป็นวัสดุที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง ในงานด้านต่างๆ ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 6 ประเภทดังนี้

2.1.4.1 การคมนาคมขนส่ง

เนื่องมาจากสมบัติของโลหะอะลูมิเนียม ที่มีน้ำหนักเบา แข็งแกร่ง ทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาวะต่างๆ ได้ดี จึงถูกนำมาใช้ผลิตเป็นส่วนประกอบของยานยนต์ประเภทต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น รถยนต์ เครื่องบิน เรือโดยสาร เป็นต้น โดยนำมาใช้ทดแทนเหล็ก เพื่อลดน้ำหนักของยานยนต์ ส่งผลให้ลดปริมาณการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน

2.1.4.2 บรรจุภัณฑ์

เนื่องมาจากอะลูมิเนียมสามารถนำไปขึ้นรูป ทำลวดลาย และทาสีได้ง่าย ทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาวะต่างๆ ได้ดี ทำให้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่นิยมนำไปผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร และเครื่องดื่มต่างๆ กระจ่างน้ำอัดลม แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum Foil) สำหรับห่ออาหาร ทั้งยังใช้ผลิตเป็นถังบรรจุสารเคมีได้

2.1.4.3 ระบบไฟฟ้า

อะลูมิเนียมถูกนำมาใช้ผลิตเป็นสายส่งสัญญาณ และกระแสไฟฟ้าในงานที่มีความต้องการในกรณีพิเศษ เนื่องมาจากสมบัติของอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูง แต่เนื่องจากมีราคาสูงกว่าสายส่งกระแสไฟฟ้าทำจากทองแดง จึงทำให้สายส่งกระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากอะลูมิเนียม ไม่เป็นที่นิยมใช้ในงานส่งกระแสไฟฟ้า และสัญญาณโดยทั่วไป

2.1.4.4 การก่อสร้าง

อะลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงสูง มีจุดหลอมเหลวไม่สูงมากนัก ทำให้อะลูมิเนียมถูกนำมาใช้ในงานทางด้านการเชื่อมโลหะ และงานทางด้านการก่อสร้างต่างๆ โดยจะนำมาผลิตเป็นส่วนประกอบ เช่น คานเสริมแรง กรอบประตูหน้าต่าง นอกจากนี้ยังถูกนำมาผลิตเป็นป้ายจราจร กันชนไหล่ทาง (Guard Rail) และยังใช้ในการก่อสร้างสะพานอีกด้วย

2.1.4.5 เครื่องอุปโภค

อะลูมิเนียมนิยมนำมาใช้ผลิตเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ในอาคารบ้านเรือน ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือเครื่องใช้สำหรับการประกอบอาหาร เช่น มีด ช้อน ส้อม ภาชนะหุงต้ม อีกทั้งยังนำมาผลิตเป็นเครื่องใช้ต่างๆ ได้แก่ บันได อ่างอาบน้ำ เป็นต้น รวมถึงใช้ผลิตเป็นเครื่องตกแต่งบ้านเรือน

2.1.4.6 เครื่องจักรกล

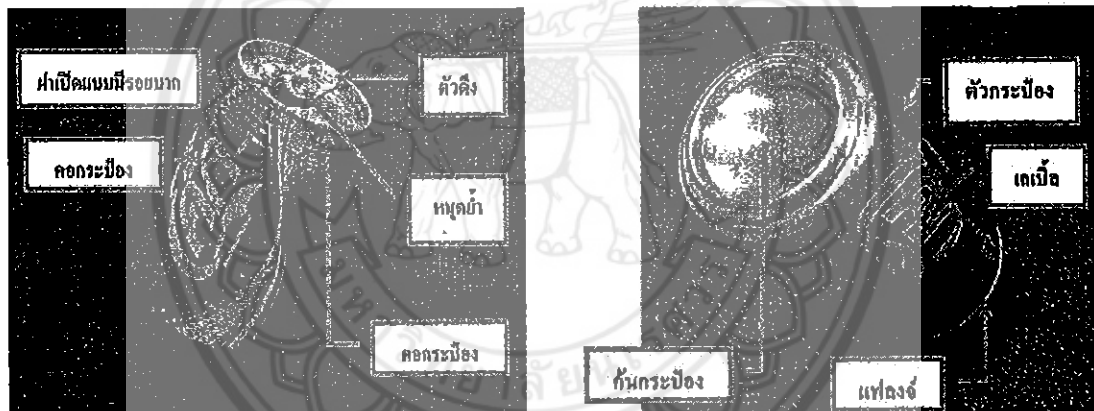
อะลูมิเนียมใช้ผลิตเป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกล และเครื่องมือประเภทต่างๆ เช่น บล็อกกลม สว่านไฟฟ้า เป็นต้น

2.2 ครอบงองเครื่องดื่มอะลูมิเนียม

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องดื่มต่างๆ ไม่วาจะเป็นน้ำอัดลม หรือเบียร์ นิยมใช้ครอบงองอะลูมิเนียมเป็นบรรจุภัณฑ์มากขึ้น เนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปครอบงองอะลูมิเนียมนี้้ง่ายกว่าวัสดุชนิดอื่น มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง ถ่ายเทความร้อนได้ดี ทนทานต่อการเกิดการกัดกร่อนได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถพิมพ์ลวดลายหรือสีส่นลงบนครอบงองเพื่อความสวยงามได้อีกด้วย

2.2.1 ส่วนประกอบของครอบงองอะลูมิเนียม

ในอุตสาหกรรมการผลิตครอบงองเครื่องดื่มอะลูมิเนียมนี้ มีเป้าหมายซึ่งพยายามพัฒนาในกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุนในการผลิต คือ ลดปริมาณวัสดุดิบลงให้มากที่สุดโดยที่ครอบงองยังสามารถใช้งานได้ดีอยู่ ดังนั้นเป้าหมายในกระบวนการผลิต คือ การลดความหนาของครอบงองนี้เอง เมื่อลดความหนาของครอบงองลงได้มากเท่าไรต้นทุนในการผลิตก็จะยิ่งลดลง ขนาดของครอบงองเครื่องดื่มอะลูมิเนียมที่พบได้มากที่สุดนี้ห้องตลาดคือ ครอบงองเครื่องดื่มขนาดปริมาตร 325 มิลลิลิตร มีน้ำหนักของครอบงองประมาณ 13.6 กรัม ซึ่งส่วนประกอบของครอบงอง และการใช้งานของครอบงองเครื่องดื่มอะลูมิเนียมแสดงดังรูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของครอบงองเครื่องดื่มอะลูมิเนียม

ตารางที่ 2.2 การใช้งานในส่วนต่างๆ ของครอบงองเครื่องดื่มอะลูมิเนียม

ชื่อส่วนประกอบ	ลักษณะและการใช้งาน
ตัวครอบงอง	บริเวณด้านล่างของตัวครอบงองจะมีความหนาแน่นมากกว่าเล็กน้อยเพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับครอบงอง ตัวครอบงองสามารถทนความดันภายในได้ถึง 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และรับน้ำหนักได้ 250 ปอนด์
ฝาแบบมีรอยบาก (Scored Penning)	บริเวณฝาครอบงองจะมีการทำรอยบาก (Scored) เพื่อความสะดวกในการเปิดฝาที่ถูกเปิดจะถูกดันลงไปภายในตัวครอบงอง
คอครอบงอง (Neck)	มีลักษณะคอคอดเล็กกลงทางด้านบนเพื่อให้มีขนาดรับกับฝาครอบงอง
ตัวดิ่ง (Tab)	ส่วนที่ใช้ดิ่งเพื่อเปิดฝาครอบงองโดยเมื่อแท็บถูกดิ่งขึ้นฝาเปิดจะถูกกดลงสู่ตัวครอบงองซึ่งเป็นการเปิดฝาครอบงองนี้เอง

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) การใช้งานในส่วนต่างๆ ของกระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียม

ชื่อส่วนประกอบ	ลักษณะและการใช้งาน
หมุดย้ำโลหะ (Rivet)	เป็นตัวยึดแท็บ
ฝากระป๋อง (Lid)	มีน้ำหนักถึง 1 ใน 4 ของน้ำหนักกระป๋อง ฝาทำจากอะลูมิเนียมเกรด 5182 ซึ่งมีแมกนีเซียมเป็นธาตุผสมหลักทำให้ฝากระป๋องมีความแข็งแรงมากกว่าตัวกระป๋อง เพื่อที่จะเป็นการลดปริมาณของโลหะที่ใช้ทำฝากระป๋อง ผู้ผลิตจึงผลิตให้ฝากระป๋องมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าตัวกระป๋อง
แฟลนจ์ (Flange)	ภายหลังจากส่วนบนของตัวกระป๋องได้รับการแต่งขอบ แฟลนจ์จะถูกตัดโค้งและเย็บตะเข็บเพื่อยึดฝาให้แน่นภายหลังการบรรจุเครื่องดื่มลงไปแล้ว
เลเบล (Label)	กระบวนการรีดที่ทำให้ผิวกระป๋องวาว และเป็นมันส่งผลให้มีความสวยงามมากขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นส่วนหนึ่งที่คนนิยมใช้กระป๋องอะลูมิเนียม
ฐาน (Base)	ก้นกระป๋องมักมีลักษณะเป็นโดมโค้งเพื่อเพิ่มความต้านทานต่อความดันภายในกระป๋องเมื่อทำการบรรจุเครื่องดื่ม

ที่มา : นเรศ (2548)

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียม คือ อะลูมิเนียมผสม 2 ชนิด ได้แก่

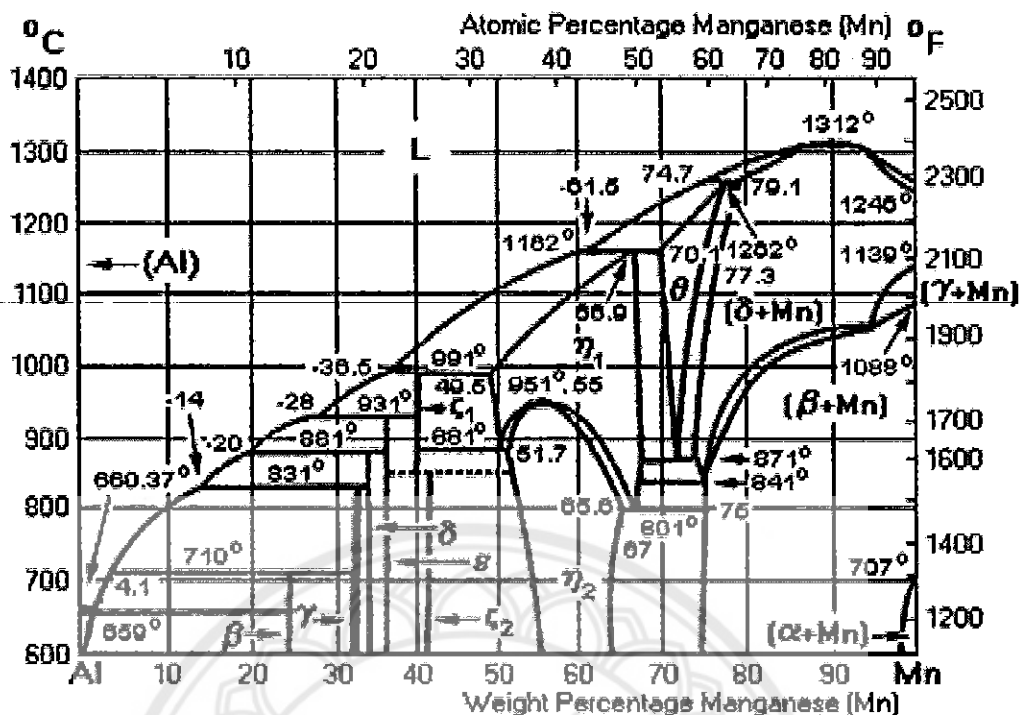
2.2.1.1 ตัวกระป๋อง

อะลูมิเนียมที่นำมาผลิตเป็นตัวกระป๋องเครื่องดื่มตามท้องตลาดเป็นอะลูมิเนียมผสมเกรด A 3004 ซึ่งมีธาตุผสมหลัก คือ แมงกานีสประมาณร้อยละ 1-1.5 โดยน้ำหนัก แมกนีเซียมร้อยละ 0.8-1.3 โดยน้ำหนัก ดังแสดงส่วนผสมทางเคมีในตารางที่ 2.3 อะลูมิเนียมผสมเกรดนี้สามารถทำการขึ้นรูปโดยกระบวนการลากขึ้นรูป (Deep Drawing Process) ได้ดีเนื่องจากมีสมบัติทางด้านการยึดตัวที่ดี มีความแข็งแรงปานกลาง

ตารางที่ 2.3 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมเกรด 3004

Component	Weight %
อะลูมิเนียม	97.8
ทองแดง	Max 0.25
เหล็ก	Max 0.7
แมกนีเซียม	0.8-1.3
แมงกานีส	1-1.5
ซิลิคอน	Max 0.3
สังกะสี	Max 0.25

ที่มา : Reynolds (1990)



รูปที่ 2.2 แผนภูมิสมดุลของอะลูมิเนียม-แมงกานีส

ที่มา : สันติรัฐ (2543)

แมงกานีส เป็นโลหะที่มีโครงสร้างผลึกแบบ Cubic มีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ 1,246 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.2 การเพิ่มธาตุแมงกานีส ประมาณร้อยละ 1.2 โดยน้ำหนักในอะลูมิเนียม (เหล็กร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก และซิลิคอนร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก) ทำให้อะลูมิเนียมผสมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้ โดยไม่จำเป็นต้องทำการปรับปรุงสมบัติด้วยกรรมวิธีทางความร้อน แมงกานีสเพิ่มความแข็งแรงให้อะลูมิเนียมในรูปสารละลายของแข็ง ที่กระจายตัวอย่างทั่วถึงในเนื้อโลหะอะลูมิเนียม

2.2.1.2 ฝาครอบป้องกัน

ฝาครอบป้องกันเครื่องตีอะลูมิเนียมตามห้องตลาดผลิตจากอะลูมิเนียมผสมเกรด A 5182 มีธาตุผสมหลัก คือ แมกนีเซียมประมาณร้อยละ 4.5 โดยน้ำหนัก อะลูมิเนียมเกรดนี้สามารถปั๊มขึ้นรูปได้ดี และมีความแข็งแรงมากกว่าตัวครอบป้องกัน ส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสมอะลูมิเนียม เกรด 5182 ดังแสดงในตารางที่ 2.4

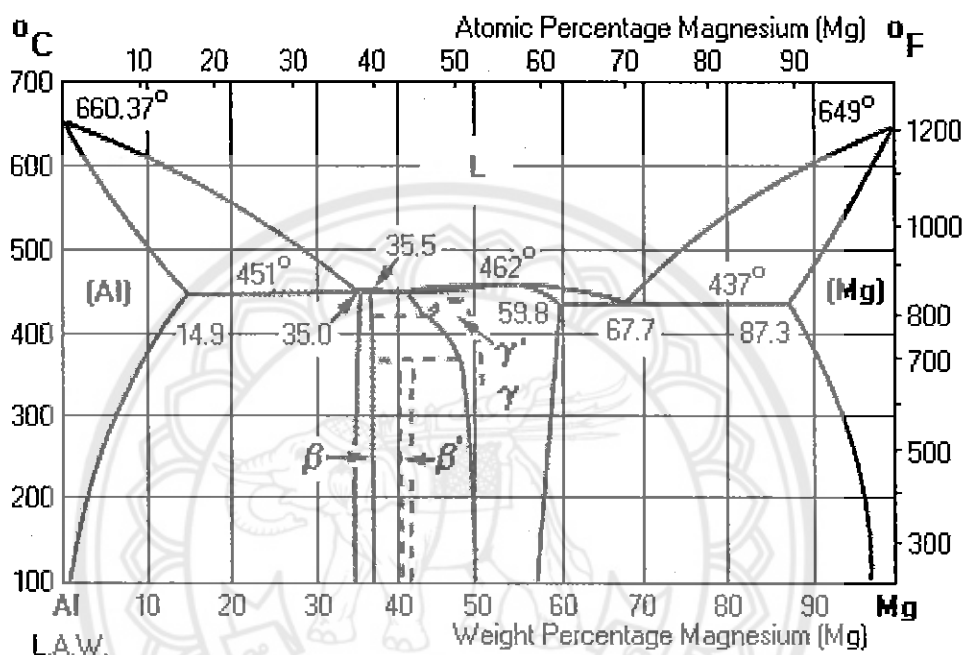
ตารางที่ 2.4 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมเกรด 5182

Component	Weight %
อะลูมิเนียม	95.2
โครเมียม	Max 0.15
ทองแดง	Max 0.15
เหล็ก	Max 0.35
แมกนีเซียม	4-5
แมงกานีส	0.2-0.5

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมเกรด 5182

Component	Weight %
ซิลิคอน	Max 0.2
ไทเทเนียม	Max 0.1
สังกะสี	Max 0.25

ที่มา : Reynolds (1990)



รูปที่ 2.3 แผนภูมิสมดุลของอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม

ที่มา : สันติรัฐ (2543)

แมกนีเซียมมีอุณหภูมิหลอมเหลวใกล้เคียงกับอะลูมิเนียม คือ ที่อุณหภูมิ 649 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นโลหะที่มีโครงสร้างผลึก Hexagonal จึงทำให้เกิดการละลายของแมกนีเซียมในอะลูมิเนียมได้ไม่มากโดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ แมกนีเซียมละลายได้ประมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิห้อง และละลายได้สูงสุดที่ร้อยละ 14.9 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 451 องศาเซลเซียส ดังแสดงรูปที่ 2.3 จากแผนภูมิสมดุลของอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม จะพบปฏิกิริยายูเทคติกที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ที่แมกนีเซียมร้อยละ 35.0 โดยน้ำหนัก ปฏิกิริยายูเทคติกนี้ จะให้โครงสร้างอะลูมิเนียม และโครงสร้าง β ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงโลหะ มีสูตรทางเคมีว่า Mg_2Al_3 (แมกนีเซียม อะลูมิเนียมไนซ์) มีสมบัติแข็ง และเปราะ ส่วนที่สัดส่วนแมกนีเซียมร้อยละ 5 เมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึง Liquidus Line ผลึกของอะลูมิเนียมเริ่มก่อตัวขึ้นเป็นนิวเคลียส และเติบโตขึ้นเป็นเดนไดรต์ ถัดไปจะก่อตัวขึ้นเป็นเม็ดเกรนขนาดใหญ่ ของแข็งที่เกิดขึ้นในขณะที่เกิดสถานะสองเฟส เรียกว่า Primary Solid หรือเรียกเฉพาะลงไปว่า เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ (Primary Alpha Aluminium) เมื่ออุณหภูมิลดลงอีก ผลึกจะเติบโตขึ้นในหลายส่วน ชนกันกับนิวเคลียสที่โตขึ้นในส่วนอื่นเกิดเป็นขอบเกรนขึ้น ขณะที่อุณหภูมิลดลงอีก ปริมาณของแมกนีเซียมในผลึกอัลฟา และของเหลวมีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ ส่วนอะลูมิเนียมจะถูกผลึกออกจากของเหลว เมื่ออุณหภูมิของเหลว

ลดลงจนถึงอุณหภูมิเยือกแข็งของเหลวที่เหลือนั้นจะเกิดปฏิกิริยาเยือกแข็ง เกิดเป็นของแข็งเยือกแข็งขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิเยือกแข็งของเหลวจะเปลี่ยนเป็นของแข็งทั้งหมดมีลักษณะเป็นผลึกอัลฟา ซึ่งเป็นของแข็งที่เกิดขึ้นก่อน และล้อมรอบด้วยของแข็งเยือกแข็ง

โลหะผสมอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม มีสมบัติที่สำคัญ คือ มีความแข็งแรงสูง และมีความเหนียว นอกจากนี้ยังมีสมบัติต้านทานต่อการกัดกร่อนดีเยี่ยม โดยเฉพาะการใช้งานที่มีสภาพการกัดกร่อนสูง เช่น การใช้งานในน้ำทะเล ภายในโครงสร้างของอะลูมิเนียม-แมกนีเซียมหล่อผสม จะต้องไม่มีข้อบกพร่องพวกฟองอากาศ การหล่ออะลูมิเนียม-แมกนีเซียมหล่อผสมจึงต้องมีการเตรียมวัสดุที่จะใช้ในการหล่อต้องมีคุณภาพสูง นอกจากนี้อะลูมิเนียม-แมกนีเซียมหล่อผสมเหมาะสำหรับงานเชื่อมประกอบ และยังเหมาะกับงานที่เป็นงานโครงสร้าง หรืองานที่ต้องการการตกแต่งอาคาร อะลูมิเนียม-แมกนีเซียมหล่อผสมมีความสามารถในการแปรรูปทางกล เช่น การกลึง กัด ตัด ไส้ ได้ดี

