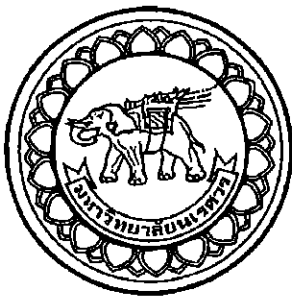


อธิบดีเทคโนโลยี



ผลของอุณหภูมิเทต้อัดชันนี้การไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ โดย
 เปรียบเทียบผลโปรแกรมช่วยในการจำลอง และการหล่อผ่านรางเท
 EFFECT OF POURING TEMPERATURE ON FLUIDITY INDEX OF AC2A
 ALUMINUM BY COMPARING BETWEEN SIMULATED AND COOLING PLATE
 CASTING

นางสาวจินต์จุฑา บัวบาน รหัส 56364366
 นายณัฐวุฒิ ปรีสว่างศ์ รหัส 56364434

1792256 ✓

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
รับตรงทะเบียน	02 ก.พ. 2561
เลขทะเบียน	17922569
เลขเรียกหนังสือ	ปฐ 4777-6

2559

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 ปีการศึกษา 2559



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ ผลของอุณหภูมิเทตอดซ์นี้การไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ โดย
เปรียบเทียบผลโปรแกรมช่วยในการจำลองและการหล่อผ่านรางเท

ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวจินต์จุฑา บัวบาน รหัส 56364366
นายณัฐวุฒิ ปรีสาวงศ์ รหัส 56364434

ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(ดร.ชวลีพรีย์ ป่าไร่)

.....กรรมการ
(ดร.ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	ผลของอุณหภูมิเทต่อดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ โดยเปรียบเทียบผลโปรแกรมช่วยในการจำลองและการหล่อผ่านรางเท		
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวจินต์จุฑา บัวบาน	รหัส	56364366
	นายณัฐวุฒิ	ปรีสาวงศ์	รหัส 56364434
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์กฤษณา	พูลสวัสดิ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2559		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิเทต่อดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ โดยใช้การหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง และการหล่อแบบเทคนิคเทผ่านรางเท และเปรียบเทียบผลของการหล่อโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองกับงานหล่อจริง โดยผลงานหล่อจริงแบบใช้แรงโน้มถ่วง และการหล่อจริงแบบเทคนิคเทผ่านรางเทจะใช้อุณหภูมิเท 680 และ 720 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิเทที่สูงส่งผลให้ดัชนีการไหลมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิเทต่ำ และที่อุณหภูมิเทเท่ากันการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงให้ผลดัชนีการไหลที่ดีกว่าการหล่อแบบใช้เทคนิครางเท และในการจำลองการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 680 และ 720 องศาเซลเซียส พบว่าไม่สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิเทมีผลต่อดัชนีการไหล เนื่องจากโลหะหลอมเหลวไหลเต็มแม่พิมพ์ ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการจำลองการหล่อเพิ่มโดยใช้อุณหภูมิเท 560 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิเทที่สูงส่งผลให้ดัชนีการไหลมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิเทต่ำ และการจำลองการหล่อแบบเทคนิคเทผ่านรางเท พบว่าที่อุณหภูมิเทที่สูงส่งผลให้ดัชนีการไหลมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิเทต่ำเช่นกัน ซึ่งผลการทดลองจากการหล่อจริงกับผลการจำลองการหล่อ ทำให้สรุปได้ว่าอุณหภูมิเทมีผลต่อดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสมเอซี 2 เอ

Project title EFFECT OF POURING TEMPERATURE ON FLUIDITY INDEX OF AC2A ALUMINUM BY COMPARING BETWEEN SIMULATED AND COOLING PLATE CASTING

Name Ms. Jinjutha Buabarn ID. 56364366
Mr. Natthiwut Parisawong ID. 56364434

Project advisor Ms. Krisana Poolsawat

Major Materials Engineering

Department Industrial Engineering

Academic year 2016

Abstract

This project studied the effects of pouring temperature on fluidity index of AC2A aluminum alloys using simulation and casting including gravity die casting and cooling plate technique. Experimental results of casting and simulation results were analyzed and discussed. Pouring temperatures of 680 and 720 Degree Celsius was used in simulation and both method real casting. The results showed that pouring temperature affected the fluidity index of samples from the real casting including gravity die casting and cooling plate technique. Furthermore, higher pouring temperature gave higher fluidity index in both cases. Moreover, gravity die casting gave better fluidity index than cooling plate technique casting at the same pouring temperature. In simulation study, fluidity index could not be compared because mold was filled by molten metal, so pouring temperature was decreased to 560 and 650 degrees Celsius. In conclusion, pouring temperature directly affected the fluidity index in real cast and simulation.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ข้าพเจ้าจึงขอแสดงความขอบพระคุณผู้มีพระคุณ โดยเฉพาะ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำทั้งทางด้านภาคทฤษฎี ภาคปฏิบัติ รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนดูแลติดตามโครงการมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.ชุลีพรย์ ป่าไร่ และ ดร.ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์ ที่กรุณาเสียสละเวลามาเป็นอาจารย์สอนโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการเล่มนี้

ขอขอบพระคุณครูช่างประเทือง โมรราราย ครูช่างธวัชชัย ชุลบุตร ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง และนักวิทยาศาสตร์อสิริย์ วัตฤภาพ ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และคำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสานวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำโครงการเป็นคนดีของสังคม

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยสนับสนุนค่าใช้จ่ายและให้กำลังใจตลอดมาจนสามารถทำโครงการเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความรัก คำปรึกษา และความช่วยเหลือขณะที่ศึกษาและทำโครงการเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การดูแลตลอดการทำโครงการจนสำเร็จการศึกษา หากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจ ขอมอบความดีให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวจินต์จุฑา บัวบาน

นายณัฐวุฒิ ปรีสาวงศ์

พฤษภาคม 2560

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาบัตร.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลความสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 อะลูมิเนียม (Aluminum).....	4
2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อการไหล (Element of fluidity).....	7
2.3 การทดสอบความสามารถในการไหล (Fluidity Testing).....	10
2.4 การจำลองกระบวนการหล่อโลหะ (Simulation casting).....	11
2.5 การเขียนแบบแม่พิมพ์ในระบบ 3 มิติ (Drawing mold in 3D).....	13
2.6 การหล่อโลหะ (Casting).....	14
2.7 การทดสอบสมบัติทางความร้อน และองค์ประกอบทางเคมี.....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	24
3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิจัยที่ใช้ในการดำเนินโครงการ.....	24
3.2 วัสดุ และอุปกรณ์.....	25
3.3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์.....	33
4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน และองค์ประกอบทางเคมี.....	33
4.2 การเลือกใช้วัสดุในการจำลองการหล่อโดยใช้โปรแกรม ProCAST2015.....	34
4.3 ผลของดัชนีการไหลของจำลองการหล่อโดยใช้โปรแกรม ProCAST2015.....	36
4.4 ผลของดัชนีการไหลของการหล่อจริง.....	41
4.5 ผลการเปรียบเทียบดัชนีของการจำลองการหล่อกับการหล่อจริง.....	44
บทที่ 5 บทสรุป และขอเสนอแนะ.....	45
5.1 บทสรุป.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา.....	45
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา.....	45
เอกสารอ้างอิง.....	47
ภาคผนวก ก.....	49
ภาคผนวก ข.....	53
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	59

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินงาน.....	3
2.1 มาตรฐานอะลูมิเนียม-ซิลิคอนที่นิยมสำหรับอุตสาหกรรมหล่อโลหะ (ร้อยละโดยน้ำหนัก โดยประมาณ).....	6
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ.....	7
2.3 สมบัติด้านกายภาพของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ.....	7
2.4 สมบัติของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ.....	8
3.1 อุณหภูมิเทของการจำลองการหล่อ และการหล่อจริง.....	30
3.2 ข้อมูลอุณหภูมิปลายรางของการหล่อแบบใช้เทคนิครางเทหล่อเย็น.....	32
4.1 เปรียบเทียบปริมาณส่วนผสมของอะลูมิเนียมผสมเอซี 2 เอกับอะลูมิเนียม EN AC-45100 ALSi5Cu3Mg.....	35
4.2 เปรียบเทียบปริมาณส่วนผสมของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ กับ เหล็กกล้า Low-Carbon ALSU1008.....	35
4.3 เปรียบเทียบค่าสมบัติทางอื่นๆ ของอะลูมิเนียมผสมเอซี 2 เอกับอะลูมิเนียม EN AC-45100ALSi5Cu3Mg.....	36
4.4 เปรียบเทียบค่าสมบัติอื่นๆ ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ กับ เหล็กกล้า Low-Carbon ALSU1008.....	36
4.5 ข้อมูลของอุณหภูมิที่ใช้ในการจำลองการหล่อ และการหล่อจริง.....	37
4.6 สรุปดัชนีการไหลจากการจำลองการหล่อโดยเทคนิครางเท.....	37
4.7 ดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อโดยใช้แรงโน้มถ่วง.....	39
4.8 ดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง.....	41
4.9 ดัชนีการไหลของการหล่อแบบเทคนิครางเท.....	42
ก.1 ค่าการทดสอบสมบัติการนำความร้อนของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ.....	50
ก.2 ค่าการทดสอบสมบัติการนำความร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ.....	50
ก.3 องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ.....	51
ก.4 องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ.....	51
ก.5 รายละเอียดของคำสั่ง G-code.....	52

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภูมิสมมูลของอะลูมิเนียม-ซิลิคอน.....	5
2.2 การทดสอบการไหลแบบเกลียวขด.....	10
2.3 การทดสอบการไหลแบบสุญญากาศ.....	11
2.4 การทดสอบการไหลแบบช่อง.....	11
2.5 การสร้างแบบ 3 มิติ ของโปรแกรม AutoCAD	14
2.6 ส่วนประกอบของการทำรางเทหล่อเย็น.....	18
2.7 กราฟตัวอย่างของเครื่อง Differential Scanning Colorimeter (DSC).....	20
3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	24
3.2 แม่พิมพ์ 3 มิติ ที่สร้างจากโปรแกรม AutoCAD 2016.....	27
3.3 กัดโฟมด้วยเครื่องกัด CNC	28
3.4 กัดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยเครื่องกัด CNC	28
3.5 แม่พิมพ์ขึ้นบนที่ผ่านการเจาะรูเท.....	29
3.6 แม่พิมพ์ขึ้นล่างที่ผ่านการเจาะรูเท.....	29
3.7 แม่พิมพ์ขึ้นบนที่ผ่านการทำแองรูเท และตัดแบ่งรูเท.....	29
3.8 หล่ออะลูมิเนียมแบบใช้แรงโน้มถ่วง.....	30
3.9 หล่ออะลูมิเนียมแบบใช้เทคนิครางเท.....	31
4.1 กราฟ DSC ของอะลูมิเนียมผสม เอชซี 2 เอ.....	33
4.2 เปรียบเทียบดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อแบบใช้เทคนิครางเท	
ก) อุณหภูมิปลายราง 581 องศาเซลเซียสดัชนีการไหล 133 เซนติเมตร.....	37
ข) อุณหภูมิปลายราง 597 องศาเซลเซียสดัชนีการไหล 134 เซนติเมตร.....	37
4.3 เปรียบเทียบดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง	
ก) ผลดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส.....	38
ข) ผลดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส.....	38
4.4 เปรียบเทียบผลของดัชนีการไหลของการเปลี่ยนอุณหภูมิเทโดยการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง	
ก) ผลดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 560 องศาเซลเซียสดัชนีการ ไหล 96 เซนติเมตร.....	39
ข) ผลดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 600 องศาเซลเซียสดัชนีการ ไหล 134 เซนติเมตร.....	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5	
เปรียบเทียบดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงกับการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส	
ก)	
ดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส..... 40	
ข)	
ดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อแบบใช้เทคนิครางเทที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิปลายราง 581 องศาเซลเซียส..... 40	
4.6	
ผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิเทของการหล่อโดยใช้แรงโน้มถ่วง..... 41	
4.7	
ผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิเทของหล่อโดยใช้เทคนิครางเท..... 42	
4.8	
เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการหล่อแบบแรงโน้มถ่วงกับแบบเทคนิครางเท	
ก)	
เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการหล่อแบบแรงโน้มถ่วงกับการหล่อแบบเทคนิครางเทที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส..... 43	
ข)	
เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการหล่อแบบแรงโน้มถ่วงกับการหล่อแบบเทคนิครางเทที่อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส..... 43	
4.9	
เปรียบเทียบดัชนีการไหลของการหล่อโดยใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียสของการหล่อจริงและการจำลองการหล่อ	
ก)	
ผลดัชนีการไหลของการหล่อจริงโดยใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียสมีค่าดัชนีการไหล 5.2 เซนติเมตร..... 44	
ข)	
ผลดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อโดยใช้การหล่อแบบแรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส มีค่าดัชนีการไหล 138 เซนติเมตร..... 44	
ข.1	
กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และ Fraction of solid ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ.... 54	
ข.2	
กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และ Fraction of solid ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ..... 54	
ข.3	
ค่า Conductivity ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg 55	
ข.4	
ค่า Density ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg 55	
ข.5	
ค่า Specific Heat ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg 56	
ข.6	
ค่า Fraction Solid ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg 56	
ข.7	
ค่า Conductivity ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AlSl 1008..... 57	
ข.8	
ค่า Density ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AlSl 1008..... 57	
ข.9	
ค่า Enthalpy ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AlSl 1008..... 58	
ข.10	
ค่า Fraction Solid ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AlSl 1008..... 58	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ

ในปัจจุบันอะลูมิเนียมผสมได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์ เนื่องจากมีความสามารถขึ้นรูปด้วยแรงทางกลได้ง่าย และมีความสามารถในการไหลตัวที่ดี (Fluidity) นอกจากนี้อะลูมิเนียมยังมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำ สมบัติที่ดีดังกล่าว ทำให้มีการนำอะลูมิเนียมผสมมาใช้ในทางวิศวกรรมมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตขึ้นรูปชิ้นส่วนอะลูมิเนียมจากกระบวนการหล่อซึ่งมีอัตราการการผลิตภายในประเทศสูง แต่กระบวนการผลิตชิ้นส่วนงานหล่ออะลูมิเนียมนั้นยังประสบปัญหาบางประการเช่น การหดตัว ชีงงานไม่เต็ม และรอยแตกร้าว เป็นต้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตลดลง โดยมีปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตมาก

ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ในการใช้จำลองการหล่อขึ้นโดยซอฟต์แวร์นี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นจึงสามารถทราบลักษณะของชิ้นงานหล่อได้ก่อนที่จะนำไปทำการหล่อจริง และเพื่อทำให้วิศวกรผู้ออกแบบการผลิตได้ทำการจำลองการหล่อก่อนเพื่อที่จะได้ลดปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในการหล่อจริงจะได้ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลา เงิน และทรัพยากร อีกทั้งยังเพิ่มมูลค่าให้แก่อุตสาหกรรมการหล่อโลหะ

งานวิจัยนี้ จะศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลว ประเภทของกระบวนการหล่อที่ส่งผลต่อการความสามารถในการไหลของอะลูมิเนียมหลอมเหลวในกระบวนการหล่อโดยทำการสร้างแบบทดสอบความสามารถในการไหลโดยการหล่อจริงขึ้นและทำการจำลองการหล่อ เพื่อยืนยันความแม่นยำของโปรแกรม เพื่อจะเป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมการหล่อ และยังเป็นส่วนที่จะช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมการหล่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิเทที่ส่งผลต่อดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

1.2.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิเทที่ส่งผลต่อดัชนีการไหลของเทคนิคเทผ่านรางเทหล่อเย็นโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

1.2.3 เปรียบเทียบผลของการหล่อโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองกับงานหล่อจริง

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ผลของดัชนีการไหลเมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเทของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง และเทคนิคเทผ่านรางเทหล่อเย็นโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

1.3.2 ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อจริงแบบใช้แรงโน้มถ่วง และเทผ่านรางเทหล่อเย็น

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลความสำเร็จ (Outcome)

1.4.1 วิเคราะห์ผลของดัชนีการไหลเมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเทของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง และเทคนิคเทผ่านรางเทหล่อเย็นโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

1.4.2 วิเคราะห์ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อจริงเปรียบเทียบกับโปรแกรมช่วยในการจำลอง

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.5.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ อะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

1.5.2 ใช้วัสดุทองแดงในการสร้างรางเทในเทคนิคเททางเทหล่อเย็น โดยมีรูปร่าง 60 องศาและความยาวของรางเท 250 มิลลิเมตร

1.5.3 ใช้แม่พิมพ์สปิรอล (Spiral Mold) ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

1.5.4 ใช้โปรแกรมจำลองการหล่อ ProCAST 2015

1.5.5 เขียนแบบแม่พิมพ์ในระบบ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม AutoCAD 2016

1.5.6 ใช้ Thermocouple วัดอุณหภูมิเท

1.5.7 ใช้เครื่องวิเคราะห์การนำความร้อน (Thermal Conductivity Analyzer) หาค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอและเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

1.5.8 ใช้เครื่องวัดค่าความต่างความร้อนของสาร (Differential Scanning Calorimetry) หาอุณหภูมิของเหลว และอุณหภูมิของแข็งของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

1.5.9 ใช้เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectroscopy) หาชนิดและปริมาณธาตุของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

อาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

กันยายน 2559 – พฤษภาคม 2560

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ช่วงเวลา									
	พ.ศ. 2559					พ.ศ. 2560				
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	
1.8.1 ศึกษาหาข้อมูล	←	→								
1.8.2 ส่งชิ้นงานทดสอบ.			←	→						
1.8.3 เขียนแบบแม่พิมพ์ โดยใช้โปรแกรม			←	→						
1.8.4 สร้างแม่พิมพ์			←	→						
1.8.5 ทดสอบดัชนีการไหล โดยใช้โปรแกรมช่วยใน จำลอง					←	→				
1.8.6 ทำการหล่อจริง								←	→	
1.8.7 เปรียบเทียบผลของ การหล่อโดยใช้โปรแกรมช่วย ในการจำลองกับงานหล่อ จริง								←	→	
1.8.8 วิเคราะห์ และสรุปผล การทดลอง								←	→	
1.8.9 รวบรวมข้อมูล และ จัดทำรูปเล่ม								←	→	

บทที่ 2

หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 อะลูมิเนียม (Aluminum)

อะลูมิเนียมคือธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ Al และมีเลขอะตอม 13 เป็นโลหะที่มันวาวและอ่อนดัดง่าย ในธรรมชาติอะลูมิเนียมพบในรูปแร่ออกไซด์เป็นหลัก และมีสมบัติเด่น คือ ต่อด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี แข็งแรง และน้ำหนักเบา มีการใช้อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมหลายประเภทเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย และอะลูมิเนียมสำคัญต่อเศรษฐกิจโลกอย่างมาก ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผลิตจากอะลูมิเนียมสำคัญต่ออุตสาหกรรมอากาศยาน และสำคัญในด้านอื่น ๆ ของการขนส่ง และการสร้างอาคาร ซึ่งต้องการน้ำหนักเบา ความทนทาน และความแข็งแรง

อะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีแรงต้านการดึงต่ำ แต่สามารถนำไปผสมกับธาตุต่าง ๆ ได้ง่าย เช่น ทองแดง สังกะสี แมกนีเซียม แมงกานีส และซิลิกอน ในปัจจุบันวัสดุเกือบทั้งหมดที่เรียกว่าอะลูมิเนียมเป็นโลหะผสมของอะลูมิเนียม อะลูมิเนียมบริสุทธิ์พบเฉพาะเมื่อต้องการความทนต่อการกัดกร่อนมากกว่าความแข็งแรงและความแข็ง

อะลูมิเนียมมีจุดหลอมเหลวที่ 660 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา รับภาระน้ำหนักได้สูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เสียดร้อรอยร้าว และการแตกหัก ไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ โดยเฉพาะการนำมาผสมกับโลหะอื่นๆ แล้วจะทำให้สมบัติต่างๆ เพิ่มมากขึ้น เช่น อุณหภูมิหลอมเหลวของอะลูมิเนียมผสมจะอยู่ที่ 577-700 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิหลอมเหลวที่ไม่สูงมาก จึงนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆ รวมถึงวัสดุหรือภาชนะที่เกี่ยวข้องกับอาหาร นอกจากนั้น ยังมีสมบัติทางเคมีของอะลูมิเนียมในลักษณะต่างๆ (รศ.เชาวลิต, 2551)

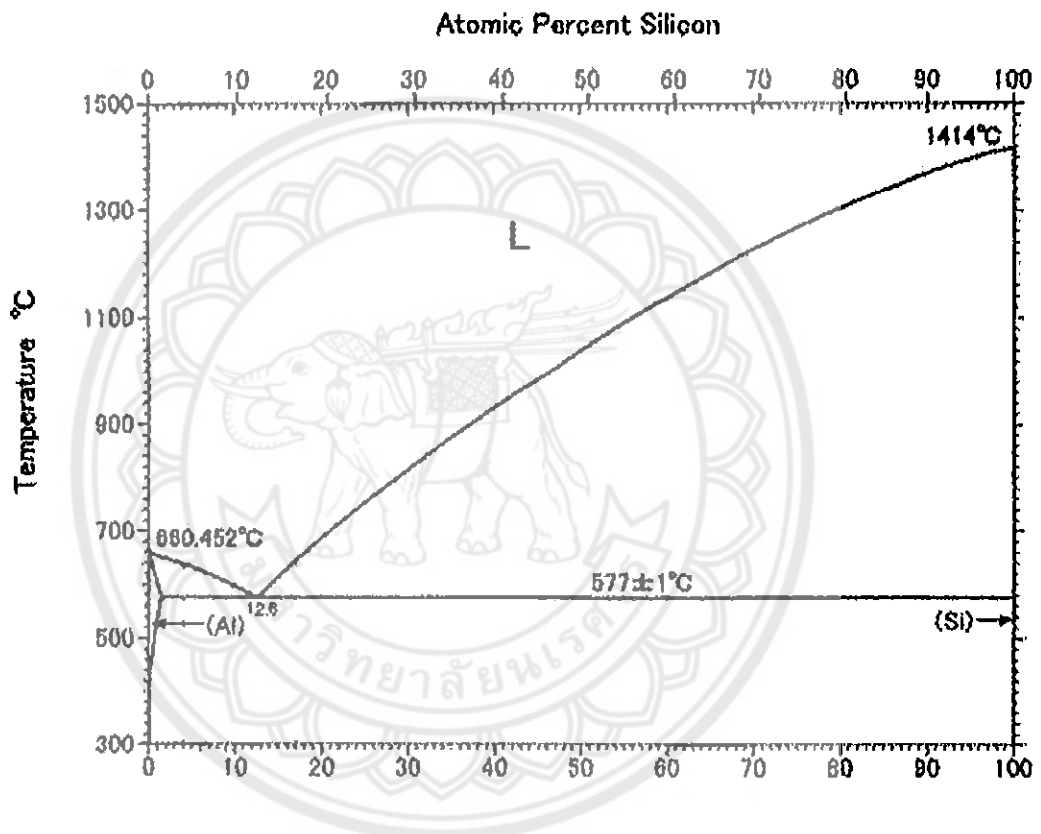
2.1.1 มาตรฐานของอะลูมิเนียม (Aluminium Standards)

