

ผลของอุณหภูมิเท และอัตราการเทต่อการไหลของอะลูมิเนียมผสม
เอซี 2 เอ โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

EFFECTS OF POURING TEMPERATURE AND POURING RATE ON FLUIDITY
INDEX OF AC2A ALUMINUM ALLOYS USING CASTING SIMULATION
PROGRAM

นางสาวบรรเจิดลักษณ์ แยมเนียม รหัส 56364496

นางสาวปาริฉัตร ป้อมไย รหัส 56364540

สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์	
วันลงทะเบียน	02 ก.พ. 2561
เลขทะเบียน	๕๖๖๖๕๖๖
เลขเรียกหนังสือ	๕๖๖๖๕๖๖

๕๖๖๖

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์

ปีการศึกษา 2559



ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ ผลของอุณหภูมิและอัตราการเทตอดซ์นึการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2
เอ โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวบรรเจิดลักษณ์ แยมนิยม รหัส 56364496
นางสาวปาริฉัตร ป้อมโย รหัส 56364540

ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(ดร.สุสิทธิ์ ป่าไร่)

.....กรรมการ
(ดร.ปิยนันท์ บุญพาศร์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	ผลของอุณหภูมิเท และอัตราการเทต่อดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวบรรเจิดลักษณ์ แยมเนียม รหัส 56364496 นางสาวปาริฉัตร ป้อมไย รหัส 56364540
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิเท และอัตราการเทต่อดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ เพื่อเปรียบเทียบผลของดัชนีการไหลโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองกับการหล่อจริง โดยผลจากการหล่อจริงที่อุณหภูมิเท 680 และ 720 องศาเซลเซียส อัตราการเทระดับที่ 1 และระดับที่ 2 พบว่าดัชนีการไหลเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเท และอัตราการเทเพิ่มขึ้น และผลจากโปรแกรมช่วยในการจำลองที่อุณหภูมิเท 680 และ 720 องศาเซลเซียส อัตราการเทระดับที่ 1 และระดับที่ 2 พบว่าไม่สามารถเห็นดัชนีการไหล เนื่องจากโลหะหลอมเหลวไหลเต็มแม่พิมพ์ ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการทดลองเพิ่ม โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเทเป็น 560 และ 600 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาว่าอุณหภูมิเทมีผลต่อดัชนีการไหล โดยยังคงใช้อัตราการเทระดับที่ 1 และระดับที่ 2 เช่นเดิม จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิเท และอัตราการเทเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดัชนีการไหลเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองจากการหล่อจริงกับผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง ทำให้ทราบได้ว่าทั้งอุณหภูมิเท และอัตราการเท มีผลต่อดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

Project title EFFECTS OF POURING TEMPERATURE AND POURING RATE ON
FLUIDITY INDEX OF AC2A ALUMINUM ALLOYS USING CASTING
SIMULATION PROGRAM

Name Ms. Bunjertlark Yeamniyom ID 56364496
Ms. Parichat Pomyai ID 56364540

Project advisor Ms. Krisana Poolsawat

Major Materials Engineering

Department Industrial Engineering

Academic year 2016

Abstract

This project studied the effects of pouring temperature and rate on fluidity index of AC2A aluminum alloys. Experimental results of gravity die casting and simulation results were analyzed and discussed. Pouring temperatures of 680 and 720 degrees Celsius and rate at 1st and 2nd level was used. The results showed that pouring temperature and rate affected the fluidity index of samples from the real casting. Furthermore, higher pouring temperature and rate gave higher fluidity index. In simulation study, fluidity index could not be compared because mold was filled by molten metal, so pouring temperature was change to 560 and 650 degrees Celsius. In conclusion, pouring temperature and rate directly affected the fluidity index in real cast and simulation.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความอนุเคราะห์จากหลายท่าน คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอแสดงความขอบพระคุณบุคคลผู้มีพระคุณ โดยอย่างยิ่งอาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำปรึกษา และข้อชี้แนะ ตลอดจนดูแลติดตามโครงการมาโดยตลอด

ขอขอบคุณดร.สุสิทธิ์ ป่าไร่ และดร.ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาเป็นอาจารย์สอบโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ขอขอบคุณครูช่าง ประเทือง โมรราราย และครูช่างรณกฤต แสงผ่องที่เอื้อเฟื้อสถานที่อุปกรณ์ และคำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ และขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความรู้ ประสบการณ์ และคอยอบรมสั่งสอนให้เป็นคนดีของสังคม

ขอขอบคุณคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ห้องคอมพิวเตอร์

ขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยสนับสนุนค่าใช้จ่ายสามารถดำเนินโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษา และคอยเป็นกำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้นที่ให้การดูแลตลอดการดำเนินงานโครงการผลของอุณหภูมิต่ำ และอัตราการเกิดข้อบกพร่องในการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง จนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวบรรเจิดลักษณ์ แยมนิยม

นางสาวปาริฉัตร ป้อมโย

พฤษภาคม 2560

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองโครงงานวิจัย.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลความสำเร็จ (Outcomes).....	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน.....	3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน.....	3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน.....	3
บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 โปรแกรมช่วยในการจำลอง (Program Simulation)	4
2.2 การเขียนแบบแม่พิมพ์ในระบบ 3 มิติ (Drawing Mold in 3D).....	5
2.3 โปรแกรม Thermo-Calc (Demo Version).....	6
2.4 เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine).....	7
2.5 อะลูมิเนียม และอะลูมิเนียมผสม (Aluminum and Aluminum Alloys).....	7
2.6 อะลูมิเนียมผสมสำหรับงานหล่อ (Aluminum Alloys for Casting).....	8
2.7 มาตรฐานของอะลูมิเนียม.....	9
2.8 มาตรฐานของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ.....	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9 การทดสอบความสามารถในการไหล (Fluidity Test).....	11
2.10 องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการไหล (Element of Fluidity).....	13
2.11 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	14
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
 บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	20
3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการดำเนินโครงการ.....	20
3.2 วัสดุ และอุปกรณ์.....	20
3.3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	22
3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ และสรุปผลการทดสอบ.....	26
 บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์.....	28
4.1 ผลการทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน องค์ประกอบทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน.....	28
4.2 ผลการทดสอบจากโปรแกรม Thermo-Calc (DEMO version).....	30
4.3 ผลการหล่อจริง.....	31
4.4 ผลการทดสอบดัชนีการไหลโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง.....	33
4.5 เปรียบเทียบผลของดัชนีการไหลโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองกับการหล่อจริง....	37
 บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ.....	41
5.1 บทสรุป.....	41
5.2 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไข.....	41
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	41
5.4 การพัฒนา.....	42
 เอกสารอ้างอิง.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก.....	45
ภาคผนวก ข.....	50
ภาคผนวก ค.....	52
ภาคผนวก ง.....	54
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	59



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินงานโครงการ.....	3
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ (ร้อยละโดยน้ำหนักโดยประมาณ).....	9
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (ร้อยละโดยน้ำหนักโดยประมาณ)	10
3.1 อุณหภูมิเท และอัตราการเทที่ใช้ในงานหล่อจริง.....	24
3.2 อุณหภูมิเท และอัตราการเทที่ใช้ในโปรแกรมช่วยในการจำลอง.....	26
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ.....	29
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ.....	29
4.3 ดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท.....	32
4.4 ดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ เมื่อทำการเปลี่ยนอัตราการเท.....	33
4.5 เปรียบเทียบปริมาณส่วนผสมของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ กับอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg.....	34
4.6 เปรียบเทียบปริมาณส่วนผสมของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ กับเหล็กกล้า Low-Carbon AISI 1008.....	34
4.7 เปรียบเทียบค่าสมบัติทางอื่นๆของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ กับอะลูมิเนียม EN AC- 45100AlSi5Cu3Mg	35
4.8 เปรียบเทียบค่าสมบัติอื่นของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ กับ LowCarbon AISI 1008.....	35
4.9 ดัชนีการไหลของ Al EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท.....	38
4.10 ดัชนีการไหลของ Al EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg เมื่อทำการเปลี่ยนอัตราการเท.....	39
4.11 เปรียบเทียบดัชนีการไหลเมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท และอัตราการเทโดยใช้โปรแกรมช่วยใน การจำลองกับการหล่อจริง.....	39
ก.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ.....	46
ก.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ.....	47
ก.3 องค์ประกอบทางเคมีของ EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg.....	48
ก.4 องค์ประกอบทางเคมีของ Low Carbon AISI 1008.....	49
ข.1 ผลการวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ.....	51
ข.2 ผลการวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ.....	51
ค.1 G-code สำหรับสร้างแม่พิมพ์แบบสไปรอล (Spiral Mold).....	53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ผลจากโปรแกรม Thermo-Calc (DEMO Version).....	6
2.2 เฟสไดอะแกรมของอะลูมิเนียม-ซิลิคอน.....	10
2.3 การทดสอบความสามารถในการไหลโดยใช้แบบสปิริล (Spiral Test).....	11
2.4 การทดสอบความสามารถในการไหลโดยใช้แบบสุญญากาศ (Vacuum Test).....	12
2.5 การทดสอบความสามารถในการไหลโดยใช้แบบช่อง (Strip Test).....	12
2.6 องค์ประกอบของเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectrometer).....	14
2.7 ผลจากเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter) ของ อะลูมิเนียม เอซี 2 เอ.....	16
3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	21
3.2 แม่พิมพ์แบบสปิริล (Spiral Mold)	23
3.3 ขั้นตอนสร้างแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine).....	23
3.4 แม่พิมพ์สปิริลทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ.....	24
3.5 เครื่องเทโลหะหลอมเหลว.....	24
3.6 ขั้นตอนการเทโลหะหลอมเหลวลงสู่แม่พิมพ์.....	25
4.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ.....	28
4.2 ค่าสัดส่วนของแข็ง (Fraction Solid) ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ.....	30
4.3 ค่าสัดส่วนของแข็ง (Fraction Solid) ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ.....	31
4.4 ชิ้นงานอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ จากการหล่อจริง	31
4.5 ผลของดัชนีการไหลของ Al EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง..	36
4.6 ผลของดัชนีการไหลของ Al EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง..	37
จ.1 ค่า Conductivity ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg.....	55
จ.2 ค่า Density ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg.....	55
จ.3 ค่า Specific Heat ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg.....	56
จ.4 ค่า Fraction Solid ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg.....	56
จ.5 ค่า Conductivity ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008.....	57
จ.6 ค่า Density ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008.....	57
จ.7 ค่า Enthalpy ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008.....	58
จ.8 ค่า Fraction Solid ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008.....	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันการใช้งานอะลูมิเนียม และอะลูมิเนียมผสมมีแนวโน้มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีสมบัติที่เด่นหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา มีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง จุดหลอมเหลวต่ำ มีความต้านทานการกัดกร่อน มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ มีความสามารถในการหล่อที่ดี และสามารถนำมาขึ้นรูปร่างได้สะดวก เป็นต้น จึงนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอากาศยาน ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีหลายชิ้นส่วนที่ใช้อะลูมิเนียมทดแทนการใช้งานของเหล็กหล่อ หรือเหล็กกล้าหล่อ เนื่องจากมีสมบัติที่เด่นหลายประการ อะลูมิเนียมหล่อนั้นควรมีความสามารถในการหล่อที่ดี เนื่องจากมีความสำคัญในขั้นตอนการผลิต หนึ่งในความสามารถในการหล่อที่มีความสำคัญมากคือความสามารถในการไหล (Fluidity) ของโลหะหลอมเหลว (ณรงค์ศักดิ์, 2558)

เนื่องจากในการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถที่จะทำการทดลองหรือปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานได้ง่าย จึงได้นำเอาโปรแกรมช่วยในการจำลองมาทำการวิเคราะห์ผลของงานหล่อจริงก่อนที่จะทำการหล่อจริง ซึ่งจะช่วยให้เห็นผลการจำลอง (Simulation) ต่างๆ ทำให้ได้รู้ถึงจุดบกพร่องที่ควรแก้ไขทั้งในด้านการออกแบบ และค่าตัวแปร (Parameter) ที่ได้กำหนดหรือป้อนใส่เข้าไปในโปรแกรม ก่อนทำการวิเคราะห์ในโปรแกรม การจำลองหรือวิเคราะห์นี้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร (Parameter) ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบในขั้นตอนต่างๆ ได้โดยง่าย หลังจากป้อนค่าลงโปรแกรมจะคำนวณค่าที่เราต้องการทราบหรือพบข้อบกพร่องที่จะเกิดขึ้นได้ (เชิดศักดิ์, 2547)