2.2.2 การนำกลับมาใช้ใหม่กระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมภายในประเทศ

อะลูมิเนียมผสมที่ใช้ภายในประเทศส่วนหนึ่งมาจากการนำเข้ามาจากต่างประเทศ เนื่องจากประเทศไทยไม่มีสินแร่ในการผลิตอะลูมิเนียม นอกจากนั้นค่าไฟฟ้าภายในประเทศมีราคาสูง ทำให้การผลิตอะลูมิเนียมจากสินแร่ภายในประเทศมีราคาสูงกว่าตลาดโลก อีกส่วนหนึ่งมาจากการนำเศษอะลูมิเนียมภายในประเทศกลับมาใช้ใหม่ ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการนำเศษอะลูมิเนียมกลับมาใช้ใหม่นั้นน้อยกว่าพลังงานในผลิตอะลูมิเนียมจากสินแร่ ส่งผลให้การรีไซเคิลเป็นกรรมวิธีที่สำคัญภายในประเทศ แต่เศษอะลูมิเนียมบางประเภทไม่สามารถทำการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และเมื่อพิจารณาข้อมูลการส่งออก พบว่าเศษอะลูมิเนียมบางประเภทถูกส่งออกไปขายยังต่างประเทศในปริมาณสูง ด้วยมูลค่าค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะเศษอะลูมิเนียมที่พบเห็นได้บ่อยในชีวิตประจำวัน ได้แก่ เศษกระป๋องเครื่องดื่ม เมื่อศึกษาข้อมูลจากโรงงานรีไซเคิลภายในประเทศ (นเรศ, 2548) พบว่ามีการนำเศษกระป๋องเครื่องดื่มมาทำการรีไซเคิลน้อยมาก ส่วนใหญ่เศษจำพวกนี้จะถูกส่งออกขายยังต่างประเทศ เนื่องจากเหตุผลที่ว่าเศษกระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียม เมื่อนำมารีไซเคิลภายในประเทศ จะให้ปริมาณการได้กลับของเนื้ออะลูมิเนียมที่ต่ำ สมบัติของอะลูมิเนียมที่ได้ต่ำลง การเกิดมลพิษจากควัน และเกิดการปนเปื้อนขึ้นในเนื้ออะลูมิเนียม แสดงให้เห็นว่าการรีไซเคิลกระป๋องภายในประเทศไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ กระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมประกอบด้วยอะลูมิเนียมผสมเกรด 3004 ซึ่งใช้ผลิตเป็นตัวกระป๋อง และเกรด 5182 ใช้ผลิตเป็นฝา ดังนั้นกระบวนการรีไซเคิลกระป๋องเครื่องดื่มเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่นั้น สามารถแบ่งลักษณะของการหลอม ได้เป็น 2 ลักษณะคือ

2.2.2.1 การแยกหลอมระหว่างตัวกระป๋อง และฝากระป๋อง

โดยกระบวนการนี้จะทำการตัดย่อยกระป๋องอะลูมิเนียมให้มีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ หลังจากนั้นบรรจุลงเตาหลอม โดยจุดหลอมเหลวที่ต่างกันของอะลูมิเนียมทั้ง 2 เกรดจะเป็นตัวแยกการหลอมอะลูมิเนียมผสมแต่ละชนิดออกจากกัน เมื่อทำการหลอมส่วนฝาจะเกิดการหลอมก่อน โดยอะลูมิเนียมเกรด 5182 มีจุดหลอมเหลว 577 องศาเซลเซียส ส่วนตัวกระป๋องเกรด 3004 มีจุดหลอมเหลว 630 องศาเซลเซียส เมื่อฝากระป๋องหลอมเหลวในขณะที่ตัวกระป๋องยังไม่หลอมตัว จะทำการแยกอะลูมิเนียมผสมทั้ง 2 เกรดออกจากกันโดยใช้ตะแกรงกรอง (Screen) แยกอะลูมิเนียมผสมเกรด 5182 ออก และนำอะลูมิเนียมผสมเกรด 3004 ไปทำการหลอมต่อ การหลอมลักษณะนี้ค่อนข้างที่จะกระทำในทางปฏิบัติได้ยาก เนื่องจากจากจุดหลอมตัวของอะลูมิเนียมผสมทั้ง 2 เกรด

ต่างกัน 53 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่ค่อนข้างแคบ และการควบคุมอุณหภูมิของเตาในอุตสาหกรรมจริงทำได้ค่อนข้างยาก (นเรศ, 2548)

2.2.2.2 การหลอมโดยไม่แยกส่วนฝา และตัวกระป๋อง

กระบวนการนี้จะทำการตัดย่อยกระป๋องเป็นชิ้นเล็กๆ หลังจากนั้นทำการป้อนเติมอะลูมิเนียมลงสู่เตาหลอม และทำการหลอมตามปกติ ทำการปรุงส่วนผสมทางเคมีให้ได้ตามต้องการ โดยการหลอมลักษณะนี้เหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ หรืออะลูมิเนียมแท่งสำหรับงานหล่อ เนื่องจากอะลูมิเนียมผสมที่ใช้สำหรับงานหล่อมักมีธาตุผสมในปริมาณที่สูง (นเรศ, 2548)

2.2.3 การหล่อหลอมอะลูมิเนียมผสม

สมบัติที่เหมาะสมสำหรับการหล่อหลอม (Casting Metal) ที่สำคัญมีหลายประการ ดังนี้ คือ

2.2.3.1 ควรมีคุณสมบัติไหลได้ง่าย สามารถไหลผ่านช่องทางแคบๆ หรือไหลไปตามช่องทางของแบบที่สลับซับซ้อนได้โดยง่าย

2.2.3.2 มีจุดหลอมตัวต่ำสะดวกในการหล่อหลอม (Low Melting Point)

2.2.3.3 ไม่ยอมให้แก๊สใดๆ ละลายได้ง่ายขณะหลอมเหลว (Low Gas Solubility)

2.2.3.4 ไม่เปราะแตกง่ายในขณะเกิดการแข็งตัว (Hot Shortness)

2.2.3.5 สามารถผสมธาตุต่างๆ เข้าได้ง่าย และสม่ำเสมอ

2.2.3.6 ให้ผิวงานหล่อที่เรียบไม่ติดทรายแบบ หรือสเกล

จากสมบัติด้านบนโลหะผสมอะลูมิเนียมมีสมบัติใกล้เคียงมากที่สุด มีช่วงของการแข็งตัวยาว และไหลได้ง่าย ทำให้ปัญหาทางด้านวัสดุทำแบบหล่อ (Molding Material) หดไป ปัญหาที่สำคัญ และจัดเป็นเรื่องที่จะต้องระมัดระวังในการหล่อหลอมอะลูมิเนียม คือ สมบัติเปราะแตกง่ายในขณะเกิดการแข็งตัว และอีกประการหนึ่ง อะลูมิเนียมยอมให้แก๊ส โดยเฉพาะไฮโดรเจน ละลายได้ดีมากในสภาพหลอมเหลว และปริมาณของแก๊สจะลดลงเมื่ออะลูมิเนียมแข็งตัว นอกจากนี้ อะลูมิเนียมรวมตัวกับออกซิเจน และกลายเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ได้ง่าย และมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับน้ำโลหะอะลูมิเนียม ทำให้การแยกตัวของอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นไปได้ยาก มีผลทำให้อะลูมิเนียมออกไซด์ สามารถไหลไปปนกับโลหะอะลูมิเนียมเข้าแบบหล่อ ทำให้ได้ชิ้นงานหล่อที่มีคุณภาพต่ำ ประการสุดท้ายที่สำคัญ คือ การหดตัวในสภาวะของแข็งค่อนข้างสูง ทำให้ควบคุมขนาดของงานหล่อได้ยาก (มนัส, 2543)

2.3 การหล่อโลหะ

การหล่อโลหะ คือ การนำโลหะมาหลอมละลาย และเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อ ให้มีรูปร่างตามต้องการ แล้วปล่อยให้โลหะลดอุณหภูมิลงจนถึงระดับอุณหภูมิห้อง โลหะจะมีรูปร่างตามที่ต้องการ กระบวนการหล่อโลหะจัดเป็นกระบวนการผลิตที่ผลิตชิ้นงานโลหะได้ทุกรูปร่าง และยังจัดว่าเป็นกระบวนการผลิตที่ประหยัดที่สุด เมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตชิ้นงานอื่นๆ ช่วงระยะเวลาสั้นๆ ในระหว่างที่น้ำโลหะกำลังเกิดการแข็งตัว จัดเป็นช่วงเวลาที่มีความสำคัญ และเป็นช่วงเวลาที่วิกฤติที่สุดของการหล่อโลหะ ทั้งนี้เพราะความสมบูรณ์ของเนื้อโลหะ ทั้งทางกายภาพ และทางเคมีหลังการแข็งตัวของน้ำโลหะจะเป็นสิ่งบ่งบอกถึงคุณภาพ และสมบัติในด้านต่างๆ ของโลหะนั้น ดังนั้นถ้าสามารถควบคุมให้มวลของโลหะมีการกระจายตัวของธาตุผสมจนมีความสม่ำเสมอเท่าๆ กันตลอดทั้งโลหะ

หล่อ งานหล่อดังกล่าวก็จะปราศจากตำหนิจากการแข็งตัวของน้ำโลหะ ทำให้ได้งานหล่อที่มีสมบัติในทุกด้านที่ต้องการ

2.3.1 ส่วนประกอบของแบบหล่อ และชิ้นงานหล่อ

ส่วนประกอบ และชื่อเรียกต่างๆ ของแบบหล่อทราย รวมถึงส่วนประกอบของชิ้นงานหล่อภายหลังการหล่อเสร็จ และรื้อออกจากแบบหล่อเรียบร้อยแล้ว โดยส่วนประกอบต่างๆ มีหน้าที่ดังนี้ (ทริส, 2543)

2.3.1.1 ทีบหล่อ (Flask)

ทำหน้าที่ในการบรรจุจับยึดวัสดุใช้ทำแบบหล่อให้มีความแข็งแรง ทีบหล่ออาจทำจากโลหะ หรือไม้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงที่ต้องการ อายุการใช้งาน ตลอดจนราคา ทีบหล่อส่วนบน เรียกว่า โค๊ป (Cope) ทีบหล่อส่วนล่างเรียกว่า แดรก (Drag) เส้นแบ่งระหว่างทีบบน และทีบล่าง เรียกว่า แนวต่อระหว่างแบบ หรือพาร์ติงไลน์ (Parting Line)

2.3.1.2 โพรงแบบ (Mold Cavity)

ช่องว่างที่มีรูปร่างเหมือนชิ้นงานที่เราต้องการ เกิดขึ้นจากการใช้แบบหล่อ (Pattern) ในการขึ้นรูปในกระบวนการปั้นแบบ

2.3.1.3 รูเท (Sprue)

หมายถึง ส่วนที่ทำหน้าที่ให้น้ำโลหะผ่านมาสู่ทางวิ่ง

2.3.1.4 ทางวิ่ง (Runner)

หมายถึง ส่วนที่ทำหน้าที่นำพาน้ำโลหะหลอมเหลวไหลสู่ทางเข้า

2.3.1.5 แอ่งรูเท (Pouring Cup, Basin)

หมายถึง ส่วนที่ทำหน้าที่รับน้ำโลหะหลอมเหลวจากเบ้าเท (Ladle)

2.3.1.6 บ้าไส้แบบ (Core Print)

หมายถึง บริเวณที่ใช้ในการจับยึดไส้แบบ

2.3.1.7 รูลัน (Riser)

หมายถึง ส่วนเพิ่มเติมในแบบหล่อที่ทำหน้าที่เก็บน้ำโลหะหลอมเหลวไว้ ป้อนเติมให้กับชิ้นงานหล่อขณะเกิดการหดตัว (Shrinkage) เมื่อโลหะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นของแข็ง (Solidification)

2.3.1.8 ทางเข้า (Gate)

หมายถึง ส่วนที่ทำหน้าที่ป้อนเติม และควบคุมการไหลของน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบหล่อ

2.3.1.9 ระบบป้อนเติม (Gating System)

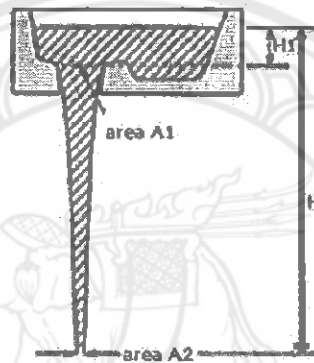
หมายถึง ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ในการรับน้ำโลหะจากการเท และนำพาน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบหล่อ ส่วนประกอบของระบบป้อนเติมประกอบด้วย แอ่งรูเท ทางวิ่ง และทางเข้าน้ำโลหะ

2.3.2 การออกแบบรูเท รูสัน

2.3.2.1 รูเท (Sprue)

เป็นรูตรงกลาง และอยู่ในแนวตั้ง มีหน้าตัดเป็นรูปกลม บางครั้งหน้าตัดจะเท่ากันตลอดจากบนถึงล่าง แต่ส่วนมากข้างบนจะใหญ่ และค่อยๆ เล็กลง รูหน้าตัดเท่ากันนั้นใช้เมื่อต้องการให้น้ำโลหะเข้าเร็ว และสม่ำเสมอ รูเทหน้าตัดคอคดลง จะใช้เมื่อต้องการกันไม่ให้สิ่งเจือปนเข้า คือ ต้องการปล่อยให้เข้าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทำรูเทโดยการทะลวงแบบหล่อด้วยท่อนของแข็ง หรือใช้ปลอกทำด้วยวัสดุทนไฟวิธีนี้ใช้สำหรับทำรูเทที่ยาว

โดยทั่วไปรูเทน้ำโลหะ จะมีหน้าตัดเป็นวงกลม และถูกจัดวางให้อยู่ในแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ปกติจะมีรูเทสองชนิดที่นิยมนำมาใช้กัน คือ รูเทแบบเท่ากัน หรือทรงกระบอก และรูเทแบบกรวยเรียวลง ทRAYที่ใช้ทำรูเทต้องทำการอัดให้แน่นมากที่สุด และถ้าจำเป็นก็ควรทำแอ่งพักน้ำโลหะ



รูปที่ 2.4 การเทน้ำโลหะในแนวตั้ง
ที่มา : ณรงค์ศักดิ์ (2553)

2.3.2.2 รูสัน (Riser)

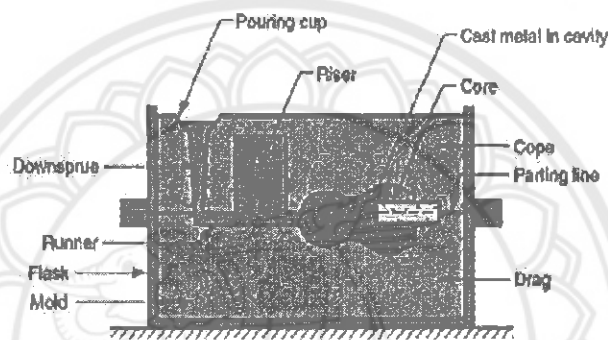
รูสัน ทำหน้าที่ ป้องกันการเกิดโพรงเนื่องจากการหดตัว (Shrinkage) ขณะที่น้ำโลหะแข็งตัว ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของน้ำโลหะ โดยหน้าที่หลักของรูสัน สามารถสรุปได้ดังนี้

- ก. ต้องเย็นตัวภายหลังจากชิ้นงานหล่อเย็นแล้ว
- ข. ต้องช่วยถ่ายน้ำโลหะเข้าสู่ชิ้นงานหล่อ เพื่อป้องกันการหดตัวของชิ้นงานหล่อ
- ค. ต้องมีแรงดันพอที่จะป้องกันการขยายของโพรงแก๊ส
- ง. ต้องมีแรงดันสูงเพียงพอที่จะทำให้การไหลเป็นไปอย่างสมบูรณ์
- จ. บางกรณีอาจต้องมีการใส่รูสันมากกว่าหนึ่งจุดในชิ้นงานหล่อ เพื่อควบคุมการส่งถ่ายน้ำโลหะที่สมบูรณ์
- ฉ. ต้องสามารถควบคุม Thermal Gradient ของชิ้นงานหล่อขณะเกิดการแข็งตัว ไม่เกิดจุดร้อนที่ส่วนต่อ หรือภายในชิ้นงานหล่อ

โดยความสูงของรูสันในการหล่ออะลูมิเนียมผสม ไม่ควรเกิน 1.5 เท่าของความเส้นผ่าศูนย์กลาง และไม่น้อยกว่า 0.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง และเส้นผ่าศูนย์กลางจะใหญ่กว่าความหนาของชิ้นงานที่รูสันป้อนน้ำโลหะประมาณร้อยละ 15-20

2.3.3 การทำแบบหล่อทรายชื้น (Green Sand Molding)

การทำแบบหล่อทรายชื้น เป็นวิธีที่ทำสืบทอดกันมานานแล้ว กรรมวิธีทำแบบโดยอาศัยความชื้นเป็นตัวช่วยให้แบบแข็งแรง “Green” ในที่นี้ หมายถึง ความชื้นที่มีอยู่ในทรายหล่อรวมไปถึง แบบหล่อที่ยังไม่แข็ง หรือไม่แห้ง วัสดุทำแบบ ประกอบด้วย ทราย ซิลิกา ผสมกับดินเหนียว ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสาน และความชื้น การทำแบบจะอาศัยหีบหล่อช่วยเป็นกรอบเพื่อให้แบบทรายสามารถคงรูปอยู่ได้ หีบหล่ออาจทำมาจาก โลหะ หรือไม้ หีบจะประกอบด้วยหีบบน และหีบล่างสำหรับงานทำแบบหล่อหนึ่งชุด การทำแบบโดยวิธีนี้มีทั้งการทำโดยใช้เครื่องจักร และการทำแบบโดยใช้มือ วิธีการใช้เครื่องอาศัยการออกแบบให้เครื่องจักรมีแรงกระแทก และการสั่นสะเทือนเพื่อช่วยให้ทรายอัดแน่น โดยกระสวน และใส่แบบจะสร้างให้ติดกับแผ่นกระดาน ทรายที่ผสมแล้วจะเทลงมาโดยใช้ชุดอุปกรณ์ลำเลียงช่วย หรือใช้มือตักใส่ขึ้นกับการออกแบบวิธีการทำงาน



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบแบบหล่อทราย
ที่มา : ณรงค์ศักดิ์ (2553)

การทำแบบหล่อทรายชื้นโดย วิธีการทำด้วยมือ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมปฏิบัติกันโดยทั่วไปทั้งในประเทศ และต่างประเทศ แต่ในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะนำเครื่องจักรมาใช้แทนคนมากขึ้น มีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

2.3.3.1 การเตรียมกระสวน เป็นกระสวนชนิดแยกชิ้น มีป่าใส่แบบ เนื่องจากงานที่ต้องการลักษณะเป็นรูทะลุตลอดทั้งแท่ง

2.3.3.2 นำหีบข้างหนึ่งมาวางคว่ำลงบนแผ่นกระดาน และนำกระสวนครึ่งซีกมาวางคว่ำลง จากนั้นนำทรายละเอียดแห้ง มาโปรยลงหลังกระสวนเพื่อป้องกันไม่ให้ทรายติดกระสวน

2.3.3.3 นำตะแกรงมาร่อนทรายชื้นที่ผสมเตรียมไว้แล้วเพื่อสร้างทรายผิวหน้าปกคลุมทั้งผิวหน้าประมาณ 2-3 เซนติเมตร แล้วใช้มือกดให้ทรายแนบชิดผิวกระสวนมากที่สุด ขั้นตอนนี้จะมีผลต่อความเรียบของผิวงานหล่อ

2.3.3.4 ตักทรายถมใส่ลงไปหลังหีบให้เต็มซึ่งเรียกว่าทรายหลังหีบ และใช้นิ้วมือช่วยกดให้ทรายไหลลงไปในซอกมุมต่างๆ รอบกระสวน และตามแนวขอบของหีบอย่างทั่วถึง ขั้นตอนนี้ระว่างกระสวนจะเคลื่อนตัวมีผลทำให้แบบทรายบริเวณผิวเคลื่อนตัวไปด้วย