มาตรฐานที่นิยมใช้สำหรับการแบ่งชนิดของอะลูมิเนียมสำหรับอุตสาหกรรมหล่อโลหะในประเทศไทยคือ มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (Aluminium Association ; AA) และประเทศญี่ปุ่น (Japaness Industrial Standards ; JIS) ทั้งนี้ได้สรุปอะลูมิเนียมเกรดที่นิยมใช้งาน และองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 2.1

2.1.2 อะลูมิเนียม-ซิลิกอน (Aluminium-Silicon)

เมื่อพิจารณาจากเฟสไดอะแกรมของอะลูมิเนียม และซิลิกอนแสดงดังรูปที่ 2.1 พบว่าการมีซิลิกอนละลายเข้าไปในอะลูมิเนียมทำให้จุดหลอมเหลวของอะลูมิเนียมผสมอยู่ต่ำสุดที่จุดปฏิกิริยายูเทคติก (Eutectic Reaction) ที่ส่วนผสมของซิลิกอนประมาณร้อยละ 11.6 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิประมาณ 577 องศาเซลเซียส โดยเรียกอะลูมิเนียม-ซิลิกอนที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่จุดปฏิกิริยายูเทคติกนี้ว่าเป็นอะลูมิเนียมซิลิกอนเกรดยูเทคติก แต่หากอะลูมิเนียม-ซิลิกอนมีปริมาณของ

ซิลิกอนอยู่น้อยกว่าร้อยละ 11.6 โดยน้ำหนัก จะเรียกว่าเป็นอะลูมิเนียม-ซิลิกอนเกรดไฮโปยูเทคติก (Hypoeutectic) และในกรณีที่มีซิลิกอนอยู่มากกว่าร้อยละ 11.6 โดยน้ำหนัก จะเรียกว่าเป็นอะลูมิเนียมซิลิกอนเกรดไฮเปอร์ยูเทคติก (Hypereutectic) ทั้งนี้อะลูมิเนียม-ซิลิกอนแต่ละเกรดมีความต้องการเทคนิคสำหรับปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางโลหะวิทยาที่แตกต่างกันโดยจะได้อธิบายในลำดับต่อไปนอกจากซิลิกอนซึ่งเป็นธาตุผสมหลักในอะลูมิเนียมผสมกลุ่มนี้ ยังมีธาตุอื่นๆ ที่ผสมลงไปประกอบจะช่วยให้สามารถนำไปปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนได้ (รศ.เชาวลิต, 2551)



รูปที่ 2.1 แผนภูมิสมดุลของอะลูมิเนียม-ซิลิกอน
ที่มา: T. E. Matikas (2015)

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานอะลูมิเนียม-ซิลิกอนที่นิยมสำหรับอุตสาหกรรมหล่อโลหะ (ร้อยละโดยน้ำหนักโดยประมาณ)

มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (AA)	มาตรฐานของญี่ปุ่น (JIS)	ซิลิกอน (Si)	ทองแดง (Cu)	แมกนีเซียม (Mg)	เหล็ก (Fe)	สังกะสี (Zn)	แมงกานีส (Mn)
A319.1	AC2A	5.0-7.0	3.0-5.0	0.55	0.90	2.0	0.20-0.65
A332.2	AC8A	10.5 - 13.5	0.8-1.5	0.9-1.55	0.60	0.35	0.35
A356.0	AC4C	6.5 - 7.5	0.02	0.30-0.45	0.15	0.07	0.10
380.2	ADC10	8.0 - 11.0	2.0-4.0	0.15-0.55	0.6-0.11	1.20	0.55
A360.2	AC4C	9.0 - 11.0	0.03	0.25-0.45	0.40	0.10	0.45
333.1	AC4B	7.5 - 9.5	2.0-3.5	0.15-0.65	0.7	1.2	0.15-0.65
413.2	AC3A	10.5 - 13.5	0.03	-	0.40	0.10	0.35
-	ADC12	10.5 - 12.0	1.5-3.5	-	1.3	1.0	0.5

ที่มา: รศ.เชาวิต (2551)

2.1.3 อะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ (Aluminum Alloy AC2A)

อะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ เป็นอะลูมิเนียมในระบบมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น นั่นคือ อะลูมิเนียมผสม เอ 319 ในระบบมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials ; ASTM) มีองค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ แสดงดังตารางที่ 2.2 โดยอะลูมิเนียมผสม A319 จะมีสมบัติด้านการขึ้นรูปแบบหล่อ และการนำไปใช้งานทางงานเชื่อมที่ดี มีความหนาแน่น และความแข็งแรงในระดับปานกลาง มีความเสถียรเมื่อนำไปทำการหล่อ สมบัติเชิงกลที่ได้จากการหล่อจะไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของเนื้อโลหะ โดยสมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ แสดงดังตารางที่ 2.3

นำไปใช้งานโดยการขึ้นรูปแบบหล่อทรายได้เช่นการเป็นส่วนประกอบของเครื่องยนต์ ดีเซล เครื่องยนต์เบนซิน การนำไปทำกระทะ เพลาล้อรถ ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เป็นต้น

สมบัติด้านการนำไปขึ้นรูปจะต้องมีความหนาแน่นที่ดี การไหล ความต้านทานการแตกร้าวจากความร้อน การแข็งตัวของโลหะหลอมเหลวที่ดี สมบัติของอะลูมิเนียมผสมเอซี 2 เอ แสดงดังตารางที่ 2.4 (ASTM Specification B26/B26M-09, 2016)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

ธาตุ (Element)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (Percent by Weight)
ซิลิกอน (Si)	5.5-6.5
แมกนีเซียม (Mg)	0.10
เหล็ก (Fe)	1.0
แมงกานีส (Mn)	0.5
สังกะสี (Zn)	1.0
ทองแดง (Cu)	3.0-4.0

ที่มา: ASTM Specification B26/B26M-09 (2016)

ตารางที่ 2.3 สมบัติด้านกายภาพของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

โลหะผสมมาตรฐานสหรัฐอเมริกา (ANSI Alloys)	AC2A
ค่าเผื่อการหดตัวแม่แบบ (Pattern Shrinkage Allowance) (in/ft)	5/32
ความหนาแน่น (Density) (g/cm ²)	2.79
ช่วงประมาณอุณหภูมิหลอมเหลว (Approx Melting Range) (°C)	512-607
ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) (W/m·K)	0.26

ที่มา: ASTM Specification B26/B26M-09 (2016)

2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อการไหล (Element of Fluidity)

การที่โลหะหลอมเหลวจะไหลเข้าสู่โพรงได้มาน้อยเพียงได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลว องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการไหลมีดังนี้ (เทพนารินทร์, 2556)

ตารางที่ 2.4 สมบัติของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

อะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ (Aluminum Alloy AC2A)	ระดับความสามารถ
ความต้านทานต่อการแตกร้าวเมื่อได้รับความร้อน (Resistance to Hot Cracking)	2
ความหนาแน่นความดัน (Pressure Tightness)	2
ความสามารถในการไหล (Fluidity)	2
แนวโน้มการหดตัวเมื่อเกิดการแข็งตัว (Solidification Shrinkage Tendency)	2
การรักษาความร้อนตามปกติ (Normally Heat Treated)	Yes
การต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion Resistance)	3
การแปรรูป (Machinability)	3
การขัด (Polishing)	4
การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating)	2
คุณภาพของการอโนไดซ์ (Anodizing Quality)	4
การเคลือบเคมีออกไซด์ (Chemical Oxide Coating)	3
ความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง (Elevated Temperature Strength)	3
ความเหมาะสมสำหรับเชื่อม (Suitability For Welding)	2

ระดับความสามารถ 1 = ดีเยี่ยม, 2 = ดีมาก 3 = ดี, 4 = พอใช้, 5 = พอใช้

ที่มา : ASTM Specification B26/B26M-09 (2016)

2.2.1 อุณหภูมิเท (Pouring Temperature)

อุณหภูมิเทมีผลต่อการเติมเต็มของชิ้นงาน คือ เมื่ออุณหภูมิเทต่ำเกินไปจะทำให้โลหะหลอมเหลวไหลเข้าเติมเต็มแม่พิมพ์ได้ไม่ดีและอาจมีข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานหล่อ ยิ่งไปกว่านั้น แก๊สที่เกิดขึ้นในระหว่างการเทโลหะหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์จะไม่มีเวลามากพอในการระเหยออกสู่ด้านนอกชิ้นงาน ซึ่งเป็นผลทำให้ชิ้นงานหล่อที่ได้มีรูพรุนเกิดขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการเทสูงเกินไป การรั่วซึมของโลหะหลอมเหลว การขยายตัวของแม่พิมพ์และการไหม้ของแบบหล่อทรายอาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นอุณหภูมิเทที่ใช้ในการหล่อควรเลือกอุณหภูมิเทให้เหมาะสมโดยพิจารณาจากขนาด รูปร่าง

และความหนาของชิ้นงาน อุณหภูมิสำหรับงานหล่อที่มีขนาดบางและมีความยาว ควรเลือกใช้อุณหภูมิ เทที่สูงขึ้นเนื่องจากระยะทางที่โลหะหลอมเหลวจะไหลเข้าสู่แม่พิมพ์มีความยาวมากขึ้น โลหะหลอมเหลวจึงเกิดการลดอุณหภูมิ และอาจเกิดการแข็งตัวก่อนเข้าเต็มเต็มแม่พิมพ์ โลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำนี้เมื่อเริ่มเกิดการแข็งตัวจะทำให้แก๊ส และสิ่งเจือปนต่างๆ ในโลหะหลอมเหลวไม่สามารถ ระบายออกมาได้ทันทำให้เกิดรูพรุนในชิ้นงานหล่อ แต่ถ้าอุณหภูมิของโลหะหลอมเหลวสูง สิ่งเจือปน และฟองอากาศเหล่านี้จะระเหยหรือถูกรวมเข้าไปในรูล้นของแม่พิมพ์ และอุณหภูมิที่ไม่เท่ากันจึงทำให้ผลต่างระหว่างอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงของเหลวเป็นของผสม (Liquidus Temperature) จนถึง อุณหภูมิเท ซึ่งถ้ามีผลต่างของอุณหภูมิ (Degree of Superheat) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลวสูงขึ้น

2.2.2 อัตราการเท (Pouring Rate)

อัตราการเท คือ อัตราการเทโลหะหลอมเหลวลงสู่แม่พิมพ์ โดยมีความสำคัญที่หากมี อัตราเทที่ช้าจะทำให้ความสามารถในการไหลลดลง โดยอัตราการไหลจะสัมพันธ์แบบแปรผกผันโดยตรง กับขนาดพื้นที่หน้าตัดของทางไหลเข้าของโลหะหลอมเหลว และขนาดน้ำหนักของชิ้นงาน

2.2.3 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือ ความต้านทานต่อการไหล ซึ่งจะมีความไวอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลง ของอุณหภูมิ การเพิ่มขึ้นของความหนืดจะทำให้ความสามารถในการไหลลดลง ความเสียดทานที่ เกิดขึ้นภายในของไหล ถ้าของไหลที่มีความหนืดมากจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าของไหลที่มีความหนืดน้อย

2.2.4 ความตึงผิว (Surface Tension)

แรงตึงผิว คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวด้วยกัน (Cohesion) พยายาม ยึดผิวของเหลวให้ตึงให้มีพื้นที่น้อยที่สุดที่ผิวของของเหลว เมื่อของเหลวสัมผัสกับภาชนะ และสัมผัส กับอากาศจะมีแรงเกาะติด (Adhesion) ที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของของเหลวกับโมเลกุลของภาชนะ และโมเลกุลของอากาศ แรงตึงผิวของของเหลวจะมีทิศทางกับผิวของเหลว และตั้งฉากกับเส้นขอบ ที่ของเหลวสัมผัส และหากค่าของแรงตึงผิวมีค่ามากจะส่งผลให้โลหะหลอมเหลวมีความสามารถในการไหลลดลง (เกียรติกิติ, 2556)

2.2.5 ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat)

ความร้อนจำเพาะ คือ ความร้อนที่ทำให้สารมวล กิโลกรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 เคลวิน เป็นสมบัติเฉพาะของสาร ถ้าหากวัตถุมมีการเปลี่ยนจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่ง ค่าความร้อน จำเพาะของวัตถุนั้นในสถานะของแข็ง จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของวัตถุเดียวกันในสภาพของเหลว (สายัน, 2559)

2.2.6 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน คือ การแพร่ความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไป ยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งหากแม่พิมพ์มีอุณหภูมิที่ต่ำจะทำให้ความสามารถในการเทความร้อนมีค่า

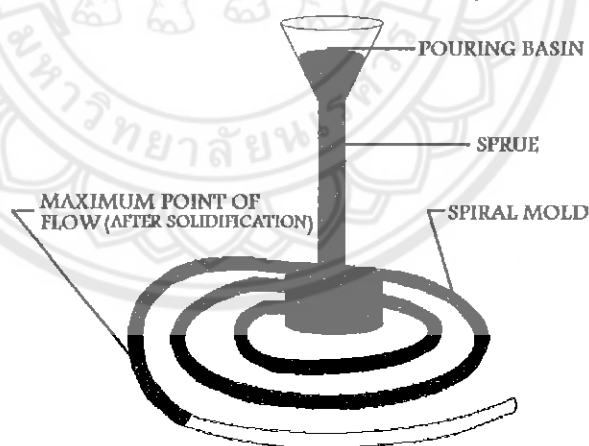
สูงหรือการถ่ายเทความร้อนดี แต่ถ้าแม่พิมพ์มีอุณหภูมิที่สูงจะทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนมีค่าต่ำ (อิทธิพล, 2544)

2.3 การทดสอบความสามารถในการไหล (Fluidity Testing)

โดยดัชนีการไหลคือจุดที่ความยาวของโลหะแข็งตัวในทางเดินของทางวิ่งของโลหะหลอมเหลว จุดที่โลหะแข็งตัวยาวมากเท่าใด นั้นหมายถึงมีการไหลของโลหะที่ดีมีการพัฒนาทดสอบต่าง ๆ ที่เป็นการวัดปริมาณการไหล แต่หนึ่งในการทดสอบโลหะหลอมเหลวนั้นทำโดยการให้โลหะหลอมเหลวไหลไปตามช่องทางวิ่งของแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิห้อง โดยระยะทางที่โลหะหลอมเหลวไหลได้จะเกิดขึ้นก่อนการแข็งตัว และหยุดไหลจะเป็นการวัดความสามารถในการไหล โดยแบ่งการทดสอบการไหลออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.3.1 การทดสอบการไหลแบบเกลียวขด (Spiral Fluidity Test)

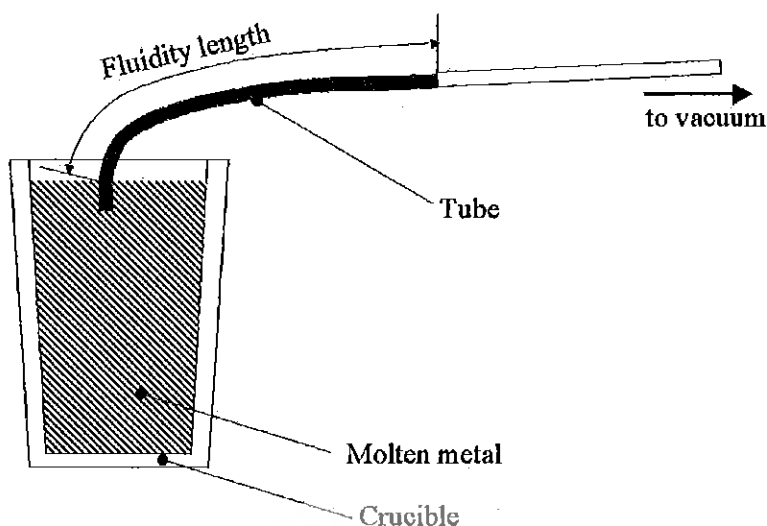
ลักษณะของแม่พิมพ์ที่ใช้ทดสอบจะมีรูปร่างเป็นเกลียวขด เมื่อโลหะหลอมเหลว ถูกเทลงอ่างรูเทไหลลงสู่รูเท จากนั้นจะวิ่งเข้าสู่แม่พิมพ์ และวิ่งไปจนกว่าจะเกิดการแข็งตัว ระยะทางที่วิ่งได้หรือไหลไปได้จะบ่งบอกถึงความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลว โลหะหลอมเหลวที่มีความสามารถในการไหลสูงจะไหลได้เป็นระยะทางไกลกว่าโลหะหลอมเหลวที่มีความสามารถในการไหลต่ำ ความสามารถในการไหลจากการทดสอบโดยวิธีนี้จะระบุเป็น ดัชนีความสามารถในการไหลไปได้ในแม่พิมพ์สไปรอล โดยแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดสอบการไหลแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การทดสอบการไหลแบบเกลียวขด
ที่มา: Kalpakjian S. and Schmid S.R (2006)

2.3.2 การทดสอบการไหลแบบสุญญากาศ (Vacuum Fluidity Test)

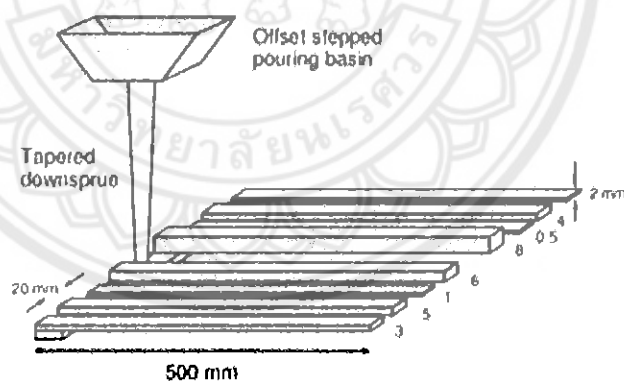
การทดสอบนี้วัดความยาวของการไหลของโลหะหลอมเหลวภายในช่องทางวิ่งของโลหะหลอมเหลว เมื่อดูดโลหะหลอมเหลวจากเข้าหลอมโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ ความเร็วในการทดสอบจะคงที่จนกว่าแรงโน้มถ่วง และความดันจะเท่ากันแสดงรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การทดสอบการไหลแบบสุญญากาศ
ที่มา: F. Bonollo และคณะ (2544)

2.3.3 การทดสอบการไหลแบบช่อง (Strip Fluidity Test)

การทดสอบนี้จะใช้แม่พิมพ์ที่มีลักษณะเป็นช่องขนาดเล็ก ความยาวของแต่ละช่องจะมีขนาดเท่ากันแต่จะมีพื้นที่หน้าตัดต่างกัน แม่พิมพ์นี้จะต้องวางอยู่บนแผ่นทำความร้อนเพื่อให้ความร้อนกับแม่พิมพ์แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การทดสอบการไหลแบบช่อง
ที่มา: M. Di Sabatino (2549)

2.4 การจำลองกระบวนการหล่อโลหะ (Simulation Casting)

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) คือ การรวบรวมวิธีการต่างๆที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบต่างๆ มาไว้บนคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) เข้ามาช่วย เพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่างๆ โดยมีการเก็บข้อมูล และทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงในอนาคต เนื่องจากในการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถที่จะทำการทดลองหรือปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานได้จนกว่าจะมองเห็น

ถึงประโยชน์ที่จะได้รับ ทำให้กระบวนการผลิตซ้ำลง ดังนั้นการจำลองสถานการณ์ (Simulation) จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์สภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบันของระบบ และช่วยหาแนวทางหรือทางเลือก (Scenario) ที่เหมาะสม ก่อนนำไปใช้กับสถานการณ์หรือการปฏิบัติงานจริง