ในโครงการนี้ได้ศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิเท และอัตราการเทที่ส่งผลต่อดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ จากนั้นใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองมาทำการทดสอบความสามารถในการไหล (Fluidity) ของอะลูมิเนียมหลอมเหลวโดยการเปลี่ยนอุณหภูมิเท และอัตราการเทจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลของดัชนีการไหล เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท และอัตราการเทโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง และวิเคราะห์ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อจริงเปรียบเทียบกับโปรแกรมช่วยในการจำลอง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิเทที่ส่งผลต่อดัชนีการไหล โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

1.2.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเทที่ส่งผลต่อดัชนีการไหล โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

1.2.3 เปรียบเทียบผลของดัชนีการไหล โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองกับการหล่อจริง

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ผลของดัชนีการไหลเมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท และอัตราการเท โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

1.3.2 ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อจริงโดยเปรียบเทียบ ณ 2 อุณหภูมิเท และ 2 อัตราการเท

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcomes)

1.4.1 วิเคราะห์ผลของดัชนีการไหล เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท และอัตราการเทโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

1.4.2 วิเคราะห์ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อจริง เปรียบเทียบกับโปรแกรมช่วยในการจำลอง

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.5.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ อะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

1.5.2 แม่พิมพ์สไปรอล (Spiral Mold) ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

1.5.3 อุณหภูมิเท 560, 600, 680 และ 720 องศาเซลเซียส

1.5.4 อัตราการเทระดับที่ 1 (อยู่ในช่วง 0.157-0.177 กิโลกรัมต่อวินาที) และระดับที่ 2 (0.284 กิโลกรัมต่อวินาที)

1.5.5 โปรแกรมช่วยในการจำลอง (ProCAST 2015) เพื่อทดสอบดัชนีการไหล

1.5.6 โปรแกรมเขียนแบบ (AutoCAD 2016) เพื่อเขียนแบบแม่พิมพ์ในระบบ 3 มิติ

1.5.7 โปรแกรม Thermo-Calc (Demo Version) เพื่อหาสัดส่วนของแข็ง (Fraction Solid) ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

1.5.8 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) วัดอุณหภูมิเท

1.5.9 เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine) สร้างแม่พิมพ์

1.5.10 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectrometer ; OES) เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

1.5.11 เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Conductivity Analysis ; TCA) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

1.5.12 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter ; DSC) เพื่อหาอุณหภูมิของเหลว (Liquidus Temperature) และอุณหภูมิของแข็ง (Solidus Temperature) ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

บทที่ 2

หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 โปรแกรมช่วยในการจำลอง (Program Simulation)

การนำเอาโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้กับงานทางวิศวกรรม เพื่อทำการวิเคราะห์ผลดีหรือผลเสียก่อนทำการผลิต หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไปในชื่อของคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (Computer Aided Engineering) ซึ่งจะช่วยให้สามารถที่จะเห็นผลจากการจำลอง และทำการการวิเคราะห์ล่วงหน้าของการออกแบบ หรือเห็นผลการจำลอง (Simulation) ต่างๆ ของการผลิตล่วงหน้า ทำให้ได้รู้ถึงจุดบกพร่องที่ควรแก้ไขทั้งในด้านการออกแบบ และตัวแปร (Parameter) ที่ได้กำหนดหรือป้อนใส่เข้าไปในโปรแกรมก่อนทำการวิเคราะห์ในโปรแกรม การจำลองหรือวิเคราะห์ทางวิศวกรรมนี้สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร (Parameter) ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบในขั้นตอนต่าง ๆ ได้โดยง่าย และไม่เกิดการเสียหายกับงานแต่ประการใด และค่าตัวแปร (Parameter) นั้นก็คือค่าในสภาวะการทำงานจริงที่ผู้ปฏิบัติงานได้ปฏิบัติอยู่ทุกวัน กล่าวได้ว่าการใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางวิศวกรรมเป็นการช่วยลดต้นทุน เพิ่มคุณภาพของชิ้นงานเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุข้อบกพร่องต่างๆ ของชิ้นงาน ก่อนทำการหล่อจริง (เชิดศักดิ์, 2547)

2.1.1 โปรแกรมช่วยในการจำลองงานหล่อ (Program Simulation of Casting)

โปรแกรมช่วยในการจำลอง คือ โปรแกรมสำหรับใช้จำลองกรรมวิธีการหล่อขึ้นรูปโลหะ ซึ่งถูกนำมาใช้ในการศึกษากระบวนการหล่อมีรอบของการทำงานเป็น 1 รอบ ต่อการผลิตชิ้นงาน 1 กระบวนการ โดยรอบนั้น เริ่มตั้งแต่โลหะหลอมเหลวอยู่ที่ทางเข้าของแม่พิมพ์ และโลหะหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์จนเต็ม หลังจากนั้นจะเข้าสู่การแข็งตัว (Solidification) เมื่อแข็งตัวได้ตามเวลาที่กำหนด แม่พิมพ์โลหะจะถูกเปิด เพื่อเอาชิ้นงานหล่อออกนับเป็น 1 รอบ การวิเคราะห์ผลของการจำลองหลักๆ นั้นมีดังนี้

2.1.1.1 การไหลของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Filling)

2.1.1.2 ความเร็วในการไหลของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Melt Velocity)

2.1.1.3 แรงดันของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Melt Pressure)

2.1.1.4 การแข็งตัวของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Solidification)

2.1.1.5 ทิศทางการไหลของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Flow Direction)

2.1.1.6 รูพรุนที่อาจเกิดขึ้นในเนื้อชิ้นงานหล่อ (Porosity)

ในการใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองนั้นผลที่ได้จะมีความเที่ยงตรงหรือถูกต้องมากน้อยแค่ไหนนั้นขึ้นอยู่กับค่าตัวแปร (Parameters) ต่างๆ ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรม

2.1.2 ตัวแปรที่ต้องป้อนลงในโปรแกรมจำลองการหล่อ

2.1.2.1 อุณหภูมิแม่พิมพ์หลอมของวัสดุ

- 2.1.2.2 อุณหภูมิแม่พิมพ์
- 2.1.2.3 อุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลว
- 2.1.2.4 อุณหภูมิล้อมรอบขณะทำการหล่อ
- 2.1.2.5 อัตราการไหลของโลหะหลอมเหลว
- 2.1.2.6 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่ใช้
- 2.1.2.7 ขนาดทางเข้าของโลหะหลอมเหลว
- 2.1.2.8 ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์
- 2.1.2.9 ค่าสัดส่วนของแข็ง (Fraction Solid) ของวัสดุ
- 2.1.2.10 ค่าความหนาแน่นของวัสดุ

ความหนาแน่น คือ มวลของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรจากสมการ 2.1

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

ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (หน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m คือ มวลรวมของวัตถุ (หน่วย กิโลกรัม)

v คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ (หน่วย ลูกบาศก์เมตร)

2.1.3 ผลของการวิเคราะห์การจำลองหลัก

- 2.1.3.1 การไหลของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Filling)
- 2.1.3.2 ความเร็วในการไหลของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Melt Velocity)
- 2.1.3.3 การแข็งตัวของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Solidification)
- 2.1.3.4 ทิศทางการไหลของโลหะหลอมเหลวในแม่พิมพ์ (Flow Direction)

2.2 การเขียนแบบแม่พิมพ์ในระบบ 3 มิติ (Drawing Mold in 3D)

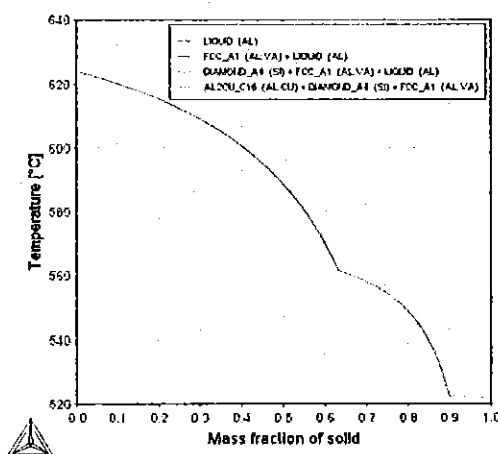
โดยใช้โปรแกรมเขียนแบบ (AutoCAD) เป็นเครื่องมือช่วยให้งานเขียนแบบง่าย และรวดเร็ว มากมาย เช่น เครื่องมือในการออกแบบ เครื่องมือในการคำนวณ และเขียนขนาดอัตโนมัติ เป็นต้น ข้อมูลงานเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์จะถูกจัดเก็บในรูปของข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งไม่จำเป็นต้องการที่เก็บมากเหมือนกระดาษ และที่สำคัญข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวสามารถเรียกกลับมาบนหน้าจอ เพื่อแก้ไข ปรับเปลี่ยน ส่งผ่านระบบสื่อสารเครือข่ายหรือพิมพ์ออกเครื่องพิมพ์ได้อย่างสะดวกง่ายดาย ซึ่งขั้นตอนการจำลองงานหล่อเริ่มต้นกระบวนการโดยการสร้างแบบจำลองชิ้นงาน 3 มิติ (CAD) หลังจากนั้นทำการส่งไฟล์ของแบบที่เขียนโดยโปรแกรมเขียนแบบ (AutoCAD) เข้าสู่กระบวนการจำลองซึ่งเป็นโปรแกรมช่วยในการจำลอง (ProCAST 2015) แล้วทำการป้อนค่าตัวแปร (Parameters) ต่างๆ เพื่อคำนวณผลการวิเคราะห์ของการจำลองต่างๆ (ทองศักดิ์, 2554)

2.3 โปรแกรม Thermo-Calc (DEMO Version)

โปรแกรม Thermo-Calc (DEMO Version) เป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการคำนวณอุณหพลศาสตร์ และสามารถคำนวณได้หลากหลายค่ารวมถึงการคำนวณ ดังต่อไปนี้

- 2.3.1 สมดุลของเฟสที่ต่างกัน สถานะเสถียรภาพ และกึ่งเสถียรภาพ
- 2.3.2 จำนวนขั้นตอน และองค์ประกอบของสารเคมีที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสารเคมี
- 2.3.3 เฟสการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เช่น ของแข็ง ของเหลว และตัวทำละลาย
- 2.3.4 ข้อมูลทางอุณหพลศาสตร์ เช่น เอนทาลปี (Enthalpy) และความจุความร้อน (Heat Capacity)
- 2.3.5 แรงที่ทำให้เฟสเกิดการเปลี่ยนแปลง
- 2.3.6 การทำให้แข็งตัวโดยใช้รูปแบบของ Scheil-Gulliver
- 2.3.7 สมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของปฏิกิริยาทางเคมี และการคำนวณอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับสารละลายในน้ำ (Bo Sundman, 2017)

โปรแกรม Thermo-Calc (DEMO Version) นี้สามารถคำนวณค่าได้หลากหลายซึ่งในการทำโครงการครั้งนี้ได้คำนวณหาสัดส่วนของแข็ง (Fraction Solid) ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ซึ่งผลจากโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยนำองค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำจากเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectrometer) มาใส่ในโปรแกรม Thermo-Calc โดยจะมีข้อมูลพื้นฐาน เทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic) ของระบบโปรแกรมเพื่อคำนวณให้โดยจะใส่องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ต้องการให้คำนวณ จากนั้นจะได้ค่าสัดส่วนของแข็ง โดยจะนำข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากกราฟไปใส่ในโปรแกรมช่วยในการจำลองในส่วนของการเพิ่มวัสดุที่ใช้ในโครงการนี้ เนื่องจากในโปรแกรมช่วยในการจำลองไม่มีวัสดุที่โครงการใช้จึงต้องเพิ่มวัสดุเข้าไปโดยใช้ข้อมูลของอะลูมิเนียม-ผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (องค์ประกอบทางเคมี สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น สัดส่วนของแข็ง อุณหภูมิของเหลว และอุณหภูมิของแข็ง)



รูปที่ 2.1 ผลจากโปรแกรม Thermo-Calc (DEMO Version)

2.4 เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine)

CNC ย่อมาจากคำว่า Computer Numerical Control หมายถึง การควบคุมการทำงานของเครื่องจักรด้วยคำสั่งเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ ระบบคอมพิวเตอร์ และระบบอิเล็กทรอนิกส์ จะทำการประมวลผล และสั่งการให้เครื่องจักรทำงานหรือเกิดการเคลื่อนที่จากชุดคำสั่งต่างๆ เครื่องจักรกลกัดซีเอ็นซีจะทำงานได้นั้น ระบบควบคุมของเครื่องจะต้องได้รับคำสั่งเป็นภาษาที่ระบบควบคุมเข้าใจได้เสียก่อนว่าจะให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีทำอะไร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องป้อนโปรแกรม เข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องผ่านแป้นพิมพ์ (Key Board) จุดประสงค์ของการใช้เครื่องกัดซีเอ็นซีเพื่อใช้คำสั่งจากโปรแกรมสั่งการให้เครื่องจักรผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่าง ขนาดตามต้องการ ซึ่งการผลิตชิ้นงานโดยเครื่องกัดซีเอ็นซีจะได้ชิ้นงานที่มีความถูกต้องแม่นยำ และผลิตชิ้นงานได้อย่างรวดเร็วเพื่อให้ได้ชิ้นงานจำนวนมากๆ (ชาญชัย, 2557)