2.3.3.5 ถมทรายเพิ่มเข้าไปจนเต็มหลังหีบกระทุ้งทรายด้วยสากโดยใช้ปลายด้านเรียว โดยวิธีการกระทุ้งวนจากด้านนอกตามแนวขอบหีบวนเข้าสู่ด้านใน ขั้นตอนนี้ระว่างปลายสากจะกระทุ้งโดนกระสวนแรงจนเกินไป อาจทำกระสวนชำรุดได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ได้งานหล่อที่มีจุดเสียได้

2.3.3.6 เมื่ออัดทรายเต็มหลังหีบแล้ว โดยเผื่อให้สูงเกินมาเล็กน้อย จากนั้นปาดทรายที่เกินมาด้วยไม้ปาดให้เรียบเสมอขอบหีบก่อนที่จะแทงรูโอเพื่อระบายแก๊ส โดยวัดระยะความลึกพอดีอย่าให้ปลายเหล็กแทงกระแทกโดนผิวของกระสวน อาจทำให้ผิวของกระสวนเสียหายได้ ระยะห่างระหว่างรูประมาณ 2-3 เซนติเมตร

2.3.3.7 พลิกหีบหงายขึ้น โดยการนำกระดานอีกแผ่นมาปะกบที่หลังหีบ เพื่อใช้เป็นที่รองรับหีบรอการทำงานในขั้นตอนต่อไป จากนั้นนำกระสวนอีกซี่กหนึ่งซึ่งจะมีเดือยสลัก และรูช่วยให้กระสวนประกอบเข้าด้วยกันโดยไม่เอียง

2.3.3.8 ขั้นตอนนี้จะต้องสร้างรูเท และรูลัน ดังนั้นจึงต้องประกอบสลัก หรือกระสวนที่เป็นรูเท และรูลันเข้าไปในตำแหน่งที่กำหนดไว้เสียก่อน ก่อนที่จะถมทรายลงไป และเริ่มทำเหมือนขั้นตอนที่ 2.3.3.2 ถึง 2.3.3.6

2.3.3.9 การถอดกระสวนออกจากแบบก่อนยกหีบบน และล่างออกจากกัน ต้องสร้างแอ่งเทก่อน ซึ่งตำแหน่งจะอยู่ส่วนปลายสุดของรูเท วิธีการทำอย่างง่าย ๆ โดยการตัดแต่งทรายโดยรอบของของปลายสลักรูเทให้เป็นรูปทรงกรวย

2.3.3.10 การทำให้ได้แบบ โดยการนำทรายผสมตัวประสานที่ให้ความแข็งแรงสูง มาอัดเข้าในกล่องได้แบบให้แน่น และเต็ม และจะต้องเสริมความแข็งแรงด้วยลวด ก่อนที่จะแกะออกจากกล่อง จากนั้นนำไปตากแดดหรือทำให้แห้ง ถ้าเป็นทรายตัวประสานสารเคมีต้องรอให้เกิดปฏิกิริยากันสมบูรณ์เสียก่อน

2.3.3.11 นำมาทดลองสวมประกอบเข้ากับแบบทรายเสียก่อน ถ้าได้แบบยาวเกินไปจะต้องฉีกแต่งปลายออกให้พอดี

2.3.3.12 แบบหล่อที่เสร็จแล้วรอการนำไปเทหล่อ จะต้องนำมาประกอบหีบบนและหีบล่างเข้าด้วยกัน ถ้ามีได้แบบ จะต้องประกอบได้แบบให้เสร็จเรียบร้อยเสียก่อน ตัดตามแนวยาวและแนวขวางแสดงให้เห็นตำแหน่งของได้แบบ โพรงว่าง และชั้นของทรายผิวหน้า และทรายหลังหีบ

2.3.4 การหล่อโลหะอะลูมิเนียมที่สำคัญแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.3.4.1 การเลือกเตาหลอม (Melting Furnace)

เตาที่ใช้หลอมโลหะอะลูมิเนียมมีหลายแบบ ขึ้นอยู่กับปริมาณของโลหะอะลูมิเนียม ถ้าเป็นเตาแบบใช้ถ่านหรือน้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ควรเป็นลักษณะที่เปลวความร้อนไม่สัมผัสกับโลหะ เพราะเปลวไฟจะมีไอน้ำปนอยู่ จะทำให้ไอน้ำแยกตัวเมื่อสัมผัสกับอะลูมิเนียม ขั้นตอนการหลอมนี้จะต้องป้องกันทั้งแก๊สไฮโดรเจน (H) และแก๊สออกซิเจน (O) ให้มากที่สุด

2.3.4.2 การป้องกัน และกำจัดแก๊สไฮโดรเจน

การหลอมโลหะอะลูมิเนียมย่อมจะหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนละลายได้ยากมาก ในตอนที่แก๊สไฮโดรเจนละลายอยู่ในอะลูมิเนียม จะอยู่ในสภาพที่เป็นอะตอม ละลายอยู่ในโลหะอะลูมิเนียมหลอมเหลว ต่อมาเมื่อน้ำโลหะอะลูมิเนียมเย็นตัวลง ปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนที่ละลายได้จะลดน้อยลงตามลำดับ ทำให้อะตอมของไฮโดรเจนที่ถูกขับออกมารวมตัวกันเข้าเป็นโมเลกุล และในที่สุดก็กลายเป็นฟองแก๊สเล็กๆ แยกตัวลอยขึ้น

2.3.4.3 การป้องกัน และกำจัดอะลูมิเนียมออกไซด์

อะลูมิเนียมออกไซด์มีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับอะลูมิเนียมหลอมเหลวมาก คือ ประมาณ 2.6 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำให้อะลูมิเนียมออกไซด์สามารถลอยปะปนไปกับ

น้ำโลหะได้ง่าย ในขณะที่โลหะอะลูมิเนียมหลอมเหลวลงแบบหล่อ จะมีผลทำให้งานหล่อมีคุณภาพต่ำ คือ มีผิวไม่เรียบ และความต้านทานแรงดึงต่ำ การแก้ไขปัญหาคือต้องกระทำทั้งการป้องกันไม่ให้เกิดหรือเกิดอะลูมิเนียมออกไซด์ให้น้อยที่สุด แต่เพื่อการป้องกันมีประสิทธิภาพ มักจะใช้ฟลักซ์เข้าช่วย ซึ่งฟลักซ์ที่ใช้มี 3 ประเภท คือ

ก. ฟลักซ์ปิดคลุมผิวหน้า (Covering Fluxes) ทำหน้าที่ปกคลุมผิวหน้าของโลหะอะลูมิเนียมหลอมเหลวไว้ เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดออกไซด์ และการละลายของแก๊สไฮโดรเจน ฟลักซ์ชนิดนี้ จะต้องมีจุดหลอมตัวต่ำกว่าจุดหลอมตัวของอะลูมิเนียม

ข. ฟลักซ์ทำความสะอาด (Cleaning Fluxes) ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดออกไซด์ และช่วยให้ออกไซด์ และสิ่งเจือปนอื่นถูกจับติดกับฟลักซ์ ทำให้สามารถกำจัดออกไซด์ และกวาดสแล็กออกได้ง่าย

ค. ฟลักซ์ที่ลดการสูญเสียอะลูมิเนียมที่จะติดไปกับออกไซด์ (Drossing Off Fluxes) เป็นฟลักซ์ที่ทำหน้าที่ลดการสูญเสียอะลูมิเนียม ซึ่งส่วนใหญ่จะมีอะลูมิเนียมเป็นเม็ดเล็ก ๆ ปนอยู่กับออกไซด์ ทำให้ลดการสูญเสียโลหะอะลูมิเนียมไปกับฟลักซ์

2.3.4.4 การปรับปรุงสมบัติของโลหะอะลูมิเนียมขั้นสุดท้ายก่อนเทลงแบบหล่อ

อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีช่วงในการแข็งตัวกว้าง จึงมักจะทำให้เกรนที่มีขนาดโต ทำให้เสียสมบัติเชิงกล โดยเฉพาะตามบริเวณชิ้นงานที่มีความหนาหลายๆ ยิ่งแบบหล่อทำด้วยทรายยิ่งได้ขนาดของเกรนโตมากยิ่งขึ้น การปรับปรุงสมบัติขั้นสุดท้ายก่อนเทลงแบบ จึงต้องแก้ไขให้โลหะอะลูมิเนียมที่ได้มีขนาดเกรนที่เล็ก และสม่ำเสมอ (Equiaxed) การปรับปรุงมีหลักการที่สำคัญ 2 ประการ คือ

ก. การทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว (Rapid Cooling Rate) เป็นการลดช่วงของการเกิดการแข็งตัวให้สั้นที่สุด เพื่อไม่ให้โอกาสเกรนที่กำลังกำเนิดขึ้นมีการขยายตัว

ข. การผสมโลหะเพื่อช่วยลดขนาดของเกรน (Grain Refinement) จะไม่ทำให้ส่วนผสมของโลหะอะลูมิเนียมเปลี่ยนแปลงไป โลหะที่จัดเป็น Grain Refiner ได้แก่ ไทเทเนียม (Ti) โบรอน (B) หรือเซอร์โคเนียม (Zr) การผสมโลหะเหล่านี้จะกระทำก่อนการเทลงแบบหล่อ ซึ่งจะทำให้เกรนที่ได้มีความเล็กละเอียด และสม่ำเสมอ (มันส์, 2543)

ตารางที่ 2.5 ชนิดของโลหะที่หล่อ และอุณหภูมิการเทน้ำโลหะ

ชนิดของโลหะที่หล่อ	อุณหภูมิเท (องศาเซลเซียส)
อะลูมิเนียมผสม	650-750
บรอนซ์	1100-1250
ทองเหลือง	950-1100
เหล็กหล่อ	1250-1450
เหล็กเหนียวหล่อ	1500-1550

ที่มา : ทริส (2543)

2.3.5 สมบัติของทรายหล่อ

ทรายสำหรับทำแบบหล่อเพื่อใช้ในการหล่ออะลูมิเนียมผสมใช้ได้ทั้งทรายธรรมชาติ และทรายสังเคราะห์

2.3.5.1 ทรายธรรมชาติ

ก. สำหรับหล่ออะลูมิเนียมผสมทุกชนิดทรายหล่อควรมีส่วนผสม และสมบัติ ดังนี้

- ก.1 ทรายขนาดตาม A.F.S Fineness No. 130-200
- ก.2 ดินเหนียวร้อยละ 12-18
- ก.3 ความชื้น (น้ำ) ร้อยละ 5-7
- ก.4 อัตราลมผ่าน (ขณะชื้น) ร้อยละ 10-25
- ก.5 ทนแรงอัด (ขณะชื้น) 5-10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2.3.5.2 ทรายสังเคราะห์

ก. สำหรับอะลูมิเนียมผสมที่ต้องการผิวเรียบมากทรายหล่อควรมีส่วนผสม และสมบัติดังนี้

- ก.1 ทรายขาวขนาดตาม A.F.S Fineness No. 100-170
 - ก.2 เบนโทไนท์ร้อยละ 6-12
 - ก.3 ความชื้น (น้ำ) ร้อยละ 3-5
 - ก.4 อัตราลมผ่าน (ขณะชื้น) ร้อยละ 30-60
 - ก.5 ทนแรงอัด (ขณะชื้น) 6-9 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- ข. แต่ถ้าหากไม่ต้องการผิวเรียบมากควรใช้ส่วนผสม และสมบัติดังนี้
- ข.1 ทรายขาวขนาดตาม A.F.S Fineness No. 60-100
 - ข.2 เบนโทไนท์ร้อยละ 3-5
 - ข.3 ความชื้น (น้ำ) ร้อยละ 2-5
 - ข.4 อัตราลมผ่าน (ขณะชื้น) ร้อยละ 60-150
 - ข.5 ทนแรงอัด (ขณะชื้น) 7-10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2.3.6 วิธีการทดสอบสมบัติของทรายแบบ (Molding Sand Testing)

การทดสอบสมบัติของทรายแบ่งวิธีการทดสอบออกเป็นหลายวิธี เพื่อทดสอบหาสมบัติต่างๆ ของทรายแบบ การทดสอบที่จะอธิบายต่อไปนี้จะอาศัยหลักการทดสอบตามมาตรฐานของสมาคม A.F.S. (American Foundry's men Association) หรือ A.F.S. (American Foundry's men Society) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยม และแพร่หลายมาก

การเตรียมตัวอย่างทรายแบบ (Sample Preparation) ทรายแบบก่อนที่จะนำไปเข้าเครื่องทดสอบต้องมีการเตรียมตัวอย่างก่อน เพื่อผลที่ได้จากการทดลองจะได้สม่ำเสมอ และสามารถใช้เป็นตัวแทนที่ดีของทรายทั้งหมดได้ การผสมทรายแบบจะผสมด้วยเครื่องผสม (Sand Mixer) จนเข้ากันดีแล้วจึงนำมาเก็บไว้ในภาชนะปิดเพื่อการทดสอบ

2.3.6.1 การทดสอบหาปริมาณน้ำในทราย (Moisture Content)

ชั่งทรายให้ได้ น้ำหนัก 50 กรัม โดยสุ่มจากหลายๆ จุดในภาชนะที่บรรจุทราย และพยายามรักษาให้ทรายที่ตรวจอยู่ในสภาวะเดียวกันกับแหล่งที่มา จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ

120 องศาเซลเซียส ในเวลา 15 วินาที หลังจากเสร็จขั้นตอนนี้ นำทรายที่อบแล้วไปชั่ง เพื่อหาน้ำหนักที่หายไป จะได้ค่าของน้ำที่อยู่ในทรายออกมา

2.3.6.2 การวัดการปล่อยซิม

วัดช่องว่างระหว่างเม็ดทรายของแบบหล่อ เพื่อให้แก๊สจากแบบหล่อหรือน้ำโลหะซิมออกได้ในขณะเท การวัดการปล่อยซิมเป็นการตรวจว่าแก๊สจะซิมออกได้สะดวกเพียงใด

2.3.6.3 การทดสอบความแข็งแรงของทราย (Sand Strength Test)

นำตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบการโปร่งอากาศ (ตามมาตรฐาน A.F.S.) มาใส่ลงใน Block แกะทราย วางทรายตัวอย่างลงในที่สำหรับทดสอบความแข็งแรง ทรายตัวอย่างจะอยู่ระหว่างน้ำหนักเพนดูลัมที่ติดอยู่บนเฟลม และแขนตัวขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ติดแม่เหล็กไว้บนสเกล สำหรับอ่านค่าการทดสอบความแข็งแรงของทราย แม่เหล็กจะเคลื่อนที่ตามน้ำหนักของเพนดูลัม เปิดสวิทช์ให้แขนตัวขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เคลื่อนที่สูงจากแนวตั้ง จะทำให้มีแรงอัดระหว่างน้ำหนักเพนดูลัม ทรายตัวอย่าง และมอเตอร์ไฟฟ้าเกิดขึ้นจนทำให้ทรายแตก เมื่อทรายตัวอย่างถูกอัดจนแตกแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้าจะมีแท่งสวิทช์ สำหรับหยุดการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าจะไปแตะกับน้ำหนักเพนดูลัมที่ติดอยู่บนเฟลม ทำให้อัตราการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ไฟฟ้าหยุดการทำงาน ปิดสวิทช์ที่มอเตอร์ไฟฟ้าให้กลับมายังที่เดิม อ่านค่าตรงที่แม่เหล็กเคลื่อนที่ตามน้ำหนักเพนดูลัมค้างอยู่ โดยอ่านค่าได้โดยตรงมีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และนำค่าไปใส่ลงในรายงาน ถ้าเป็นการวัด Dry Strength จะต้องเอาทรายที่ทำเป็นตัวอย่างมาตรฐานไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำมาทดสอบความแข็งแรง

2.3.6.4 การวัดความละเอียดของเม็ดทราย (Fineness Test)

การวัดความละเอียดเป็นการวัดต่อจากการทดสอบหาปริมาณดินเหนียว คือ ทรายที่ได้จากการวัดหาปริมาณดินเหนียวจะนำมาทดสอบหาความละเอียดต่อไป จะใช้ตะแกรง 11 ชั้น แต่ละชั้นมีความละเอียดลดหลั่นกันตามลำดับ ตะแกรงชั้นแรกจะเป็นตะแกรงมีขนาด เมชัมเบอร์ 6 ชั้นที่ 2 เบอร์ 12, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140, 200 และ 270 ตามลำดับ วิธีการวัดความละเอียด เราเอาทรายที่จะวัดใส่ในตะแกรงชั้นบนสุด แล้วปิดให้สนิทให้เครื่องทำการเขย่าตะแกรงทั้ง 11 ชั้น เพื่อให้ทรายผ่านตะแกรงไปตามลำดับ ทรายละเอียดจะผ่านตะแกรงไปได้เรื่อย ๆ ส่วนทรายหยาบจะตกค้างอยู่ตามตะแกรงในชั้นต่างๆ ตามขนาดของเม็ดทรายใช้เวลาสั้นๆ 15 นาที จากนั้นเอาตะแกรงแต่ละชั้นออกมา นำทรายที่ติดอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นไปชั่งรวมทั้งทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 270 ที่ตกลงไปในถังล้างด้วยน้ำผลที่ได้ไปหาค่าความละเอียด ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างการหาค่า Fineness Number

นัมเบอร์ตะแกรง (Mesh Number)	ปริมาณทรายที่ค้างตาม ตะแกรง (Percent Retained)	ค่าคงที่ (Multiplier)	ผลคูณ (Product)
6	0	3	0
12	0	5	0
20	0	10	0
30	2.0	20	40

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) ตัวอย่างการหาค่า Fineness Number

นัมเบอร์ตะแกรง (Mesh Number)	ปริมาณทรายที่ค้างตาม ตะแกรง (Percent Retained)	ค่าคงที่ (Multiplier)	ผลคูณ (Product)
40	2.5	30	75
50	3.0	40	120
70	6.0	50	300
100	20.0	70	1400
140	32.0	100	3200
200	12.0	140	1680
270	9.0	200	1800
ถาดรองรับ (Pan)	4.0	300	1200
ผลรวม	90.5		9815

ที่มา : มนัส (2543)

$$\begin{aligned} \text{ค่าความละเอียด A.F.S.} &= \frac{\text{ผลรวมทั้งหมดของผลคูณ}}{\text{ผลรวมของปริมาณทรายที่ค้างตามตะแกรง}} & (2.1) \\ &= 9815/90.5 = 104 \end{aligned}$$

ค่าคงที่ (Multiplier) ของตะแกรงแต่ละชั้น คือ ค่าเมชนัมเบอร์ของตะแกรงที่อยู่ในชั้นบน ดังเช่น ค่าคงที่ของตะแกรงเบอร์ 12 ควรจะมีค่าเท่ากับ 6 และค่าคงที่ของตะแกรงเบอร์ 20 ควรจะมีค่าคงที่เท่ากับ 12 แต่ในทางปฏิบัติใช้ 5 กับ 10 เพื่อให้ผลคูณเป็นเลข 10 ลงตัว และเช่นเดียวกัน ค่าคงที่ของถาดรองรับ (Pan) แทนที่จะใช้ 270 จะใช้ 300 แทน

2.4 การแข็งตัวของโลหะ

เมื่อโลหะอยู่ในสภาวะหลอมเหลว อะตอมของธาตุหรือของโลหะจะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงความเร็วในการเคลื่อนที่ของอะตอมในโลหะหลอมเหลวจะช้าลง เนื่องจากจะเกิดการสูญเสียความร้อน และเมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิวิกฤติ (Critical Temperature) อนุภาคบางส่วนจะหยุดการเคลื่อนที่ที่เกิดแรงดึงดูดระหว่างอะตอมกลายเป็นของแข็งที่เรียกว่า นิวเคลียส และเมื่ออุณหภูมิลดลงอย่างต่อเนื่องเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโลหะเหลวมากขึ้น อนุภาคที่เกิดเป็นนิวเคลียสโตขึ้นหลายๆ กลุ่ม ภายในโลหะเหลว เริ่มมีการเติบโตของนิวเคลียส มีการแผ่กิ่งก้านออกเรียกว่า เดนไดรท์ และมีการขยายตัวของเดนไดรท์อย่างต่อเนื่อง จนการเติบโตของเดนไดรท์โตไปชนกับเดนไดรท์อื่นๆ จึงหยุดกระบวนการเติบโตของเดนไดรท์ เมื่อผลึกเดนไดรท์โตมาชนกันทุกกลุ่มก่อให้เกิดผลึกจำนวนมากซึ่งมีขนาด รูปร่าง และทิศทางการกระจายตัวแตกต่างกันเกิดเป็น รอยต่อระหว่างผลึกขึ้น เรียกว่า ขอบเกรน (Grain Boundary)