ProCAST2015 คือ โปรแกรมสำหรับใช้จำลองกรรมวิธีการ หล่อขึ้นรูปอะลูมิเนียม ซึ่งถูกนำมาใช้ในการศึกษากระบวนการหล่อมี cycle ของการทำงานเป็น 1 cycle ต่อการผลิตชิ้นงาน 1 shot โดย cycle นั้นเริ่มตั้งแต่อะลูมิเนียมหลอมเหลวอยู่ที่ทางเข้าโลหะหลอมเหลว และไหลเข้าสู่แม่พิมพ์จนเต็ม หลังจากนั้นจะเข้าสู่การแข็งตัว (Solidification) เมื่อแข็งตัวได้ตามเวลาที่กำหนด แม่พิมพ์โลหะจะเปิดเพื่อเอาชิ้นงานหล่อออก นับเป็น 1 cycle โปรแกรมจำลองการหล่อเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองสำหรับการหล่อแบบเท สามารถออกแบบระบบแม่พิมพ์หล่อ และการจำลองการไหลของโลหะในแม่พิมพ์หล่อได้อย่างรวดเร็ว เป็นเครื่องมือในการออกแบบงานหล่อ และการวิเคราะห์อย่างรวดเร็วบนพื้นฐานของการออกแบบ และเทคโนโลยีการวิเคราะห์ล่วงหน้า หลักการออกแบบของเทคโนโลยีการวิเคราะห์ คือ การใช้ระบบที่เสมือนมีผู้เชี่ยวชาญ และเทคโนโลยีมาทำการวิเคราะห์การไหล การถ่ายเทความร้อน และการวิเคราะห์การแข็งตัวโดยช่วยในการตัดสินใจทางวิศวกรรมในการขั้นตอนการออกแบบของงาน การออกแบบ และการวิเคราะห์แบบให้รู้ล่วงหน้า จะกลายเป็นบทบาทสำคัญมากในกระบวนการออกแบบ ด้วยโปรแกรมจำลองงานหล่อผู้ใช้สามารถตรวจหาปัญหาในบริเวณที่เติมเนื้อโลหะไม่เต็ม หรือบริเวณที่อาจจะเกิดการแข็งตัวก่อน หรือปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในขณะที่ทำการหล่อ (เชิดศักดิ์ อธิษฐาน และคณะ, 2547)

2.4.1 ผลของการวิเคราะห์การจำลองการหล่อ (Results of the Analysis Casting Simulation)

- 2.4.1.1 การไหลของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Filling)
- 2.4.1.2 ความเร็วในการไหลของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Melt Velocity)
- 2.4.1.3 การแข็งตัวของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Solidification)
- 2.4.1.4 ทิศทางการไหลของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Flow Direction)

2.4.2 ตัวแปรที่ต้องป้อนลงในโปรแกรมจำลองการหล่อ

- 2.4.2.1 อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold Temperature)
- 2.4.2.2 อุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลว (Pouring Temperature)
- 2.4.2.3 อัตราการไหลของโลหะหลอมเหลว (Pouring Flow Rate)
- 2.4.2.4 ขนาดทางเข้าของโลหะหลอมเหลว (Inlet Diameter)
- 2.4.2.5 อุณหภูมิล้อมรอบขณะทำการหล่อ (Ambient Temperature)
- 2.4.2.6 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (Heat transfer coefficient)
- 2.4.2.7 ชนิดของแม่พิมพ์ชนิดวัสดุที่ใช้ (Material and Initial Condition of Mold)

2.4.2.8 ค่าความหนาแน่นของวัสดุ (density) ซึ่งหาได้จากผลหารระหว่างมวลรวมกับปริมาตรรวม ดังสมการ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

โดยที่ ρ คือความหนาแน่นของวัสดุ (หน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m คือมวลรวมของวัสดุ (หน่วย กิโลกรัม)

V คือปริมาตรรวมของวัสดุ (หน่วย ลูกบาศก์เมตร)

ขั้นตอนการจำลองงานหล่อเริ่มต้นกระบวนการโดยการสร้างแบบจำลองชิ้นงาน 3 มิติ (CAD) หลังจากนั้นทำการส่งไฟล์ของแบบที่เขียนโดย CAD เข้าสู่กระบวนการจำลองซึ่งเป็น โปรแกรม ProCAST2015 แล้วทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามกระบวนการโดย เริ่มจากการเขียนตำแหน่งทางเข้าของโลหะหลอมเหลวที่เข้าแม่พิมพ์โลหะ ตำแหน่งระบายอากาศ เสร็จแล้ว จะเข้าสู่การแบ่งส่วนประกอบที่มีลักษณะเป็นตาข่าย (Enmeshment) จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์การคำนวณค่าต่าง ๆ จะอยู่ในขอบเขตของลูกบาศก์ต่อเนื่องกันไป ดังนั้นการแบ่งส่วนประกอบนี้จะต้องไม่หยวบจนเกินไปทำให้ค่าจากการคำนวณคาดเคลื่อนกว่าความเป็นจริงมาก แต่ก็ไม่ควรละเอียดจนเกินไปเพราะถึงจะได้ผลจากการคำนวณตรงกับความเป็นจริงมาก แต่ก็เสียเวลาสำหรับการคำนวณมากเช่นเดียวกัน เมื่อแบ่งเมชเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการป้อนพารามิเตอร์เข้าสู่โปรแกรม ซึ่งพารามิเตอร์นี้จะต้องเป็นค่าพารามิเตอร์จริงที่ใช้ในการทำงานจริง เพื่อความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรม ค่าพารามิเตอร์โดยหลัก ๆ ที่ต้องป้อนมีดังนี้ Machine Parameter (การกำหนดทิศทางการไหลของโลหะหลอมเหลว ด้านล่าง,บน), Material (ชนิด และสมบัติของวัสดุชิ้นงาน, แม่พิมพ์โลหะ ,ทรายไส้แบบ), Heat Transfer, เวลาการเปิด-ปิดแม่พิมพ์โลหะ (Cycle Time) การที่โปรแกรมจะคำนวณได้ถูกต้องนั้นขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรต่างๆ ที่ผู้ทำการจำลอง กำหนดในโปรแกรม ในอุตสาหกรรมสามารถทำการศึกษาดูตามขั้นตอนดังนี้ คือ วิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้นกับชิ้นงานจริง ได้ผลของปัญหาที่เกิดขึ้น พบว่าชิ้นงานมีโพรงอากาศมาก (Porosity) มีรอยยุบหรือหดตัว (เนื้อไม่เต็ม) มีรอยการไหลของอะลูมิเนียมหลอมเหลว (Flow line) ซึ่งเป็นปัญหาที่ลูกค้าไม่ยอมรับ สาเหตุหลักๆ คือการไหลที่ไม่สมดุลมีการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) ซึ่งจะหมุนวนเอาอากาศและแก๊สไว้ในเนื้อชิ้นงานนั่นเอง การจำลองงานหล่อนี้จะช่วยลดเวลาในการแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิต และสามารถใช่วิธีที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาได้ (esi-group, 2557)

2.5 การเขียนแบบแม่พิมพ์ในระบบ 3 มิติ (Drawing mold in 3D)

การสร้างโมเดลทางความร้อนเพื่อจำลองงานหล่อ สามารถทำได้โดยเขียนโมเดลได้จากโปรแกรม AutoCAD 2016

AutoCAD 2016 เป็นซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Aided Drafting/Design ,CAD) ที่สามารถรองรับการทำงานทั้งใน 2 มิติ และ 3 มิติ บริษัทด้านวิศวกรรม สถาปัตยกรรม และอุตสาหกรรมต่างๆ ส่วนใหญ่นิยมใช้ AutoCAD เนื่องจากมีขีดความสามารถสูงในการสร้างแบบจำลองสามมิติ นักออกแบบสามารถควบคุมการวาด เปลี่ยนมุมมองได้ในทุกทิศทางรอบแบบ กำหนดสมบัติของภาพวาดได้ตามต้องการ ด้วยคำสั่ง และเครื่องมือ เพิ่มประสิทธิภาพประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย ทำให้ AutoCAD เป็นตัวเลือกที่ดีในงานที่มีความละเอียด และต้องการความแม่นยำสูง (พิทชกร, 2553)

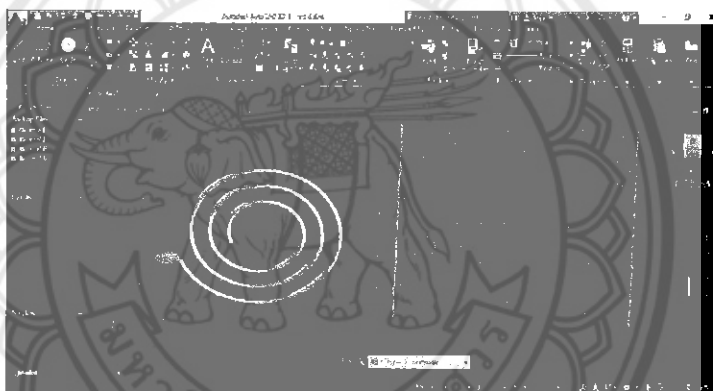
2.5.1 ประโยชน์ของ AutoCAD (Benefits AutoCAD)

2.5.1.1 ลดระยะเวลาในการออกแบบ และเขียนแบบ

2.5.1.2 ช่วยในการแก้ไข และดัดแปลงแบบของชิ้นงานเดิมโดยใช้เวลาที่สั้นมาก

2.5.1.3 มีความแม่นยำสูง ลดความผิดพลาดในการทำงาน

2.5.1.4 สามารถออกแบบได้อย่างอัตโนมัติในพื้นที่



รูปที่ 2.5 การสร้างแบบ 3 มิติ ของโปรแกรม AutoCAD
ที่มา: <http://www.zwsoft.com/ZW3D/mold-making/>

2.6 การหล่อโลหะ (Casting)

2.6.1 การหล่อแบบให้แรงโน้มถ่วง (Gravity Die Casting)

กระบวนการหล่อโลหะด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity Die Casting) เป็นกระบวนการหล่อแบบธรรมดาซึ่งใช้แม่พิมพ์โลหะที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ กระบวนการนี้ใช้สำหรับชิ้นงานที่มีรูปร่างที่เรียบง่าย ส่วนใหญ่จะเหมาะกับการหล่อโลหะน้ำหนักเบา แต่ยังสามารถใช้สำหรับเหล็กกล้า และเหล็กหล่อได้ ทั้งสองส่วนของแม่พิมพ์มีการฉีดพ่นด้วยสารเคลือบผิว โดยปกติจะใช้ซิลิเกตในการเคลือบผิวแล้วนำแม่พิมพ์สองส่วนมาประกบเข้าด้วยกัน จะมีการอุ่นแม่พิมพ์ให้ความร้อนก่อนที่จะเทโลหะหลอมเหลวลงในแม่พิมพ์

ปัจจัยที่มีผลของกระบวนการหล่อโลหะด้วยแรงโน้มถ่วง

2.6.1.1 อุณหภูมิแบบหล่อ (Mold Temperature)

อุณหภูมิของแบบหล่อมีผลกระทบต่อชิ้นงานหล่อได้ และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแบบหล่อดังนี้

ก. อุณหภูมิของแบบหล่อสูง (High Mold Temperature) มีผลเสียในเรื่อง ความถี่ของรอบการปฏิบัติงานนานขึ้น แต่มีข้อดีในเรื่องความแตกต่างของอุณหภูมิแบบหล่อกับโลหะ หลอมเหลวที่มีความแตกต่างทางความร้อนน้อย

ข. อุณหภูมิของแบบหล่อต่ำ (Low Mold Temperature) มีผลเสียเกิดขึ้นกับ การหล่อชิ้นงาน ทำให้โลหะหลอมเหลวแข็งปิดทางเดินของโลหะหลอมเหลวก่อนที่โลหะหลอมเหลว จะเต็มเต็มแบบหล่อ ทำให้กระบวนการผลิตเกิดข้อผิดพลาด

2.6.1.2 สารเคลือบผิวหล่อ (Casting Coating)

ทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นต่างกัน และช่วยระบายความร้อนที่ผิวหน้า ของแม่พิมพ์หลังจากชิ้นงานถูกเอาออกจากแม่พิมพ์

2.6.1.3 อุณหภูมิการหลอม และอุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลว (Pouring Temperature)

อุณหภูมิในการหลอมโลหะผสมจะปรับเปลี่ยนไปตามชนิดของธาตุผสมของโลหะ น้ำหนักของชิ้นงานหล่อ และอุณหภูมิที่ใช้ในการเทโลหะหลอมเหลว ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องหาจุดที่ เหมาะสมในการหาอุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลวสามารถอธิบายได้ 2 กรณี ดังนี้

ก. อุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลวต่ำ (Low Pouring Temperature) อาจทำให้ได้ ชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบหล่อ เพราะระบบทางเข้าเกิดการแข็งตัวก่อนที่จะมีการแข็งตัวของชิ้นงาน

ข. อุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลวสูง (High Pouring Temperature) ทำให้เกิด การหดตัวสูง เนื่องจากการเทโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูง ขนาดของชิ้นงานที่ได้มีขนาดไม่แน่นอน และยังส่งผลต่อเวลาของกระบวนการแข็งตัวที่เพิ่มมากขึ้น และอายุการใช้งานของแบบหล่อลดลง

2.6.2 การหล่อโลหะกึ่งแข็ง (Semi-solid Casting)

การหล่อโลหะด้วยวัตถุดิบที่มีสถานะกึ่งแข็งกึ่งเหลว โดยมีร้อยละของของแข็งที่ประมาณ ร้อยละ 30-65 ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะวัตถุดิบ และชิ้นงานที่ต้องการผลิต ทำให้โลหะกึ่งแข็งมีลักษณะ ทัวไปที่ใกล้เคียงของแข็ง ใช้แรงทางกลต่ำในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโลหะกึ่งแข็ง ซึ่งทำให้ข้อจำกัด ของกรรมวิธีการหล่อได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น การผลิตชิ้นงานจากกระบวนการหล่อโดยใช้อุณหภูมิที่ ต่ำลง แต่ได้ชิ้นงานที่มีรูพรุนต่ำ หดตัวน้อย ขนาดใกล้เคียงกับชิ้นงานต้นแบบสูง และยังได้โครงสร้าง จุลภาคที่เป็นโครงสร้างแบบกลม และยังทำให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น เนื่องจากเกิดการสึกหรอจากกระบวนการหล่อที่น้อยลง ซึ่งจะช่วยให้ต้นทุนสำหรับการผลิตแม่พิมพ์ ต่ำลง และยังหมายถึงต้นทุนทางพลังงานที่ลดลงเนื่องมาจากการลดอุณหภูมิลง และระยะเวลาในการ ผลิตต่อชิ้นงาน 1 ชิ้นที่ลดลง เพราะชิ้นงานใช้เวลาในการเย็นตัวลดลง ทำให้ระยะเวลาการผลิตต่อ หนึ่งรอบการผลิตที่ลดลง ซึ่งสามารถผลิตชิ้นงานผลิตภัณฑ์ได้เป็นปริมาณที่มากขึ้นต่อวัน ใน

ขณะเดียวกันชิ้นงานที่เย็นตัวจะมีโครงสร้างจุลภาคที่มีขนาดเล็ก และไม่เกิดโครงสร้างแบบเดนไดรต์ จากอัตราการเย็นตัวที่เร็วขึ้น และมีรูพรุนต่ำ เนื่องจากลดการเกิดรูพรุนในชิ้นงานจากการเกิดความปั่นป่วนจากการไหลของของไหล ทำให้ชิ้นงานผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงทางกลที่ดีขึ้นมาก (รังสิณี, 2556)

2.6.2.1 เทคโนโลยีการหล่อโลหะกึ่งแข็ง (Technologies for Semi-solid Casting Processing) (รังสิณี, 2556)

เทคโนโลยีการหล่อกึ่งแข็งจะแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ

ก. กระบวนการผลิตจากของเหลว (Rheocasting) เป็นกระบวนการที่เตรียมโลหะหลอมเหลวกึ่งแข็ง (Slurry) จากโลหะหลอมเหลว โดยการให้แรงเฉือนระหว่างเกิดการแข็งตัว และส่งผ่านโลหะหลอมเหลวกึ่งแข็งที่ได้สู่แม่พิมพ์เพื่อขึ้นรูปโดยตรง

ก.1 กระบวนการนิวรีโอแคสติง (New Rheocasting หรือ NRC)

โดยที่กระบวนการนิวรีโอแคสติงนั้นได้รับการพัฒนามาจากบริษัทอุเบ ประเทศญี่ปุ่น โดยจะทำการดักโลหะหลอมเหลวจากเข้าหลอมไปใส่ในเข้าเวสเซล (Vessel) โดยจะควบคุมการเจริญเติบโตของอนุภาคของแข็ง โดยการควบคุมการถ่ายเทความร้อนของโลหะหลอมเหลวในช่วงกึ่งแข็งกึ่งเหลว จากนั้นโลหะหลอมเหลวที่มีลักษณะกึ่งของแข็งกึ่งของเหลวลงในกระบอกฉีด และทำการอัดเข้าแม่พิมพ์โดยวิธี NRC

ก.2 กระบวนการเอสเอสอาร์ (Semi-solid Rheocasting หรือ SSR)

ทำโดยการนำแท่งกราไฟต์ทำหน้าที่ในการระบายความร้อน หมุนลงในโลหะหลอมเหลวที่สูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวจนอุณหภูมิลดต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว เพื่อสร้างเกรนก่อนกลมอย่างมีประสิทธิภาพโดยสร้างเกรนก่อนกลมจะเกิดเป็นสัดส่วนของโลหะหลอมเหลว

ก.3 กระบวนการแมกนีโตไฮดรอนามิก (Magnetohydrodynamic หรือ MHD)

กระบวนการนี้จะผลิตบิลเลตที่มีโครงสร้างไม่เป็นกึ่งไม้โดยแรงเฉือนจากการหมุนโดยแม่เหล็กไฟฟ้า ในการหล่อแบบต่อเนื่อง โลหะหลอมเหลวจะถูกหมุนด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าภายในแม่พิมพ์เพื่อสร้างเกรนก่อนกลม

ก.4 กระบวนการกิส (Gas Induced Semi-solid หรือ GISS)

ในกระบวนการ GISS การควบคุมระบายความร้อนเฉพาะจุดออกจากโลหะหลอมเหลวอย่างรวดเร็ว จะเกิดขึ้นที่ผิวของแท่งกราไฟต์ในขณะที่แท่งกราไฟต์ถูกจุ่มอยู่ในโลหะหลอมเหลว และในเวลาเดียวกันก็จะเกิดการเคลื่อนย้ายของโลหะหลอมเหลวเฉพาะจุดอย่างแรง ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการปล่อยฟองแก๊สเฉื่อยที่ละเอียดให้ไหลผ่านแท่งกราไฟต์ในปริมาณที่น้อยมาก

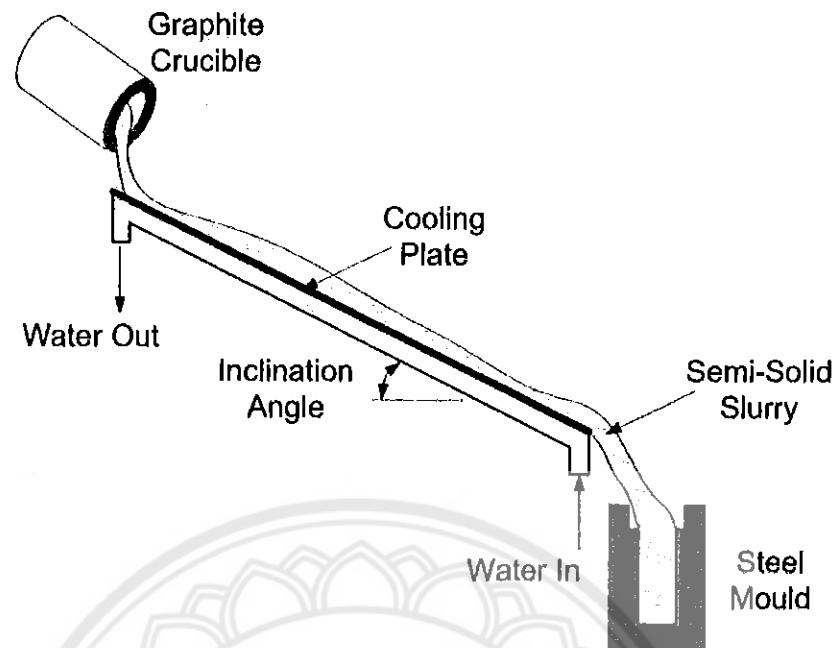
ก.5 กระบวนการเทคนิครางเทหล่อเย็น (Cooling Plate Technique)

กระบวนการหล่อโลหะแบบรางเทหล่อเย็น เป็นกระบวนการหล่อที่พัฒนาจากโรงงาน UBE ในประเทศญี่ปุ่น โดยเทโลหะหลอมเหลวผ่านรางเทที่อุณหภูมิเหนือจุด

หลอมเหลวเพียงเล็กน้อย โดยลำดับการขึ้นรูปด้วยวิธีการเทแบบหล่อเย็นมีขั้นตอนในการพอร์มตัว ดังนี้ โลหะหลอมเหลวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวเล็กน้อย จากนั้นจึงเทผ่านรางเทหล่อเย็น เมื่อโลหะหลอมเหลวสัมผัสบนรางเท จะทำให้โลหะหลอมเหลวที่สัมผัสบริเวณรางเทจะเกิดนิวเคลียสเล็กๆ จำนวนมาก ส่วนโลหะหลอมเหลวที่ไม่ติดกับรางเทจะเป็นอุณหภูมิสูง จะเกิดการโตของเดนไดรต์ไปในทิศทางที่อุณหภูมิสูง แต่ด้วยการไหลของของโลหะหลอมเหลว ทำให้เกิดความเค้น จนทำให้เกิดการแตกหัก และการไหลของโลหะลดลงยังทำให้เกิดนิวเคลียสใหม่ควบคู่กันไป จึงเกิดการกระจายความร้อน และกระจายของนิวเคลียสทำให้ ได้โครงสร้างที่สม่ำเสมอกระจายตัวได้ดี (กนกกาญจน์, 2553)