ดังนั้น จึงใช้เครื่องกัดซีเอ็นซีในการสร้างแม่พิมพ์เพื่อให้ได้ขนาดที่เที่ยงตรงแม่นยำ ซึ่งแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นนั้นจะนำมาหล่ออะลูมิเนียมหลอมเหลวเพื่อทดสอบหาค่าดัชนีการไหล

2.5 อะลูมิเนียม และอะลูมิเนียมผสม (Aluminum and Aluminum Alloys)

อะลูมิเนียม และอะลูมิเนียมผสมเป็นโลหะที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายเพราะมีน้ำหนักเบา มีความหนาแน่นประมาณ 1/3 ของเหล็กกล้า แต่อะลูมิเนียมผสมจะมีอัตราส่วนของความแข็งแรงต่อน้ำหนักดีกว่าเหล็กกล้าชนิดความแข็งแรงสูง (High Strength Steels) เหตุนี้เองจึงนิยมใช้ทำโครงสร้างของเครื่องบิน ชิ้นส่วนยานยนต์ และเครื่องจักรต่างๆ

สมบัติที่สำคัญของอะลูมิเนียม และอะลูมิเนียมผสมมีหลายประการ คือ มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงสูง มีความเหนียวสูง สามารถนำไปขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำทำให้ง่ายต่อการหล่อ ทำให้ในปัจจุบันปริมาณการใช้งานอะลูมิเนียม และอะลูมิเนียมผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอะลูมิเนียมหล่อ (Cast Aluminum) พบว่าในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ มีหลายชิ้นส่วนที่ใช้อะลูมิเนียมทดแทนการใช้งานของเหล็กหล่อหรือเหล็กกล้าหล่อ มีสมบัติการนำความร้อนสูง และไม่มีพิษต่อร่างกายมนุษย์ จึงนิยมนำไปใช้ทำภาชนะหุงต้มอาหาร มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนในบรรยากาศที่ใช้งานโดยทั่วไปได้ดี (ณรงค์ศักดิ์, 2558)

การจำแนกประเภทของอะลูมิเนียมผสม อะลูมิเนียมผสมสามารถผสมกับโลหะอื่นๆ ได้หลายชนิด เช่น ทองแดง ซิลิกอน แมกนีเซียม สังกะสี ซึ่งอะลูมิเนียมผสมแต่ละประเภทจะมีสมบัติที่แตกต่างกันไป สามารถเลือกใช้งานกว้างขวาง อะลูมิเนียมผสมสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

2.5.1 อะลูมิเนียมประเภทการขึ้นรูป (Aluminum Alloys Type of Forming) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบ

2.5.1.1 อะลูมิเนียมผสมประเภทขึ้นรูปเย็น (Wrought) กระทำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต (Recrystallization Temperature) จนถึงอุณหภูมิห้อง เป็นกรรมวิธีที่ทำให้งานที่ผ่านกรรมวิธีรีดร้อนมาแล้ว อะลูมิเนียมผสมที่ไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้ โดยวิธีการอบชุบก็อาจจะทำให้แข็งแรงได้ด้วยวิธีรีดเย็น

2.5.1.2 อะลูมิเนียมผสมประเภทขึ้นรูปร้อน (Hot Working) กระทำที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤต (Recrystallization Temperature) จนกระทั่งอะลูมิเนียมอยู่ในสภาพอ่อนตัว (Plastic) แล้วนำไปผ่านลูกรีด เพื่อลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลง การรีดก่อนที่จะได้ชิ้นงานสำเร็จนั้นต้องทำให้ชิ้นงานมีขนาดที่เหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

2.5.2 อะลูมิเนียมผสมประเภทหล่อ (Aluminum Alloys Type of Cast) เป็นอะลูมิเนียมที่มีสมบัติพิเศษ มีความสามารถในการไหลที่ดี ช่วยในการหล่อขึ้นรูปได้ง่าย ส่วนใหญ่อะลูมิเนียมผสมชนิดนี้สามารถชุบแข็งตัวด้วยความร้อนได้ อะลูมิเนียมผสมที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกอน เพราะซิลิกอนจะช่วยให้ความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลวไหลเข้าสู่โพรงแบบหล่อสูงขึ้น (ณรงค์ฤทธิ์, 2559)

2.6 อะลูมิเนียมผสมสำหรับงานหล่อ (Aluminum Alloys for Casting)

ปัจจุบันการใช้งานอะลูมิเนียม และอะลูมิเนียมผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอะลูมิเนียมผสมที่ขึ้นรูปด้วยการหล่อ โดยส่วนมากจะมีซิลิกอนเป็นธาตุผสมหลัก เพราะซิลิกอนจะทำให้หลอมได้ง่าย ส่งผลให้ความสามารถในการไหลตัว (Flow Ability) ได้ดีหรือความสามารถของโลหะหลอมเหลวที่ไหลตัวเข้าสู่โพรงแบบหล่อก่อนการแข็งตัว และทำให้ความสามารถในการหล่อดีหรือความสามารถของโลหะหลอมเหลวที่แข็งตัวเป็นชิ้นงานตามโพรงแบบหล่อได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอะลูมิเนียมหล่อ พบว่าในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ มีหลายชิ้นส่วนที่ใช้อะลูมิเนียมทดแทนการใช้งานของเหล็กหล่อหรือเหล็กกล้าหล่อ อันเนื่องมาจากสมบัติที่ดีเด่นของอะลูมิเนียมหล่อ เช่น น้ำหนักเบา มีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง จุดหลอมเหลวต่ำ มีความต้านทานต่อการเป็นสนิม มีลักษณะผิวที่สวยงาม มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ มีความสามารถในการหล่อที่ดี และสามารถนำมากลึงไสตัดได้ง่าย เป็นต้น อะลูมิเนียมหล่อนั้นควรมีความสามารถในการหล่อที่ดี เนื่องจากมีความสำคัญในขั้นตอนการผลิต หนึ่งในความสามารถในการหล่อที่มีความสำคัญมากคือความสามารถในการไหล (Fluidity) ของโลหะหลอมเหลว โดยความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลวหมายถึงการที่โลหะหลอมเหลวสามารถไหลได้ในแบบหล่อก่อนที่จะเกิดการแข็งตัว โดยความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลวจะบอกถึงความสามารถในการป้อนเติมโลหะหลอมเหลวเข้าสู่แบบหล่อ ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลวสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ

2.6.1 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากโลหะหลอมเหลว ได้แก่ อุณหภูมิ ความหนืด และความร้อนแฝงในการหลอมละลาย

2.6.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากแบบหล่อ ได้แก่ ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของแบบหล่อ ความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวรอยต่อระหว่างโลหะหลอมเหลวกับแบบหล่อ และความร้อนจำเพาะ

2.6.3 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการทดลอง ได้แก่ ขนาดช่องทางวิ่งของโลหะหลอมเหลว

2.7 มาตรฐานของอะลูมิเนียม

มาตรฐานที่นิยมใช้สำหรับการแบ่งชนิดของอะลูมิเนียมสำหรับอุตสาหกรรมหล่อโลหะในประเทศไทยคือ มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (Aluminum Association ; AA) และประเทศญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard ; JIS) โดยโครงการได้ใช้อะลูมิเนียมมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา A319.1 และมาตรฐานของญี่ปุ่น AC2A ซึ่งทั้ง 2 มาตรฐานนี้จะมียังมีองค์ประกอบทางเคมี ร้อยละโดยน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ (ร้อยละโดยน้ำหนักโดยประมาณ)

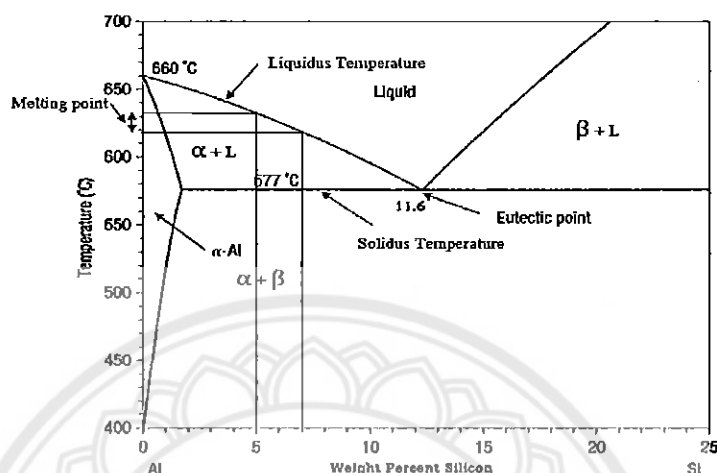
ธาตุ (Element)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (Percent by Weight)
ซิลิคอน (Si)	5.0-7.0
ทองแดง (Cu)	3.0-5.0
สังกะสี (Zn)	2.0
เหล็ก (Fe)	0.90
แมกนีเซียม (Mg)	0.55
แมงกานีส (Mn)	0.20-0.65
อะลูมิเนียม (Al)	Balance

ที่มา: รศ.ดร.เชาวลิต (2511)

2.7.1 พิจารณาเฟสไดอะแกรมของอะลูมิเนียม-ซิลิคอน

จากเฟสไดอะแกรมของอะลูมิเนียม และซิลิคอน ดังรูปที่ 2.2 พบว่าการมีซิลิคอนละลายเข้าไปในอะลูมิเนียมทำให้จุดหลอมเหลวของอะลูมิเนียมผสมอยู่ต่ำสุดที่จุดปฏิกิริยายูเทคติก (Eutectic Reaction) ที่ส่วนผสมของซิลิคอนประมาณร้อยละ 11.6 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิประมาณ 577 องศาเซลเซียส โดยเรียกอะลูมิเนียม-ซิลิคอนที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่จุดปฏิกิริยายูเทคติกนี้ว่า อะลูมิเนียม-ซิลิคอนยูเทคติก แต่หากอะลูมิเนียม-ซิลิคอนมีปริมาณของซิลิคอนอยู่น้อยกว่าร้อยละ 11.6 โดยน้ำหนัก จะเรียกว่าเป็นอะลูมิเนียม-ซิลิคอนไฮโปยูเทคติก (Hypoeutectic) และในกรณีที่ซิลิคอนอยู่มากกว่าร้อยละ 11.6 โดยน้ำหนัก จะเรียกว่าอะลูมิเนียม-ซิลิคอนไฮเพอร์ยูเทคติก (Hypereutectic) และจากเฟสไดอะแกรมของอะลูมิเนียม-ซิลิคอน จะพบอุณหภูมิ

ของเหลว (Liquidus Temperature) และอุณหภูมิของแข็ง (Solidus Temperature) เมื่อพิจารณา เฟสไดอะแกรมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน ดังรูปที่ 2.2 ที่ประมาณซิลิคอนร้อยละ 5.0-7.0 โดยน้ำหนัก จะมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 618-642 องศาเซลเซียส อะลูมิเนียมผสมชนิดนี้เมื่ออยู่ในสภาวะ หลอมเหลวจะสามารถไหลตัวได้ดี และในขณะแข็งตัวไม่เกิดรอยแตกได้ง่าย



รูปที่ 2.2 เฟสไดอะแกรมของอะลูมิเนียม-ซิลิคอน
ที่มา: รศ.ดร.เชาวลิต (2511)

2.8 มาตรฐานของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

ซึ่งในโครงการใช้แม่พิมพ์เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำในการหล่ออะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ โดยเป็นเหล็กกล้ามาตรฐานเยอรมัน (Deutsche Institute Norms ; DIN) DIN 1614 เป็นเหล็กกล้าเกรด ST24 โดยมีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด 24 กิโลกรัมต่อมิลลิเมตรกำลังสอง โดยจะเรียกกันว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี แสดงดังตารางที่ 2.2 (ดิสยากุล, 2556)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (ร้อยละโดยน้ำหนักโดยประมาณ)

ธาตุ (Element)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (Percent by Weight)
คาร์บอน (C)	0.08
แมงกานีส (Mn)	0.04
ซิลิคอน (Si)	0.03
ฟอสฟอรัส (P)	0.025
ซัลเฟอร์ (S)	0.025
อะลูมิเนียม (Al)	0.02
ไนโตรเจน (N)	0.007
เหล็ก (Fe)	Balance