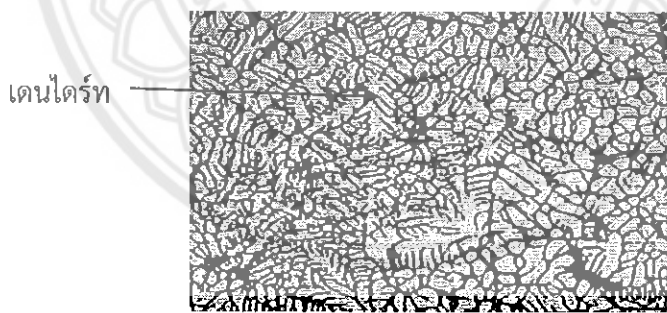
2.4.1 การแข็งตัวของชิ้นงานหล่อ

การแข็งตัวของชิ้นงานหล่อเริ่มจากส่วนของน้ำโลหะที่สัมผัสแบบหล่อเมื่อความร้อนจากน้ำโลหะถูกแบบหล่อดึงไป และโลหะตรงส่วนนั้นๆ เย็นลงจนถึงจุดแข็งตัว และจุดเริ่มต้นการกำเนิดผลึก (Crystal Nucleus) โตขึ้น ภายในของชิ้นงานหล่อก็จะเย็นลงด้วย แต่เย็นช้ากว่าภายนอก ผลึกจะขยายจากจุดเริ่มต้นซึ่งอยู่ริมนอกเข้าสู่ภายใน ทำให้ผลึกมีลักษณะเรียวยาว (Columnar) เรียกว่าโครงสร้างเรียงตัวเป็นแนวยาว (Columnar Structure) จะเกิดโครงสร้างประเภทนี้อย่างชัดเจนถ้ามีความแตกต่างในอุณหภูมิมากจากผิวถึงภายใน เช่น การหล่อที่ใช้แบบหล่อโลหะ การใช้แบบหล่อทรายจะทำให้มีความแตกต่างในอุณหภูมิน้อย ดังนั้นจะไม่เกิดโครงสร้างแนวยาวที่เห็นได้ชัด

บริเวณตรงกลางของชิ้นงานหล่อจะมีการเปลี่ยนแปลงในอุณหภูมิน้อย และจะเกิดเป็นผลึกรูปหลายเหลี่ยมที่ไม่แสดงการโน้มเอียงไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง

ในระหว่างที่น้ำโลหะกำลังเย็นตัว และบางส่วนของโลหะแข็งตัวไปแล้ว ถ้าเทโลหะที่ยังไม่แข็งตัวออก จะเห็นว่าผิวหน้าของส่วนที่แข็งตัวแล้วมีลักษณะแยกออกไปได้เป็นสองแบบ คือ แบบเรียบ และแบบขรุขระ ถ้าเป็นโลหะที่มีช่วงอุณหภูมิระหว่างการแข็งตัวแคบ (หมายถึงช่วงอุณหภูมิจากจุดเริ่ม และจุดสิ้นสุดการแข็งตัว) ผิวหน้าจะเรียบ ถ้าช่วงอุณหภูมิดังกล่าวกว้าง ผิวหน้าจะขรุขระ

นอกจากนั้นแบบหล่อที่เป็นโลหะจะทำให้เกิดผิวหน้าที่เรียบ และแบบหล่อทรายทำให้เกิดผิวหน้าที่ขรุขระ ในกรณีที่ช่วงอุณหภูมิการแข็งตัวกว้าง จะเกิดมีผลึกที่มีลักษณะเป็นกิ่งไม้ (Dendritic Crystals) เติบโตขึ้นจากจุดเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และในที่สุดการแข็งตัวจะสิ้นสุดลงเมื่อโครงสร้างกิ่งไม้มาบรรจบกัน



รูปที่ 2.6 โครงสร้างเดนไดรต์ที่เกิดจากงานหล่อ (Dendritic Structure)

ที่มา : หริส (2543)

การที่พบว่าผิวหน้าที่เหลือขรุขระหลังจากที่เทน้ำโลหะแล้วยังไม่ทันแข็งตัวนั้น เพราะว่าน้ำโลหะที่อยู่ระหว่างโครงสร้างรูปกิ่งไม้ไหลออกมา ทำให้เห็นโครงสร้างรูปกิ่งไม้ที่แข็งตัวแล้ว ผิวหน้าจึงดูขรุขระ บรอนซ์ และเหล็กหล่อมีช่วงอุณหภูมิการแข็งตัวกว้าง ดังนั้นผิวหน้าที่เห็นหลังจากแกะแบบออกจึงขรุขระ อะลูมิเนียมบริสุทธิ์แข็งตัวที่อุณหภูมิกึ่งที่ แต่ความร้อนแฝงที่ได้รับการปล่อยออกในระหว่างการแข็งตัวมีมากจนทำให้ผิวหน้าขรุขระ ทั้งนี้สำหรับการหล่อที่ใช้แบบทราย ส่วนเหล็กเหนียวหล่อนั้นมีคาร์บอนเป็นปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ (ร้อยละ 0.5-2.0) มีช่วงอุณหภูมิการแข็งตัวแคบ ดังนั้นผิวหน้าที่เหลือจากการเทจะเรียบ (หริส, 2543)

2.5 การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ

การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ เป็นการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะด้วยกล้องกำลังขยายสูง เพื่อขยายดูรูปร่าง ขนาดของเกรน และเฟสที่เกิด หรือสิ่งเจือปนที่อยู่ในเนื้อโลหะ หรือวัสดุ เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของกระบวนการผลิตโครงสร้างที่เกิดขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macroscopic) และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microscopic) ดังนี้

2.5.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macrostructure)

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค คือ การตรวจสอบด้วยตาเปล่า หรือใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 5 เท่า หรือที่กำลังขยายไม่เกิน 50 เท่า เป็นการตรวจสอบที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ใช้ตรวจสอบหารอยร้าว รูพรุน เพื่อใช้ประโยชน์ในทางมาโครแฟร็กโตกราฟี (Macro-Fractography) ในกรณีการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยใช้เลนส์ขยายส่องดูลักษณะรอยแตกหัก

2.5.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค คือ การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายสูง (20 เท่าขึ้นไปจนถึงกำลังขยายสูงสุดที่ 1000 เท่า) การตรวจสอบกรณีนี้ เป็นการตรวจสอบเพื่อหาประเภทของเกรน โครงสร้างจากงานหล่อ การเปลี่ยนแปลงรูปของวัสดุ รอยร้าวแบบต่างๆ รูอากาศ และสารฝังตัว แต่ในปัจจุบันนี้ มีการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคที่กำลังขยายสูงกว่า 1,000 เท่า โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) หรืออาจจะใช้เป็นกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope : TEM)

2.5.3 การเตรียมชิ้นงานเพื่อการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

2.5.3.1 การเตรียมขนาด และระนาบของชิ้นงาน (Sectioning)

การใช้เครื่องตัดชิ้นงาน (Abrasive Cutter) ใช้สำหรับการปรับชิ้นงานให้ได้ระนาบ และขนาดที่ต้องการ โดยที่โครงสร้างต้องเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ซึ่งทำได้โดยใช้น้ำหล่อเย็นระหว่างการตัด เพื่อทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากบริเวณชิ้นงานที่ถูกตัด และขจัดเอาเศษวัสดุ ออกจากร่องระหว่างชิ้นงานกับใบตัด การเลือกใบตัดนั้นจะขึ้นอยู่กับความแข็ง และความเหนียวของวัสดุ

2.5.3.2 การขัดหยาบ (Grinding)

สามารถทำได้โดยการเจียรนัย และกระดาษทรายขัดที่มีขนาดเบอร์ 50-180 ซึ่งเป็นการขัดส่วนเกินจากการตัดออกไป เช่น ครีบสนิม และผิวหยาบ จากนั้นนำไปขัดละเอียดด้วยกระดาษทรายขัดที่ทำด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยมีน้ำเป็นตัวหล่อลื่นบริเวณผิวหน้าชิ้นงาน และกระดาษขัดตลอดเวลาที่ทำการขัด โดยทำการขัดในทิศทางเดียวตลอดผิวชิ้นงาน เมื่อเปลี่ยนกระดาษทรายเบอร์ใหม่ ให้ทำการขัดในแนวตั้งฉากกับชิ้นงาน ทำแบบนี้จนถึงเบอร์สูงสุด

2.5.3.3 การขัดละเอียด (Fine Polishing)

เป็นวิธีการขัดผิวชิ้นงานให้มีความใส และเงามากขึ้น ด้วยการนำชิ้นงานมาขัดกับผ้าสักหลาด หรือผ้าโพลีเอสเตอร์ กับผงขัดอะลูมินา ที่มีความละเอียดตั้งแต่ 6-0.25 ไมโครเมตร

2.5.3.4 การกัดกรดผิวชิ้นงาน (Etching)

หลังจากที่ผ่านการขัดละเอียดแล้ว ต้องนำมาทำการกัดกรด คือ ให้ผิวชิ้นงานทำปฏิกิริยากับสารเคมี โดยการจุ่ม หรือแกว่งผิวชิ้นงานในระยะเวลาที่กำหนด หรืออาจจะใช้สำลีชุบสารละลายเคมีมาเช็ดที่ผิวก็ได้ แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาด และแอลกอฮอล์ แล้วเป่าให้แห้ง การกัดมี 2 ลักษณะ คือ การกัดขอบเกรน และการกัดผิวหน้าเกรน การเลือกชนิดของสารกัดกรด ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ และลักษณะการกัดผิวที่ต้องการ

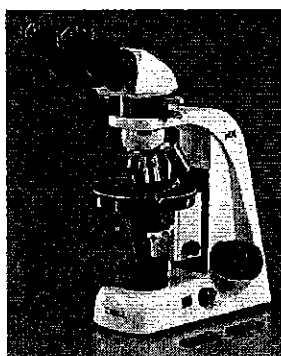
ตารางที่ 2.7 การเลือกใช้สารละลายของโลหะชนิดต่างๆ

Materials	Etchant	Composition		Remarks
Aluminium	Hydrofluoric acid	HF	0.5 ml	แกว่งไป-มา ประมาณ 15 วินาที
		H ₂ O	99.5 ml	
Aluminium alloys	Sodium Hydroxide	NaOH	1 ml	จุ่มแช่ ประมาณ 10-20 วินาที
		H ₂ O	99.5 ml	

ที่มา : สุขอังคณา (2553)

2.5.3.5 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (Optical Microscope : OM)

กล้องจุลทรรศน์แสง ใช้หลักการสะท้อนแสงของวัสดุ วัสดุที่ส่องดูต้องทึบแสง และจะตรวจโครงสร้างเฉพาะที่ผิวเท่านั้น ความแตกต่างของรูปที่ปรากฏมาจากความสามารถในการสะท้อนแสงของโครงสร้างที่ต่างกัน การตรวจสอบโครงสร้างโดยวิธีนี้ จะเรียกว่า Metallographic เลนส์ของกล้องจะมีกำลังขยายตั้งแต่ 1.5 เท่า ไปจนถึง 100 เท่า การใช้กล้องจุลทรรศน์ในการตรวจดูผิวหน้าชิ้นงาน และตรวจดูโครงสร้างของโลหะภายหลังจากที่ชิ้นงานผ่านการกัดกรดผิวชิ้นงานแล้ว โดยการตรวจสอบต้องเริ่มต้นจากมองที่เลนส์ใกล้ตา ใช้กำลังขยายต่ำก่อน แล้วปรับโฟกัสภาพให้ได้ภาพที่ชัดเจน จากนั้นจึงเปลี่ยนกำลังขยายใหญ่สูงขึ้น จะช่วยทำให้การปรับโฟกัสเป็นไปได้ง่ายมากขึ้น ภาพโครงสร้างที่มองเห็นผ่านเลนส์ตาจะมีกำลังขยายเท่ากับ กำลังขยายเลนส์ของกล้องจุลทรรศน์คูณกำลังขยายของเลนส์ตา ภาพโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานสามารถบันทึกไว้โดยการถ่ายภาพด้วยฟิล์มถ่ายภาพสี โดยที่กำลังขยายของภาพที่ถ่ายจะเท่ากับกำลังขยายเลนส์ของกล้องจุลทรรศน์คูณกำลังขยายของเลนส์ใกล้ตา รูปกล้องจุลทรรศน์แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กล้องจุลทรรศน์แสง

ที่มา : สุขอังคณา (2553)

2.6 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

ความแข็ง ถือว่าเป็นสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมอย่างหนึ่งของวัสดุ ที่สามารถนำมาประกอบการเลือกใช้งานทางวิศวกรรมได้อย่างเหมาะสม เช่น ใช้ในการพัฒนา และเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการผลิตแม่พิมพ์โลหะ หรือในกรณีของการเลือกใช้ใบมีด สำหรับตัดโลหะ และวัสดุต่างๆ

ความหมายของคำว่า ความแข็ง สามารถนิยามได้หลายหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับว่าใช้วิธีการใดในการตรวจสอบค่าความแข็ง การทดสอบความแข็งของวัสดุโดยทั่วไป สามารถเลือกใช้ได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับระดับความแข็งของวัสดุนั้นๆ ดังนั้นการวัดความแข็งของวัสดุกลุ่มโลหะจึงนิยมวัดโดยใช้วิธีการใช้หัวกด (Indenter) กดลงบนผิวโลหะ ซึ่งมีผลทำให้เกิดรอยกดลึกลงบนบริเวณที่กด เนื่องจากมีการแปรรูปถาวร เกิดขึ้น ถ้ากำหนดใช้แรงที่ใช้กดลงบนผิวโลหะมีค่าเท่ากันแล้ว วัสดุที่เกิดรอยกดลึกหรือกว้างมากเท่าไร แสดงว่ามีความต้านทานต่อแรงกดน้อยเท่านั้น หมายความว่า วัสดุชนิดนี้มีค่าความแข็งที่น้อยกว่าวัสดุที่เกิดรอยกดตื้น การวัดค่าความแข็งด้วยหัวกด (Indenter) นี้สามารถแบ่งออกได้เป็นบริเนล (Brinell), รอคเวล (Rockwell), และวิกเกอร์ (Vicker) ตามลักษณะของหัวกดที่ใช้ มีหลักการ และวิธีการทดสอบดังนี้

2.6.1 การทดสอบความแข็งแบบบริเนล (Brinell Hardness Test: HB)

การทดสอบความแข็งแบบบริเนลเป็นวิธีที่ใช้มาอย่างยาวนานที่สุด ซึ่งเป็นการทดสอบความแข็งแบบน้ำหนักคงที่ โดยแรงกดสำหรับการทดสอบจะอยู่ในช่วง 500-3000 กิโลกรัมแรง และลูกบอลเหล็กกล้าจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0-10 มิลลิเมตร โดยใช้ระบบเวลาในการกดประมาณ 10-15 วินาที สำหรับเหล็กหรือเหล็กกล้า และ 30 วินาที สำหรับโลหะนิ่ม เช่น ตะกั่ว ดีบุก เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโลหะมีความแข็งที่แตกต่างกัน หากโลหะที่ทดสอบนิ่ม และใช้แรงกดมาก จะมีผลทำให้ระยะที่หัวกดจมลงไปลึกมาก จนอาจเกินกว่าครึ่งลูก ซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณค่าความแข็งผิดพลาดได้ หรือหากเลือกแรงกดน้อยไป เมื่อเทียบกับขนาดของลูกบอลเหล็กกล้าก็จะทำให้การแปลผลทำได้ไม่แม่นยำเช่นกัน ดังนั้นการเลือกใช้แรงกด และขนาดลูกบอลจะแตกต่างกันไป ด้วย เพื่อป้องกันข้อบกพร่องที่จะพบได้ในการทดสอบด้วยวิธีนี้ เราสามารถพิจารณาได้จากอัตราส่วน P/D^2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.8 แสดงอัตราส่วนการใช้ค่าความแข็งแบบบริเนล

โลหะ	ค่าความแข็งโดยประมาณ (HB)	อัตราส่วน P/D^2
เหล็กกล้า และเหล็กหล่อ	มากกว่า 100	30
ทองแดง ทองแดงผสม อะลูมิเนียมผสม	30-200	10
อะลูมิเนียม	15-100	5
ดีบุก ดีบุกผสม ตะกั่ว ตะกั่วผสม	3-20	1

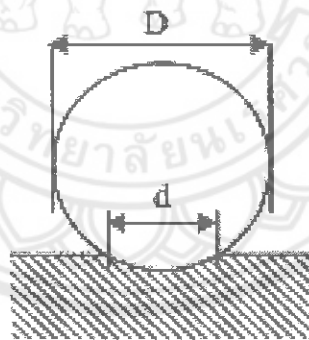
ที่มา : อนุวัฒน์ (2554)

สำหรับการทดสอบเหล็กกล้าชุบแข็ง หรือโลหะที่มีความแข็งสูงมากๆ จะไม่สามารถทดสอบด้วยลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งได้ จะต้องใช้ลูกบอลทังสเตนคาร์ไบด์ขนาด 2.45 มิลลิเมตร ซึ่งจะใช้สำหรับทดสอบวัสดุที่แข็งตั้งแต่ 444 ถึง 627 HB การทดสอบความแข็งแบบบริเนล จะนำ

ชิ้นงานทดสอบไปวางบนแท่นวางขึ้นทดสอบแล้วยกระดับแท่นวางขึ้นจนชิ้นงานทดสอบสัมผัสหัวกด จากนั้นใส่น้ำหนักกดโดยการปั้มน้ำมันเข้าไปในทรงกระบอกหลัก ซึ่งเลื่อน Piston หลักลง และกดหัวกดบอลเข้าไปในชิ้นงานทดสอบ ซึ่งเมื่อชิ้นงานทดสอบจะยึดพื้นผิวหัวกดไว้ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานจากความเสียดทานเล็กน้อย โดยจะใช้มาตรวัด Boutdon ในการแสดงน้ำหนักกดอย่างหยาบ เมื่อใส่น้ำหนักตามที่ต้องการตาชั่งน้ำหนักด้านบนของเครื่องจะยกตัวขึ้นโดยการกระทำของ Small Piston โดยต้องระวังอย่าให้น้ำหนักเกิดกับหัวกดมากเกินไป การทดสอบตามมาตรฐานการวัดขนาดของรอยกดจะใช้เครื่องวัดไมโครมิเตอร์ผ่านกล้องจุลภาค หรือกล้องจุลภาคบริเนล ซึ่งจะมีมาตรวัดโปร่งแสงปรากฏอยู่บนภาพรอยกดบริเนล ค่าความแข็งแบบบริเนลจะวัดเป็นแรงดันต่อหน่วยพื้นที่ ในหน่วยกิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตรของรอยกดที่เกิดขึ้นหลังน้ำหนักกดออก โดยการหารแรงที่กระทำด้วยพื้นที่รอยกดในรูปของพื้นที่ทรงกลม โดยนำค่าแรงที่กระทำ และเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกดแทนลงในสูตรที่ 2.2 ดังนี้

$$H_B = \frac{2L}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.2)$$

- เมื่อ H_B คือ ค่าความแข็งบริเนล (kg/mm^2)
- L คือ น้ำหนักกดที่กระทำ (kg)
- D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกด (mm)
- d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด (mm)



รูปที่ 2.8 แสดงภาพหัวกด และรอยกดในการทดสอบความแข็งบริเนล
ที่มา : อนุวัฒน์ (2554)

2.6.1.1 ข้อควรระวังสำหรับการวัดความแข็งด้วยวิธีนี้ได้แก่

ก. ผิวของชิ้นงานทดสอบต้องเรียบ เพื่อให้ได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกดที่แน่นอน และที่ผิวของชิ้นงานทดสอบต้องไม่มี Oxide Scale หรือสิ่งแปลกปลอม นอกจากนี้การเตรียมผิวต้องระวังอย่างมาก โดยหลีกเลี่ยงกรรมวิธีร้อน และกรรมวิธีเย็น

ข. ต้องระวังตำแหน่งการทดสอบโดยให้ระยะหัวกดอยู่ห่างจากขอบแต่ละด้านของชิ้นงานอย่างน้อย 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอล ระยะห่างของแต่ละรอยกดห่างกันอย่างน้อย 3 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอล และชิ้นงานต้องมีความหนาอย่างน้อย 8 เท่าของความลึกของการกด