โดยปัจจัยที่จะส่งผลต่อชิ้นงานที่ได้จากรางเทหล่อเย็น คือ อุณหภูมิการเท คือ การเทโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูง จะส่งผลให้โลหะหลอมเหลวมีความสามารถเติมเต็มแม่พิมพ์สูง ในทางตรงกันข้าม ถ้าเทโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำ จะส่งผลให้โลหะหลอมเหลวมีความสามารถเติมเต็มแม่พิมพ์ต่ำลง เนื่องจากโลหะหลอมเหลวจะเกิดการเย็นตัวบนรางเททำให้เกิดของแข็งบางส่วนความสามารถในการไหลจึงลดต่ำลง มุมความชันของรางเท คือ ความชันของรางเทหล่อเย็นมีผลต่ออัตราส่วนของแข็งในของเหลวซึ่งอัตราส่วนของแข็งในของเหลว คือ ปริมาณของแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างที่โลหะอยู่ในสภาพหลอมเหลว โดยที่ ถ้าความชันของรางเทหล่อเย็นมาก ความเร็วในการไหลของโลหะหลอมเหลวบนรางเทหล่อเย็นก็จะมาก ทำให้โลหะหลอมเหลวมีระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนน้อยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนรางเทหล่อเย็นก็จะน้อยตามไปด้วย แต่ถ้าความชันของรางเทหล่อเย็นน้อย ความเร็วในการไหลของโลหะหลอมเหลวบนรางเทหล่อเย็นก็จะน้อย ทำให้โลหะหลอมเหลวมีระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนมากทำให้แรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนรางเทหล่อเย็นก็จะมากตามไปด้วย ความยาวของรางเท คือ ถ้าความยาวรางเทมีความยาวมากเกินไปจะทำให้เกิดการแข็งตัวของโลหะหลอมเหลวบนรางเท และถ้าหากความยาวของรางเทสั้นเกินไปจะทำให้เกิดยากที่จะเกิดนิวเคลียส โดยส่วนประกอบของรางเทแสดงดังรูปที่ 2.6

โดยวิธีการขึ้นรูปโลหะในสภาวะกึ่งแข็งด้วยวิธีการเทผ่านรางเทหล่อเย็นนี้มีลำดับขั้นตอนในการพอร์มตัวเป็นโลหะในสภาวะกึ่งแข็ง คือ เมื่อโลหะหลอมเหลวถูกเทผ่านรางเทหล่อเย็นระหว่างผิวสัมผัสของรางเทหล่อเย็นกับโลหะหลอมเหลว ความร้อนจะถูกถ่ายเทให้กับผนังของรางเทหล่อเย็น ทำให้เกิดนิวเคลียสขนาดเล็กๆที่ผนังของรางเทจำนวนมาก เนื่องจากการไหลของโลหะหลอมเหลวทำให้เกิดความเค้นไปกับกระทำกับเดนไดรต์เป็นผลทำให้เดนไดรต์เกิดการแตกหัก และการไหลของโลหะหลอมเหลวยังทำให้เกิดการหลอมใหม่อีกครั้งซึ่งทำให้เกิดนิวเคลียสใหม่ควบคู่กันไป การเกิดในลักษณะนี้ซ้ำไปซ้ำมา จึงทำให้มีการกระจายตัวของความร้อน และการกระจายตัวของนิวเคลียสส่งผลให้โครงสร้างที่ได้มีการกระจายตัวที่ดี และมีการเกิดเดนไดรต์น้อยลง จากนั้นโลหะหลอมเหลวจึงไหลลงสู่แม่พิมพ์



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของการทำรางเทหล่อเย็น
ที่มา: S.Gencalp, and N.Saklakoglu (2010)

ข. กระบวนการผลิตจากของแข็ง (Thixocasting) เป็นกระบวนการที่แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนการเตรียมวัสดุตั้งต้นที่มีสมบัติไฮโทรปิค และขั้นตอนการนำวัสดุที่ได้ไปให้ความร้อนอีกครั้งให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่วัสดุกึ่งแข็ง เพื่อให้ได้หลอมเหลวโลหะกึ่งแข็งที่พร้อมสำหรับกระบวนการขึ้นรูปโดยกระบวนการ Thixomoulding เป็นกระบวนการใหม่สำหรับผลิตโลหะผสมแมกนีเซียมที่มีรูปร่างใกล้เคียงรูปร่างสุดท้าย โดยใช้วัสดุตั้งต้นเป็นโลหะผสมแมกนีเซียม ซึ่งจะถูกให้ความร้อนภายในเครื่องเพื่อให้เกิดการหลอมเหลวบางส่วนภายใต้แรงเฉือนอย่างต่อเนื่องซึ่งเกิดจากสกรูภายในเครื่อง หลังจากนั้นโลหะหลอมเหลวกึ่งแข็งจะถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์เพื่อให้ได้ชิ้นงานต่อไป ซึ่งกระบวนการนี้มีได้เปรียบมากมายเนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตผลิตขั้นตอนเดียว ทำให้มีกำลังการผลิตที่สูง และสามารถจัดการพลังงานได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ยังมีข้อจำกัดด้านสัดส่วนของแข็งที่ต่ำ

2.7 การทดสอบสมบัติทางความร้อน และองค์ประกอบทางเคมี

การทดสอบหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองมีความสำคัญในการทำการทดสอบเพื่อเป็นตัวแปรควบคุมในการกรอกข้อมูลลงในโปรแกรมการจำลองการหล่อ และการใช้ในการทดลองจริงเพื่อให้ได้การเปรียบเทียบที่คงที่โดยการทดสอบหาค่าต่าง ๆ นั้นจะทำการทดสอบตามปัจจัยที่ต้องการกรอกลงในโปรแกรมโดยใช้เครื่องมือทดสอบดังนี้

2.7.1 เครื่องวิเคราะห์การนำความร้อน (Thermal Conductivity Analysis ; TCA)

TCA เป็นเทคนิคที่ใช้วัดสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ ตัวอย่างงานที่ทดสอบ ได้แก่ วัดค่าการนำความร้อน, ค่าความจุความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ

ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) คือค่าที่แสดงการส่งผ่านหรือการไหลผ่านของความร้อนในวัสดุ มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อเมตรเคลวิน โดยโลหะจะมีค่าการนำความร้อนสูง ส่วนโลหะผสม เซรามิก และวัสดุสารอินทรีย์ จะมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่า ซึ่งค่าการนำความร้อนจะบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นเป็นฉนวนความร้อน กรณีที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ หรือจะเป็นตัวนำความร้อนหากมีค่าการนำความร้อนสูง

ทฤษฎีพื้นฐานของการวัดค่าการนำความร้อนกับดิסקเซ็นเซอร์ความร้อน การวัดค่าความร้อนจะเริ่มจากจุดที่เกิดการละลายของสาร การแสดงผลจะแสดงออกมาในสมการทางคณิตศาสตร์โดยจะแสดงจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของเซ็นเซอร์ โดยจะมีค่าที่แม่นยำสูง เนื่องจากการวัดค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าของตัวเซ็นเซอร์ ที่มาจากการสมบัติทางความร้อนที่ไหลผ่านวัสดุ โดยการวิเคราะห์จะวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรูปของฟังก์ชันเวลา

ข้อดีของหลักการเทคนิคดิस्कความร้อน สามารถใช้ช่วงการนำความร้อนได้กว้างจาก 0.005 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ถึง 500 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน การเตรียมตัวอย่างง่าย ไม่ทำลายชิ้นงาน และที่สำคัญมีความแม่นยำสูง (ศิริพร, 2557)

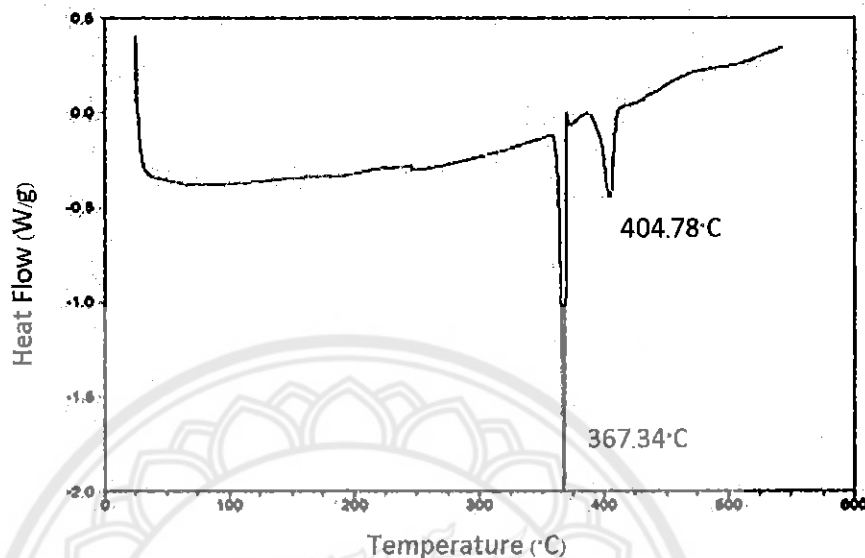
2.7.2 เครื่องวัดค่าความต่างความร้อนของสาร (Differential Scanning Colorimeter ; DSC)

Differential Scanning Colorimeter หรือที่เรียกย่อ ว่าเครื่อง DSC เป็นแคลอริมิเตอร์ (Calorimeter) ซึ่งใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Transition) ของสารตัวอย่าง ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (การดูดหรือคายพลังงาน) ของสารตัวอย่าง เมื่อถูกเพิ่ม (หรือลด) อุณหภูมิ ในบรรยากาศที่ถูกควบคุม

หลักพื้นฐานของ DSC คือ นำถาดมา 2 ถาด คือถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง (Sample Pan) และถาดอ้างอิง (Reference Pan) ซึ่งเป็นถาดเปล่าวางอยู่ข้างกันไปวางอยู่บนอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) ชนิดเดียวกัน เมื่อเริ่มการทดลองอุปกรณ์ให้ความร้อน จะเริ่มให้ความร้อนแก่ถาดทั้งสอง โดยเครื่อง DSC จะควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้คงที่ (เช่น 10 องศาเซลเซียส ต่อ 1 นาที) โดยจะควบคุมให้ความร้อนถาดทั้งสองที่วางแยกกันด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่เท่ากันตลอดทั้งการทดลอง

หลังการให้ความร้อนอุณหภูมิของถาดทั้งสองจะเพิ่มด้วยอัตราที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากถาดตัวอย่างมีตัวอย่างอยู่ข้างใน แต่ถาดอ้างอิงไม่มีตัวอย่างอยู่ข้างใน การมีสารตัวอย่างอยู่ข้างในทำให้ถาดตัวอย่างมีสารในปริมาณที่มากกว่าถาดอ้างอิง นั้นหมายความว่าเตาหลอมต้องให้ความร้อนสารตัวอย่างมากกว่าที่ให้สารอ้างอิงเพื่อที่จะคงอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้เท่ากัน ดังนั้นเตาหลอมที่อยู่ใต้ถาดอ้างอิงจะต้องทำงานหนักกว่าเตาหลอมที่อยู่ใต้ ถาดตัวอย่างคือมันต้องให้ความร้อนมากกว่า และการวัดความแตกต่างของปริมาณความร้อนจาก การหลอมทั้งสองนี้ คือหน้าที่หลักของเครื่อง DSC

และเพื่อให้เห็นภาพได้ง่าย โดยกราฟจะมีแกนนอนเป็นค่าของอุณหภูมิ และแกนตั้งเป็นค่าของความแตกต่างของปริมาณความร้อนของการหลอมทั้งสอง ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งแสดงดังรูปที่ 2.7 (อุสุมา, 2559)



รูปที่ 2.7 กราฟตัวอย่างของเครื่อง Differential Scanning Colorimeter (DSC)
ที่มา: F.Zupanic (2014)

2.7.3 เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectroscopy ; OES)

Optical Emission Spectrometer เป็นการหาชนิด และปริมาณของธาตุ โดยใช้หลักการการกำเนิด X-ray โดยที่จะเป็นการวิเคราะห์พลังงานของ X-ray ที่ได้จากผิวชิ้นงาน

หลักการทำงานของ Optical Emission Spectrometer เมื่ออิเล็กโตรดได้รับพลังงานไฟฟ้าจะให้กำเนิดลำอิเล็กตรอน ด้วยกำลังประมาณ 800-100 โวลต์ (V) และตกกระทบผิวชิ้นงานผ่านบรรยากาศของแก๊สอาร์กอน อิเล็กตรอนในอะตอมของชิ้นงานที่มีระดับพลังงานต่ำสุด (ground state) จะถูกกระตุ้นให้มีระดับพลังงานสูงขึ้น (Excited state) อะตอมที่อยู่ในสภาวะนี้จะไม่เสถียร จึงพยายามลดพลังงานลงมา จึงปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของแสง (Light Emission) หรือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นเฉพาะตัว แสงที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านไปยังระบบแยกความยาวคลื่นแสง ซึ่งเรียกว่า Spectrometer ซึ่งมีลักษณะเป็นเลนส์นูน และปริซึมสามเหลี่ยม (ผลึกของ silicon or Lithium) เพื่อให้เกิดการหักเหของแสง เป็น Spectrum จากนั้นแสงที่ถูกแยกความยาวคลื่นแล้วจะถูกส่งไปยัง Detector เพื่อเปลี่ยนความเข้มแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และระบบวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าให้เป็นความเข้มข้นของธาตุ โดยเปรียบเทียบกับสัญญาณของมาตรฐานที่เราทราบความเข้มข้นที่ได้ทำการวิเคราะห์ และบันทึกไว้ก่อนหน้านี้ ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นปริมาณร้อยละของส่วนประกอบทางเคมีของชิ้นงานที่ทดสอบ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S. Deepak Kumar (2014) และคณะได้ทำวิจัยเรื่อง Cooling Slope Casting Process of Semi-solid Aluminum Alloys: A Review ทำการศึกษากระบวนการหล่อแบบกึ่งแข็งโดยมีการศึกษาพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันโดยใช้การหล่อกึ่งแข็งแบบ Thixoforming และทำการศึกษาการหล่อแบบกึ่งแข็งโดยใช้รางเทหล่อเย็นกับอะลูมิเนียมผสมโดยทำการทดลองกับอะลูมิเนียมผสมเกรดต่างๆ มีการปรับเปลี่ยนมุมของรางเทให้มีขนาด 25, 30, 45 และ 60 องศาความยาวของรางเท 250, 300, 500 และ 1,000 มิลลิเมตร และอุณหภูมิที่ใช้ในการเทจะอยู่เหนืออุณหภูมิจุดหลอมเหลว โดยผลที่ได้คือขั้นตอนการหล่อแบบรางเทระบายความร้อน และเป็นวิธีการที่ง่าย และค่าใช้จ่ายน้อยวิธีนี้มีประสิทธิภาพในการผลิตที่ไม่เกิดโครงสร้างจุลภาคแบบเดนไดรต์ หรือได้โครงสร้างแบบทรงกลมในขั้นตอนเดียว ข้อได้เปรียบของกระบวนการที่อยู่ในความง่าย และความสะดวกในการที่แยกจากกัน และรูพรุนในวัสดุบิดลดลง โดยสิ่งสำคัญคือการเลือกพารามิเตอร์อุณหภูมิเทในการหล่อ การเลือกมุมความชันของรางเท ความยาวของรางเท ทั้งหมดนี้จะส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้น เทคนิคการหล่อแบบรางเทหล่อเย็นถือเป็นศักยภาพที่สำคัญที่ส่งผลต่อวัสดุดิบที่จะทำให้ได้โครงสร้างที่มีเกรนกลม

นายมงคล แก้วนพรัตน์ (2555) ได้ทำวิจัยเรื่องการลดปัญหาข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตขึ้นส่วนยานยนต์จากอะลูมิเนียมหล่อโดยใช้โปรแกรมจำลองงานหล่อขึ้นรูป โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองการหล่อด้วยโปรแกรม ProCAST 2009 โดยการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ และขนาดทางวิ่งของแม่พิมพ์โลหะ โดยทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลว ตั้งแต่ 680-750 องศาเซลเซียส จากการจำลองพบว่าที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส จะพบปริมาณรูพรุนร้อยละ 1.26 เมื่ออุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลวเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณรูพรุนในชิ้นงานลดลง และปริมาณรูพรุนลดลงต่ำสุดที่อุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลว 730 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลวสูงกว่า 730 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณรูพรุนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกันกับการทำการจำลองค่าอุณหภูมิแม่พิมพ์โดยทำการกำหนดให้ค่าอุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลวเท่ากับ 730 องศาเซลเซียสแล้วทำการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิแม่พิมพ์ตั้งแต่ 300 - 760 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิแม่พิมพ์เท่ากับ 300 องศาเซลเซียสพบรูพรุนประมาณร้อยละ 1.76 แล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิไปจนถึง 450 องศาเซลเซียส จะพบว่าปริมาณรูพรุนจะเริ่มลดลงจึงทำการหล่อชิ้นงานจริงเปรียบเทียบกับ การจำลองของโปรแกรมที่ชิ้นงาน 188 ชิ้น หล่อชิ้นงานโดยใช้อุณหภูมิเท 730 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแม่พิมพ์โลหะสูงกว่า 350 องศาเซลเซียส และมีการผลิตชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง ตรวจสอบพบชิ้นงานที่เกิดการร้าวภายหลังการแก้ไขแม่พิมพ์โลหะเพียง 1 ชิ้นโดยให้ผลสอดคล้องกับปริมาณรูพรุนที่ลดลง เนื่องจากรูพรุนที่เกิดขึ้นมีปริมาณต่ำส่งผลให้การร้าวในชิ้นงานลดลงด้วย

เอกชัย กิติแก้วทวีเสรีฐ และคณะ (2554) ได้ทำวิจัยเรื่องอิทธิพลของตัวแปรในการออกแบบเส้นทางไหลของโลหะเหลวที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหลของโลหะหลอมเหลว ในกระบวนการหล่อความดันสูงในกระบวนการหล่อความดันสูง โดยศึกษาจากการทำการเปลี่ยนค่ามุมการไหลโดยกำหนด

ที่ 10 ถึง 60 องศาเพิ่มขึ้นที่ 10 องศา และทำการศึกษาพื้นที่หน้าตัดของทางวิ่งโลหะหลอมเหลว (Runner) เป็นอัตราส่วนกับพื้นที่หน้าตัด (Ingate) อัตราส่วนที่ทำการเปลี่ยนนั้นคือ 1:4, 1:8 และ 3:5 ในการทดลองนั้นทำการทดลองโดยการใช้โปรแกรมจำลองการหล่อ (Casting Process Simulation) โดยจากการทำการจำลองแบบหล่อแล้วผลที่ได้คือมุมการไหลที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20-40 องศา เนื่องจากมุมการไหลที่มากเกินไปทำให้โลหะเหลวแตก อากาศรวมตัวกับโลหะเหลวได้ง่ายเกิดโพรง อากาศที่ขึ้นงาน และอัตราส่วน R:1 ที่เหมาะสมคือไม่ควรเกิน 2.5 เท่าเพราะจะทำให้โลหะเหลวไหลไม่สม่ำเสมอ และไม่ควรต่ำกว่า 1 เท่า เพราะจะทำให้โลหะหลอมเหลวไหลไม่เต็ม runner อาจเกิดการรวมตัวกับอากาศได้ง่าย

T. Haga และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาปัจจัยของรางเทหล่อเย็นที่ส่งผลกระทบต่อการหล่อโลหะกึ่งแข็ง จากการศึกษาพบว่า ความยาวของรางเทมีผลต่อการระบายความร้อนของโลหะหลอมเหลว โดยการระบายความร้อนของโลหะหลอมเหลวจะมีค่ามากก็ต่อเมื่อความยาวของรางเทหล่อเย็นมีความยาวมาก อีกทั้งความชันของรางเทก็ส่งผลต่ออัตราการไหลของโลหะหลอมเหลวด้วย โดยหากรางเทมีความชันมากจะส่งผลให้ความเร็วในการไหลของโลหะหลอมเหลวมีค่ามาก ทำให้การระบายความร้อนของโลหะหลอมเหลวบนรางเทมีค่าน้อยตามไปด้วย

Ghomashchi (2006) ได้ทำการศึกษากการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิเทของโลหะหลอมเหลวที่ส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาค ที่อุณหภูมิ 615, 630, 645, 675 และ 695 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า เมื่อเทโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 615 องศาเซลเซียส โครงสร้างจุลภาคที่ได้จะเปลี่ยนแปลงจากเดนไดรต์กลายเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะกลม และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เนื่องมาจากการเทโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ความหนาแน่นของเกรนมีมากขึ้น สามารถปรับปรุงโครงสร้าง และสมบัติทางกลของชิ้นงานได้ดี แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเทเป็น 645 องศาเซลเซียส โครงสร้างจุลภาคที่ได้จะมีลักษณะเป็นคล้ายกุหลาบ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเทให้สูงขึ้นเป็น 695 องศาเซลเซียส จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างจุลภาคที่ได้มีโครงสร้างที่เป็นเดนไดรต์

เชิดศักดิ์ อรัญมาลา และคณะ (2547) ได้นำเอาโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาช่วยจำลองงานหล่อและทำการวิเคราะห์ล่วงหน้าของการออกแบบ หรือเห็นผลการจำลอง (Simulation) ต่าง ๆ ของการผลิตล่วงหน้า ทำให้ได้รู้ถึงจุดบกพร่องที่ควรแก้ไขทั้งในด้านการออกแบบ และพารามิเตอร์ที่ได้กำหนดหรือป้อนใส่เข้าไปโปรแกรมก่อนทำการวิเคราะห์ในโปรแกรมการจำลองหรือวิเคราะห์ สามารถที่เปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบในขั้นตอนต่างๆ ได้โดยง่าย และไม่เกิดการเสียหายกับงานแต่ประการใด การใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์เป็นการช่วยลดต้นทุน กล่าวได้ว่าเป็นการเพิ่มคุณภาพของชิ้นงาน ช่วยวิเคราะห์หาสาเหตุข้อบกพร่องของการออกแบบ งาน Locking Knob ที่เกิดปัญหาเกี่ยวโพรงอากาศ (Porosity) การหดตัว (Shrinkage) และปัญหาเกี่ยวกับผิวอันเนื่องมาจาก Flow Line เมื่อทำการวิเคราะห์เบื้องต้นแล้วสิ่งที่ต้องแก้ไขคือ ต้องทำการแก้ไขที่ส่วนควบคุมการไหลของอะลูมิเนียมหลอมเหลวของแม่พิมพ์ นั่นก็คือ Gate และ Runner นั้นเอง จากการแก้ไขชิ้นงานที่เกิดปัญหาด้วยเทคนิคการจำลอง ซึ่งเป็นการจำลองพฤติกรรมทางฟิสิกส์การไหลของ