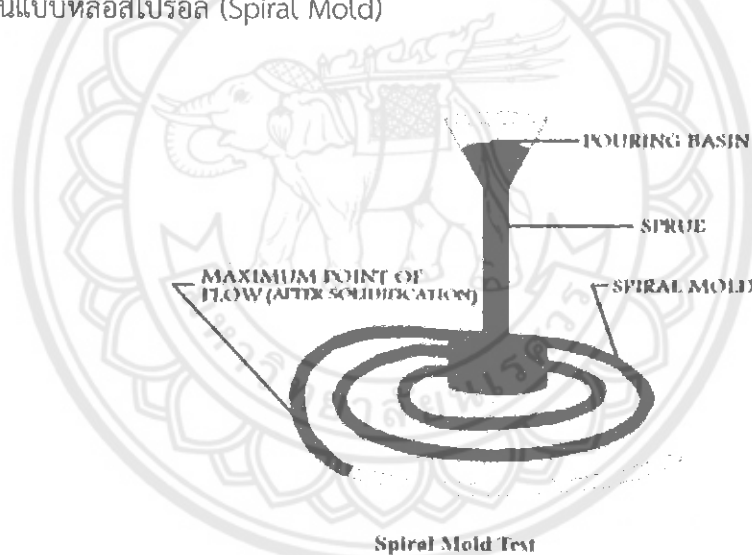
2.9 การทดสอบความสามารถในการไหล (Fluidity Test)

ความสามารถในการไหลเป็นการทดสอบความสามารถของโลหะหลอมเหลวที่สามารถไหลเข้าสู่แบบหล่อได้ดีหรือไม่ดีก่อนที่จะเกิดการแข็งตัว การทดสอบความสามารถในการไหลสามารถทดสอบได้หลายวิธี โดยในโครงการนี้จะแบ่งแบบหล่อออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.9.1 ประเภทของแบบหล่อ (Type of Mold)

2.9.1.1 แบบสไปรอล (Spiral Mold)

การทดสอบแบบสไปรอล (Spiral Test) แสดงดังรูปที่ 2.3 ลักษณะของแบบหล่อที่ใช้ทดสอบจะมีรูปร่างเป็นเกลียวขด เมื่อโลหะหลอมเหลวถูกเทลงอ่างรูเทจะวิ่งเข้าสู่แบบหล่อและจะวิ่งไปจนกว่าจะเกิดการแข็งตัว ระยะทางที่วิ่งได้หรือไหลไปได้จะบ่งบอกถึงความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลว โลหะหลอมเหลวที่มีความสามารถในการไหลสูงจะไหลได้เป็นระยะทางไกลกว่าโลหะหลอมเหลวที่มีความสามารถในการไหลต่ำ ความสามารถในการไหลจากการทดสอบนี้จะระบุเป็นดัชนีความสามารถในการไหล (Fluidity Index) ซึ่งหมายถึง ความยาวของโลหะหลอมเหลวที่ไหลไปได้ในแบบหล่อสไปรอล (Spiral Mold)

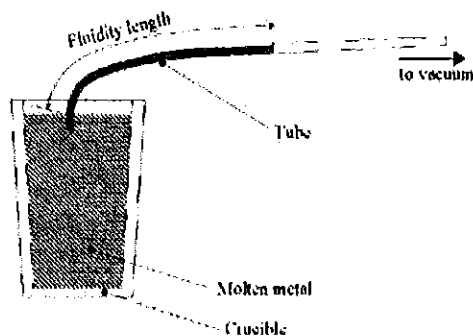


รูปที่ 2.3 การทดสอบความสามารถในการไหลโดยใช้แบบสไปรอล (Spiral Test)

ที่มา: Kalpakjian S. and Schmid S.R. (2549)

2.9.1.2 แบบสุญญากาศ (Vacuum Mold)

การทดสอบนี้วัดความยาวของการไหลของโลหะหลอมเหลวภายในช่องทางวิ่งของโลหะหลอมเหลว เมื่อโลหะหลอมเหลวถูกดูดจากเบ้าหลอมโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ ความเร็วในการทดสอบจะคงที่จนกว่าแรงโน้มถ่วง และความดันจะเท่ากัน แสดงดังรูปที่ 2.4

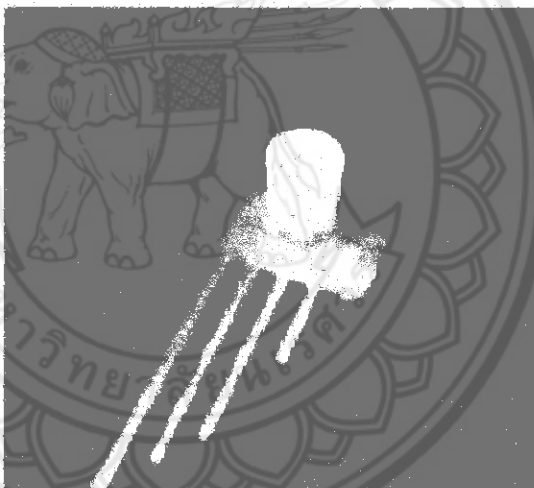


รูปที่ 2.4 การทดสอบความสามารถในการไหลโดยใช้แบบสุญญากาศ (Vacuum Test)

ที่มา: F. Bonollo (2552)

2.9.1.3 แบบช่อง (Strip Mold)

การทดสอบนี้จะใช้แบบหล่อที่มีลักษณะเป็นช่องขนาดเล็ก ความยาวของแต่ละช่องจะมีขนาดเท่ากันแต่จะมีพื้นที่หน้าตัดต่างกัน และความยาวของแต่ละช่องจะไม่เท่ากันแบบหล่อนี้ต้องวางอยู่บนแผ่นทำความร้อนให้ความร้อนกับแบบหล่อ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การทดสอบความสามารถในการไหลโดยใช้แบบช่อง (Strip Test)

ที่มา: M. Di Sabatino (2549)

2.9.2 การตรวจสอบดัชนีการไหล (Measurement Fluidity Index)

หลังจากทำการหล่อเสร็จปล่อยให้เย็นตัวในอากาศแล้วแกะชิ้นงานนำมาวัดด้วยสายวัดพลาสติก (Measuring Tape) ใช้ในการตรวจสอบดัชนีการไหลของโลหะหลอมเหลว โดยใช้วัดความยาวของโลหะหลอมเหลวที่ไหลไปได้ในแบบหล่อสไปรอล (Spiral Mold) หน่วยที่ใช้วัดเป็นมิลลิเมตร

2.10 องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการไหล (Element of Fluidity)

อะลูมิเนียมผสมที่มีซิลิคอนผสมอยู่ด้วยจะทำให้ความสามารถในการไหลตัว (Flow Ability) ได้ดีขึ้น การไหลของโลหะหลอมเหลวจะสามารถไหลได้มากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการไหล ดังต่อไปนี้

2.10.1 ความตึงผิว (Surface Tension)

ความตึงผิว คือ แรงที่เกิดขึ้นบริเวณที่ผิวของของเหลวสัมผัสกับของเหลวอื่นหรือกับผิวของแข็งโดยมีพลังงานเพียงพอต่อการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งมีขนาดสัมพันธ์กับแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่นทำให้เกิดเป็นลักษณะคล้ายกับแผ่นบางๆ ที่สามารถต้านแรงดึงได้เล็กน้อย มีทิศทางขนานกับผิวของของเหลว และตั้งฉากกับเส้นขอบที่ของของเหลวสัมผัส โดยความตึงผิวของของเหลวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพลังงานที่ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจะลดลง ทำให้ความตึงผิวของของเหลวจะมีค่าลดลง ส่งผลให้ดัชนีการไหลของโลหะหลอมเหลวสูงขึ้น (เกียร์ดิกค์, 2556)

2.10.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของไหล เมื่อแรงมากระทำ (ของไหล หมายถึง สสารที่สามารถไหลได้ เช่น ก๊าซ และของเหลว) ของไหลที่มีความหนืดสูงจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูงส่งผลให้ความสามารถในการไหลต่ำ ของไหลที่มีความหนืดต่ำจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลต่ำส่งผลให้ความสามารถในการไหลสูง ความต้านทานต่อการไหลซึ่งจะมีความไวอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนืดจะมีค่าลดลง ทำให้ความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลวสูงขึ้น (เทพนารินทร์, 2537)

2.10.3 อุณหภูมิเท (Pouring Temperature)

อุณหภูมิเทหมายถึงอุณหภูมิเริ่มต้นของโลหะหลอมเหลวที่ใช้สำหรับการหล่อขณะที่เทลงในแม่พิมพ์ อุณหภูมินี้จะสูงกว่าอุณหภูมิแข็งตัวของโลหะ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิแข็งตัว (Solidification Temperature) และอุณหภูมิในการเทของโลหะ เรียกว่าดีกรีซูเปอร์ฮีท (Degree of Superheat) ถ้าดีกรีซูเปอร์ฮีทมีค่ามากส่งผลให้ความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลวสูงขึ้น (Kalpakjian S., 2549)

2.10.4 อัตราการเทโลหะหลอมเหลว (Pouring Rate)

อัตราการเทโลหะหลอมเหลว คือ การเทน้ำโลหะหลอมเหลวอย่างต่อเนื่องลงสู่โพรงแบบหรือลงสู่แบบหล่อ การเทโลหะหลอมเหลวลงสู่แม่พิมพ์เร็วจะทำให้ความสามารถในการดันโลหะหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ได้เร็วกว่าการเทแบบช้า ส่งผลให้โลหะหลอมเหลวไหลได้ดีกว่าอัตราการเทที่ช้ากว่า (เทพนารินทร์, 2537)

2.10.5 ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat)

ความร้อนจำเพาะ คือ ความร้อนที่ทำให้สารมวลกิโลกรัมมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 เคลวิน เป็นสมบัติเฉพาะของสาร ถ้าหากวัสดุมีการเปลี่ยนจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่ง ค่าความร้อน-

จำเพาะของวัตถุนั้นในสถานะของแข็ง จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของวัตถุเดียวกันในสภาพของเหลว (สายัน, 2559)

2.10.6 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient)

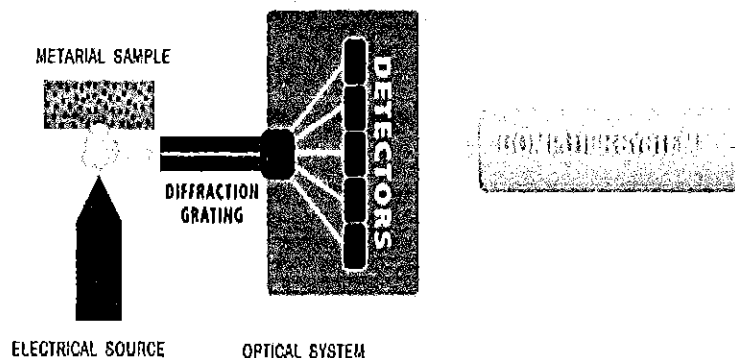
ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของแบบหล่อ คือ การแพร่ความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งหากแม่พิมพ์มีอุณหภูมิที่ต่ำจะทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงหรือการถ่ายเทความร้อนดี แต่ถ้าแม่พิมพ์มีอุณหภูมิที่สูงจะทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนมีค่าต่ำ ซึ่งความสามารถในการถ่ายเทความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อ การใช้วัสดุทำแบบหล่อต่างกันทำให้ส่งผลต่อดัชนีการไหลของโลหะหลอมเหลว (อิทธิพล, 2544)

2.11 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

2.11.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้องประกอบทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน และสมบัติทางความร้อน

2.11.1.1 เครื่องวิเคราะห์ห้องประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectrometer ; OES)

เป็นเครื่องตรวจวิเคราะห์ห้องประกอบทางเคมี ที่ใช้อิเล็กโทรดในการสปาร์ค และทำการวัดพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาซึ่งจะใช้สเปกโตรมิเตอร์เป็นตัวแยก ซึ่งธาตุแต่ละชนิดก็จะมีสเปกตรัมที่แตกต่างกัน โดยหลักการการทำงานจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนสำคัญ คือ Electrical Source, Optical System และ Computer System ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งใช้หลักการที่ว่าเมื่อโลหะตัวอย่าง (Metallic Sample) ถูกให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงโดยการใช้อิเล็กโทรดในการอาร์คหรือสปาร์ค ทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะพื้น (Ground State) นั้นจะไปสู่สถานะกระตุ้น (Excited State) ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ หลังจากนั้นแสงที่เกิดจากการคายพลังงาน (Emission) ของส่วนนั้นก็จะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) และเกิดการแยกตามความยาวคลื่นต่างๆ กัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสมบัติเฉพาะของธาตุแล้วถูกตรวจวัดให้สอดคล้องกับความเข้มชน (Intensity) ของแสงสำหรับแต่ละความยาวคลื่นซึ่งจะถูกแสดงผลออกมาผ่านหน้าจอแสดงผลโดยการวัดความเข้มชนเป็นการวัดสัดส่วนองค์ประกอบของธาตุในตัวอย่าง (สมชัย, 2559)