1๖๑4๕732

๒๒๕

๕489 ๕

2554

ค. ควรวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด 2 ครั้งในแนวตั้งฉากกัน แล้วหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำไปคำนวณหาความแข็งต่อไป

การวัดความแข็งแบบบริเนลมีข้อดี คือ ในการกดหนึ่งครั้งจะครอบคลุมหลายๆ เฟสของชิ้นงาน ทำให้ได้ค่าความแข็งที่สม่ำเสมอ ซึ่งหากวัดด้วยวิธีที่ใช้หัวกดขนาดเล็กมาก อาจทำให้วัดได้เพียงเฟสเดียว ทำให้ค่าความแข็งที่ได้ ไม่ได้เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งของทั้งวัสดุนั้น แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ ชิ้นงานต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะวัดกับหัวกดได้ และไม่ควรวัดกับชิ้นงานที่มีรัศมีผิวโค้งน้อยกว่า 1 นิ้ว

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทวิชาติ เย็นวิเศษ และคณะ (2547) ได้ศึกษาผลของตัวแปรในกระบวนการทางความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการบ่มแข็ง ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล และโครงสร้างจุลภาคของ อะลูมิเนียมผสมซิลิคอนร้อยละ 7 โดยปริมาตร ที่ผลิตได้จากการนำกระป๋องเครื่องดื่มมาหลอม โดยนำไปเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมมาตรฐานชนิด A356 (อะลูมิเนียมผสมซิลิคอนร้อยละ 7 และแมกนีเซียมร้อยละ 0.3 โดยปริมาตร) ที่หล่อ และผ่านกระบวนการทางความร้อนสภาวะเดียวกัน ผลการทดสอบแรงดึง และความเหนียวของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนร้อยละ 7 โดยปริมาตร มีสมบัติดังก้าวด้อยกว่า A356 แต่มีความแข็งแรงสูงกว่า ทั้งนี้พฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล และโครงสร้างของอะลูมิเนียมทั้งสอง เมื่อนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนเป็นไปในลักษณะเดียวกัน

นเรศ โสภณทัต (2548) ได้ศึกษาอิทธิพลของฟลักซ์ที่มีผลต่อการหลอมอะลูมิเนียมรีไซเคิล กระป๋องเครื่องดื่ม ฟลักซ์ (Flux) ที่ทำการศึกษามีทั้งหมด 3 ชนิดได้แบ่งตามส่วนผสมทางเคมีอันได้แก่ $\text{NaCl}+\text{KCl}+\text{Na}_2\text{SiF}_6$, $\text{NaCl}+\text{KCl}+\text{NaF}$ และ $\text{NaCl}+\text{KCl}$ ขั้นตอนการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ในส่วนที่ 1 เป็นการวิเคราะห์หาจุดหลอมละลายของฟลักซ์ทั้ง 3 ชนิดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal Analysis) ผลการทดลองพบว่าจุดหลอมละลายของ ฟลักซ์ต่ำกว่าถึงใกล้เคียงกับจุดหลอมละลายของอะลูมิเนียมบริสุทธิ์คืออยู่ในระหว่าง 600-650 องศาเซลเซียส ส่วนที่ 2 เป็นการทดลองหาปริมาณของเนื้ออะลูมิเนียมคืนกลับของอะลูมิเนียมรีไซเคิลกระป๋องเครื่องดื่ม ด้วยเทคนิคการหลอมภายใต้ฟลักซ์ ผลการทดลองพบว่าฟลักซ์ที่ให้ปริมาณเนื้ออะลูมิเนียมคืนกลับที่ดีจากมากไปน้อยประกอบด้วย ฟลักซ์ที่มีส่วนผสมทางเคมี $\text{NaCl}+\text{KCl}+\text{Na}_2\text{SiF}_6$, $\text{NaCl}+\text{KCl}+\text{NaF}$ และ $\text{NaCl}+\text{KCl}$ ตามลำดับ ส่วนที่ 3 เป็นการวิเคราะห์ความสะอาดของอะลูมิเนียมรีไซเคิลกระป๋องเครื่องดื่ม ด้วย เทคนิคเคโมล (K-mold Technique) เพื่อหาปริมาณสิ่งปนเปื้อน (Inclusion) ที่เกิดขึ้นสังเกตได้จากรอยแตกหักของชิ้นงานที่ได้จากอะลูมิเนียมรีไซเคิล ผลการทดลองพบว่าสิ่งปนเปื้อนที่พบมีปริมาณน้อย และส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมทางเคมีของ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮเดรเจนคลอไรด์ โพตัสเซียม และไททาเนียม เป็นส่วนใหญ่

สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์ และ ศศิธร พิทักษ์ธำปณพงษ์ (2549) ได้ศึกษาน้ำโลหะในระหว่างการผลิตน้ำโลหะสำหรับงานหล่อ จะต้องระวังไว้เสมอ คือ จะต้องหลีกเลี่ยงการหลอมน้ำโลหะที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมละลายมาก อีกทั้งปริมาณการละลายของไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก และรวดเร็ว เมื่อระดับอุณหภูมิสูงมากขึ้น จากอุณหภูมิหลอมละลาย ดังนั้นการหลอมอะลูมิเนียมที่ระดับอุณหภูมิสูงมากๆ เช่นอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะทำให้โลหะมีตำหนิรูพรุนปรากฏขึ้น สิ่งเหล่านี้จัดเป็นสิ่งสำคัญมากในงานหล่อโลหะ ทั้งนี้เพราะการหลอมโลหะที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมละลายมากๆ เป็นระยะเวลาหลายๆ จะทำให้เนื้อโลหะที่ได้มีเกรนหยาบเนื้อโลหะมีสมบัติทางกล

ต่ำ นอกจากนี้การหลอมละลายโลหะที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานๆ จะมีผลทำให้น้ำโลหะละลายก๊าซชนิดต่างๆ ที่อยู่ในบรรยากาศเหนือน้ำโลหะในปริมาณมากขึ้น ทำให้มีปัญหาตำหนิชิ้นงานหล่อจากก๊าซได้ง่ายขึ้น พร้อมๆ กับการที่เนื้อโลหะสูญเสีย กลายเป็น Dross มากขึ้นตามไปด้วย ในการหลอมอุณหภูมิของน้ำโลหะอะลูมิเนียมไม่ควรสูงเกินกว่า 760 องศาเซลเซียส ยกเว้นกรณีที่ชิ้นงานหล่อบางมากๆ

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ (2551) ได้ศึกษาการป้องกันอะลูมิเนียมสามารถนำมารีไซเคิลได้ การรีไซเคิลอะลูมิเนียมมีประโยชน์มาก เนื่องจากใช้พลังงานน้อยกว่าการผลิตอะลูมิเนียมบริสุทธิ์จากอะลูมินามาก แต่การรีไซเคิลการป้องกันอะลูมิเนียมนั้นค่อนข้างยุ่งยากเพราะอะลูมิเนียมที่ใช้ทำตัวประกอบ และฝาครอบทำจากอะลูมิเนียมต่างชนิดกัน มีสมบัติที่ต่างกัน และมีองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันค่อนข้างมาก ตัวประกอบทำจากอะลูมิเนียมชนิด 3104-H19 หรือ 3004-H19 อะลูมิเนียมทั้งสองชนิดนี้จะมีส่วนผสมของแมกนีเซีย และแมกนีเซียมอยู่อย่างละประมาณร้อยละ 1 ส่วนฝาครอบนั้นทำจากอะลูมิเนียมชนิด 5182-H48

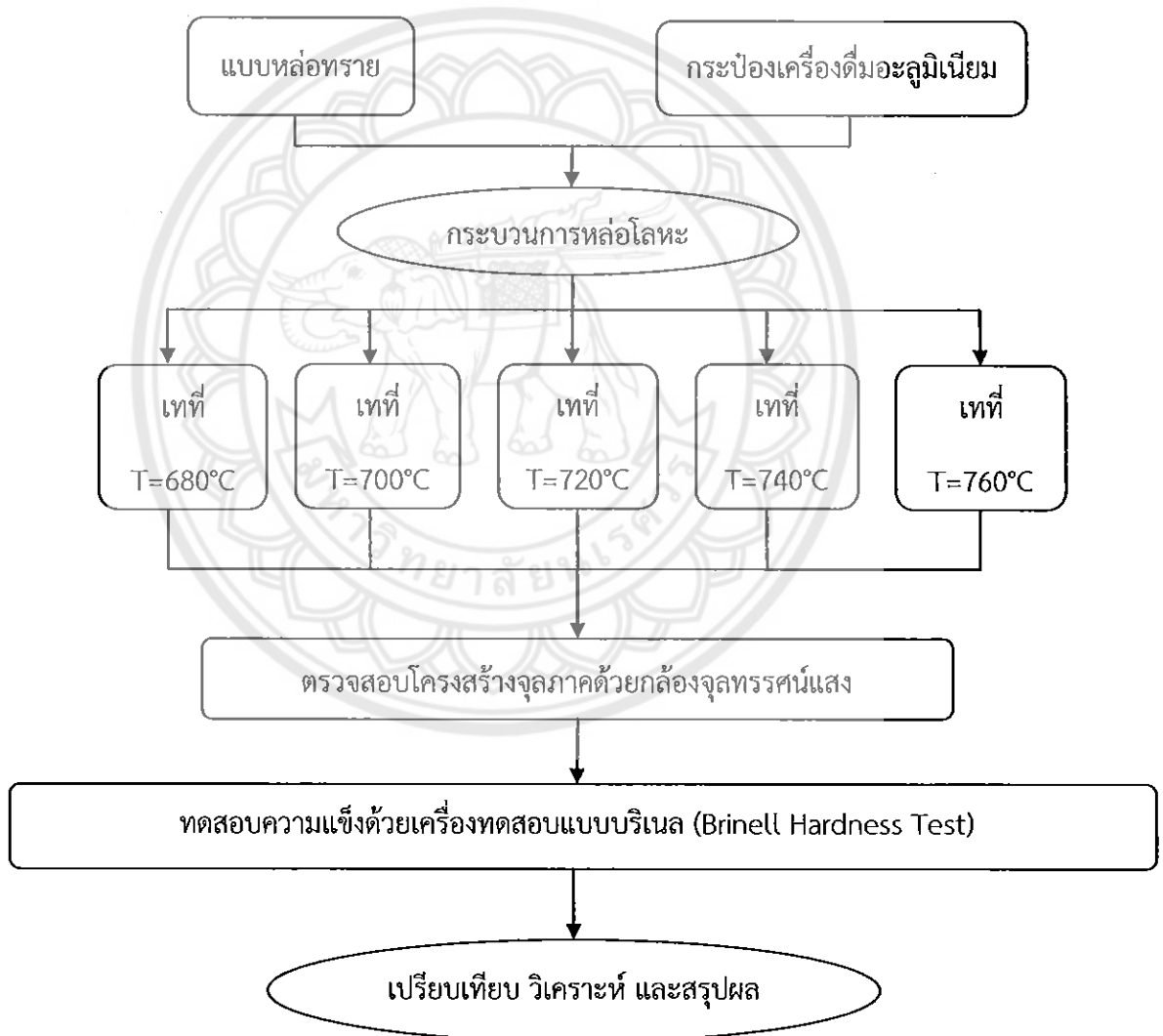
การรีไซเคิลการป้องกันอะลูมิเนียมทำได้ 2 วิธี วิธีแรกจะทำการแยกตัว และฝาครอบออกจากกันก่อน แล้วนำอะลูมิเนียมทั้ง 2 ชนิดไปทำการหลอม หล่อ และรีดเป็นวัสดุชุดใหม่ต่อไป ส่วนอีกวิธีหนึ่ง คือ การหลอมการป้องกันโดยตรง โดยในขณะที่ทำการหลอมจะผ่านแก๊สคลอรีนเข้าไปทำปฏิกิริยากับธาตุแมกนีเซียมเกิดเป็นคลอไรด์ ซึ่งเป็นการกำจัดส่วนผสมตัวหนึ่งของฝาครอบ ส่วนของเหลวที่เหลือจะได้รับการปรับแต่งส่วนผสมให้เป็นอะลูมิเนียมชนิดเดียวกับที่เป็นตัวประกอบต่อไป

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ

สำหรับวิธีการดำเนินงานวิจัยนี้ เป็นการกล่าวถึงขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงการ วัสดุที่ใช้ อุปกรณ์ในการทำโครงการ และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงการ

ในการศึกษาอุณหภูมิเทที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาค และความแข็งของฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียม ที่ผ่านกระบวนการหล่อในแบบทรายขึ้น มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.2 วัสดุ และอุปกรณ์

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

ฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมที่ไม่ใช้แล้วนำมาหลอมละลาย และเทน้ำโลหะหลอมเหลวลงในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิ 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส

องค์ประกอบธาตุของฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมที่ใช้ในการหล่อ ทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง Optical Emission Spectrometer ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมของฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมตรวจวัดโดยเครื่อง Optical Emission Spectrometer

ธาตุ	Al	Mg	Si	Fe	Mn	Cu	Zn	Ti
% wt	Balance	5.34	0.22	0.71	0.52	0.066	0.038	0.024

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.2.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมแบบหล่อทราย

- ก. ทราย
- ข. ทัพหล่อ
- ค. ตะแกรงร่อนทราย
- ง. เครื่องวัดความชื้น
- จ. เบ้าหลอม
- ฉ. ฝากระป๋อง
- ช. เทอร์โมคัปเปิล

3.2.2.2 อุปกรณ์ในการเตรียมชิ้นงาน

- ก. เครื่องตัดชิ้นงาน
- ข. เครื่องขัดชิ้นงาน
- ค. กระดาษทราย เบอร์ 180, 240, 320, 600, 800, และ 1000
- ง. ผ้าสักหลาด และผงขัดอะลูมินา (Alumina) ความละเอียดขนาด 1

ไมโครเมตร

3.2.2.3 สารเคมี

- ก. เมทานอล (Methanol)
- ข. กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric Acid)
- ค. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid)
- ง. กรดไนตริก (Nitric Acid)

3.2.2.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

- ก. กล้องจุลทรรศน์แสง (Optical Microscope : OM)
- ข. เครื่องทดสอบความแข็งแบบบริเนล (Brinell Hardness)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.3.1 ขั้นตอนการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

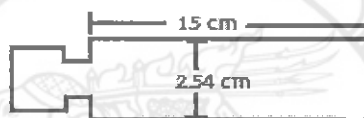
- 3.3.1.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับกระป๋องเครื่องตีอะลูมิเนียม
- 3.3.1.2 ศึกษากระบวนการหล่อด้วยแบบทรายขึ้น (Green Sand Casting)
- 3.3.1.3 ศึกษาอุณหภูมิการหล่อโลหะ และอุณหภูมิเทของอะลูมิเนียม

3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

3.3.2.1 เตรียมวัตถุดิบโดยนำกระป๋องเครื่องตีอะลูมิเนียม เลือกใช้ส่วนฝากระป๋อง เครื่องตีมาทำการหลอมลงในเบ้าหลอม

3.3.2.2 การเตรียมแบบหล่อ (Pattern)

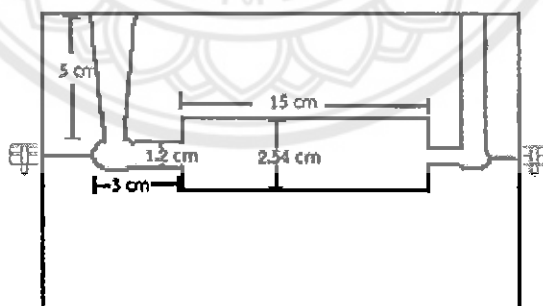
คือ ชิ้นงานต้นแบบทำจากเหล็ก เพื่อใช้ฝังลงไปในทราย เมื่อทรายถูกอัดแน่นจนเต็มจะนำเอาแบบหล่อออกจากทรายแบบ จะทำให้เกิดโพรงอากาศภายในทึบ โดยแบบหล่อมี่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แบบหล่อ (Pattern)

3.3.2.3 ขนาดเม็ดทราย 60-100 A.F.S และความชื้นร้อยละ 2-5

3.3.2.4 เตรียมแบบหล่อทรายขึ้น โดยกำหนดขนาดชิ้นงานเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะชิ้นงานในแบบหล่อ

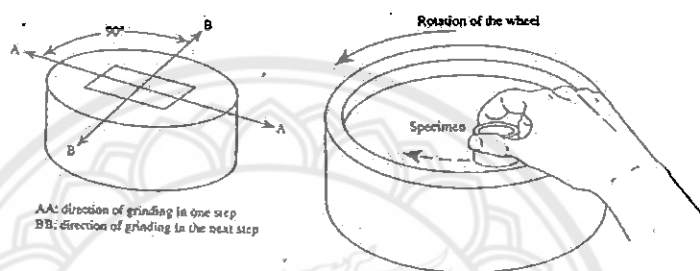
3.3.2.5 นำฝากระป๋องมาทำการหลอมในเบ้าหลอม

3.3.2.6 วัดอุณหภูมินำโลหะด้วย เทอร์โมคัปเบิล ให้ได้อุณหภูมิเทที่กำหนด

3.3.2.7 นำน้ำโลหะที่ได้มาเทลงในแบบหล่อทรายที่เตรียมไว้ โดยเทน้ำโลหะในอุณหภูมิเทที่ต่างกัน คือ 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่เป็นแท่งทรงกระบอก

3.3.3 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค

3.3.3.1 เตรียมชิ้นงานที่ได้จากการหล่อ มาทำการตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน จากนั้นนำไปทำการขัดหยาบด้วยเครื่องขัดหยาบ โดยเริ่มขัดด้วยกระดาษทรายจากเบอร์ 180, 240, 320, 600, 800 และ 1000 ตามลำดับ ในระหว่างการขัดนั้น จำเป็นต้องเปิดน้ำที่เครื่องขัดด้วย เพื่อเป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างกระดาษทราย และชิ้นงานที่นำมาขัด และยังช่วยชะล้างเศษโลหะที่ถูกกระดาษทรายขัดออกมาให้หลุดออกไปจากบริเวณการขัดด้วย โดยการขัดจะทำการขัดในแนวเดียวกันตลอดชิ้นงาน แล้วเปลี่ยนกระดาษทรายเบอร์ที่ละเอียดมากขึ้น จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนแนวขัด โดยให้ตั้งฉากกับแนวขัดเดิม ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายเบอร์ละเอียดสูงสุดคือ 1000



รูปที่ 3.4 ทิศทางการขัดที่เหมาะสม

ที่มา : สุขอังคณา (2553)

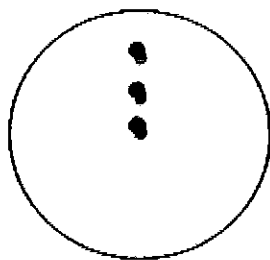
3.3.3.2 นำชิ้นงานที่ผ่านการขัดหยาบแล้วมาทำการขัดละเอียดด้วยผ้าสักหลาด และผงอะลูมินา หรืออะลูมิเนียมออกไซด์ เพื่อให้ผิวชิ้นงานเรียบไร้รอยขีดข่วน ขณะที่ขัดชิ้นงานจะมีการฉีดน้ำอะลูมินาขนาด 1 ไมครอน ลงบนผ้าสักหลาด แล้วทำการขัดเบาๆ จนผิวชิ้นงานเรียบ ไสและเป็นเงา จากนั้นทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำสะอาด ทำการเป่าชิ้นงานให้แห้ง ก่อนนำไปทำขั้นตอนต่อไป

3.3.3.3 นำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการขัดละเอียดแล้ว มาทำการกัดกรดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 20 วินาที จากนั้นนำชิ้นงานมาล้างด้วยน้ำสะอาด และเป่าให้แห้ง ก่อนนำชิ้นงานไปทำการตรวจสอบโครงสร้าง

3.3.3.4 นำชิ้นงานที่ได้จากการกัดกรดมาทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (Optical Microscope : OM) เพื่อทำการเปรียบเทียบขนาด รูปร่าง และวิเคราะห้โครงสร้างจุลภาคของโครงสร้างชิ้นงานที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

3.3.4 การทดสอบความแข็ง

นำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแล้ว ทำการวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องบริเนล ซึ่งจะคำนวณค่าความแข็งได้จากเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกด โดยใช้หัวกดบอลเหล็กกล้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร น้ำหนักทดสอบ 187.5 กิโลกรัมแรง กดลงบนชิ้นงาน 3 จุด จุดละ 15 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงจุดบนชิ้นงานที่ใช้วัดความแข็ง