อะลูมิเนียมหลอมเหลว ได้ผลสำหรับการแก้ไขปัญหานั้นได้จากการจำลองการฉีดอะลูมิเนียม ประโยชน์ของการใช้เทคนิคการจำลองที่เห็นได้ชัดคือ ลดเวลาจากการแก้ไขด้วยวิธีการเดิมได้ถึงร้อยละ 80-90 ลดค่าใช้จ่าย ลดการสูญเสียวัสดุโดยไม่จำเป็น การแก้ไขจุดบกพร่องทำได้ง่ายโดยแก้ไขที่ CAD เมื่อได้ผลสรุปที่ดีที่สุดแล้วจึงนำพารามิเตอร์นั้นมาแก้ไขที่แม่พิมพ์และการใช้เทคนิคการจำลองการฉีดอะลูมิเนียมยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแม่พิมพ์อีกด้วย

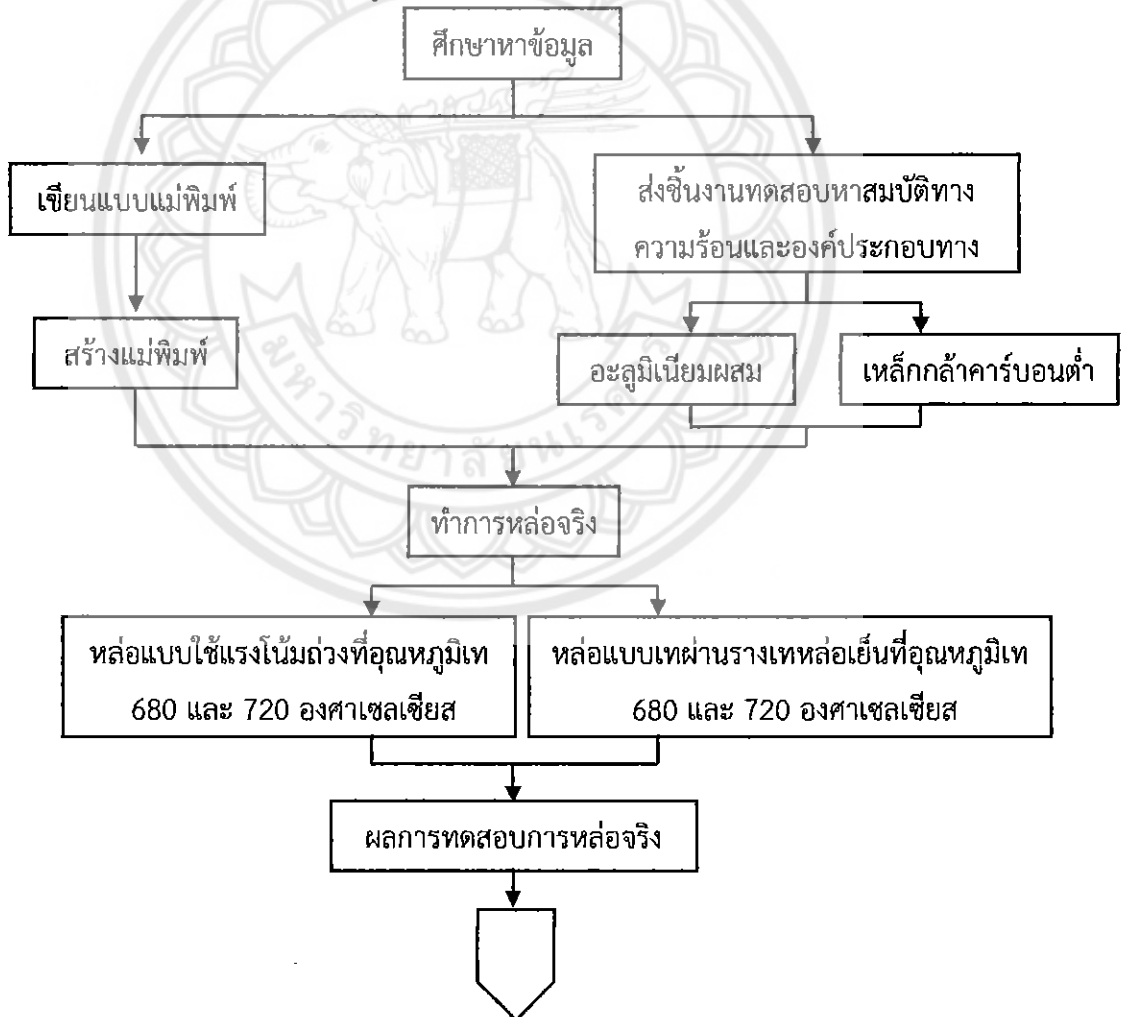


บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินโครงการ วัสดุ และอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินโครงการโดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาดังนี้การไหลที่ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลว เปรียบเทียบการจำลองการหล่อ และการหล่อจริง

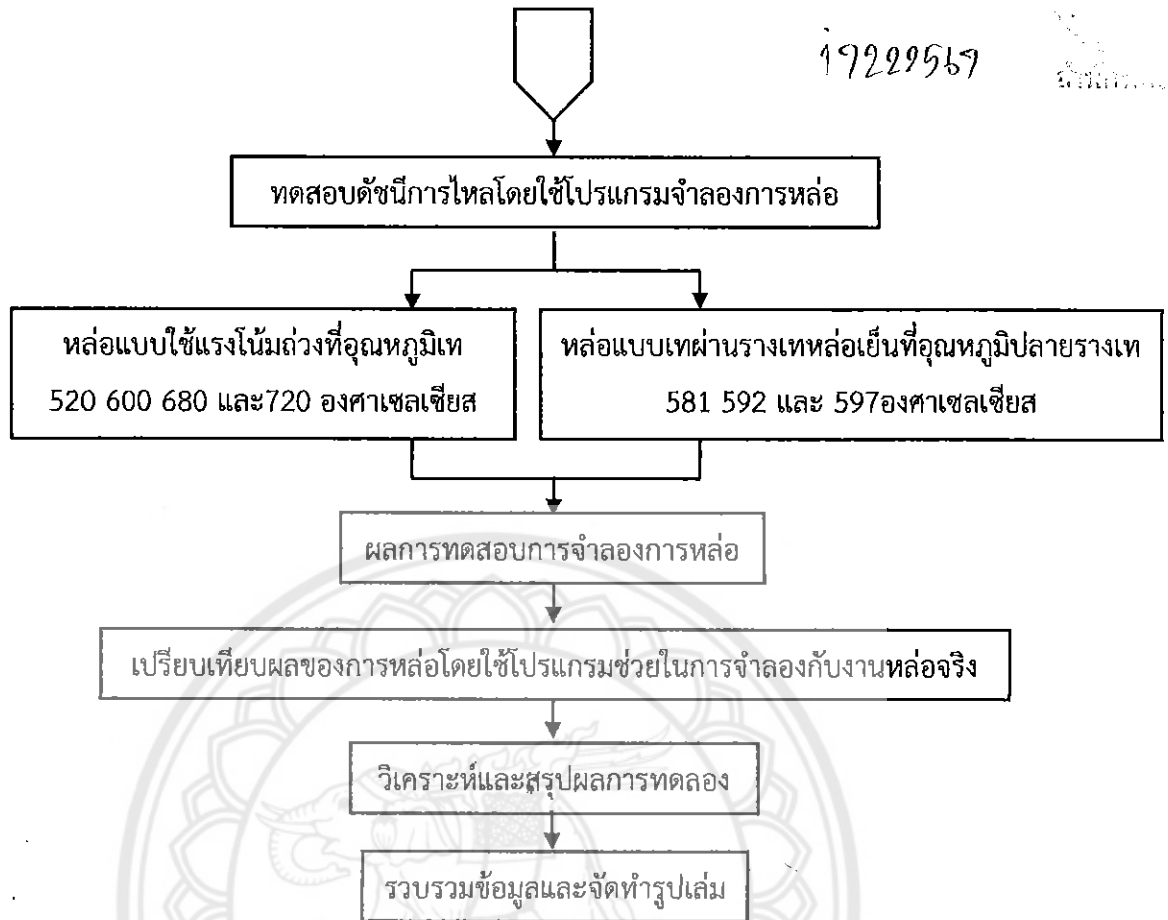
3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

การศึกษาผลของอุณหภูมิเทต่อดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ เปรียบเทียบระหว่างการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง และเทคนิคเทผ่านรางเทโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง โดยมีขั้นตอนการดำเนินโครงการ แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

19229559



รูปที่ 3.1 (ต่อ) ขั้นตอนการดำเนินโครงการงาน

3.2 วัสดุ และอุปกรณ์

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการดำเนินโครงการงาน

3.2.1.1 อะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ ใช้ในการทำชิ้นงาน

3.2.1.2 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ใช้ในการทำแม่พิมพ์

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินโครงการงาน

3.2.2.1 อุปกรณ์ในการเตรียมชิ้นงาน

ก. เตาหลอมโลหะ

ข. เลื่อยตัดโลหะ

ค. เทอร์โมคัปเปิล

ง. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

จ. รางเทหล่อเย็น

ฉ. เป้าหลอมหลอมโลหะ

ช. เครื่องกัด CNC

3.2.2.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ก. ตลับเมตรไฟเบอร์กลาส

ข. กล้องถ่ายรูป

3.2.2.3 เครื่องมือสำหรับการจำลองแบบหล่อ

ก. ใช้โปรแกรม ProCAST 2015 ในการจำลองการหล่อ

ข. ใช้โปรแกรม AutoCAD 2016 ในการสร้างการจำลองแบบหล่อ 3 มิติ

3.2.2.4 อุปกรณ์สำหรับหาคุณสมบัติทางความร้อน และองค์ประกอบทางเคมี

ก. เครื่องวิเคราะห์การนำความร้อน (Thermal Conductivity Analysis)

ข. เครื่องวัดค่าความต่างความร้อนของสาร (Differential Scanning

Colorimeter)

ค. เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (Optical Emission

Spectroscopy)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

3.3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นในการดำเนินโครงการ

3.3.1.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับอะลูมิเนียมผสม เอชซี 2 เอ

3.3.1.2 ศึกษาการใช้โปรแกรมการจำลองการหล่อ ProCAST 2015

3.3.1.3 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการไหล

3.3.1.4 ศึกษาการใช้โปรแกรมเขียนแบบ AutoCAD 2016

3.3.1.5 ศึกษาการใช้คำสั่ง G-code

3.3.1.6 ศึกษาเครื่องมือทดสอบหาค่าพารามิเตอร์และการอ่านค่าที่ได้ ศึกษาดัชนีการ

ไหล

3.3.1.6 ศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการหล่อโลหะแบบใช้แรงโน้มถ่วงและเทคนิควางเท

3.3.2 การเตรียมชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางความร้อน และองค์ประกอบทางเคมี

การนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางความร้อน และองค์ประกอบทางเคมี เพื่อต้องใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบป้อนเข้าไปในโปรแกรมจำลองการหล่อ

3.3.2.1 นำอะลูมิเนียมผสมเอชซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมาทำการตัดชิ้นงานให้ได้ขนาดตามมาตรฐานในการทดสอบจำนวน 7 ชิ้น

ก. เครื่องวิเคราะห์การนำความร้อน (Thermal Conductivity Analysis) ใช้ชิ้นงานทดสอบขนาด 50x50x15 มิลลิเมตร อะลูมิเนียมผสมเอชซี 2 เอ 2 ชิ้น และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ 2 ชิ้น

ข. เครื่องวัดค่าความต่างความร้อนของสาร (Differential Scanning Colorimeter) ใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีน้ำหนัก 1-10 มิลลิกรัม อะลูมิเนียมผสมเอชซี 2 เอ 1 ชิ้น

ค. เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectroscopy) ใช้ชิ้นงานทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-50 มิลลิเมตร และความสูงไม่เกิน 50 มิลลิเมตร อะลูมิเนียมผสมเอซี 2 เอ 1 ชั้น และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ 1 ชั้น

3.3.2.2 ขัดเตรียมผิวของชิ้นงาน

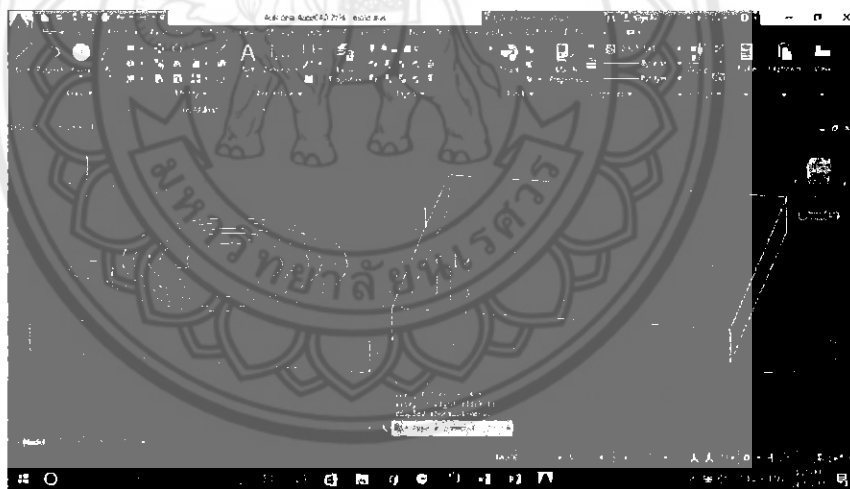
3.3.2.3 ทำการส่งชิ้นงานไปทดสอบหาค่า องค์ประกอบทางเคมี ค่าการนำความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน Liquidus Temperature และ Solidus Temperature

3.3.3 เขียนแบบแม่พิมพ์

ทำการเขียนแบบตามขนาดของแม่พิมพ์แบบ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม AutoCAD 2016 โดยกำหนดให้มีขนาดกว้าง 250 มิลลิเมตร ยาว 275 มิลลิเมตร หนา 24.5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.2

3.3.3.1 แม่พิมพ์ชั้นบนทำการเจาะรูให้ทะลุเพื่อทำเป็นรูเทมี่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร

3.3.3.2 แม่พิมพ์ชั้นล่างทำเป็นรูปชดหอยโดยทางวิ่งของโลหะหลอมเหลวมีขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร มีความยาวของชดหอยเท่ากับ 1,380 มิลลิเมตร บริเวณรูเทมี่ทำการเจาะให้มีความลึก 17 มิลลิเมตร

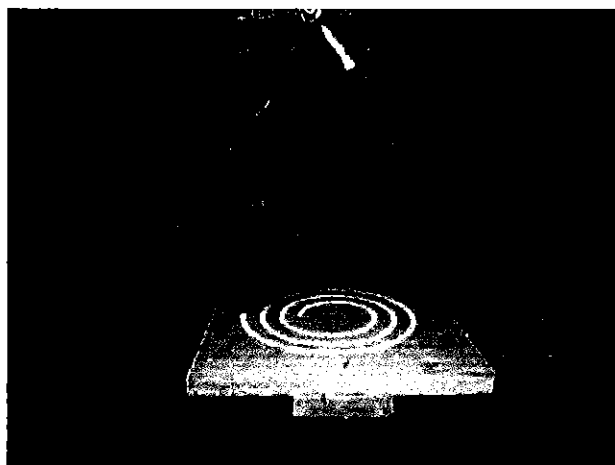


รูปที่ 3.2 แม่พิมพ์ 3 มิติ ที่สร้างจากโปรแกรม AutoCAD 2016

3.3.4 การสร้างแม่พิมพ์

3.3.4.1 เขียนโค้ดเครื่องกัด CNC โดยใช้คำสั่ง G-code ให้ได้ตามขนาดตามที่สร้างในโปรแกรม AutoCAD 2016 แสดงดังตารางที่ ก.5

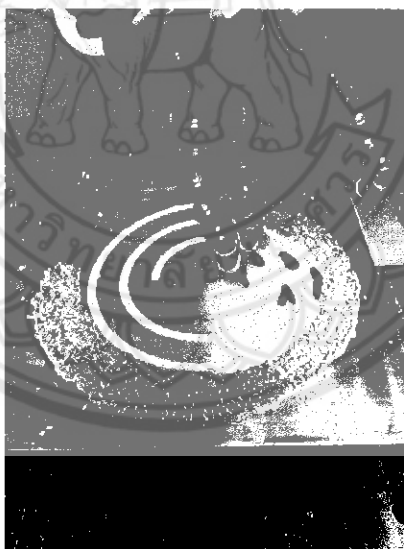
3.3.4.2 ตัดโม่ให้มีขนาดเท่าแม่พิมพ์จริงแล้วทำการกัดโม่ด้วยคำสั่ง G-code ที่เขียนไว้ แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กัดโคมด้วยเครื่องกัด CNC

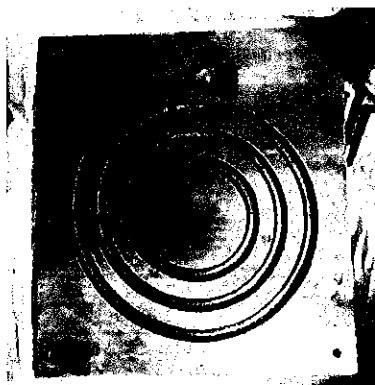
3.3.4.3 ตัดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำให้มีขนาดกว้าง 250 มิลลิเมตร ยาว 275 มิลลิเมตร
หนา 24.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น

3.3.4.4 นำเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ตัดได้ขนาดแล้ว 1 ชิ้นไปทำการกัดด้วยเครื่อง CNC
ด้วยคำสั่ง G-Code แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กัดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยเครื่องกัด CNC

3.3.4.5 นำเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่กัดแล้วมาเจาะรูเทที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25
มิลลิเมตร ความลึก 17 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แม่พิมพ์ขึ้นบนที่ผ่านการเจาะรูเท

3.3.4.6 นำเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำอีก 1 ชิ้นมาเจาะรูเทที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร โดยชิ้นนี้จะเจาะให้ทะลุ แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แม่พิมพ์ขึ้นล่างที่ผ่านการเจาะรูเท

3.3.4.7 นำแม่พิมพ์ขึ้นบนมาทำแอ่งสำหรับรูเทและตัดแม่พิมพ์ขึ้นบนบริเวณรูเท ออกเป็น 2 ชิ้น แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แม่พิมพ์ขึ้นบนที่ผ่านการทำแอ่งรูเท และตัดแบ่งรูเท

ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิเทของการจำลองการหล่อ และการหล่อจริง

การจำลองการหล่อ (Simulation casting)		การหล่อจริง (Casting)	
การหล่อโดยใช้แรงโน้มถ่วง	การหล่อโดยใช้เทคนิครางเท	การหล่อโดยใช้แรงโน้มถ่วง	การหล่อโดยใช้เทคนิครางเท
อุณหภูมิเท	อุณหภูมิเท	อุณหภูมิเท	อุณหภูมิเท
680 °C	680 °C	680 °C	680 °C
720 °C	720 °C	720 °C	720 °C

3.3.5 ขั้นตอนในการหล่อจริง

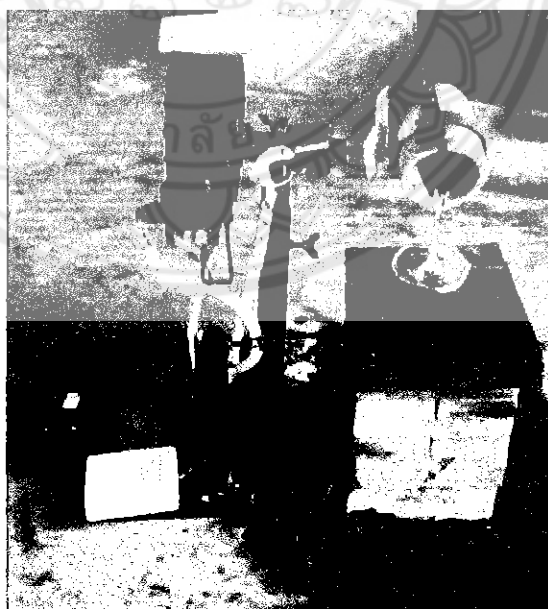
การหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง และการหล่อแบบเทคนิคเทผ่านรางเทเย็น

3.3.5.1 หลอมอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 680 และ 720 องศาเซลเซียส แล้วทำการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง แสดงดังรูปที่ 3.8

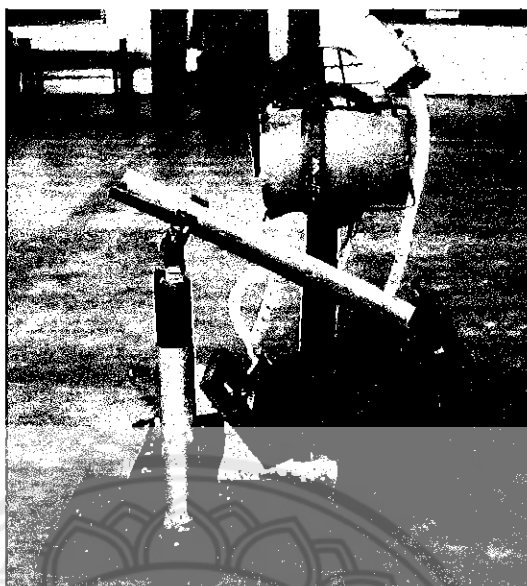
3.3.5.2 เทโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส โดยการหล่อแบบใช้เทคนิคเทผ่านรางเท แสดงดังรูปที่ 3.9

3.3.5.3 ทำการหล่อลงในแม่พิมพ์สไปรอล

3.3.5.4 วัดค่าดัชนีการไหล



รูปที่ 3.8 หล่ออะลูมิเนียมแบบใช้แรงโน้มถ่วง



รูปที่ 3.9 หล่ออะลูมิเนียมแบบใช้เทคนิครางเท

3.3.6 ทดสอบดัชนีการไหลโดยใช้โปรแกรมจำลองการหล่อ

3.3.6.1 กรอกค่าส่วนผสมของอะลูมิเนียมและแม่พิมพ์เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

- ก. ส่วนผสม มีปริมาณเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectroscopy)
- ข. ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องการวิเคราะห์การนำความร้อน (Thermal Conductivity Analyzer)
- ค. ความหนาแน่น โดยได้จากการคำนวณในสมการที่ 2.1
- ง. ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ที่ได้จากสมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียม