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบของเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectrometer)

ที่มา: สมชัย (2559)

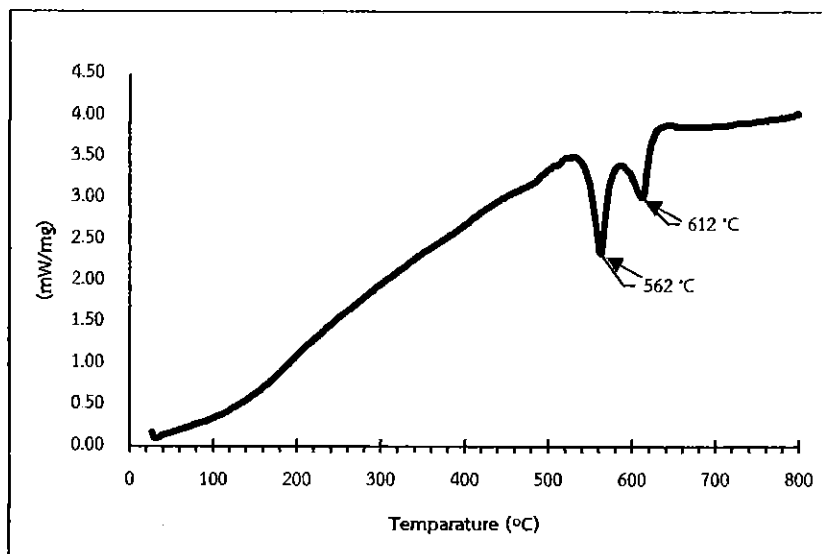
2.11.1.2 เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Conductivity Analysis ; TCA)

เครื่องวิเคราะห์การนำความร้อน หรือ TCA เป็นเทคนิคที่ใช้วัดสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ ตัวอย่างงานที่ทดสอบ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) และค่าการแพร่ความร้อน (Thermal Diffusivity) (ศิริพร, 2557)

2.11.1.3 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter ; DSC)

เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน หรือ DSC เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบโดยวัดเป็นค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการดูดหรือคายพลังงานขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น (Endothermic or Exothermic Processes) กระบวนการนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร เช่น การเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลวจะต้องมีการดูดพลังงานเข้าไปเพื่อสลายพันธะ เรียกว่าปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic) ในทางกลับกันเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นของแข็งจะมีการปล่อยพลังงานเพื่อสร้างพันธะเรียกว่าปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic) ทำให้อุณหภูมิของตัวอย่าง และสารมาตรฐาน (References) แตกต่างกัน โดยพื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานอะลูมิเนียมที่อยู่ภายในเตาที่ควบคุมอุณหภูมิ โดยภายในเตาจะมีสารอ้างอิงซึ่งเป็นจานอะลูมิเนียมเปล่า เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่างภายใต้สภาวะเดียวกัน(อุสุมา, 2559)

จากกราฟรูปที่ 2.7 เป็นตัวอย่างการทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter) จะพบพีค 2 จุด ณ อุณหภูมิต่างกัน



รูปที่ 2.7 ผลจากเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter) ของ อะลูมิเนียม เอซี 2 เอ

2.11.2 เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิ

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิในการสร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น การที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าค่าหนึ่งจะอ้างอิงเป็นอุณหภูมิค่าหนึ่งได้ แสดงว่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นนั้นจะต้องอ้างอิงกับอุณหภูมิค่าคงที่ค่าหนึ่งเสมอ โดยให้เป็น 0 องศาเซลเซียส เพื่อให้การวัดอุณหภูมิเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน และกำหนดเป็นตารางมาตรฐานแสดงค่าอุณหภูมิเทียบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้ แต่โดยทั่วไป เทอร์โมคัปเปิลจะทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง (เช่น 25 องศาเซลเซียส) นั่นคือไม่ได้เทียบกับ 0 องศาเซลเซียส แสดงว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ยังไม่ถูกต้อง หากนำไปอ่านค่าอุณหภูมิจากตารางมาตรฐานจะผิดพลาด จึงจำเป็นต้องมีการรักษาอุณหภูมิอ้างอิง เพื่อให้การวัดอุณหภูมิเทียบกับ 0 องศาเซลเซียส ตลอดเวลา

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปิยบุษ มีธรรม และชาคริต สุวรรณจรัส (2557) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองการหล่อแม่พิมพ์ความดันสูงกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรูพรุนภายในชิ้นงาน ซึ่งปัญหาข้อบกพร่องที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในกระบวนการหล่อแม่พิมพ์ความดันสูง (High Pressure Die Casting) คือ ปัญหารูพรุน (Porosities) ซึ่งเกิดจากฟองอากาศที่มีขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ถูกกักเก็บไว้ในเนื้อของชิ้นงาน ส่งผลให้ความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง ปริมาณของรูพรุนภายในชิ้นงานเป็นผลเนื่องมาจากการดักก๊าซ (Gas Entrapment) ซึ่งเกิดขึ้นขณะมีการไหลของโลหะหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดรูพรุนภายในชิ้นงาน ได้แก่ ความเร็วในการฉีดโลหะหลอมเหลว มุมการไหล และอุณหภูมิของโลหะหลอมเหลว ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานรูปทรง

มาตรฐานซึ่งมีทางเข้าแบบใบพัด (Fan Gate) โดยการใช้ซอฟต์แวร์ (Cast-Designer) จำลองการหล่อและหาเปอร์เซ็นต์ของการเกิดรูพรุนภายในชิ้นงานเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยสมการการหารูพรุนในทางทฤษฎี เพื่อกำหนดเงื่อนไขการออกแบบแม่พิมพ์ที่มีความเหมาะสมของการลดการเกิดรูพรุนภายในชิ้นงาน และเป็นแนวทางในการออกแบบแม่พิมพ์ที่ดีได้ต่อไป

Mohan Krishna และ G. S. Reddy (2014) ศึกษาผลกระทบจากอุณหภูมิต่อการไหลของอะลูมิเนียมผสม 47100 และ 51300 ที่มีการไหล (Fluidity) ได้ดีกว่าโลหะผสมชนิด CMSX4 (Superalloy) อุณหภูมิในการหลอมเหลวถูกปรับให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ระยะห่างของแขนของเดนไดรต์ (Dendritic) ที่ดีขึ้น โดยจะใช้แม่พิมพ์แบบสไปรอล (Spiral Mold) ในการทดสอบการไหลของโลหะหลอมเหลว ในการหล่อจะใช้ Superheats ที่ 25, 50 และ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง (Simulation) จากผลการทดลอง พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้โลหะหลอมเหลวไหลได้ดีขึ้น

มงคล แก้วพรัตน์ (2555) ได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่ออะลูมิเนียมผสม กรณีเกิดการรั่วบริเวณใต้รูเกลียวของคาร์บูเรเตอร์ในชิ้นส่วนยานยนต์ที่ผลิตด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปแรงดันต่ำ และเพื่อหาแนวทางลดจำนวนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่อง ด้วยการวิเคราะห์ทางโลหะวิทยา และการใช้ซอฟต์แวร์จำลองกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งมีสภาวะการหล่อขึ้นรูปดังนี้ คืออุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลวที่ 760 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแม่พิมพ์โลหะที่ 350 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องจากแผนภูมิแก๊งปลา และตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ปัจจัยหลักที่อาจเป็นสาเหตุของการเกิดรูพรุนได้แก่ อุณหภูมิแม่พิมพ์โลหะ อุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลว และการออกแบบแม่พิมพ์โลหะทั้งนี้จึงสร้างแบบจำลองโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาวะการหล่อดังนี้ คือ อุณหภูมิแม่พิมพ์โลหะที่ 300, 350, 400, 450 และ 480 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลวที่ 680, 720, 730, 740 และ 780 องศาเซลเซียส และแก้ไขแม่พิมพ์โลหะโดยการเพิ่มทางเดินโลหะหลอมเหลวที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 10×10, 15×15 และ 20×20 ตารางเซนติเมตร จากผลการจำลองพบว่า เมื่อทางเดินโลหะหลอมเหลวมีขนาดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณรูพรุนในชิ้นงานลดลง แต่การที่แม่พิมพ์โลหะมีทางเดินโลหะหลอมเหลวขนาดใหญ่เกินไป ก็จะมีผลเสียวัตถุดิบในการผลิตมากเกินไป ดังนั้นจึงเลือกทำการแก้ไขแม่พิมพ์โลหะให้มีทางเดินน้ำโลหะขนาด 15×15 ตารางเซนติเมตร โดยไม่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเทโลหะหลอมเหลว และอุณหภูมิของแม่พิมพ์โลหะ จากนั้นทำการหล่อขึ้นส่วนจำนวน 188 ชิ้น ผลการตรวจสอบจำนวนชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องจากการขั้นตอนทดสอบการรั่ว เปรียบเทียบชิ้นงานหล่อก่อนและหลังการแก้ไขแม่พิมพ์โลหะร่วมกับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และการวิเคราะห์ปริมาณรูพรุนด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ พบว่า เมื่อทำการแก้ไขแม่พิมพ์โลหะ จำนวนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องลดลงจากร้อยละ 4.92 เหลือร้อยละ 0.53 ส่วนรูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานหลังจากแก้ไขแม่พิมพ์โลหะก็มีขนาดเล็กและมีจำนวนลดลง

อภิรัฐ โกสิดานนท์ และคณะ (2554) งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของโลหะหลอมเหลวสังกะสีผสมในกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยงชิ้นงานที่ศึกษามีลักษณะเป็นผิวโค้งทรงครึ่งทอกลวง ออกแบบให้มีทางเข้าอยู่ในตำแหน่งที่ควรจะเป็นแตกต่างกัน 3 แบบ จากผลการทดลองพบว่า การไหลของโลหะหลอมเหลวมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศการหมุนของแม่พิมพ์ ผลของตำแหน่งทางเข้าที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องที่แตกต่างกันของชิ้นงาน ซึ่งสามารถอธิบายได้จากพฤติกรรมการไหลที่เกิดขึ้น โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองกระบวนการหล่อด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ สรุปได้ว่าตำแหน่งทางเข้าของการหล่อชิ้นงานผิวโค้งทรงครึ่งทอกลวงที่ดีที่สุด คือ ออกแบบให้มีทิศทางการไหลเข้าของโลหะหลอมเหลวเข้าส่วนตามความหนาของผิวโค้งซึ่งจะให้คุณภาพผิวที่ดีที่สุด และหล่อได้เต็มแบบที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองพฤติกรรมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และวิธีการทดลองพบว่าทั้งสองวิธีมีผลการทดลองสอดคล้องกันทั้งในด้านลักษณะการไหลและทิศทางการไหลของโลหะหลอมเหลว

เอกชัย กิติก้าวทวีเสรีฐ และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษา และแก้ไขกระบวนการหล่อความดันสูง (High Pressure Die Casting ; HPDC) ปัญหาข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ (Gas Porosity Defects) และข้อบกพร่องประเภทที่เกิดขึ้นที่ผิวชิ้นงาน (Surface Defects) เป็นลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นอย่างแพร่หลาย เส้นทางไหลของโลหะเหลว (Flow Path) เป็นปัจจัยหลักอันหนึ่งที่มีผลโดยตรงต่อการเกิดข้อบกพร่องทั้งสองประเภท เพื่อป้องกันปัญหาข้อบกพร่องดังกล่าว เมื่อทำการออกแบบระบบทางเดินโลหะหลอมเหลว (Gating System) วิศวกรจะต้องออกแบบให้เส้นทางไหลของโลหะเหลวมีลักษณะการไหลที่เป็นระนาบ (Distributed Flow) จากทางเข้าโลหะหลอมเหลวไปยังรูสัน (Overflow) โดยทั่วไปแล้วเส้นทางไหลของโลหะเหลวจะถูกควบคุมโดยตำแหน่งของทางเข้า และชนิดของทางเข้าที่ใช้เป็นแบบใบพัด (Fan Gate) เป็นทางเดินของโลหะเหลว ที่นิยมใช้กับแม่พิมพ์ในกระบวนการหล่อความดันสูง โดยยึดหลักมวลการไหลคงที่ (Mass Flow Rate Conservation) ตัวแปรในการออกแบบทางเข้าแบบใบพัด (Fan Gate) ประกอบไปด้วยมุมการไหลและอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของทางวิ่งโลหะหลอมเหลวต่อพื้นที่หน้าตัดของทางเข้าโลหะหลอมเหลว งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่กล่าวข้างต้นของทางเข้าแบบใบพัดที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหลของโลหะเหลว โดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อ (Casting Process Simulation) ความเข้าใจถึงอิทธิพลของตัวแปรเหล่านี้จะนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบทางเดินโลหะเหลว ที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานในอุตสาหกรรม เพื่อช่วยลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการออกแบบระบบทางเดินโลหะเหลว โดยใช้หลักการออกแบบที่ถูกต้องยังช่วยทำให้น้ำหนักของชิ้นงานหล่อเทียบกับน้ำหนักที่ฉีดได้ (Shot Weight) ต่อน้ำหนักชิ้นงาน (Casting Yield) มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ลดการใช้วัตถุดิบ และพลังงานในการผลิตลงทำให้มีต้นทุนในการผลิตที่ลดต่ำลง