3.3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบชิ้นงาน

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ เปรียบเทียบผลของโครงสร้างจุลภาค และความแข็ง ทำการสรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มรายงานผลการทดลอง



บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง ของชิ้นงานฝากระป๋องอะลูมิเนียม ที่ผ่านการหล่อโลหะด้วยแบบหล่อทรายขึ้น ซึ่งจะประกอบไปด้วยการเปรียบเทียบรูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน ผลการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคที่ผ่านกระบวนการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส และความแข็งของชิ้นงาน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 รูพรุน

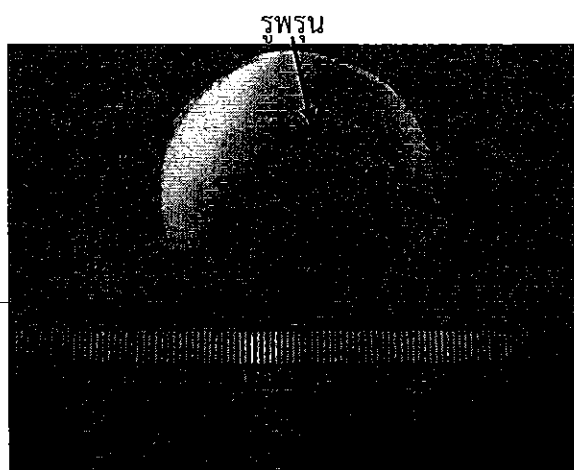
รูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานหล่อ จะมีผลต่อสมบัติทางกลเป็นอย่างมาก ดังนั้นการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคในเบื้องต้นจะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์รูพรุนของชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส

4.1.1 เปรียบเทียบรูพรุนของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส

จากการศึกษารูพรุนของชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมผสมจากฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียม ในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส พบว่าในชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส มีรูพรุนอยู่ภายในชิ้นงานมากที่สุดเนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด เมื่อเทอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่ 700 และ 720 องศาเซลเซียส รูพรุนที่พบมีแนวโน้มลดลง และที่อุณหภูมิเท 740 และ 760 องศาเซลเซียส ไม่พบรูพรุนเกิดขึ้นในชิ้นงานเนื่องจากมีอุณหภูมิที่สูง จึงมีระยะเวลาในการแข็งตัวของน้ำโลหะหลอมเหลวมากพอที่จะทำให้แก๊สหรืออากาศที่อยู่ภายในเนื้อชิ้นงานระหว่างการหล่อระบายออกสู่ภายนอกได้ทัน ทำให้ไม่พบรูพรุนเกิดขึ้นในชิ้นงานหล่อที่อุณหภูมิสูง ซึ่งรายละเอียดของรูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน ที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส แสดงดังต่อไปนี้

4.1.1.1 รูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน ที่ผ่านกระบวนการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส

จากการศึกษารูพรุนในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์ด้วยตาเปล่า พบว่าชิ้นงานมีรูพรุนเกิดขึ้นมาก รูพรุนที่เกิดขึ้น เกิดจากการที่เทน้ำโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำ หรือเกิดจากแก๊ส หรืออากาศถูกกักในเนื้อชิ้นงานระหว่างหล่อขึ้นงานมากเกินไป (John, 2540) เมื่อน้ำโลหะเย็นตัว แก๊ส หรืออากาศเหล่านี้ไม่สามารถระบายออกไปภายนอกได้ ทำให้เกิดรูพรุนขึ้น ซึ่งแนวโน้มของรูพรุนจะลดลงเมื่อทำการเทน้ำโลหะที่อุณหภูมิสูงขึ้น รูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียสแสดงในรูป 4.1



รูปที่ 4.1 รูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส

4.1.1.2 รูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน ที่ผ่านกระบวนการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียส

จากการศึกษารูพรุนในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์ด้วยตาเปล่า พบว่าชิ้นงานมีรูพรุนเกิดขึ้นมาก แต่จะลดลงเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส รูพรุนที่พบ จะพบในบริเวณตรงกลางของชิ้นงานมากกว่าบริเวณขอบของชิ้นงาน เนื่องจากบริเวณขอบของชิ้นงานมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าบริเวณตรงกลางของชิ้นงาน บริเวณขอบของชิ้นงานจึงเกิดการแข็งตัวเร็วกว่าบริเวณตรงกลางของชิ้นงาน ทำให้อากาศที่อยู่ภายในบริเวณตรงกลางของชิ้นงานไม่สามารถระบายออกสู่ภายนอกได้ทัน จึงทำให้พบรูพรุนเกิดขึ้นบริเวณตรงกลางของชิ้นงาน รูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูป 4.2



รูปที่ 4.2 รูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียส

4.1.1.3 รูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน ที่ผ่านกระบวนการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียส

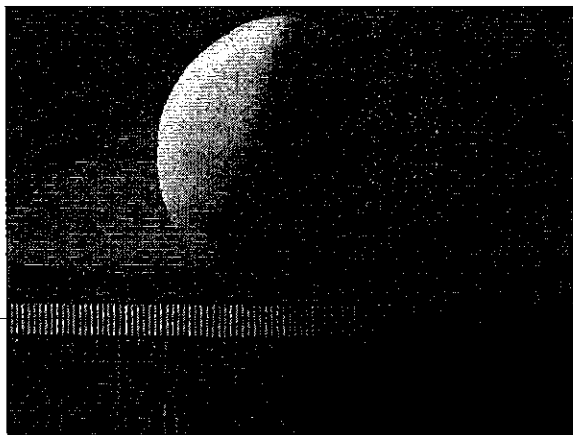
รูพรุนในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียส จะมีรูพรุนที่เกิดขึ้นลดลงจากชิ้นงานที่อุณหภูมิ 680 และ 700 องศาเซลเซียส แต่ยังคงปรากฏพบรูพรุนอยู่บริเวณตรงกลางของชิ้นงานคล้ายกับชิ้นงานที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส แต่จะพบว่ารูพรุนที่เกิดขึ้นน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และบริเวณขอบของชิ้นงานไม่พบรูพรุนเกิดขึ้น รูพรุนที่เกิดขึ้นในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียสดังแสดงในรูป 4.3



รูปที่ 4.3 รูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียส

4.1.1.4 รูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน ที่ผ่านกระบวนการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 740 องศาเซลเซียส

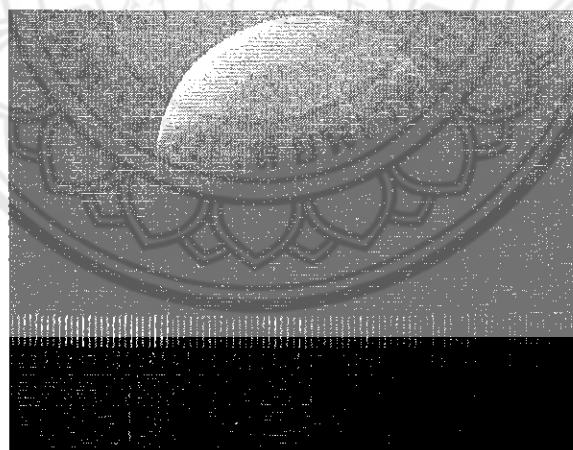
จากการศึกษารูพรุนในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 740 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์ด้วยตาเปล่า ไม่พบรูพรุนเกิดขึ้นในชิ้นงาน เนื่องจากช่วงการเย็นตัวของเหลวไปเป็นของแข็งมีช่วงที่กว้างกว่าที่อุณหภูมิ 680, 700 และ 720 องศาเซลเซียส ทำให้แก๊ส หรืออากาศที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานสามารถระบายออกสู่ภายนอกของชิ้นงานได้หมดก่อนที่โลหะหลอมเหลวจะเย็นตัวลงเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งทั้งหมด ส่งผลทำให้ชิ้นงานไม่เกิดรูพรุน ซึ่งที่อุณหภูมิที่สูงกว่าที่อุณหภูมิ 740 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มที่จะไม่พบรูพรุนเกิดขึ้นในชิ้นงานด้วยเช่นกัน ชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 740 องศาเซลเซียสดังแสดงในรูป 4.4



รูปที่ 4.4 ชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 740 องศาเซลเซียส

4.1.1.5 รูปพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน ที่ผ่านกระบวนการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 760 องศาเซลเซียส

จากการศึกษารูปพรุนในชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 760 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์ด้วยตาเปล่า ดังแสดงในรูป 4.5 ไม่พบรูปพรุนเกิดขึ้นในชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 760 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 740 องศาเซลเซียส เพราะที่อุณหภูมิสูงมีช่วงระยะเวลาในการแข็งตัวของน้ำโลหะที่ช้า ทำให้แก๊ส หรืออากาศที่อยู่ภายในชิ้นงานระบายออกสู่ภายนอกได้ทัน จึงไม่พบรูปพรุนเกิดขึ้นภายในชิ้นงาน



รูปที่ 4.5 ชิ้นงานที่ผ่านการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 760 องศาเซลเซียส

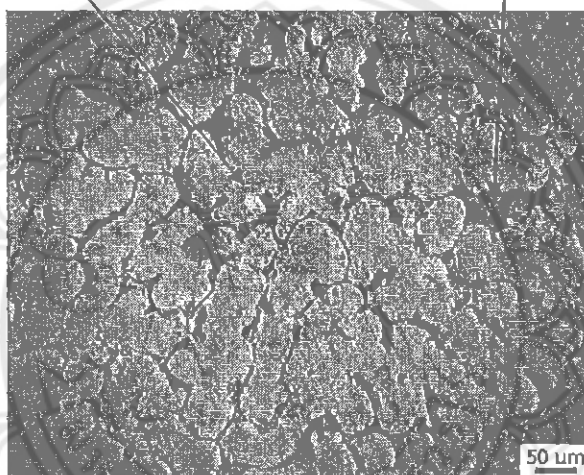
4.2 โครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ มีผลต่อทางกลของชิ้นงานหล่อเป็นอย่างมาก ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงตรวจสอบ และวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ ที่ผ่านกระบวนการหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส

4.2.1 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมผสมจากฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียม ในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส พบว่าโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วย เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ (Primary α -Al) และเฟสยูเทคติกอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม (Eutectic Al-Mg) ในทุกอุณหภูมิเท โดยเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ ที่พบจะมีลักษณะเกรนเป็นเดนไดรต์ในทุกอุณหภูมิเทเช่นเดียวกัน และมีเฟสยูเทคติกอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม เกิดขึ้นระหว่างแขนของเดนไดรต์ รูปโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมผสมจากฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมแสดงดังรูป 4.6

เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ เฟสยูเทคติกอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม

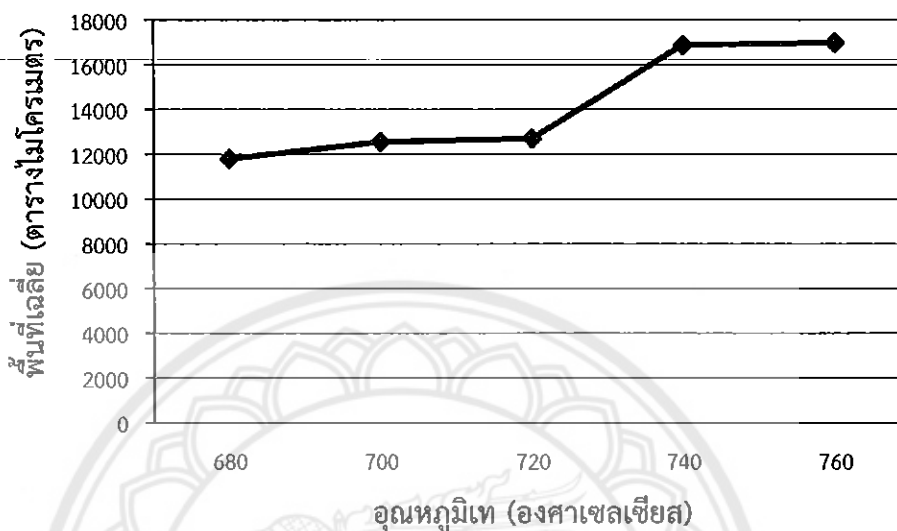


รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมผสมจากฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียม ในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 100 เท่า

4.2.2 เปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาพื้นที่เฉลี่ยของโครงสร้างจุลภาคที่เป็นเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ ของชิ้นงานฝากระป๋องอะลูมิเนียม ที่ผ่านการหล่อโลหะแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส พบว่าเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมามีพื้นที่เฉลี่ย 11795.30, 12558.48, 12696.09, 16878.15 และ 16994.96 ตารางไมโครเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูป 4.7 จะเห็นว่าชิ้นงานที่ผ่านการหล่อโลหะแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส มีพื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิเล็กที่สุด 11795.30 ตารางไมโครเมตร เนื่องจากชิ้นงานนี้มีอุณหภูมิเทที่ต่ำที่สุด ทำให้โลหะหลอมเหลวเย็นตัวได้เร็ว ส่งผลให้เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมามีขนาดเล็ก และละเอียด ส่วนชิ้นงานที่ 700 และ 720 องศาเซลเซียส มีพื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิใหญ่ขึ้นตามลำดับ และที่อุณหภูมิเท 740 และ 760 องศาเซลเซียส มีพื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่อุณหภูมิเท 760 องศาเซลเซียส มีพื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมามากที่สุด 16994.96 ตารางไมโครเมตร ที่

อุณหภูมิเท 740 และ 760 องศาเซลเซียส มีพื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐุมภูมิใหญ่กว่า
 ชิ้นงานที่อุณหภูมิเท 680, 700 และ 720 องศาเซลเซียสมาก เนื่องจากโลหะหลอมเหลวมีอุณหภูมิเท
 สูง ส่งผลให้โลหะหลอมเหลวมีอัตราการเย็นตัวต่ำ เกิดเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐุมภูมิในปริมาณที่น้อย
 และมีพื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐุมภูมิที่ใหญ่

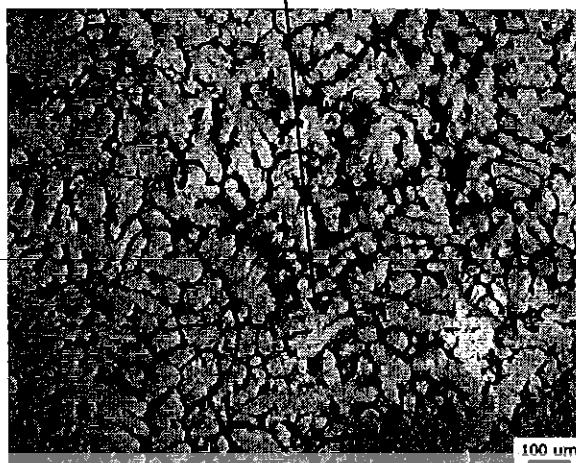


รูปที่ 4.7 พื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐุมภูมิของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการหล่อ
 แบบทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740, และ 760 องศาเซลเซียส

4.2.2.1 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาพื้นที่เฉลี่ยของโครงสร้างจุลภาคที่เป็นเฟสอัลฟา-
 อะลูมิเนียมปฐุมภูมิ พบว่าเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐุมภูมิ ของการหล่อโลหะในแบบหล่อทรายขึ้นที่
 อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส มีพื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐุมภูมิเท่ากับ 11795.30
 ตารางไมโครเมตร ซึ่งเป็นขนาดเล็ก และละเอียดที่สุดเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิเทอื่น เนื่องจากว่าที่
 อุณหภูมิเทต่ำน้ำโลหะหลอมเหลวมีการเย็นตัวที่รวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิเทสูงจึงทำให้เฟสอัลฟา-
 อะลูมิเนียมปฐุมมีขนาดเล็ก และละเอียดกว่าที่อุณหภูมิเทที่สูงกว่า และเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐุมภูมิ
 นี้จะมีลักษณะเป็นเดนไดรท์ โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680
 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูป 4.8

เดนไดรต์

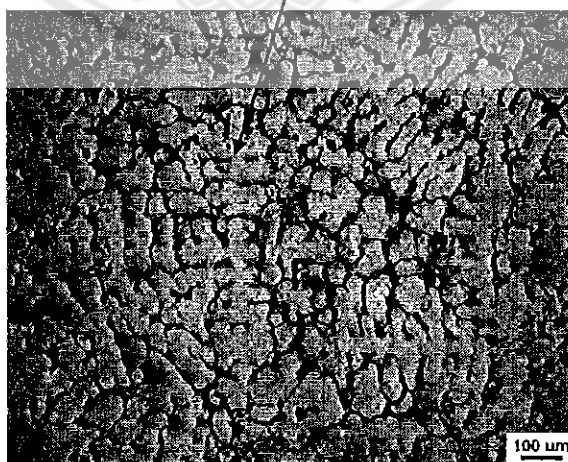


รูปที่ 4.8 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 50 เท่า

4.2.2.2 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาพื้นที่เฉลี่ยของโครงสร้างจุลภาคที่เป็นเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ พบว่าเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ ของการหล่อโลหะในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียส มีพื้นที่เฉลี่ยเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิเท่ากับ 12558.48 ตารางไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส และยังมีแนวโน้มที่จะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นเมื่อทำการเทที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ยังพบว่าเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมินี้มีลักษณะโครงสร้างเป็นเดนไดรต์เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูป 4.9

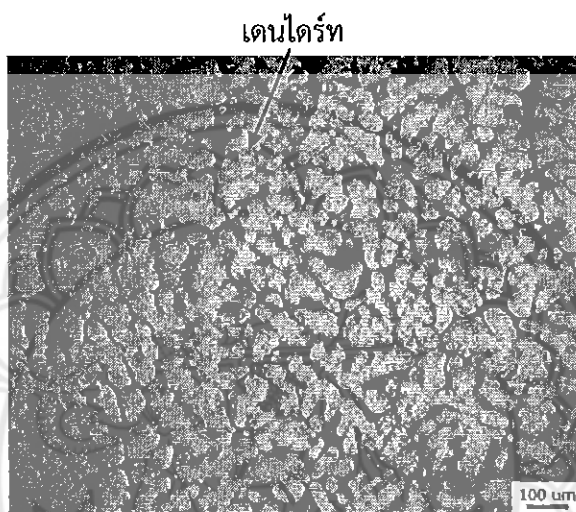
เดนไดรต์



รูปที่ 4.9 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 50 เท่า

4.2.2.3 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาพื้นที่เฉลี่ยของโครงสร้างจุลภาคที่เป็นเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ พบว่าเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ ของการหล่อโลหะในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส มีพื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ เท่ากับ 12696.09 ตารางไมโครเมตร และเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับที่อุณหภูมิเท 680 และ 700 องศาเซลเซียส คือ พบโครงสร้างเป็นเดนไดรต์ แต่จะมีขนาดเกรนที่ใหญ่กว่า โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูป 4.10

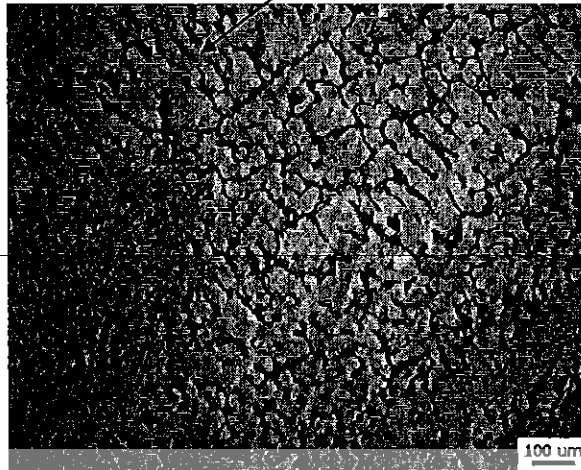


รูปที่ 4.10 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 50 เท่า

4.2.2.4 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 740 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาพื้นที่เฉลี่ยของโครงสร้างจุลภาคที่เป็นเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ พบว่าเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ ของการหล่อโลหะในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 740 องศาเซลเซียส มีพื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิเท่ากับ 16878.15 ตารางไมโครเมตร เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิที่พบจะมีขนาดใหญ่ และเดนไดรต์จะมีความยาวมากกว่าที่อุณหภูมิเท 680, 700 และ 720 องศาเซลเซียสมาก เนื่องจากที่อุณหภูมิเทสูงนี้จะมีระยะเวลาในการเย็นตัวของน้ำโลหะหลอมเหลวที่ช้า ซึ่งเดนไดรต์จะเจริญเติบโตไปพร้อมๆ กับการเย็นตัวของน้ำโลหะจนกระทั่งน้ำโลหะหลอมเหลวแข็งตัวหมดเดนไดรต์จึงหยุดการเจริญเติบโต เมื่อมีระยะเวลาในการเย็นตัวของน้ำโลหะมากพอเดนไดรต์จึงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ และเกรนที่ได้จึงมีขนาดใหญ่ โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 740 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูป 4.11