3.3.6.2 การจำลองการหล่อโดยการหล่อแบบแรงโน้มถ่วง

- ก. ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลว 680 เวลาเท 1.36 วินาที และ 720 องศาเซลเซียส เวลาเท 1.28 วินาที เลือกอุณหภูมิแม่พิมพ์ 31 องศาเซลเซียสตามการเก็บข้อมูลจากการหล่อจริงเพื่อทำการเปรียบเทียบกับชิ้นงานหล่อจริง
- ข. อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 33 องศาเซลเซียสที่ได้จากการวัดจริงในการทำการหล่อจริง
- ค. ตั้งค่าการสัมผัสกันของส่วนต่างๆ ระหว่างแม่พิมพ์กับโลหะหลอมเหลวและกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าเท่ากับ $2,000 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ง. เมื่อทำการจำลองการหล่อแล้วให้บันทึกไฟล์ไปรูปภาพแล้ววีดีโอ

3.3.6.3 การจำลองการหล่อแบบใช้เทคนิครางเทหล่อเย็น

ก. เก็บข้อมูลอุณหภูมิปลายราง

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลอุณหภูมิปลายรางของการหล่อแบบใช้เทคนิครางเทหล่อเย็น

การหล่อแบบใช้เทคนิครางเทหล่อเย็น	
อุณหภูมิเท	อุณหภูมิปลายราง
680 °C	581 °C
720 °C	597 °C

ข. สร้างแม่พิมพ์ให้มีมุมเอียง 30 องศา และทำการแบ่งส่วนประกอบของแม่พิมพ์ให้มีลักษณะแสดงหน่วยของการคำนวณ (Mesh) โดยให้มีจำนวนหน่วยไม่เกิน 20,000 หน่วย

ค. ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลว 581 และ 597 องศาเซลเซียส เลือกอุณหภูมิแม่พิมพ์ 31 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเทโลหะหลอมเหลว 1.27 วินาที ตามการเก็บข้อมูลจากการหล่อจริง

ง. อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 33 องศาเซลเซียส ที่ได้จากการวัดจริงในการทำการหล่อจริง

จ. ตั้งค่าการสัมผัสกันของส่วนต่าง ๆ ระหว่างแม่พิมพ์กับโลหะหลอมเหลวและกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน $2,000 \text{ W/m}^2\text{K}$

ฉ. เมื่อทำการจำลองการหล่อแล้วให้บันทึกไฟล์ไปรูปภาพแล้ววิดีโอ

3.3.7 การอ่านค่าผลการทดลองจากการทำจำลองการหล่อ

เมื่อได้ผลการทดลองแล้วทำการเลือกค่าอุณหภูมิที่ต้องการนำไปเปรียบเทียบกับผลการหล่อจริง

3.3.8 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลการทดลอง

นำผลดัชนีการไหลจากการทำการจำลองแบบหล่อเปรียบเทียบกับผลดัชนีการไหลจากการหล่อจริง

3.3.9 ขั้นตอนการวิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

3.3.9.1 นำข้อมูลที่ได้จากการจำลองแบบหล่อมามาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงกับการหล่อแบบใช้เทคนิครางเทหล่อเย็น

3.3.9.2 นำผลการวิเคราะห์มาศึกษาหาข้อสรุปตามวัตถุประสงค์

3.3.9.3 สรุปผลการทดลอง จัดทำรูปเล่มโครงการ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลองของการจำลองการหล่อของวัสดุอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ โดยการหล่อแบบแรงโน้มถ่วงและเทคนิคแรงเหวี่ยง ซึ่งประกอบไปด้วยผลการวิเคราะห์สมบัติทางด้านความร้อน การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม ปริมาณส่วนผสม ผลดัชนีการไหลจากการจำลองการหล่อ และการหล่อจริง เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท และเปรียบเทียบผลของดัชนีการที่ได้จากการหล่อจริงกับการจำลองการหล่อ แสดงรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน และองค์ประกอบทางเคมี

4.1.1 ผลการวิเคราะห์การนำความร้อนจากเทคนิค Thermal Conductivity Analyzer

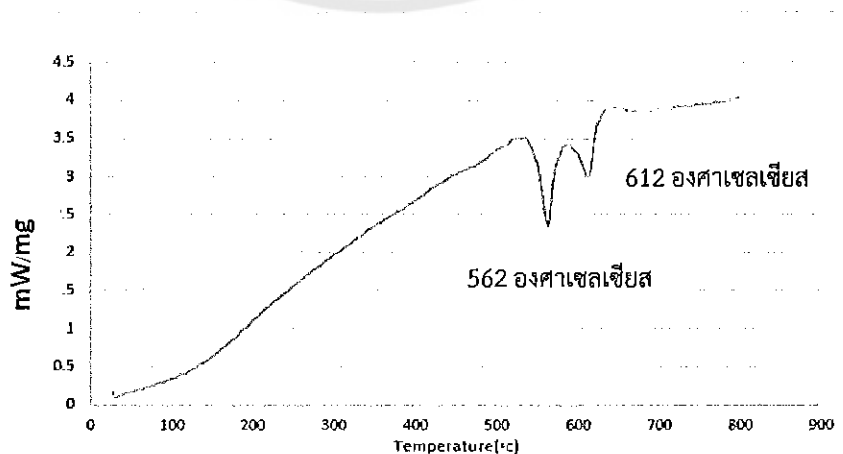
4.1.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

จากการทดสอบหาค่าการนำความร้อนโดยเทคนิค Thermal Conductivity Analyzer โดยมีวิธีทดสอบตามหัวข้อที่ 2.7.1 จึงได้ค่าการนำความร้อนของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ มีค่าคือ $233.95 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ซึ่งได้จากการหาค่าเฉลี่ยจากการทดสอบดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ ก.1

4.1.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

จากการทดสอบหาค่าการนำความร้อนโดยเทคนิค Thermal Conductivity Analyzer โดยมีวิธีทดสอบตามหัวข้อที่ 2.7.1 จึงได้ค่าการนำความร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (ST24) มีค่าคือ $42.25 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ซึ่งได้จากการหาค่าเฉลี่ยจากการทดสอบดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ ก.2

4.1.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างความร้อนของสารโดยเทคนิค Differential Thermal Analyzer



รูปที่ 4.1 กราฟ DSC ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

จากรูปที่ 4.1 แสดงกราฟระหว่างปริมาณความร้อน และอุณหภูมิ ที่ทำให้อะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ ปริมาณ 31.262 มิลลิกรัม ณ จุดที่อุณหภูมิ 612 องศาเซลเซียส อะลูมิเนียมผสมมีสถานะเป็นของเหลวเรียกอุณหภูมินี้ว่า Liquidus Temperature ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าอุณหภูมิ 612 องศาเซลเซียส และสูงกว่า 562 องศาเซลเซียส จะแสดงเฟสของแข็งอะลูมิเนียม และเฟสของของเหลวอะลูมิเนียมผสมซิลิกอน โดยตามทฤษฎี ณ ตำแหน่งของอุณหภูมินี้ของโลหะหลอมเหลวในการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงจะเกิดโครงสร้างเกรนแบบเดนไดรต์ ส่วนการหล่อแบบกึ่งแข็งจะเกิดจะเกิดโครงสร้างเกรนแบบทรงกลม (Globular) ณ จุดที่อุณหภูมิ 562 องศาเซลเซียส อะลูมิเนียมผสมมีสถานะเป็นของแข็งเรียกอุณหภูมินี้ว่า Solidus Temperature แสดงโครงสร้างยูเทคติกของอะลูมิเนียมผสมซิลิกอนหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า อุณหภูมิมยูเทคติก (Eutectic Temperature)

4.1.3 ผลของการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณของธาตุโดยเทคนิค Optical Emission Spectrometer

4.1.3.1 ผลของการวิเคราะห์ ชนิดและปริมาณของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

จากการทำการทดสอบหาชนิดของธาตุและปริมาณของธาตุโดยการใช้เทคนิค Optical Emission Spectrometer โดยมีวิธีการทดสอบตามหัวข้อที่ 2.7.3 โดยผลที่ได้คือ ชนิดของธาตุที่เป็นส่วนผสมและปริมาณของธาตุนั้นๆ เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ส่วนผสมเนื้อพื้น คือ อะลูมิเนียม มีปริมาณร้อยละ 90.5877 โดยน้ำหนัก และธาตุผสมที่มีปริมาณมากที่สุดคือ ซิลิกอนมีปริมาณร้อยละ 4.74496 โดยน้ำหนัก และยังมีธาตุอื่นๆที่มีปริมาณส่วนผสมจากการวิเคราะห์ อะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ แสดงในตารางที่ ก.3

4.1.3.2 ผลของการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

จากการทำการทดสอบหาชนิดของธาตุ และปริมาณของธาตุโดยการใช้เทคนิค Optical Emission Spectrometer โดยมีวิธีการทดสอบตามหัวข้อที่ 2.7.3 โดยผลที่ได้คือ ชนิดของธาตุที่เป็นส่วนผสมและปริมาณของธาตุนั้นๆ เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ส่วนผสมเนื้อพื้น คือ เหล็กมีปริมาณร้อยละ 97.7308 โดยน้ำหนัก และส่วนผสมที่มีปริมาณมากที่สุดคือ แมงกานีสมีปริมาณร้อยละ 1.08764 โดยน้ำหนัก และมีส่วนผสมของคาร์บอน คือร้อยละ 0.20136 โดยน้ำหนัก และยังมีธาตุอื่นๆ ที่มีปริมาณส่วนผสมจากการวิเคราะห์เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่มีส่วนดังตาราง ก.4

4.2 การเลือกใช้วัสดุในการจำลองการหล่อโดยใช้โปรแกรม ProCAST2015

ในการกรอกค่าส่วนผสมของอะลูมิเนียมผสมเอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 นั้นพบว่าไม่สามารถหาค่าดัชนีการไหล เนื่องจากค่าที่ทำการกรอกนั้นอาจมีความไม่สมบูรณ์และสอดคล้องกันของข้อมูลดังนั้นคณะผู้จัดทำ จึงทำการเลือกใช้ข้อมูลในฐานโปรแกรมที่มีค่าองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับ อะลูมิเนียมเอซี 2 เอ ซึ่งค่าที่เลือกมาคือ

อะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg และ แม่พิมพ์เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008 ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณส่วนผสมของอะลูมิเนียมผสมเอซี 2 เวกับอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg

ชนิดของธาตุ	ปริมาณส่วนผสมร้อยละโดยน้ำหนักของอะลูมิเนียมเอซี 2 เอ	ปริมาณส่วนผสมร้อยละโดยน้ำหนักของอะลูมิเนียม EN AC- 45100 AlSi5Cu3Mg	ค่าความแตกต่าง
Si	4.74496	5	0.25504
Cu	3.34000	3	0.34000
Mg	0.21086	0.1	0.11086
Ni	-	0.3	0.3
Ti	0.11542	0.25	0.13458
Zn	0.18444	0.5	0.31556

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบปริมาณส่วนผสมของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ กับ เหล็กกล้า Low-Carbon AISI 1008

ชนิดของธาตุ	ปริมาณส่วนผสมร้อยละโดยน้ำหนักของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	ปริมาณส่วนผสมร้อยละโดยน้ำหนักของเหล็กกล้า Low-Carbon AISI 1008	ค่าความแตกต่าง
C	0.20136	0.08	0.12136
Si	0.24495	0.080	0.16495
Cr	0.12979	0.45	0.32021
Mn	1.08764	0.31	0.77764
P	0.01196	0.05	0.03804
S	0.00752	0.05	0.13458

สมบัติด้านอื่นๆ ของอะลูมิเนียม และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำในหัวข้อที่ 4.1 ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน คุณสมบัติด้านอื่นๆ ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008 แสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าสมบัติทางอื่นๆ ของอะลูมิเนียมผสมเอซี 2 เอบอกับอะลูมิเนียม EN AC-45100AlSi5Cu3Mg

คุณสมบัติทางความร้อน (Thermal)	อะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ	อะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg
Conductivity ($\frac{W}{m \cdot K}$)	233.95	ดังรูปที่ ข.3
Density ($\frac{kg}{m^3}$)	2.4	ดังรูปที่ ข.4
Specific Heat ($\frac{kJ}{kg}$)	860	ดังรูปที่ ข.5
Fraction Solid	ดังรูปที่ ข.1	ดังรูปที่ ข.6
Liquidus Temperature (°C)	624	617
Solidus Temperature (°C)	521	500

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าสมบัติอื่นๆ ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ กับ เหล็กกล้า Low-Carbon AISI1008

คุณสมบัติทางความร้อน (Thermal)	เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	เหล็กกล้า Low-Carbon AISI 1008
Conductivity ($\frac{W}{m \cdot K}$)	42.24	ดังรูปที่ ข.7
Density ($\frac{kg}{m^3}$)	7.41	ดังรูปที่ ข.8
Specific Heat ($\frac{kJ}{kg}$)	0.49	-
Enthalpy ($\frac{J}{g}$)	-	ดังรูปที่ ข.9
Fraction Solid	ดังรูปที่ ข.2	ดังรูปที่ ข.10
Liquidus Temperature (°C)	1460	1526
Solidus Temperature (°C)	1522	1446

4.3 ผลของดัชนีการไหลของจำลองการหล่อโดยใช้โปรแกรม ProCAST2015

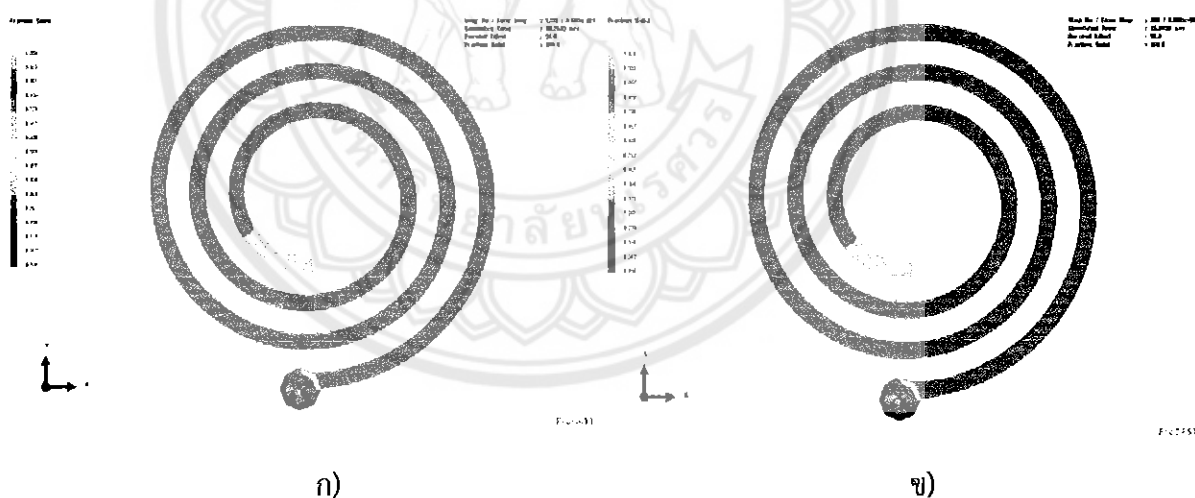
ตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิที่ใช้ในการจำลองการหล่อและการหล่อจริงโดยอุณหภูมิของการหล่อจริงได้จากการเก็บอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลองโดยอุณหภูมิของเทคนิครางเทมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่อุณหภูมิเทกับอุณหภูมิปลายรางสังเกตได้ว่าอุณหภูมิลดลงเพราะเมื่อโลหะหลอมเหลวที่เทออกจากเบ้าหลอมจะสัมผัสกับรางเททำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างโลหะหลอมเหลวกับรางส่งผลให้อุณหภูมิของโลหะหลอมเหลวที่เข้าสู่แม่พิมพ์ลดลง จึงเลือกอุณหภูมิปลาย

ร่างเป็นอุณหภูมิเทในการจำลองการหล่อแบบเทคนิครางเท เพื่อให้การเปรียบเทียบการเปลี่ยนอุณหภูมิเทของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงกับการหล่อแบบใช้เทคนิครางเท

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลของอุณหภูมิที่ใช้ในการจำลองการหล่อ และการหล่อจริง

การหล่อจริง และการจำลองการหล่อ		
การหล่อโดยใช้แรงโน้มถ่วง	การหล่อโดยใช้เทคนิครางเท	
อุณหภูมิเท	อุณหภูมิเท	อุณหภูมิปลายราง
680 °C	680 °C	581 °C
720 °C	720 °C	597 °C

4.3.1 ผลของดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อโดยใช้วิธีการหล่อแบบเทคนิครางเทโดยโปรแกรม ProCAST 2015



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อแบบใช้เทคนิครางเท

- ก) อุณหภูมิปลายราง 581 องศาเซลเซียสมีดัชนีการไหล 133 เซนติเมตร
- ข) อุณหภูมิปลายราง 597 องศาเซลเซียสมีดัชนีการไหล 134 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.2 พบว่าที่อุณหภูมิปลายราง 597 องศาเซลเซียสมีดัชนีการไหลที่สูงกว่าอุณหภูมิปลายราง 581 องศาเซลเซียส คือที่อุณหภูมิปลายราง 597 องศาเซลเซียสมีดัชนีการไหล 134 เซนติเมตรมากกว่าที่อุณหภูมิปลายราง 581 องศาเซลเซียสมีดัชนีการไหล 133 องศาเซลเซียสอยู่ 1 เซนติเมตร แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิโลหะหลอมเหลวที่เข้าสู่แม่พิมพ์ของการจำลองการหล่อที่

เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ดัชนีการไหลเพิ่มขึ้น ดังตารางสรุปดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อโดยเทคนิค
รางเท

ตารางที่ 4.6 สรุปดัชนีการไหลจากการจำลองการหล่อโดยเทคนิครางเท

อุณหภูมิเท (°C)	อุณหภูมิปลายราง (°C)	ดัชนีการไหล (เซนติเมตร)
680	581	133
720	597	134

4.3.2 ผลการจำลองการหล่อโดยใช้วิธีการหล่อแบบแรงโน้มถ่วงโดยโปรแกรม ProCAST

2015



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง

- ก) ผลดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส
- ข) ผลดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.3 พบว่าที่อุณหภูมิเท 680 และ 720 องศาเซลเซียส ดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงมีค่าดัชนีการไหลที่เท่ากันคือ มีดัชนีการไหลที่เต็มแม่พิมพ์ ดังนั้นการเปลี่ยนอุณหภูมิเทจาก 680 องศาเซลเซียสไปเป็น 720 องศาเซลเซียส ไม่สามารถวัดค่าของดัชนีการไหลในการจำลองการหล่อเพราะอุณหภูมิเทมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของอะลูมิเนียม EN AC-45100AlSi5Cu3Mg ที่ 617 องศาเซลเซียสมาก จึงเพิ่มการจำลองการหล่อที่อุณหภูมิ 560 องศาเซลเซียส และ 600 องศาเซลเซียสดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลของดัชนีการไหลของการเปลี่ยนอุณหภูมิเทโดยการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง

- ก) ผลดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 560 องศาเซลเซียส มีดัชนีการไหล 96 เซนติเมตร
- ข) ผลดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 600 องศาเซลเซียส มีดัชนีการไหล 134 เซนติเมตร

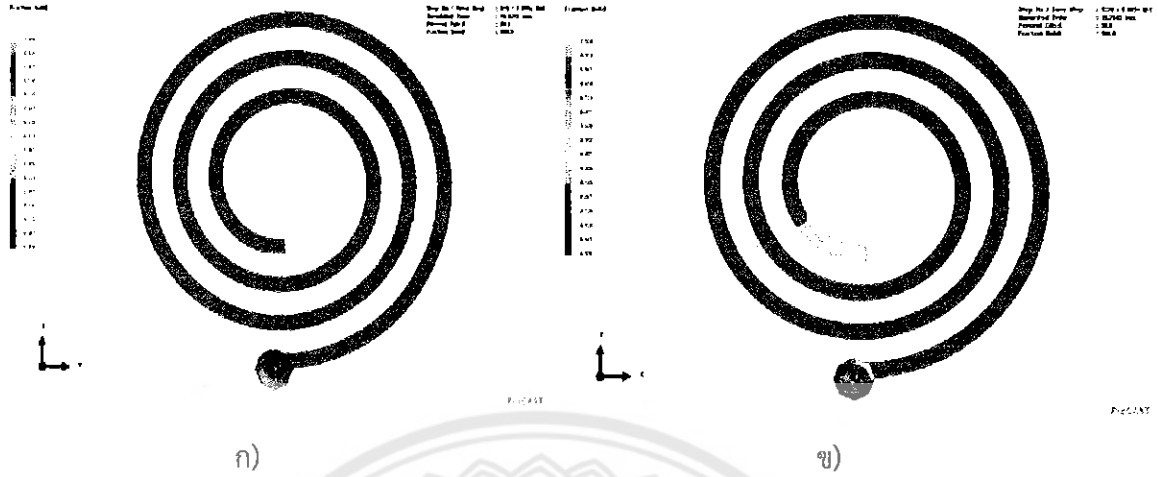
จากรูปที่ 4.4 พบว่าที่อุณหภูมิเท 600 องศาเซลเซียสให้ผลดัชนีการไหลที่มากกว่าดัชนีการไหลของอุณหภูมิเท 560 องศาเซลเซียสคือที่อุณหภูมิเท 600 องศาเซลเซียสมีดัชนีการไหล 134 เซนติเมตร มีค่าดัชนีการไหลที่มากกว่าอุณหภูมิเท 560 องศาเซลเซียสมีดัชนีการไหล 96 เซนติเมตร อยู่ 38 เซนติเมตร โดยการจำลองการหล่อโดยวิธีการหล่อแบบแรงโน้มถ่วงแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อโดยใช้แรงโน้มถ่วง