เชิดศักดิ์ อรัญมาลา และคณะ (2547) ได้นำเอาโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มาช่วยจำลองงานหล่อ และทำการวิเคราะห์ล่วงหน้าของการออกแบบหรือเห็นผลการจำลอง (Simulation) ต่าง ๆ ของ

การผลิตล่วงหน้า ทำให้ได้รู้ถึงจุดบกพร่องที่ควรแก้ไขทั้งในด้านการออกแบบ และค่าตัวแปร (Parameter) ที่ได้กำหนดหรือป้อนใส่เข้าไปในโปรแกรมก่อนทำการวิเคราะห์ในโปรแกรมการจำลอง หรือวิเคราะห์ที่สามารถที่เปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร (Parameter) ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบในขั้นตอนต่างๆ ได้โดยง่าย และไม่เกิดการเสียหายกับงานแต่ประการใด การใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์เป็นการช่วยลดต้นทุน กล่าวได้ว่าเป็นการเพิ่มคุณภาพของชิ้นงาน ช่วยวิเคราะห์หาสาเหตุข้อบกพร่องของการออกแบบ ตัวล๊อคลูกบิด (Locking Knob) ที่เกิดปัญหาเกี่ยวโพรงอากาศ (Porosity) การหดตัว (Shrinkage) และปัญหาเกี่ยวกับผิวอันเนื่องมาจากเส้นทางการไหล (Flow Line) เมื่อทำการวิเคราะห์เบื้องต้นแล้วสิ่งที่ต้องแก้ไขคือ ต้องทำการแก้ไขที่ส่วนควบคุมการไหลของอะลูมิเนียมหลอมเหลวของแม่พิมพ์ นั่นก็คือ ทางเข้าโลหะหลอมเหลว (Gate) และทางวิ่งของโลหะหลอมเหลว (Runner) นั้นเอง จากการแก้ไขชิ้นงานที่เกิดปัญหาด้วยเทคนิคการจำลอง ซึ่งเป็นการจำลองพฤติกรรมทางฟิสิกส์การไหลของอะลูมิเนียมหลอมเหลว ได้ผลสำหรับการแก้ไขปัญหาที่ได้จากการจำลองการฉีดอะลูมิเนียม ประโยชน์ของการใช้เทคนิคการจำลองที่เห็นได้ชัดคือ ลดเวลาจากการแก้ไขด้วยวิธีการเดิมได้ถึง ร้อยละ 80-90 ลดค่าใช้จ่าย ลดการสูญเสียวัสดุโดยไม่จำเป็นการแก้ไขจุดบกพร่องทำได้ง่ายเมื่อได้ผลสรุปที่ดีที่สุดแล้วจึงนำค่าตัวแปร (Parameter) นั้นมาแก้ไขที่แม่พิมพ์ และการใช้เทคนิคการจำลองการฉีดอะลูมิเนียมยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแม่พิมพ์อีกด้วย



บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

การศึกษาดัชนีการไหลของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทดสอบความสามารถในการไหลโดยใช้แบบทดสอบสไปรอล (Spiral Test) เมื่อใช้อุณหภูมิและอัตราเทโลหะหลอมเหลวที่ต่างกัน โดยมีขั้นตอนการดำเนินโครงการ แสดงดังรูปที่ 3.1

3.2 วัสดุ และอุปกรณ์

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

3.2.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ อะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

3.2.1.2 แม่พิมพ์สไปรอล (Spiral Mold) คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

3.2.2.1 อุปกรณ์ในการดำเนินโครงการ

ก. เตาหลอมโลหะ (Furnace)

ข. แบบหล่อทดสอบแบบสไปรอล (Spiral Mold)

ค. เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine)

ง. เบ้าหลอม (Crucible)

จ. เครื่องเจาะ (Drilling Machine)

ฉ. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

ช. เลื่อยตัดไฟฟ้า (Electric Hacksaw)

ซ. มอเตอร์ (Motor)

3.2.2.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

สายวัดพลาสติก (Measuring Tape)

3.2.2.3 เครื่องมือ และโปรแกรมที่ใช้หาค่าตัวแปร (Parameters) ต่างๆ

ก. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectrometer)

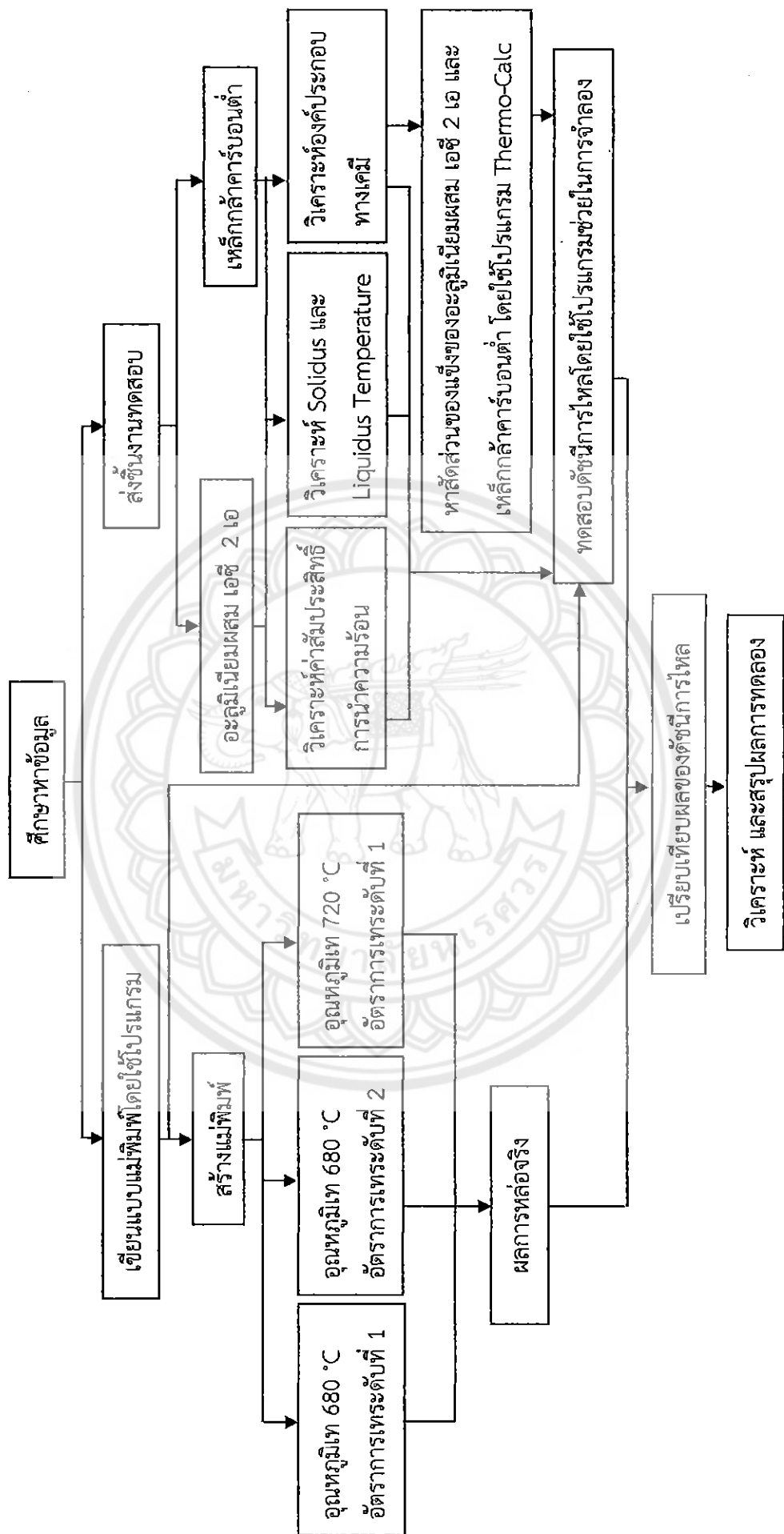
ข. เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Conductivity

Analysis)

ค. เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential Scanning

Calorimeter)

ง. โปรแกรม Thermo-Calc (DEMO Version)



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

3.3.1 ขั้นตอนการศึกษาข้อมูล

3.3.1.1 ศึกษาการใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง (ProCAST 2015) และโปรแกรมเขียนแบบ (AutoCAD 2016)

3.3.1.2 ศึกษาการใช้โปรแกรม Thermo-Calc (DEMO Version)

3.3.1.3 ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอะลูมิเนียมผสม และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

3.3.1.4 ศึกษาการใช้เครื่องมือในการทดสอบการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน และองค์ประกอบทางเคมี

3.3.1.5 ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine)

3.3.1.6 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อดัชนีการไหล

3.3.1.7 ศึกษาการทดสอบความสามารถในการไหลแบบหล่อสไปรอล (Spiral Test)

3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมงาน

3.3.2.1 นำอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมาตัดเป็นชิ้นตามขนาดมาตรฐานการทดสอบจำนวนทั้งหมด 7 ชิ้น เพื่อทำการส่งชิ้นงานไปทดสอบหาค่าตัวแปร (Parameters) ต่างๆ ดังนี้

ก. องค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยใช้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectrometer) ขนาดมาตรฐานของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ คือ 50x50x15 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น

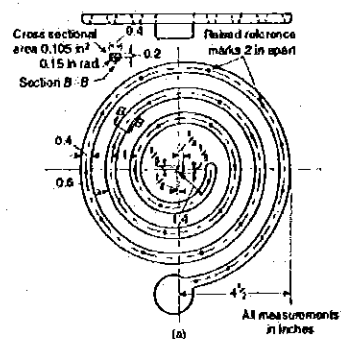
ข. อุณหภูมิของเหลว (Liquidus Temperature) และอุณหภูมิของแข็ง (Solidus Temperature) ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter) ขนาดมาตรฐานของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ โดยมีน้ำหนักประมาณ 1-10 มิลลิกรัม

ค. สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) และค่าการแพร่ความร้อน (Thermal Diffusivity) ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Conductivity Analysis) ขนาดมาตรฐานของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ คือ 50x50x15 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชิ้น

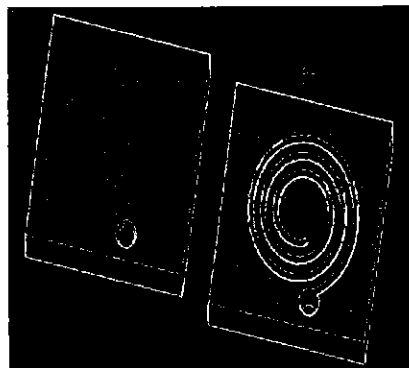
3.3.2.2 สัดส่วนของแข็ง (Fraction Solid) ของอะลูมิเนียมเอซีผสม 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยใช้โปรแกรม Thermo-Calc (DEMO version)

3.3.3 ขั้นตอนเขียนแบบแม่พิมพ์ โดยใช้โปรแกรมเขียนแบบ (AutoCAD 2016)

สร้างแม่พิมพ์ซึ่งมีขนาดความยาวขด 138 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางครึ่งวงกลม 10 มิลลิเมตร รูเทขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความลึก 42 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.2 ลงในโปรแกรมเขียนแบบ แล้วทำการบันทึกแบบไว้



ก)



ข)

รูปที่ 3.2 แม่พิมพ์แบบสไปรอล (Spiral Mold)

ก) ขนาดแม่พิมพ์มาตรฐาน

ข) แม่พิมพ์ที่เขียนด้วยโปรแกรมเขียนแบบ (AutoCAD 2016)

3.3.4 ขั้นตอนสร้างแม่พิมพ์ โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine)

นำแบบแม่พิมพ์ที่ได้จากการโปรแกรมเขียนแบบ มาแปลงเป็นโค้ด (G-Code) ดังภาคผนวก ค เพื่อนำโค้ดไปใส่ลงโปรแกรม แล้วทำการสร้างแม่พิมพ์โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนสร้างแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine)