เดนไดรต์

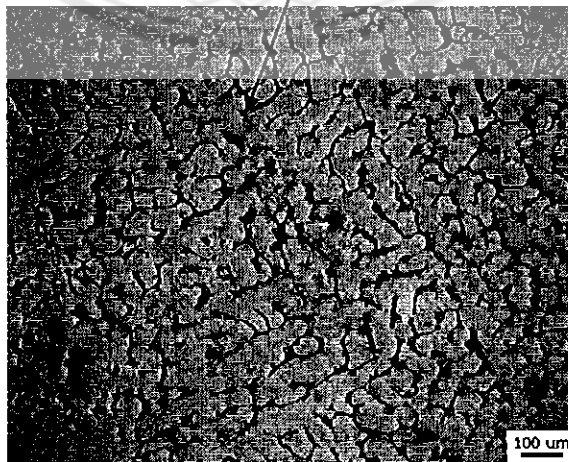


รูปที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 740 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 50 เท่า

4.2.2.5 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 760 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาพื้นที่เฉลี่ยของโครงสร้างจุลภาคที่เป็นเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ พบว่าเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ ของการหล่อโลหะในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 760 องศาเซลเซียส มีพื้นที่เฉลี่ยของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิเท่ากับ 16993.96 ตารางไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิเท 740 องศาเซลเซียส แต่จะมีขนาดที่ใหญ่กว่า และโครงสร้างของเฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิจะเป็นเดนไดรต์ที่มีลักษณะยาว และเกรนมีขนาดใหญ่เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิเท 740 องศาเซลเซียส โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 760 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูป 4.12

เดนไดรต์

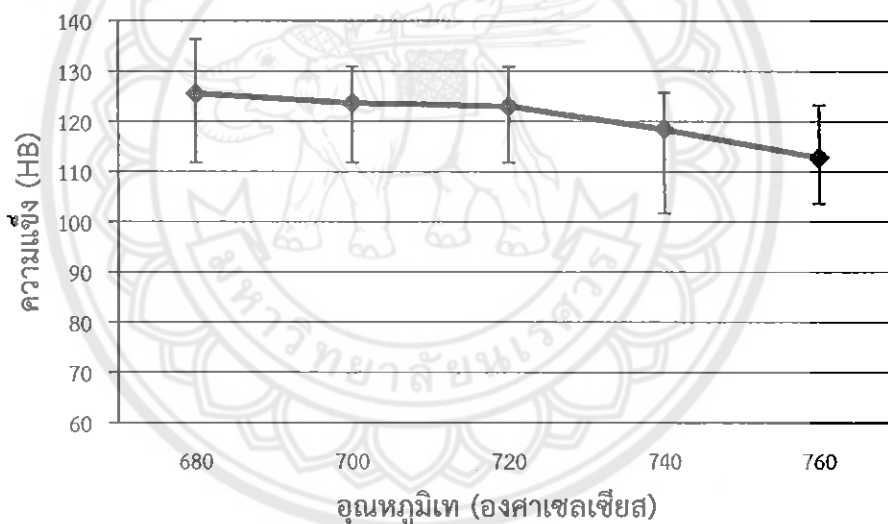


รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อในแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิเท 760 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 50 เท่า

4.3 ความแข็ง

4.3.1 เปรียบเทียบความแข็งของชิ้นงานในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิ 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส

จากการตรวจวัดความแข็งของชิ้นงานฝากระป๋องอะลูมิเนียม ที่ผ่านการหล่อโลหะแบบหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส โดยนำไปทดสอบความแข็งแบบบริเนล พบว่าชิ้นงานในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิ 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งเฉลี่ยทั้งชิ้นงาน ที่ 125.56 HB, 123.65 HB, 123.02 HB, 118.45 HB และ 112.77 HB ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งของชิ้นงานที่อุณหภูมิที่ 680 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งสูงสุด 125.56 HB เนื่องจากมีอัตราการเย็นตัวที่เร็วกว่าอุณหภูมิที่ 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส เพราะอัตราการเย็นตัวที่เร็วนี้ส่งผลให้เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิที่เกิดขึ้นมีขนาดเกรนที่เล็ก จึงทำให้ชิ้นงานมีค่าความแข็งสูงสุดที่อุณหภูมิ 700, 720 และ 740 องศาเซลเซียส จะมีความแข็งลดลงตามลำดับ และที่อุณหภูมิที่ 760 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งน้อยที่สุด 112.77 HB เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่สูง ทำให้มีอัตราการเย็นตัวที่ช้า ส่งผลให้เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่



รูปที่ 4.13 ค่าความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้นที่อุณหภูมิ 680, 700, 720, 740, และ 760 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสรุปผลโครงการวิจัย ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไขปัญหา ของโครงการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 บทสรุป

โครงสร้างจุลภาค และความแข็งแรงของชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมผสมจากฝากระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมในแบบหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิเท 680, 700, 720, 740 และ 760 องศาเซลเซียส โครงสร้างที่เกิดขึ้นจะมีองค์ประกอบสองส่วน คือ เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐม มีลักษณะเป็นเดนไดรต์ และเฟสยูเทคติกอะลูมิเนียม-แมกนีเซียม จากผลการวัดพื้นที่เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส พบว่าพื้นที่เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ จะมีโครงสร้างขนาดเล็กและละเอียดที่สุด มีพื้นที่เฉลี่ย 11795.30 ตารางไมโครเมตร เป็นผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงสูงสุด 125.56 HB และที่อุณหภูมิเท 760 องศาเซลเซียส พื้นที่เฟสอัลฟา-อะลูมิเนียมปฐมภูมิ จะมีโครงสร้างขนาดใหญ่ และหยาบที่สุด มีพื้นที่เฉลี่ย 16993.96 ตารางไมโครเมตร เป็นผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงต่ำที่สุด 112.77 HB

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา

5.2.1 สำหรับการปรับปรุงโครงสร้างจุลภาค และความแข็งแรงของชิ้นงาน สามารถเลือกชิ้นงานที่ผ่านการหล่อด้วยวิธีอื่น เช่น การหล่อลงแม่พิมพ์ถาวร มาศึกษา และเปรียบเทียบผลการทดลองได้

5.2.2 สำหรับการปรับปรุงโครงสร้างจุลภาค และความแข็งแรงของชิ้นงาน สามารถนำไปปรับปรุงโดยการผ่านกระบวนการทางความร้อน

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา

5.3.1 การหล่อโลหะที่ใช้ในงานวิจัย เป็นการหล่อโดยการเทโลหะหลอมเหลวด้วยมือ ซึ่งเป็นผลทำให้การเทโลหะหลอมเหลวไม่คงที่ โลหะหลอมเหลวไหลเข้าแม่พิมพ์ไม่คงที่ เกิดความไม่สม่ำเสมอในชิ้นงาน และอุณหภูมิเทอาจคลาดเคลื่อนได้ จึงควรปรับลักษณะการเทโลหะหลอมเหลวลงสู่แม่พิมพ์ให้คงที่ หรือมีการจับเวลาในการเทโลหะหลอมเหลว

5.3.2 ชิ้นงานที่อุณหภูมิเตต่ำทำให้เกิดรูพรุนในชิ้นงาน เกิดจากการหลอมเหลวที่ไม่มี การปกป้องผิวหน้าน้ำโลหะ จึงควรใช้ฟลักซ์ปกคลุมผิวเพื่อป้องกันการเกิดการทำปฏิกิริยากับบรรยากาศ

5.3.3 การใช้งานเตาหลอมโลหะที่อุณหภูมิสูง ขณะนำชิ้นงานใส่ หรือนำออกจากเตา อาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ จึงควรใช้ที่ค้ำจับชิ้นงานออกจากเตาหลอม และใส่อุปกรณ์ป้องกันทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

5.3.4 ขณะนำชิ้นงานออกจากแบบหล่อทรายขึ้น ควรรอให้ชิ้นงานเย็นตัวในแบบหล่อทรายขึ้นก่อน มิฉะนั้นอาจเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้

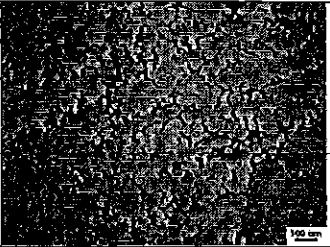
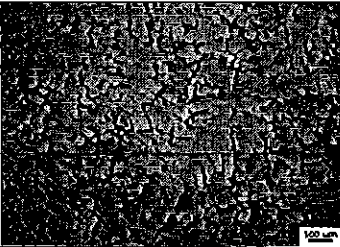
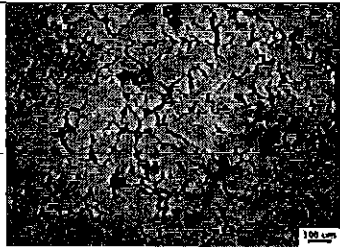
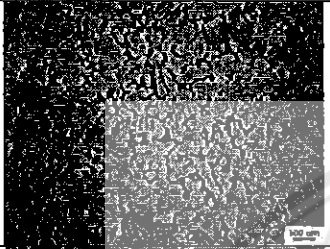
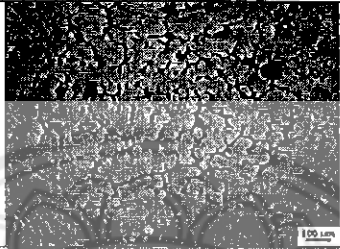
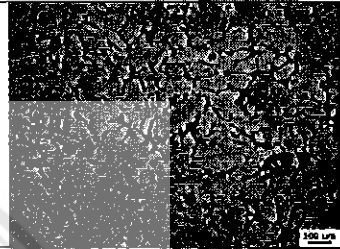
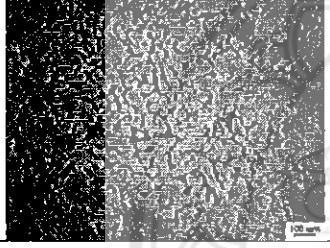
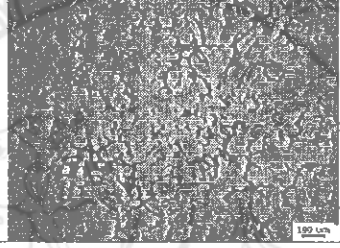
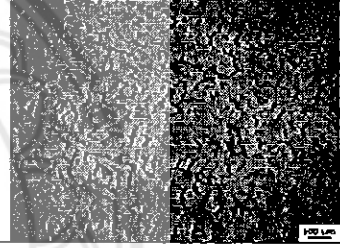
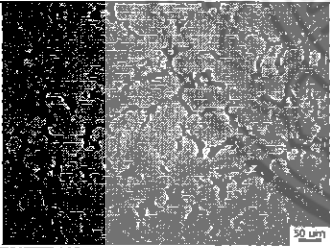
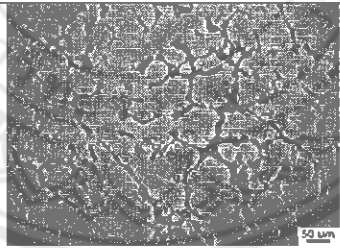
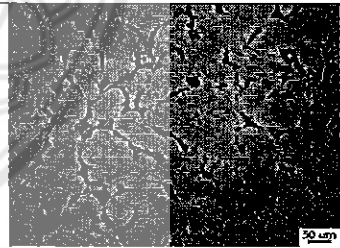
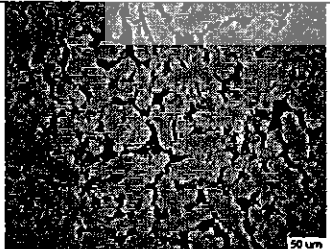



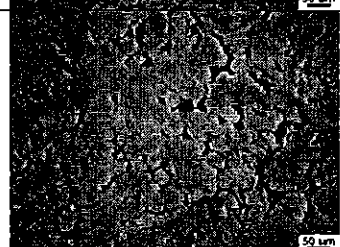
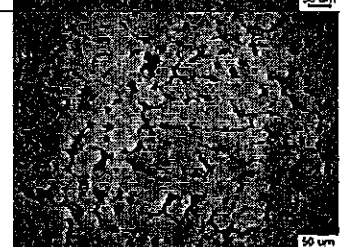
เอกสารอ้างอิง

- ชวลิต เชียงกุล. (2542). โลหะวิทยา. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ทวิชาติ เย็นวิเศษ. (2547). การปรับปรุงสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมจากกระป๋องเครื่องดื่มที่ใช้แล้วด้วย การเติมซิลิกอน และกระแทกความร้อน. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2554, URL : http://tdc.thailis.or.th/tdc/search_result.php
- สุทธิพงษ์ จารุญรัตน์ และ ศศิธร พิทักษ์ธำปนพงษ์. (2549). อิทธิพลของอุณหภูมิน้ำโลหะในกระบวนการหล่อโลหะอะลูมิเนียม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, สืบค้นเมื่อ 12 สิงหาคม 2554, จาก URL: http://www.tsme.org/ME_NETT/ME_NETT20/article/pdf/amm/AMM013.pdf
- เทคโนโลยีอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ สถาบันราชภัฏจันทรเกษม. สิ้นแร่อะลูมิเนียม. สืบค้นเมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม 2554, URL: <http://elecnet.chandra.ac.th/learn>
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2551). การรีไซเคิลกระป๋องอะลูมิเนียม. สืบค้นเมื่อ 7 กันยายน 2554, URL : http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=1044&Itemid=178
- นเรศ โสภักดิ์. (2548). อิทธิพลของฟลักซ์ที่มีผลต่อการหลอมอะลูมิเนียมรีไซเคิลกระป๋องเครื่องดื่ม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. สืบค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2554, URL : http://tdc.thailis.or.th/tdc/search_result.php
- รूपนีย์ อุดมผล (2552). การผลิตเครื่องมือกำจัดก๊าซไฮโดรเจนเคลื่อนที่สำหรับกระบวนการหล่อโลหะอะลูมิเนียม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. สืบค้นเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2554, URL : http://tdc.thailis.or.th/tdc/search_result.php
- สันติรัฐ นันสะอาจ. (2543). อะลูมิเนียม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2554, URL : http://aluminiumlearning.com/html/index_casting
- หริส สุตะบุตร. (2543). หล่อโลหะ. หน้า (100-112). สำนักพิมพ์ดวงกลม จำกัด
- มนัส สติรจินดา. (2543). โลหะนอกกลุ่มเหล็ก. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม 2554, URL : <http://www.elecnet.chandra.ac.th>
- สุขอังคณา ลี. (2553). โลหะวิทยาวิศวกรรม. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สืบค้นเมื่อวันที่ 9 กันยายน 2554, URL : <http://app.eng.ubu.ac.th/~edocs/f20110117sukangkanal48.pdf>
- อนุวัฒน์ (2554). สมบัติทางกล และการทดสอบวัสดุ. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. สืบค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2554, URL : www.scribd.com/doc/56220509/1Material-Properties
- ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ. (2553). กรรมวิธีการผลิตโลหะ. สืบค้นเมื่อ 13 กันยายน 2554, URL : www.mme.rmuti.ac.th/index.php?option=com...view...3&id.
- Reynolds, R.M. and Olper, M., (1990), The ENGITEC System for Treatment of Salt Slag form Secondary Aluminum Smeltets. International symposium Engineeted Materials, pp. 439-450
- John T.H. Pearce. (2540). ข้อบกพร่องในงานหล่อโลหะ. สำนักพิมพ์ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และ วัสดุแห่งชาติ

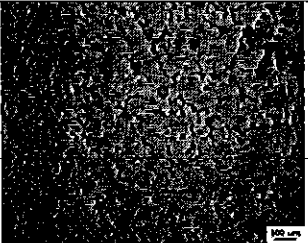
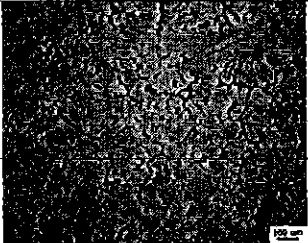
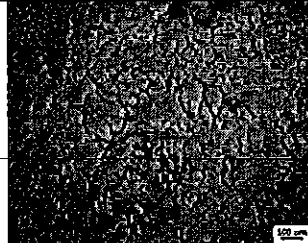
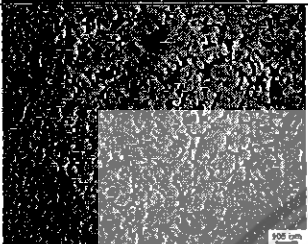
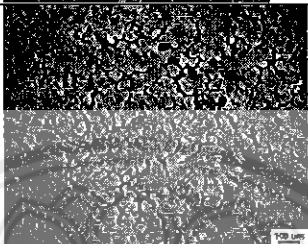
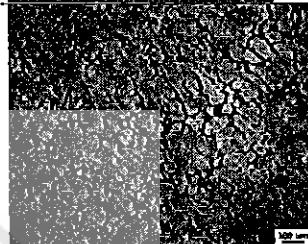
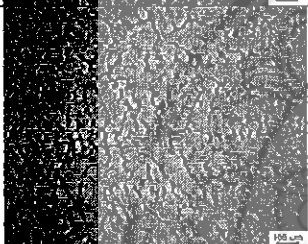
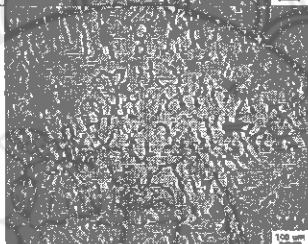
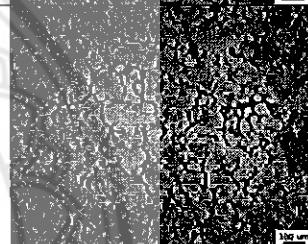
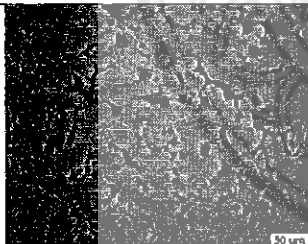
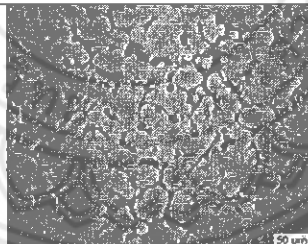
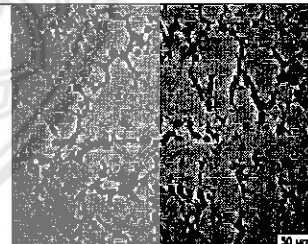
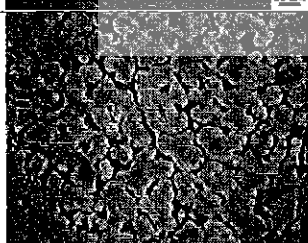
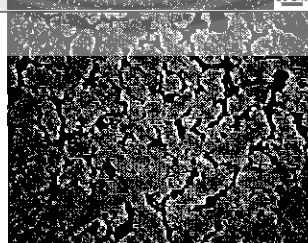
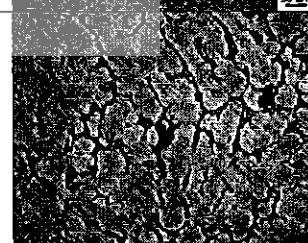



ภาคผนวก ก
โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอะลูมิเนียมกระป๋อง ที่ผ่านการหล่อทรายขึ้น