อุณหภูมิเท (°C)	ดัชนีการไหล (เซนติเมตร)
560	96
600	134
680	N/A
720	N/A

หมายเหตุ: N/A คือ ไม่สามารถหาค่าได้

4.3.3 การเปรียบเทียบผลของดัชนีการขงการจำลองการหล่อโดยการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงกับการหล่อโดยใช้เทคนิครางเท



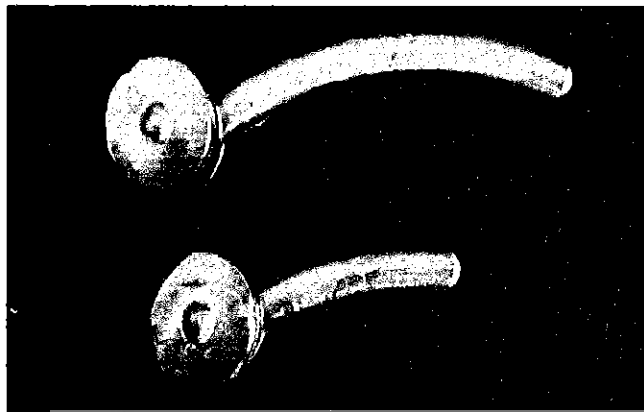
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงกับการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส

- ก) ดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส
- ข) ดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อแบบใช้เทคนิครางเทที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิปลายราง 581 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.5 พบว่าที่การหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงมีค่าดัชนีการไหลที่เต็มแม่พิมพ์คือ 138 เซนติเมตร มีค่าสูงกว่าดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อแบบใช้เทคนิครางเทที่มีค่าดัชนีการไหล 133 เซนติเมตร แสดงว่าการจำลองหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงให้ค่าดัชนีการไหลที่ดีกว่าการจำลองการหล่อแบบใช้เทคนิครางเท อยู่ 5 เซนติเมตร เพราะในการจำลองการหล่ออุณหภูมิที่เลือกใช้ในการจำลองการหล่อแบบเทคนิครางเทเลือกใช้อุณหภูมิปลายรางเทจึงมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าการจำลองการหล่อแบบแรงโน้มถ่วง

4.4 ผลของดัชนีการไหลของการหล่อจริง

4.4.1 ผลของดัชนีการไหลของการหล่อแบบโน้มถ่วง



อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส

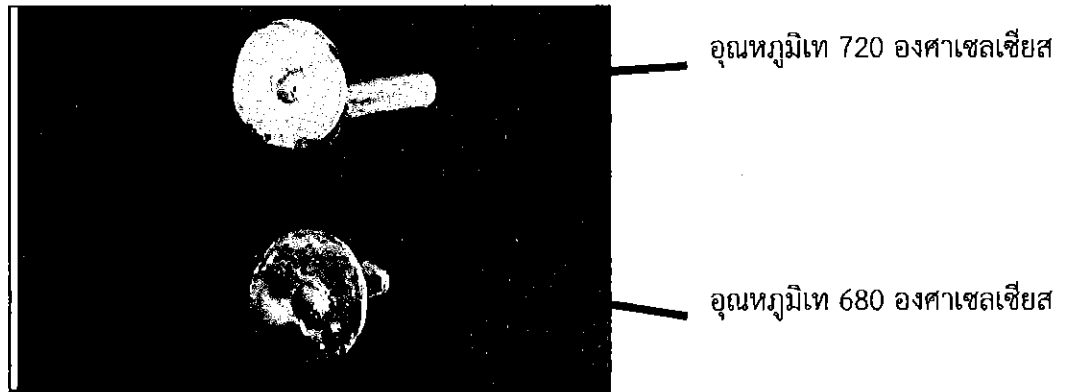
รูปที่ 4.6 ผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิเทของการหล่อโดยใช้แรงโน้มถ่วง

จากรูปที่ 4.6 ที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส มีค่าดัชนีการไหล 5.2 เซนติเมตรและที่อุณหภูมิเท 700 องศาเซลเซียสมีค่าดัชนีการไหล 9.5 เซนติเมตรจากผลการทดลองการหล่อโดยใช้แรงโน้มถ่วงจะพบว่าที่อุณหภูมิเทที่สูงจะมีการไหลตัวของโลหะหลอมเหลวที่ดีกว่าอุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมีค่าความหนืดที่ต่ำ ความหนืดเป็นความต้านทานที่จะไหล โดยความหนืดเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของของเหลวที่เกี่ยวข้องกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ถ้าโมเลกุลของของเหลวมีแรงดึงดูดมากก็หนืดมาก เพราะโมเลกุลไหลเลื่อนไปบนโมเลกุลอื่นได้ยาก การเพิ่มอุณหภูมิซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้อยลงและทำให้ความหนืดมีค่าน้อยลงและทำให้ความหนืดมีค่าน้อยลงด้วย กล่าวคือของเหลวไหลง่ายขึ้นกว่าเดิม จึงส่งผลให้ที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าดัชนีการไหลที่สูง แสดงดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงตารางที่ 4.8 (วิศิษฐ์ จาตุรमान และขวัญชัย สิ้นทิพย์สมบุรณ์, 2521)

ตารางที่ 4.8 ดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง

อุณหภูมิเท (°C)	ดัชนีการไหล (เซนติเมตร)
680	5.2
720	9.5

4.4.2 ผลของดัชนีการไหลของการหล่อแบบเทคนิครางเท

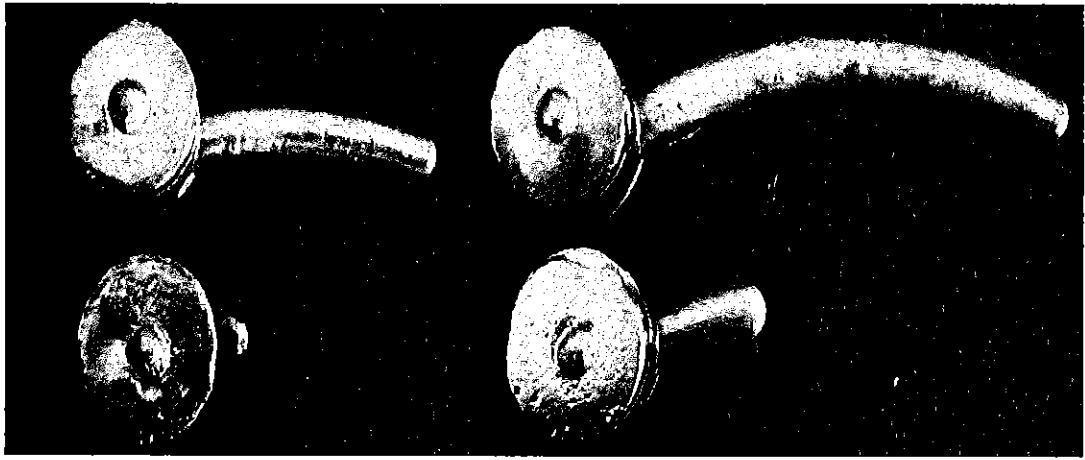


รูปที่ 4.7 ผลของการเปลี่ยนอุณหภูมิเทของหล่อโดยใช้เทคนิครางเท

รูปที่ 4.7 ที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส อุณหภูมิปลายราง 581 องศาเซลเซียส มีค่าดัชนีการไหล 0.8 เซนติเมตรที่อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส อุณหภูมิปลายราง 593 องศาเซลเซียส มีค่าดัชนีการไหล 2.2 เซนติเมตร จากผลการทดลองการหล่อโดยใช้เทคนิครางเทจะพบว่าที่อุณหภูมิเทที่สูงจะมีการไหลตัวของโลหะหลอมเหลวที่ดีกว่าอุณหภูมิต่ำกว่า แสดงดัชนีการไหลของการหล่อแบบเทคนิครางเทดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงดัชนีการไหลของการหล่อแบบรางเท

อุณหภูมิเท (°C)	อุณหภูมิปลายราง (°C)	ดัชนีการไหล (เซนติเมตร)
680	581	0.8
720	697	2.2



ก)

ข)

รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการหล่อแบบแรงโน้มถ่วงกับแบบเทคนิครางเท

ก) เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการหล่อแบบแรงโน้มถ่วงกับการหล่อแบบเทคนิครางเทที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส

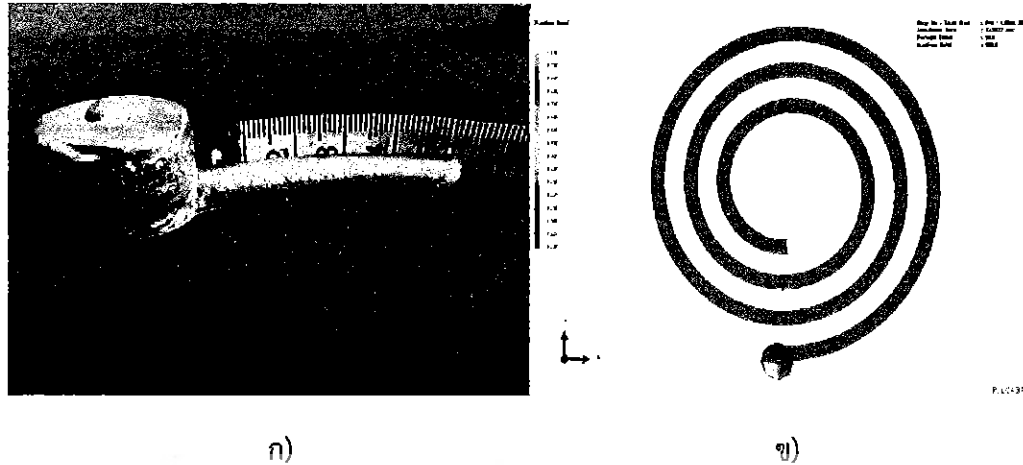
ข) เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการหล่อแบบแรงโน้มถ่วงกับการหล่อแบบเทคนิครางเทที่อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส

จากผลการเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส และ 720 องศาเซลเซียส การหล่อแบบแรงโน้มถ่วงมีการไหลของโลหะหลอมเหลวดีกว่าการหล่อแบบเทคนิครางเท

การหล่อแบบแรงโน้มถ่วงให้ค่าดัชนีการไหลที่ดีกว่าการหล่อแบบใช้เทคนิครางเทหล่อเย็น เนื่องจากการหล่อแบบแรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเทน้ำโลหะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ Liquidus Temperature ในเฟสไดอะแกรมของอะลูมิเนียมแมกนีเซียม 2 เอ ส่งผลให้โลหะหลอมเหลวที่เข้าสู่แม่พิมพ์มีเฟสเป็นของเหลวทั้งหมด และเมื่อเข้าสู่แม่พิมพ์จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนของโลหะหลอมเหลวกับผนังแม่พิมพ์โลหะหลอมเหลวส่วนที่สัมผัสแม่พิมพ์จึงเกิดเป็นเฟสของแข็งที่มีโครงสร้างเป็นเดนไดรต์ แต่น้ำโลหะบริเวณที่ไม่สัมผัสกับแม่พิมพ์ยังสามารถไหลตัวไปได้ เมื่อโลหะหลอมเหลวถ่ายเทความร้อนได้เท่ากันทั้งหมดโลหะหลอมเหลวลดอุณหภูมิลงจึงเกิดเป็นเปลี่ยนเฟสเป็นของแข็งทั้งหมดหรือเฟสยูเทคติก ส่วนการหล่อแบบใช้เทคนิครางเทโลหะหลอมเหลวที่เข้าสู่แม่พิมพ์มีเฟสของแข็งที่มีโครงสร้างแบบกลมเกิดขึ้น (Globular) เกิดขึ้นจากการที่โลหะหลอมเหลวสัมผัสรางเทจึงมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างรางเทกับโลหะหลอมเหลว อุณหภูมิของโลหะหลอมเหลวจึงลดลงและมีเฟสของของแข็งเกิดขึ้นมีโครงสร้างแบบกลม (Globular) โดยโครงสร้างแบบกลม (Globular) จะเป็นตัวทำให้เกิดการขัดขวางการไหลของโลหะหลอมเหลวส่งผลให้ดัชนีการไหลของการหล่อแบบใช้เทคนิครางเทมีค่าน้อยกว่าการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง

(กนกกาญจน์, 2553)

4.5 ผลการเปรียบเทียบผลัดชั้นของการจำลองการหล่อกับการหล่อจริง



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบดัชนีการไหลของการหล่อโดยใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียสของการหล่อจริงและการจำลองการหล่อ

ก) ผลัดชั้นการไหลของการหล่อจริงโดยใช้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียสมีค่าดัชนีการไหล 5.2 เซนติเมตร

ข) ผลัดชั้นการไหลของการจำลองการหล่อโดยใช้การหล่อแบบแรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส มีค่าดัชนีการไหล 138 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.9 พบว่าการหล่อจริงให้ค่าดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อกว่ามีค่ามากกว่าการหล่อจริง โดยดัชนีการไหลของการจำลองการหล่อกว่ามีค่ามากกว่าการหล่อจริง 132.8 การจำลองการหล่อกมีผลที่ต่างกับการหล่อจริงเนื่องจากการจำลองการหล่อเลือกใช้อะลูมิเนียมต่างชนิดกับการหล่อจริงอาจมีค่าสมบัติของวัสดุที่ต่างกันหัวข้อที่ 4.3

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปผลโครงการวิจัย ข้อเสนอแนะ การพัฒนา ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหาของโครงการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 บทสรุป

5.1.1 วิธีการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง และการหล่อแบบใช้เทคนิครางเทที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าดัชนีการไหลที่มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

5.1.2 วิธีการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงมีค่าดัชนีการไหลที่มากกว่าค่าดัชนีการไหลของการหล่อแบบเทคนิคผ่านรางเท ณ อุณหภูมิที่เท่ากัน

5.1.3 การจำลองการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วงมีค่าดัชนีการไหลที่มากกว่าค่าดัชนีการไหลของการหล่อแบบผ่านรางเท

5.1.4 การจำลองการหล่อที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นของการหล่อแบบกึ่งแข็งให้ค่าดัชนีการไหลที่เพิ่มขึ้น ส่วนการหล่อแบบแรงโน้มถ่วงการเปลี่ยนอุณหภูมิเทที่สูงกว่าประมาณ 680 องศาเซลเซียสของอุณหภูมิหลอมเหลวของอะลูมิเนียมจะไม่ทำให้ผลดัชนีการไหลมีการเปลี่ยนแปลง

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา

5.2.1 จากการศึกษาค่าดัชนีการไหลของการโลหะอะลูมิเนียมผสม เอช 2 เอ ที่อุณหภูมิสูงจะให้ค่าดัชนีการไหลที่ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำในการหล่อขึ้นงานจึงควรเลือกอุณหภูมิหลอมเหลวที่เหนือเส้น Liquidus Temperature

5.2.2 จากการศึกษาพบว่า การหล่อแบบแรงโน้มถ่วงให้ค่าดัชนีการไหลที่มากกว่าการหล่อแบบกึ่งแข็ง ถ้าหากต้องการเลือกใช้วิธีการหล่อที่ให้โลหะหลอมเหลวเต็มแม่พิมพ์ควรเลือกการหล่อแบบใช้แรงโน้มถ่วง

5.2.3 ในการปฏิบัติงานมีโอกาสเกิดอันตรายจากการใช้อุณหภูมิที่สูงในการทดลองควรใส่อุปกรณ์ป้องกันความร้อน เพื่อความปลอดภัยขณะปฏิบัติงาน

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา

5.3.1 เนื่องจากในการหล่อจริงและการทำการจำลองการหล่อไม่สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองได้เนื่องจากค่าสมบัติทางความร้อนของวัสดุในการหล่อจริงคืออะลูมิเนียมผสมเอช 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำไม่สมบูรณ์เช่น ค่าเอนทาลปี ที่ไม่สามารถหามากรอกเพิ่มได้เหมือนกับวัสดุในฐานข้อมูลของโปรแกรม

5.3.2 การทำการจำลองการหล่อโดยใช้เทคนิครางเทไม่สามารถยืนยันผลได้ว่าเป็นการจำลองการหล่อแบบใช้รางเทเนื่องจากโปรแกรมไม่มีฟังก์ชันสำหรับการหล่อแบบรางเท



เอกสารอ้างอิง

- กนกกาญจน์ ศรีม่วง. (2553). การพัฒนากระบวนการผลิตรีโอโดคลาสต์แบบร่างเทหล่อเย็น สำหรับอะลูมิเนียมผสม. วศ.ม. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เกศินี เหมวิเชียร และ พิริยาธร สุวรรณมาลา. (2553). การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ ตอนที่ 1 เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Polymer Characterization I: Differential Scanning Calorimeter (DSC). กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) .
- เกียรติศักดิ์. (2556). ความตึงผิว(ออนไลน์), สืบค้นจาก<https://essonaysandee.wordpress.com/เนื้อหาบทเรียน/ความตึงผิว/> [5 ตุลาคม 2559]
- วิศิษฐ์ จาตุรमान และขวัญชัย สิ้นทิพย์สมบูรณ์. (2521). กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น บมจ.
- เชิดศักดิ์ อรัญมาลา, ดร. ชาญยุทธ โกลิตะวงษ์. (2547). การศึกษากฎพื้นฐานและหลักการออกแบบ GATE และ RUNNER ของชิ้นงาน LOCKING KNOB ในอุตสาหกรรมโคมไพโดยใช้เทคนิคการจำลองวิธีการหล่ออลูมิเนียม.วิทยานิพนธ์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- เทพนารินทร์ ประพันธ์พัฒน์. (2556). โลหะวิทยาที่ใช้ในงานด้านโลหะ. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์
- พิทชกร. (2553). AutoCAD คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ(ออนไลน์), สืบค้นจาก www.esi-group.2557 [10 พฤศจิกายน 2559]
- มงคล แก้วนพรัตน์. (2012). การลดปัญหาข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จากอะลูมิเนียมหล่อโดยใช้โปรแกรมจำลองงานหล่อขึ้นรูป. วิทยานิพนธ์. สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- รองศาสตราจารย์เชาวลิต ลิ้มมณีวิจิตร. (2551). โลหะวิทยาของอะลูมิเนียม-ซิลิคอนในอุตสาหกรรมหล่อโลหะ(ออนไลน์). สืบค้นจาก: www.cemct.net/web/images/stories//alsi001.pdf [10 ตุลาคม 2559]
- อุสุมา. (2559). เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.foodnet_worksolution.com/wiki/word/2006/differential-scanning-caloeimeter-ดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ [10 พฤศจิกายน 2559]
- F. Bonollo, E. Faltracco, F. Danieli, B. Molinas. (2001). Evaluation of fluidity in aluminum alloys. Proc. Conf. "EUROMAT 2001" . Rimini, paper 910 : Associazione Italiana di Metallurgia – Milano.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- F.Taghavi, and A. Ghassemi. (2009). Study on the effects of the length and angle of inclined plate on the thixotropic microstructure of A356 aluminum alloy. Materials and Design.
- J.Xu, T.Wang, Z.Chen, J.Zhu, Z.Cao, and T.Li. (2006) Preparation of Semisolid A356 alloy by a Cooling slope Processing. Materials Science Forum.
- Ghomashing,omid Lashakaria. (2006). Microstructural Characterization of Rheo-cast Billets prepared by Variant Pouring Temperature. 49-59
- M. Di Sabatino, L. Arnberg, S. Brusethaug, D. Apelian. Int. J. (2006). Cast Met. Res., vol. 19, p. 94.
- S. Deepak Kumar (2014). Cooling Slope Casting Process of Semi-solid Aluminum Alloys. Journal of Materials processing Technology
- S.Gencalp, and N.Saklakoglu(2010). Semisolid Microstructure Evolution during Cooling Slope Casting under Vibration of A380 Aluminum Alloy. Materials and Manufacturing Processes
- Tghavi,F. (2009). Study on Effect of the Length and Angle of Inclined Plate on the Thixotropic Microstructure of A356 Aluminum Alloy. vol 30 1762- 1767
- T.Haga and S.Suzuki. (2001). Casting of aluminum alloy ingots for thixoforming using a cooling slope. Journal of Materials Processing Technology

ภาคผนวก ก
การทดสอบสมบัติทางความร้อน และองค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียม
ผสม เอชซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และ G-code



ตารางที่ ก.1 ค่าการทดสอบสมบัติการนำความร้อนของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

ลำดับการทดสอบ	Conductivity ($\frac{W}{m \cdot k}$)
1	240.1
2	237.4
3	233.7
4	227.6
5	227.6

ตารางที่ ก.2 ค่าการทดสอบสมบัติการนำความร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

ลำดับการทดสอบ	Conductivity ($\frac{W}{m \cdot k}$)
1	41.82
2	42.02
3	42.19
4	42.34
5	42.36
6	42.37
7	42.41
8	42.40
9	42.38

ตารางที่ ก.3 องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณของอะลูมิเนียมผสม เอชซี 2 เอ

ชนิดของธาตุ	ปริมาณส่วนผสม ร้อยละโดยน้ำหนัก	ชนิดของธาตุ	ปริมาณส่วนผสม ร้อยละโดยน้ำหนัก	ชนิดของธาตุ	ปริมาณส่วนผสม ร้อยละโดยน้ำหนัก
Si	4.74496	Na	0.00342	Be	0.00020
Fe	0.45188	Ca	0.01302	Co	0.00002
Cu	3.34000	Zr	0.00286	Cd	0.00026
Mn	0.18189	V	0.01060	Sb	0.01311
Mg	0.21086	Zn	0.18444	P	0.06379
Ti	0.11542	Cr	0.01545	AL	90.5877
Sn	0.0084	Pb	0.02425		