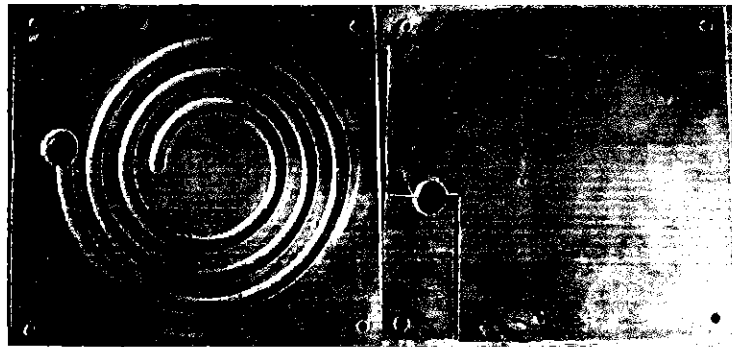
3.3.5 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้ในการหล่อ

3.3.5.1 การเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการหล่อ

นำอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ มาตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กๆ และเช็ดทำความสะอาดให้เรียบร้อยเพื่อเตรียมนำไปทำการหล่อ

3.3.5.2 การเตรียมแม่พิมพ์ (Mold)

แม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการไหลคือ แบบสไปรอล (Spiral Test) ซึ่งทำมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แสดงดังรูปที่ 3.4

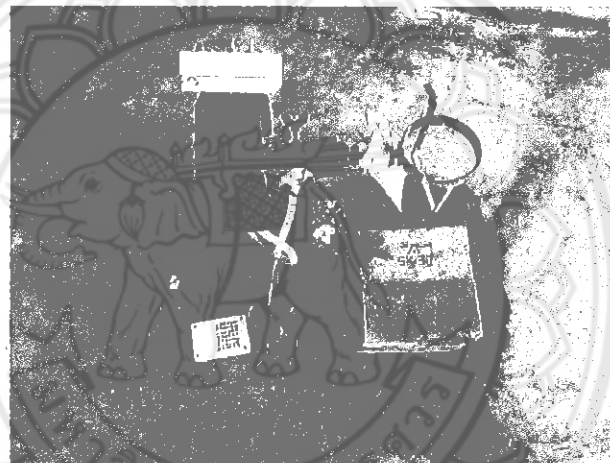


รูปที่ 3.4 แม่พิมพ์สปริงทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

3.3.5.3 การเตรียมเครื่องเทโลหะหลอมเหลว

เครื่องเทจะใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนเพื่อปรับอัตราการเทของโลหะ

หลอมเหลวลงสู่แม่พิมพ์ แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องเทโลหะหลอมเหลว

3.3.6 ขั้นตอนในการหล่อจริง

3.3.6.1 นำอะลูมิเนียมที่ตัดเตรียมไว้มาหลอมจนอยู่ในสถานะของเหลว

3.3.6.2 เทโลหะหลอมเหลวลงสู่แม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิเท และอัตราการเทที่ใช้ในงานหล่อจริง

อุณหภูมิเท (องศาเซลเซียส)	อัตราการเท
680	ระดับที่ 1
680	ระดับที่ 2
720	ระดับที่ 1

17222531



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการเทโลหะหลอมเหลวลงสู่แม่พิมพ์

3.3.6.3 ทำการจับเวลาการเทโลหะหลอมเหลวลงสู่แม่พิมพ์ เพื่อหาอัตราการเทของโลหะหลอมเหลว

3.3.6.4 รอให้โลหะหลอมเหลวเย็นตัว และแข็งตัวในแม่พิมพ์

3.3.6.5 แกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

3.3.7 ขั้นตอนการตรวจสอบความสามารถในการไหล

3.3.7.1 นำชิ้นงานที่ได้จากการผ่านกระบวนการทดสอบแบบสไปรอล (Spiral Test) ที่ได้จากการหล่อจริงมาวัดความยาว โดยใช้สายวัดพลาสติก (Measuring Tape) เพื่อหาดัชนีความสามารถในการไหล

3.3.7.2 บันทึกผล

3.3.8 ขั้นตอนการทดสอบดัชนีการไหล โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง (ProCAST 2015)

3.3.8.1 นำแบบแม่พิมพ์ที่ได้จากโปรแกรมเขียนแบบ มาใส่ลงในโปรแกรมช่วยในการจำลอง

3.3.8.2 นำค่าตัวแปร (Parameters) ต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบมาป้อนเข้าไปในโปรแกรมช่วยในการจำลอง มีดังนี้

ก. ค่าที่ได้จากการส่งชิ้นงานไปทดสอบ

ก.1 องค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอช 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ จากเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectrometer)

ก.2 อุณหภูมิของเหลว (Liquidus Temperature) และอุณหภูมิของแข็ง (Solidus Temperature) ของอะลูมิเนียมผสมเอช 2 เอ จากเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter)

ก.3 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ จากเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Conductivity Analysis)

ข. ค่าที่ได้จากโปรแกรม Thermo-Calc (DEMO version)

นำองค์ประกอบทางเคมีของของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ จากเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectrometer) เพื่อหาค่าสัดส่วนของแข็ง (Fraction Solid) โดยจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิลดลงโลหะหลอมเหลวจะเริ่มเกิดการแข็งตัว ค่าสัดส่วนของแข็งซึ่งเมื่อมีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง โลหะหลอมเหลวมีปริมาณของแข็งที่มากกว่าของเหลวโดยเมื่อค่าสัดส่วนของแข็งเท่ากับ 1 โลหะหลอมเหลวจะเป็นของแข็งทั้งหมด

ค. ค่าความหนาแน่นของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ เท่ากับ 2.40 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความหนาแน่นของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เท่ากับ 7.32 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรจากสมการที่ (2.1)

ง. ค่าอุณหภูมิเท และอัตราการเทที่ได้จากการหล่อจริง

3.3.8.3 ทดสอบดัชนีการไหล โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3:2 อุณหภูมิเท และอัตราการเทที่ใช้ในโปรแกรมช่วยในการจำลอง

อุณหภูมิเท (องศาเซลเซียส)	อัตราการเท
560	ระดับที่ 1
560	ระดับที่ 2
600	ระดับที่ 1
680	ระดับที่ 1
680	ระดับที่ 2
720	ระดับที่ 1

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ และสรุปผลการทดสอบ

3.4.1 นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองมาวิเคราะห์ผลของดัชนีการไหลเมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท และอัตราการเท

3.4.2 นำชิ้นงานที่ได้จากการหล่อจริงมาวิเคราะห์ผลของดัชนีการไหลเมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท และอัตราการเท

3.4.3 นำข้อมูลที่ได้จากการหล่อจริงมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมช่วยในการจำลอง

3.4.4 นำผลการเปรียบเทียบมาศึกษาหาข้อสรุปตามวัตถุประสงค์

3.4.5 รวบรวมข้อมูล และจัดทำรูปเล่มโครงงาน



บทที่ 4

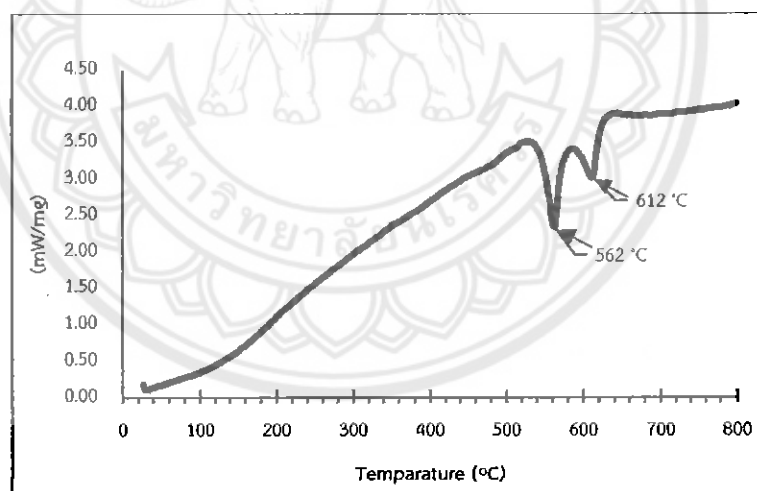
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลองของงานหล่อของ อะลูมิเนียมผสม เอช 2 เอ โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองกับการหล่อจริง ซึ่งประกอบไปด้วยผลการวิเคราะห์ของดัชนีการไหลจากการจำลองการหล่อโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองกับการหล่อจริง เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท และอัตราการเท แสดงรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน องค์ประกอบทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน

4.1.1 ผลการทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter ; DSC)

เพื่อวิเคราะห์หาอุณหภูมิของเหลว (Liquidus Temperature) และอุณหภูมิของแข็ง (Solidus Temperature) ของอะลูมิเนียมผสม เอช 2 เอ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของอะลูมิเนียม ผสม เอช 2 เอ

ผลจากการทดสอบ ดังรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับอุณหภูมิของอะลูมิเนียมผสม เอช 2 เอ พบว่า ณ อุณหภูมิ 612 องศาเซลเซียส เริ่มมีการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวทั้งหมดเป็นของเหลวกึ่งแข็ง เรียกว่าอุณหภูมิของเหลว (Liquidus Temperature) ซึ่งของเหลวทั้งหมดเมื่ออุณหภูมิลดลงของเหลวจะเปลี่ยนไปเป็นของแข็งบางส่วน (α) ผสมอยู่กับของเหลว (L) และที่อุณหภูมิ 562 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกึ่งแข็งที่มีของแข็งบางส่วน (α) ผสมอยู่กับของเหลว (L) ซึ่งของผสมนั้นเมื่ออุณหภูมิลดลงจะ

เปลี่ยนไปเป็นของแข็งทั้งหมด ($\alpha + \beta$) เรียกว่าอุณหภูมิของแข็ง (Solidus Temperature) หรือ อุณหภูมิยูเทคติก (Eutectic Temperature)

4.1.2 ผลการทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectrometer ; OES)

เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอช 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีแสดงรายละเอียดทั้งหมดดังภาคผนวก ก และสรุปในส่วนของปริมาณที่สำคัญแสดงดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอช 2 เอ

ธาตุ (Element)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (Percent by Weight)
ซิลิคอน (Si)	4.74496
ทองแดง (Cu)	3.34000
เหล็ก (Fe)	0.45188
แมกนีเซียม (Mg)	0.21086
สังกะสี (Zn)	0.18444
แมงกานีส (Mn)	0.18189
อะลูมิเนียม (Al)	Balance

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

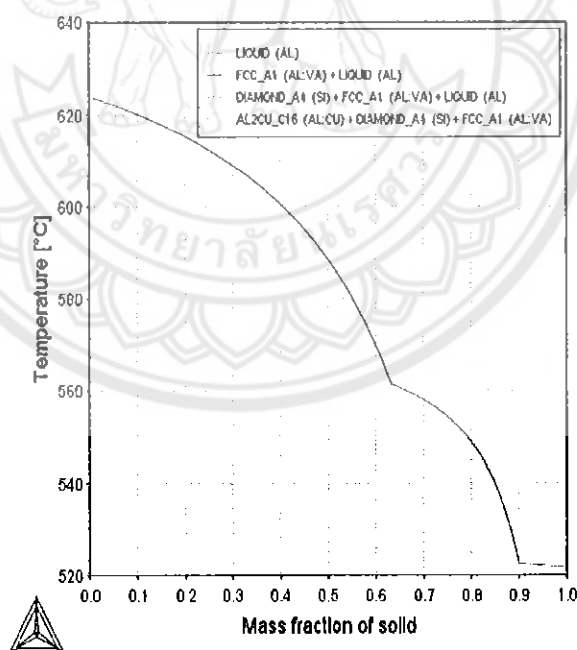
ธาตุ (Element)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (Percent by Weight)
แมงกานีส (Mn)	1.08764
ทองแดง (Cu)	0.30111
ซิลิคอน (Si)	0.24495
คาร์บอน (C)	0.20136
อะลูมิเนียม (Al)	0.02934
เหล็ก (Fe)	Balance

4.1.3 ผลการทดสอบจากเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal Conductivity Analysis ; TCA)