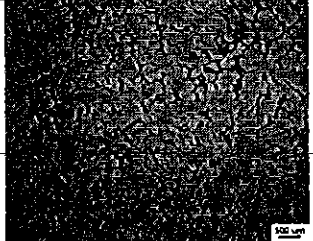
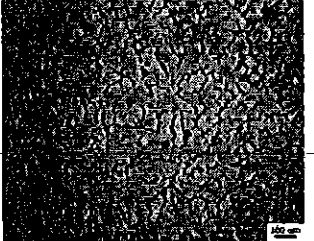
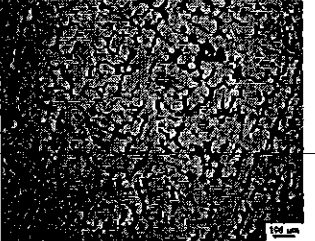
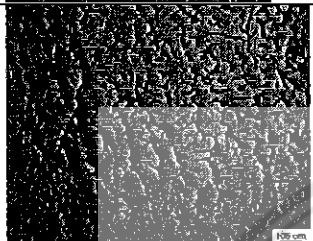
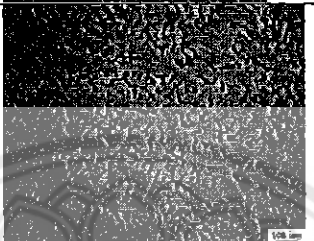
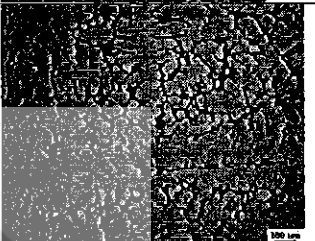
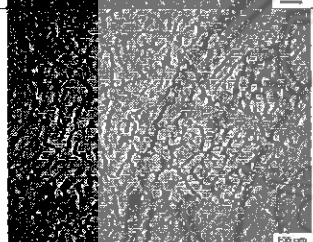
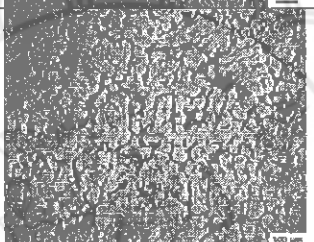
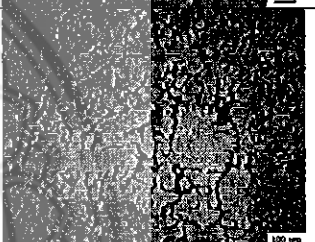
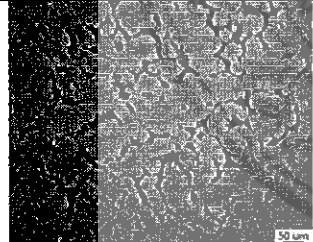
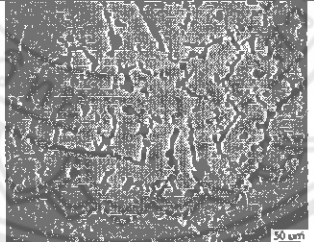
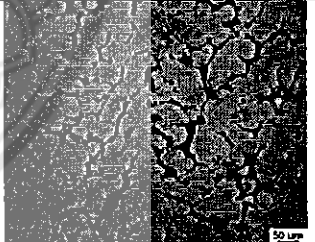
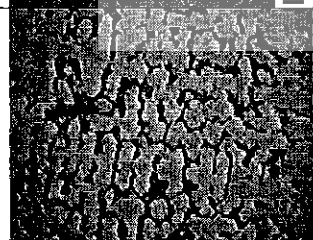
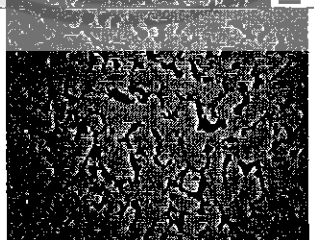
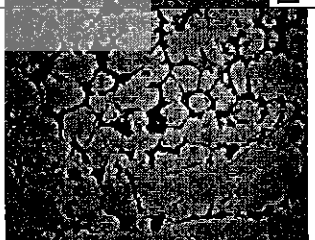

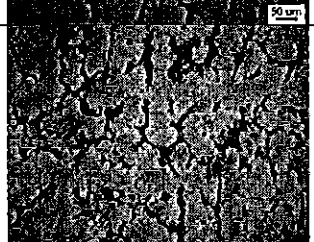
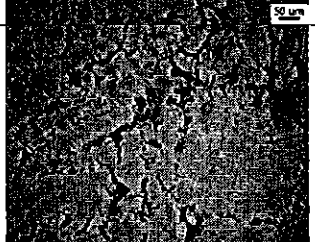
ตารางที่ ก.1 โครงสร้างจุลภาคของการหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส

กำลังขยาย 50 เท่า			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
บน			
กลาง			
ล่าง			
กำลังขยาย 100 เท่า			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
บน			
กลาง			
ล่าง			

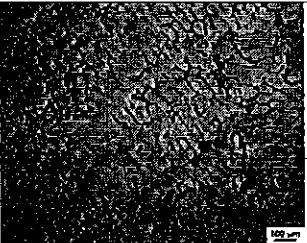
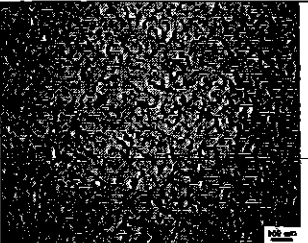
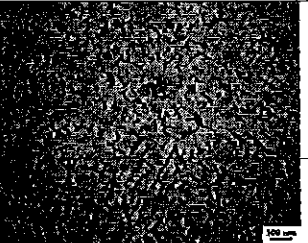
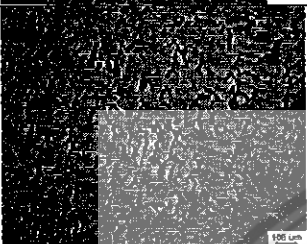
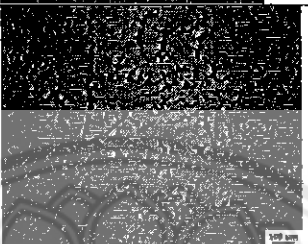
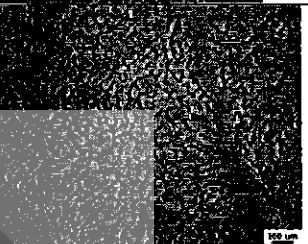
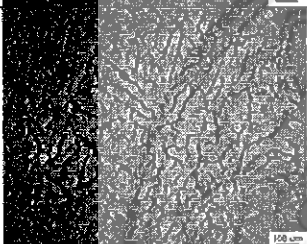
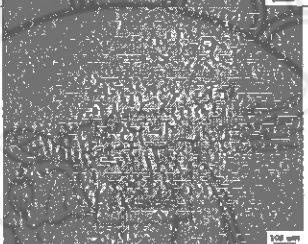
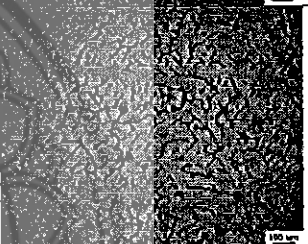
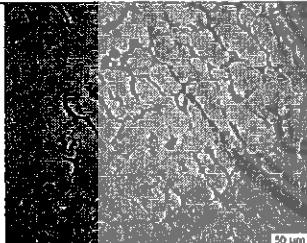
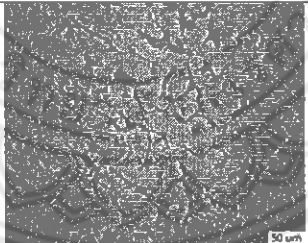
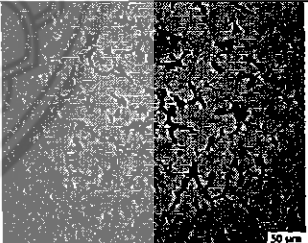
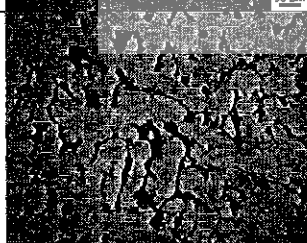
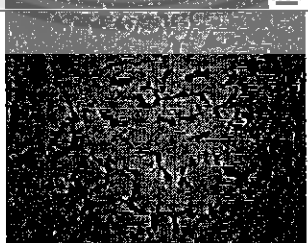
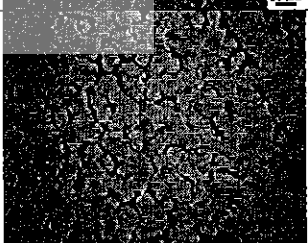
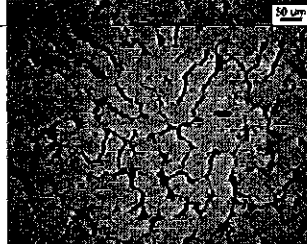
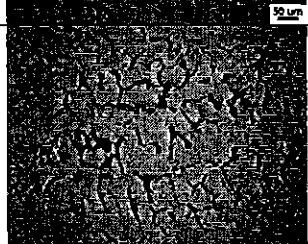
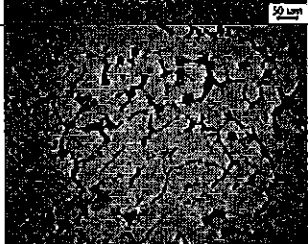
ตารางที่ ก.2 โครงสร้างจุลภาคของการหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

		กำลังขยาย 50 เท่า		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
บน				
กลาง				
ล่าง				
		กำลังขยาย 100 เท่า		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
บน				
กลาง				
ล่าง				

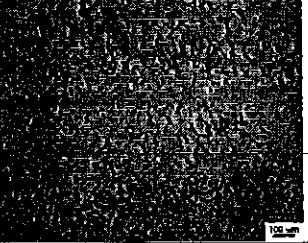
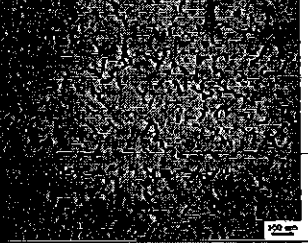
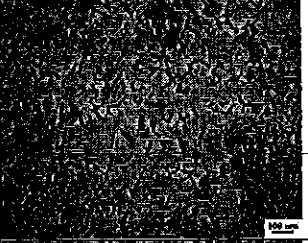
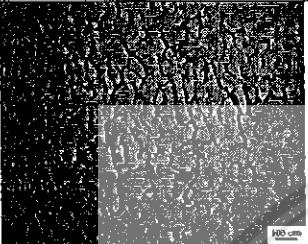
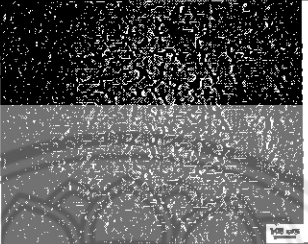
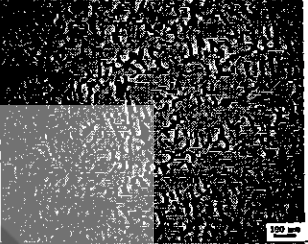
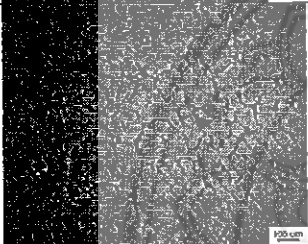
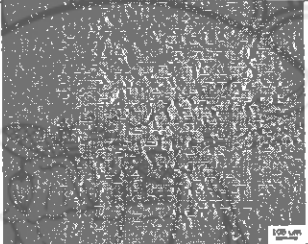
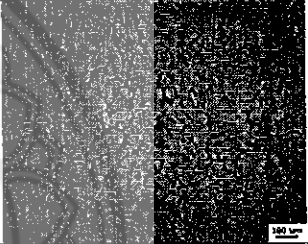
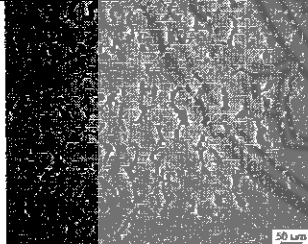
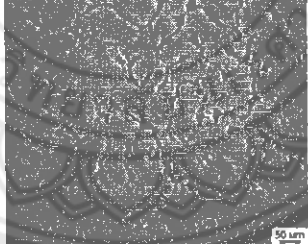
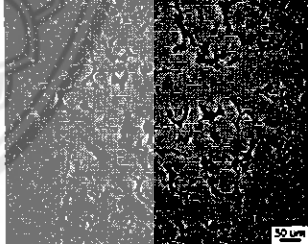
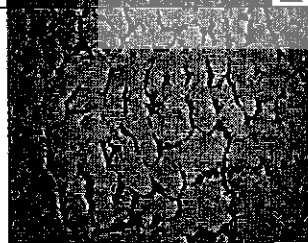
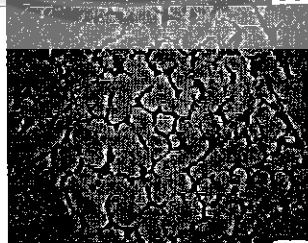
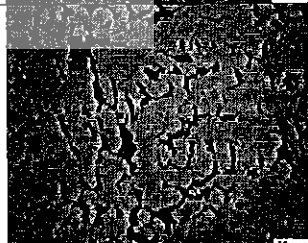
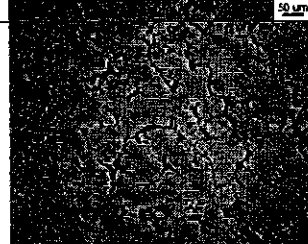
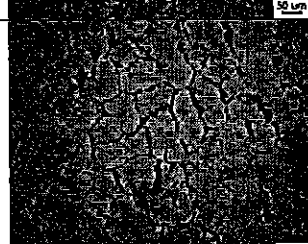
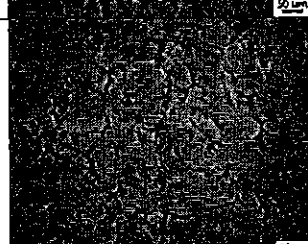
ตารางที่ ก.3 โครงสร้างจุลภาคของการหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียส

กำลังขยาย 50 เท่า			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
บน			
กลาง			
ล่าง			
กำลังขยาย 100 เท่า			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
บน			
กลาง			
ล่าง			

ตารางที่ ก.4 โครงสร้างจุลภาคของการหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 740 องศาเซลเซียส

กำลังขยาย 50 เท่า			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
บน			
กลาง			
ล่าง			
กำลังขยาย 100 เท่า			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
บน			
กลาง			
ล่าง			

ตารางที่ ก.5 โครงสร้างจุลภาคของการหล่อทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 760 องศาเซลเซียส

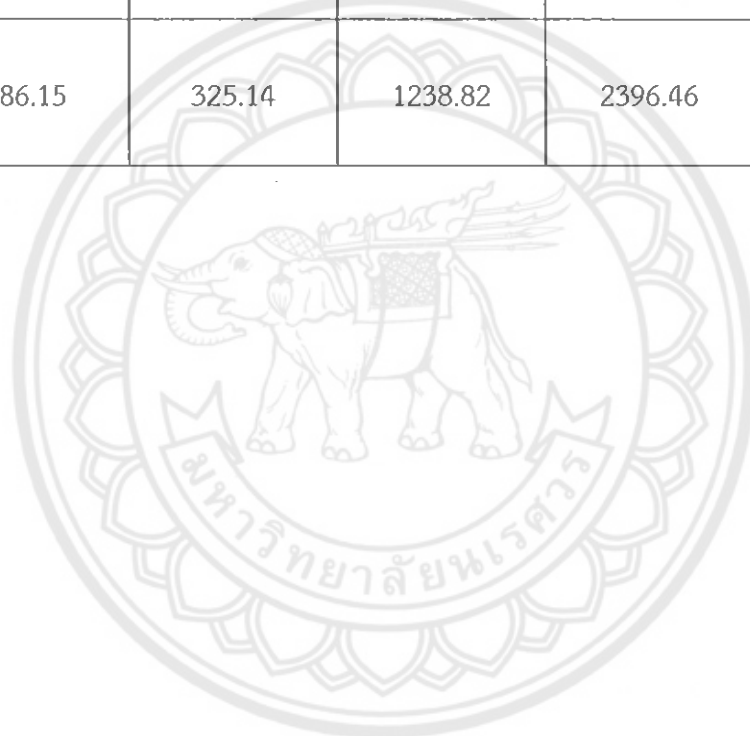
		กำลังขยาย 50 เท่า		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
บน				
กลาง				
ล่าง				
		กำลังขยาย 100 เท่า		
		ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3
บน				
กลาง				
ล่าง				

ภาคผนวก ข
พื้นที่ขนาดเกรนของชิ้นงานอะลูมิเนียมกระป๋องที่ผ่านกระบวนการหล่อทรายขึ้น



ตารางที่ ข.1 พื้นที่ต่อกรนของชิ้นงานอะลูมิเนียมกระป๋องที่ผ่านการหล่อทรายขึ้นที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส

ตำแหน่ง	อุณหภูมิเท 680 องศา เซลเซียส	อุณหภูมิเท 700 องศา เซลเซียส	อุณหภูมิเท 720 องศา เซลเซียส	อุณหภูมิเท 740 องศา เซลเซียส	อุณหภูมิเท 760 องศา เซลเซียส
	ขนาดกรน	ขนาดกรน	ขนาดกรน	ขนาดกรน	ขนาดกรน
1	10887.62	12217.55	11915.14	14258.40	12856.16
2	12237.22	12592.77	12048.64	18959.89	22348.51
3	12261.05	12865.13	14124.49	17416.18	15777.23
ค่าเฉลี่ย	11795.30	12558.48	12696.09	16878.16	16993.97
ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	786.15	325.14	1238.82	2396.46	4861.74



ภาคผนวก ค
ความแข็งแรงของชิ้นงานอะลูมิเนียมกระป๋องที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น ที่ได้จากการ
ทดสอบความแข็งแรงแบบบริเนล



ตารางที่ ค.1 ความแข็งแรงของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ	จุดที่	ความแข็งแรง (HB)	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรง	ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของชิ้นงาน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงาน
680	1	111.79	123.94	125.55	5.77
	2	118.48			
	3	128.27			
	4	133.59			
	5	123.25			
	6	128.27			
	1	125.27	124.34		
	2	120.83			
	3	122.03			
	4	130.89			
	5	125.73			
	6	120.83			
	1	125.73	128.37		
	2	125.73			
	3	123.25			
	4	130.89			
	5	136.36			
	6	128.27			

ตารางที่ ค.2 ความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ	จุดที่	ความแข็ง (HB)	ค่าเฉลี่ยความแข็ง	ค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงาน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงาน
700	1	120.83	128.05	123.64	4.87
	2	123.25			
	3	111.79			
	4	130.89			
	5	128.27			
	6	123.25			
	1	125.73	122.90		
	2	123.25			
	3	116.19			
	4	125.73			
	5	123.25			
	6	123.25			
	1	120.83	124.19		
	2	125.73			
	3	118.48			
	4	130.89			
	5	125.73			
	6	125.27			

ตารางที่ ค.3 ความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ	จุดที่	ความแข็ง (HB)	ค่าเฉลี่ยความแข็ง	ค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงาน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงาน
720	1	120.83	120.55	123.02	4.60
	2	123.25			
	3	118.48			
	4	125.73			
	5	111.79			
	6	123.25			
	1	128.27	124.31		
	2	124.48			
	3	120.83			
	4	120.83			
	5	125.73			
	6	125.73			
	1	130.89	124.19		
	2	123.25			
	3	120.83			
	4	116.19			
	5	125.73			
	6	128.27			

ตารางที่ ค.4 ความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 740 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ	จุดที่	ความแข็ง (HB)	ค่าเฉลี่ยความแข็ง	ค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงาน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงาน
740	1	125.73	116.97		
	2	124.48			
	3	113.96			
	4	116.19			
	5	109.67			
	6	111.79			
	1	101.72	118.10	118.45	6.26
	2	123.25			
	3	116.19			
	4	125.73			
	5	118.48			
	6	123.25			
1	118.48	120.26			
2	124.48				
3	118.48				
4	118.48				
5	120.83				
6	120.83				

ตารางที่ ค.5 ความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการหล่อแบบทรายขึ้น ที่อุณหภูมิ 760 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ	จุดที่	ความแข็ง (HB)	ค่าเฉลี่ยความแข็ง	ค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงาน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงาน
760	1	107.61	110.22		
	2	103.63			
	3	103.63			
	4	118.48			
	5	111.79			
	6	116.19			
	1	111.79	116.97	112.76	5.88
	2	123.25			
	3	107.61			
	4	123.25			
	5	120.83			
	6	115.07			
1	109.67	111.09			
2	111.79				
3	109.67				
4	109.67				
5	111.79				
6	113.96				

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายชาญณรงค์ พุ่มพวง
ภูมิลำเนา 619/324 หมู่ 4 แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน
กรุงเทพมหานคร 10150

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภชบางขุนเทียน
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: electric_energy_24@hotmail.com



ชื่อ นายปิยภรณ์ มงคลวัฒน์
ภูมิลำเนา 125 หมู่ 10 ต.น้ำขุน อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์
67110

- จบระดับมัธยมศึกษาจากหล่มสักวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: nopain_nogain_td@hotmail.com