ตารางที่ ก.4 องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

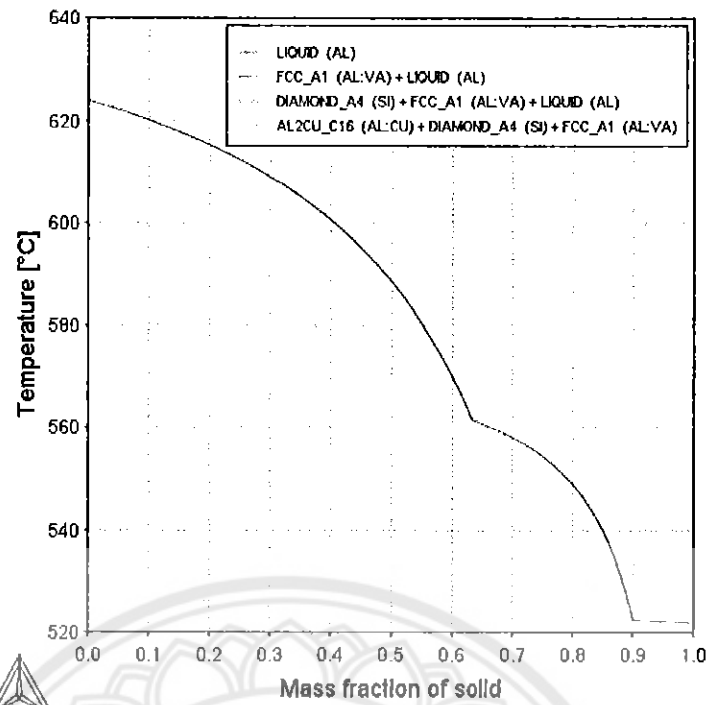
ชนิดของธาตุ	ปริมาณส่วนผสม ร้อยละโดยน้ำหนัก	ชนิดของธาตุ	ปริมาณส่วนผสม ร้อยละโดยน้ำหนัก	ชนิดของธาตุ	ปริมาณส่วนผสม ร้อยละโดยน้ำหนัก
C	0.20136	Cr	0.12979	W	0.00511
Si	0.24495	Mo	0.01533	As	0.01424
Mn	1.08764	Ni	0.11873	Co	0.02357
P	0.01196	V	0.03240	Pb	0.00215
S	0.00752	Al	0.02934	B	0.00017
Cr	0.12979	Cu	0.30111	Sb	0.00412
Mo	0.01533	Ti	0.01905	Ta	0.00501
Ni	0.11873	Nb	0.00058	W	0.00511
Zr	0.00054	Ca	0.00344	Zn	0.00151
FE	97.7308				

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของคำสั่ง G-code

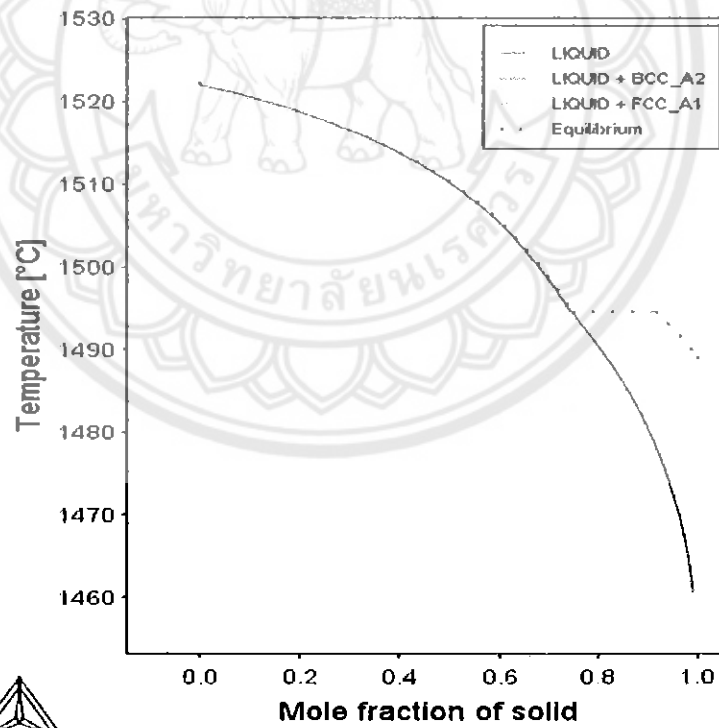
บรรทัดที่	คำสั่ง
N1	T6 ;
N2	M03 S1000 ;
N3	G90 G17 G54 ;
N4	G00 X90.0 Y30.0 Z10.0 ;
N5	G01 X100.0 Y40.0 Z0.0 F90.0 ;
N6	X120.0 Y40.0 Z-6.0 ;
N7	G03 X120.0 Y248.3 R104.2 ;
N8	G03 X120.0 Y63.4 R92.5 ;
N9	G03 X120.0 Y225.0 R80.8 ;
N10	G03 X120.0 Y86.7 R69.2 ;
N11	G03 X120.0 Y201.7 R57.5 ;
N12	G03 X120.0 Y110.0 R45.9 ;
N13	G00 Z100.0 M05 ;
N14	M30 ;



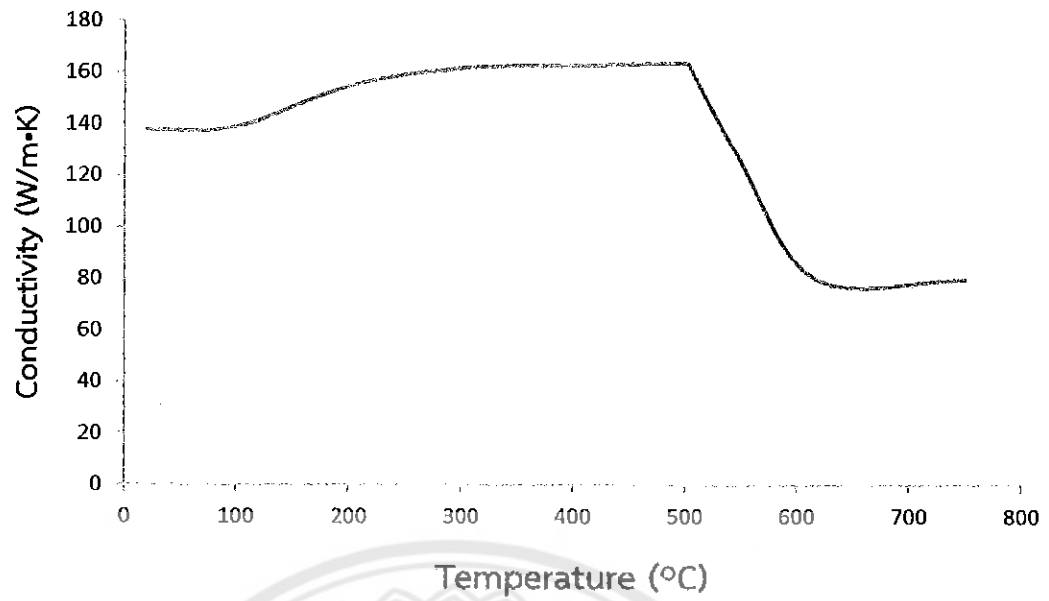
ภาคผนวก ข
ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการหล่อในโปรแกรม ProCAST 2015



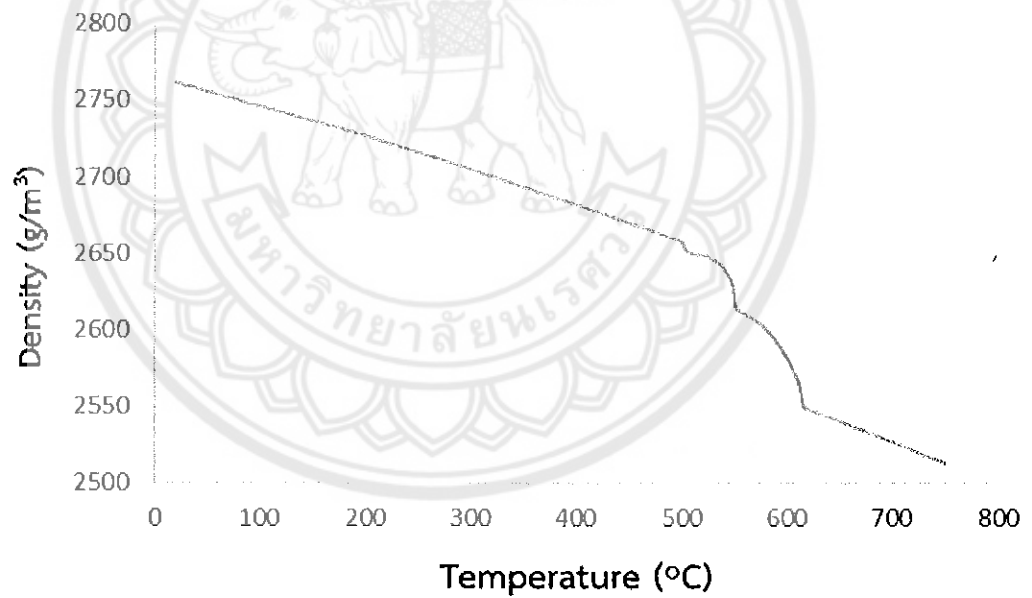
รูปที่ ข.1 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และ Fraction of solid ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ



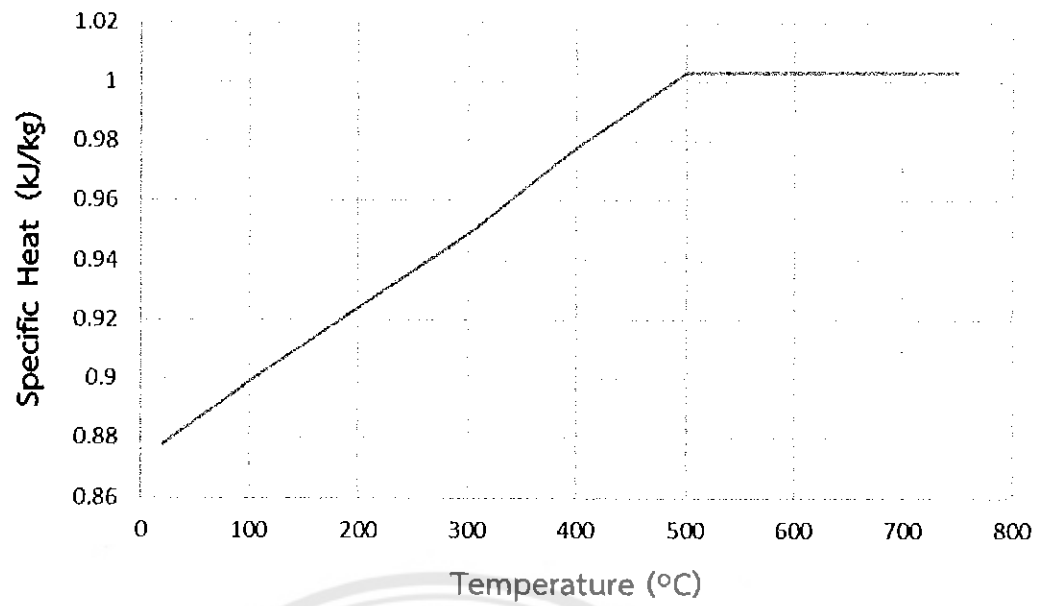
รูปที่ ข.2 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และ Fraction of solid ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ



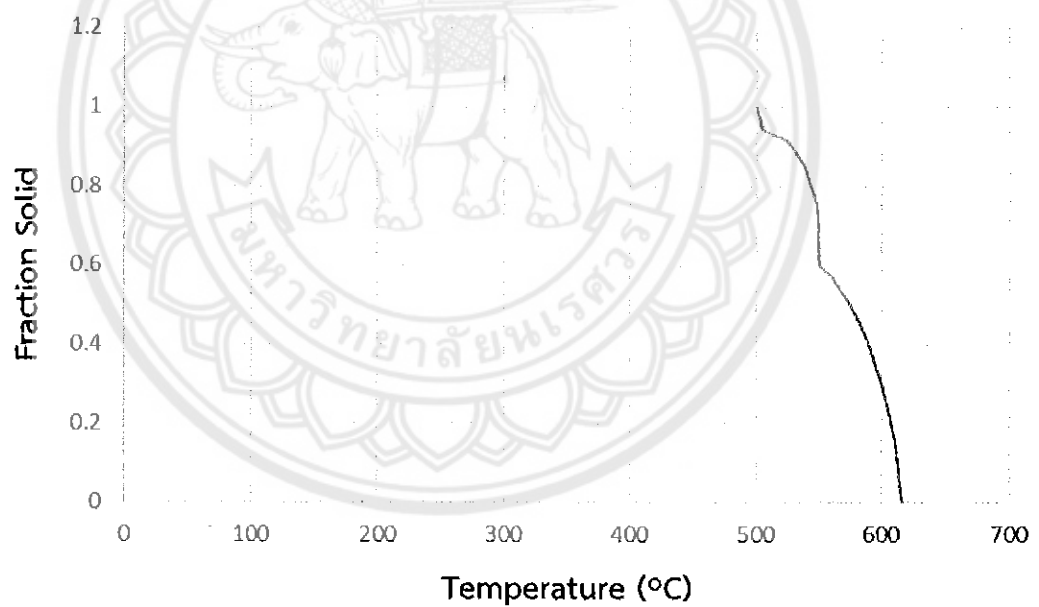
รูปที่ ข.3 ค่า Conductivity ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg



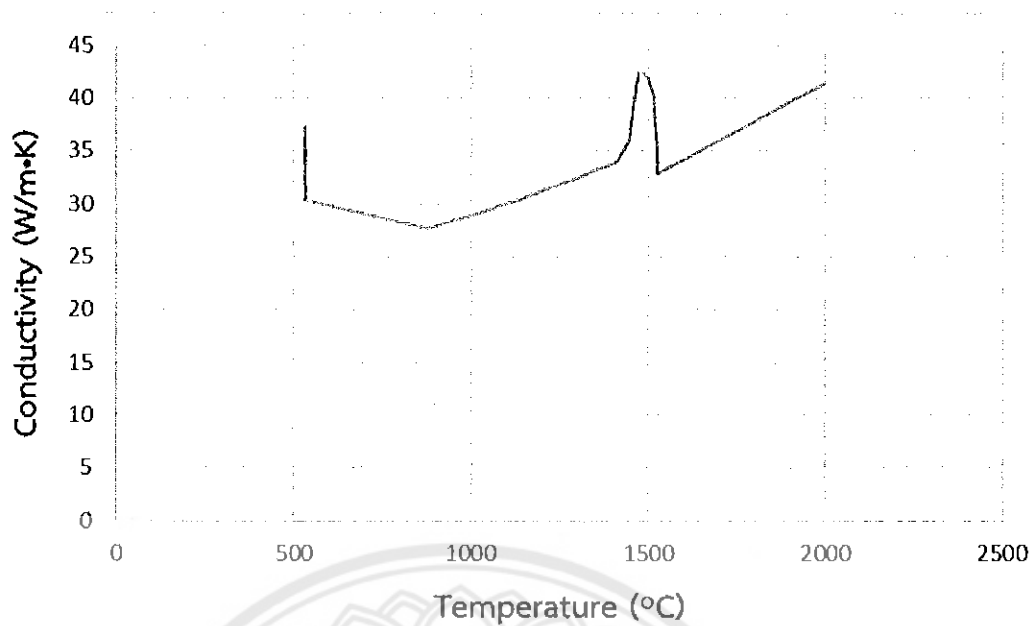
รูปที่ ข.4 ค่า Density ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg



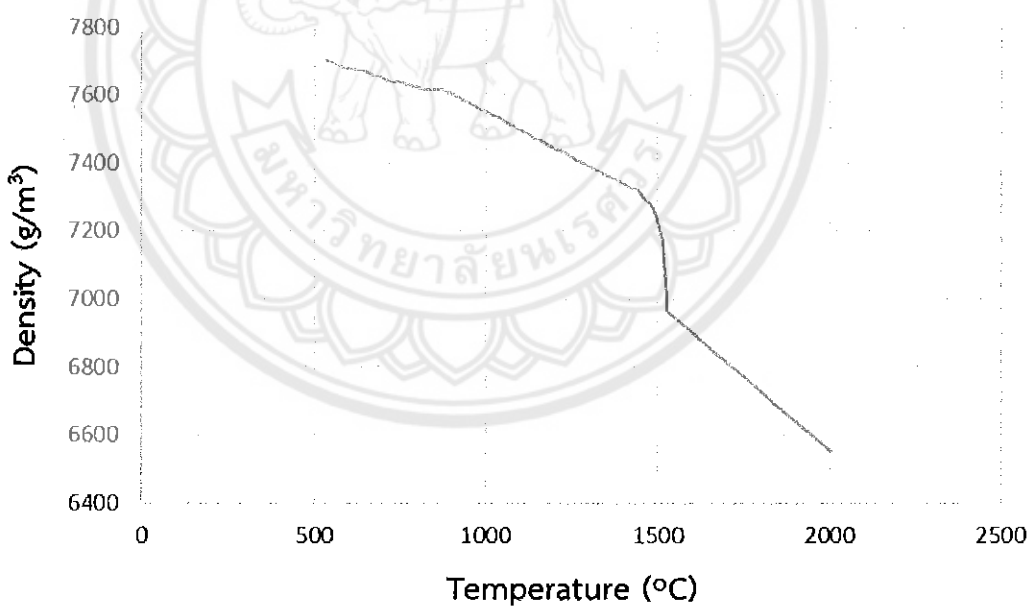
รูปที่ ข.5 ค่า Specific Heat ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg



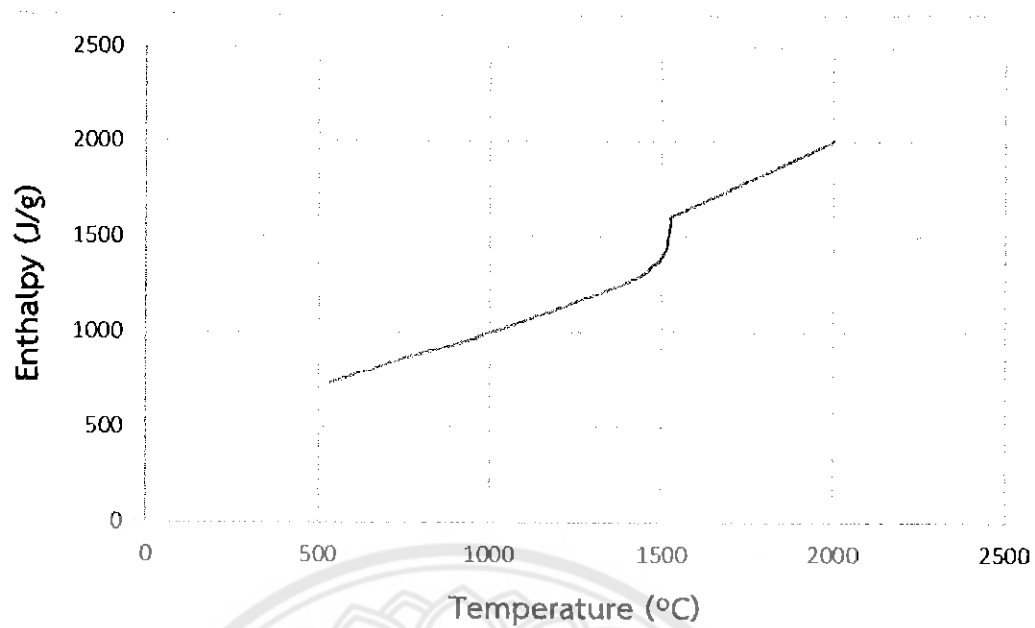
รูปที่ ข.6 ค่า Fraction Solid ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg



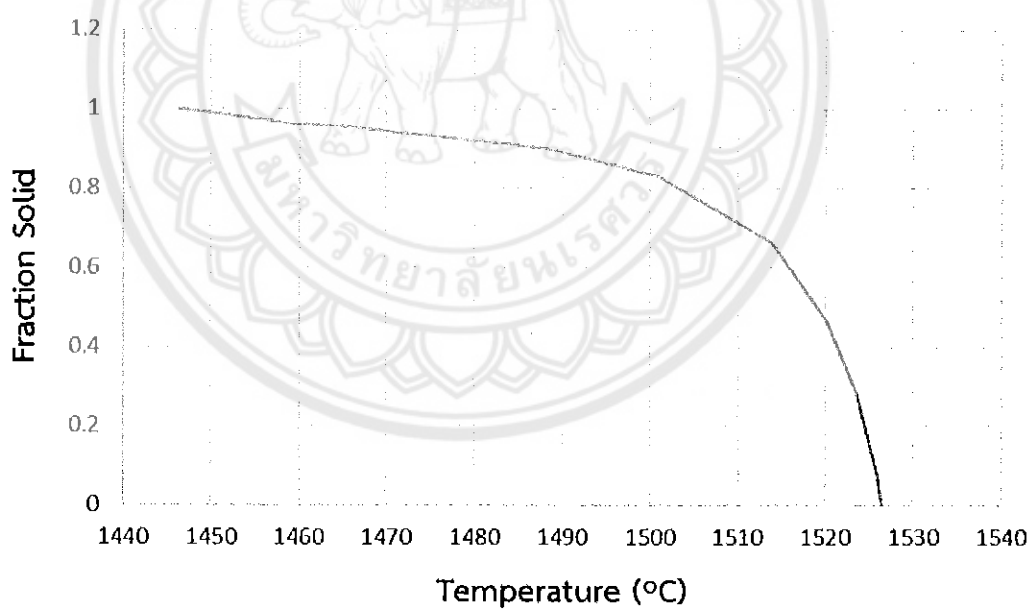
รูปที่ ข.7 ค่า Conductivity ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008



รูปที่ ข.8 ค่า Density ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008

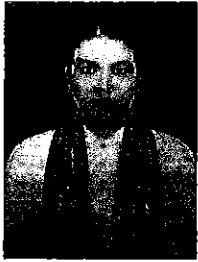


รูปที่ ข.9 ค่า Enthalpy ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008



รูปที่ ข.10 ค่า Fraction Solid ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาวจันทจุฑา บัวบาน
ภูมิลำเนา 128/13 ซอยสุสานจีน ถนนหลวงพ่อเจ้า
ต. เมืองสวรรคโลก อ. สวรรคโลก จ. สุโขทัย

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสวรรคค่อนันต์วิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Jinjuthab17@gmail.com



ชื่อ นายณัฐวุฒิ ปริสวางค์
ภูมิลำเนา 110 หมู่ 4 ต. เขาแก้วฯ อ. ท่งเสด็จ จ. สุโขทัย

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสวรรคค่อนันต์วิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Natthiwut_buppha@hotmail.com