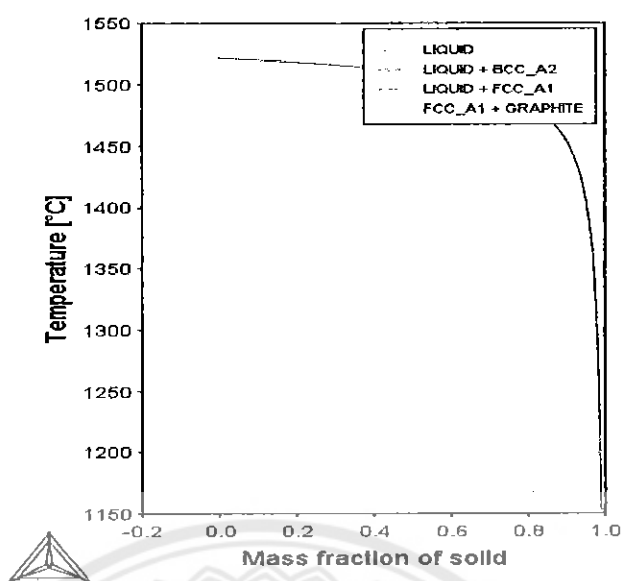
เพื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ข และสรุปจากการทดสอบ พบว่าอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity Coefficient) เท่ากับ 235.55 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน และ 42.33 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ตามลำดับ

4.2 ผลการทดสอบจากโปรแกรม Thermo-Calc (DEMO version)

เพื่อหาค่าสัดส่วนของแข็ง (Fraction Solid) ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ผลที่ได้เป็นกราฟแสดงดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิลดค่าสัดส่วนของแข็งจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นนั้นแสดงถึงการแข็งตัวของโลหะหลอมเหลว ซึ่งจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ลดลงการแข็งตัวของโลหะหลอมเหลวก็เพิ่มขึ้น เมื่อได้ผลทดสอบจากโปรแกรม Thermo-Calc จะนำข้อมูลเชิงตัวเลขจากกราฟนำไปใส่ในโปรแกรมช่วยในการจำลอง เพื่อหาดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสมเอซี 2 เอ



รูปที่ 4.2 ค่าสัดส่วนของแข็ง (Fraction Solid) ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ



รูปที่ 4.3 ค่าสัดส่วนของแข็ง (Fraction Solid) ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

4.3 ผลการหล่อจริง

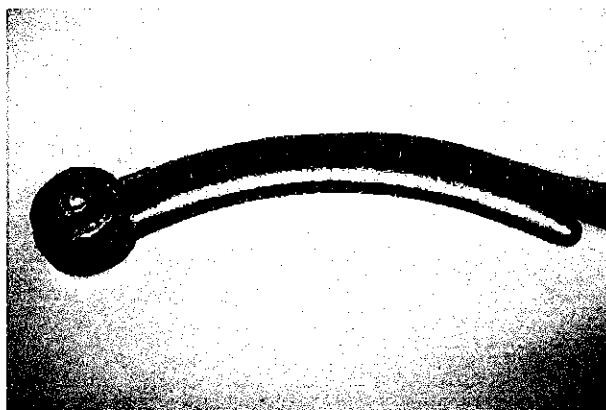
ซึ่งในการหล่อจริงจะใช้อะลูมิเนียมผสม เอช 2 เอ และใช้แม่พิมพ์เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการหล่อจริงมาวัดความยาวด้วยสายวัดพลาสติก (Measuring Tape) เพื่อหาค่าดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอช 2 เอ จากการหล่อจริง พบว่าชิ้นงานที่ใช้อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 1, อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 2 และอุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 1 มีดัชนีการไหลเท่ากับ 52, 131 และ 95 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.4



ก)

รูปที่ 4.4 ชิ้นงานอะลูมิเนียมผสม เอช 2 เอ จากการหล่อจริง

ก) โดยใช้อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 1



ข)



ค)

รูปที่ 4.4 (ต่อ) ชิ้นงานอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ จากการหล่อจริง

ข) โดยใช้อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 2

ค) โดยใช้อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 1

ผลการเปรียบเทียบดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ จากการหล่อจริงเมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท แสดงดังตารางที่ 4.3 และเมื่อทำการเปลี่ยนอัตราการเท แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ดัชนีการไหลของอะลูมิเนียม ผสมเอซี 2 เอ เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท

อัตราการเท	อุณหภูมิเท (องศาเซลเซียส)	ดัชนีการไหล (มิลลิเมตร)
ระดับที่ 1	680	52
	720	95

พบว่าที่อุณหภูมิเท 680 และ 720 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการเทระดับที่ 1 เห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเทสูงขึ้นจะมีดัชนีการไหลเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่ไม่เท่ากันจะมีค่าความแตกต่างของ

อุณหภูมิ (Degree of Superheat) ต่างกัน ถ้าความแตกต่างของอุณหภูมิ (Degree of Superheat) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อะลูมิเนียมหล่อมีความหนืด (Viscosity) ลดลง ลดความต้านทานต่อการไหลช่วยให้อะลูมิเนียมหล่อมีความสามารถในการไหลได้ดีขึ้น

ตารางที่ 4.4 ดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ เมื่อทำการเปลี่ยนอัตราการเท

อุณหภูมิเท (องศาเซลเซียส)	อัตราการเท	ดัชนีการไหล (มิลลิเมตร)
680	ระดับที่ 1	52
	ระดับที่ 2	131

พบว่าที่อัตราการเทระดับที่ 1 และระดับที่ 2 โดยใช้อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่าเมื่ออัตราการเทเพิ่มขึ้นจะมีดัชนีการไหลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเทอะลูมิเนียมหล่อลงสู่แม่พิมพ์เร็ว จะทำให้ความสามารถในการดันโลหะหล่อเข้าแม่พิมพ์ได้เร็วก่อนที่โลหะหล่อจะเกิดการแข็งตัว ส่งผลให้อะลูมิเนียมหล่อไหลได้ดีกว่าอัตราการเทที่ช้ากว่า

4.4 ผลการทดสอบดัชนีการไหลโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

เนื่องจากโปรแกรมช่วยในการจำลองต้องใส่ข้อมูลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำจากเครื่องวิเคราะห์ต่างๆ เมื่อใส่ข้อมูลลงในโปรแกรมช่วยในการจำลอง โปรแกรมไม่สามารถคำนวณดัชนีการไหลได้ อาจเกิดจากข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมไม่มีความสัมพันธ์กันของข้อมูล จึงทำให้โปรแกรมช่วยในการจำลองไม่สามารถทดสอบดัชนีการไหลได้ จึงทำให้ต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของโปรแกรมช่วยในการจำลองมาทำการทดสอบเพื่อหาดัชนีการไหล โดยเลือกใช้ Al EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีปริมาณส่วนผสมใกล้เคียงกับอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ แสดงดังภาคผนวก ก และมีปริมาณส่วนผสมที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 4.5 และเลือกใช้ Low Carbon AISI 1008 เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีปริมาณส่วนผสมใกล้เคียงกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แสดงดังภาคผนวก ก และมีปริมาณส่วนผสมที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบปริมาณส่วนผสมของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ กับอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg

ชนิดของธาตุ	ปริมาณส่วนผสมร้อยละ โดยน้ำหนักของ อะลูมิเนียม เอซี 2 เอ	ปริมาณส่วนผสมร้อยละโดย น้ำหนักของอะลูมิเนียม EN AC- 45100 AlSi5Cu3Mg	ค่าความ แตกต่าง
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 4.6 เปรียบเทียบปริมาณส่วนผสมของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ กับเหล็กกล้า Low-Carbon AISI 1008

ชนิดของธาตุ	ปริมาณส่วนผสมร้อยละ โดยน้ำหนักของเหล็กกล้า คาร์บอนต่ำ	ปริมาณส่วนผสมร้อยละโดย น้ำหนักของเหล็กกล้า 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

และยังมีสมบัติด้านอื่นๆ ของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ที่มีค่าแตกต่างกันกับสมบัติด้านอื่นๆ ของ EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008 แสดงดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

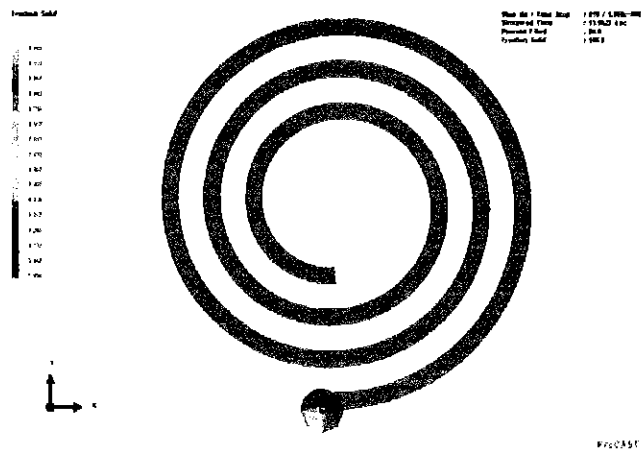
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าสมบัติทางอื่นๆของอะลูมิเนียมผสมเอซี 2 เอกับอะลูมิเนียม EN AC-45100AlSi5Cu3Mg

คุณสมบัติทางความร้อน (Thermal)	อะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ	อะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg
Conductivity ($\frac{W}{m \cdot K}$)	233.95	ดังรูปที่ ง.1
Density ($\frac{kg}{m^3}$)	2.4	ดังรูปที่ ง.2
Specific Heat ($\frac{kJ}{kg}$)	860	ดังรูปที่ ง.3
Fraction Solid	ดังรูปที่ 4.2	ดังรูปที่ ง.4
Liquidus Temperature (°C)	624	617
Solidus Temperature (°C)	521	500

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าสมบัติอื่นของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ กับ LowCarbon AISI 1008

คุณสมบัติทางความร้อน (Thermal)	เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	เหล็กกล้าคาร์บอน Low Carbon AISI 1008
Conductivity ($\frac{W}{m \cdot K}$)	42.24	ดังรูปที่ ง.5
Density ($\frac{kg}{m^3}$)	7.41	ดังรูปที่ ง.6
Specific Heat ($\frac{kJ}{kg}$)	0.49	-
Enthalpy ($\frac{J}{g}$)	-	ดังรูปที่ ง.7
Fraction Solid	ดังรูปที่ 4.3	ดังรูปที่ ง.8
Liquidus Temperature (°C)	1460	1526
Solidus Temperature (°C)	1522	1446

ผลของดัชนีการไหลของ AL EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส อัตราการไหลระดับที่ 1 และอัตราการไหลระดับที่ 2 และอุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียส, อัตราการไหลระดับที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.5



ก)



ข)



ค)

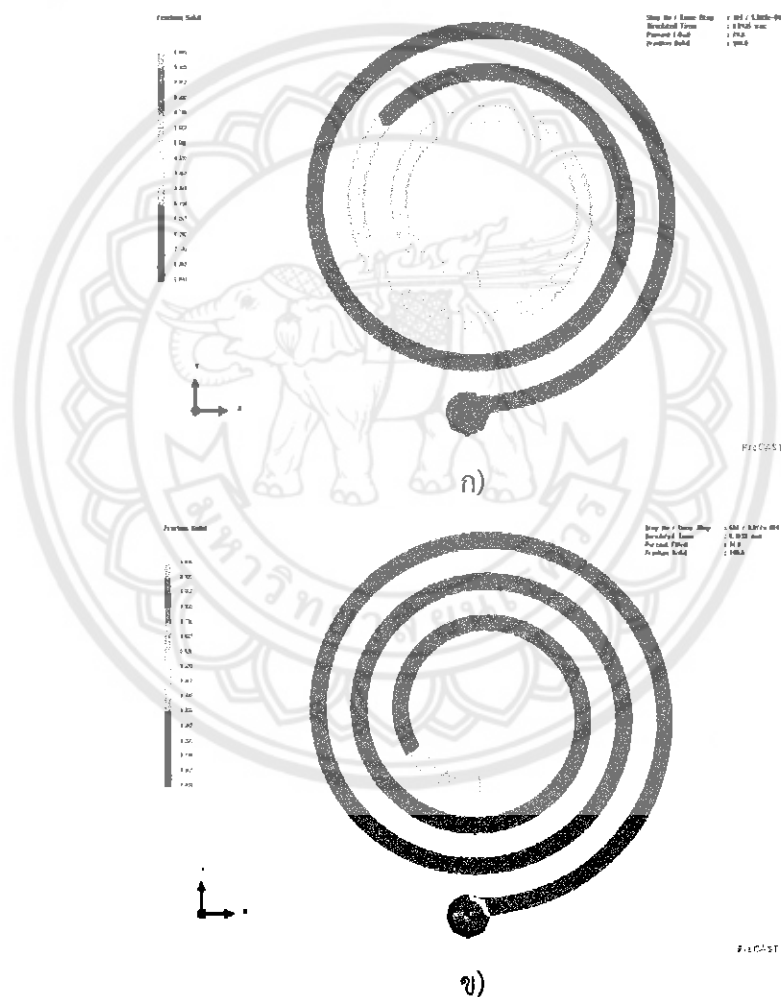
รูปที่ 4.5 ผลของดัชนีการไหลของ Al EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

ก) โดยใช้อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 1

ข) โดยใช้อุณหภูมิเท 680 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 2

ค) โดยใช้อุณหภูมิเท 720 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 1

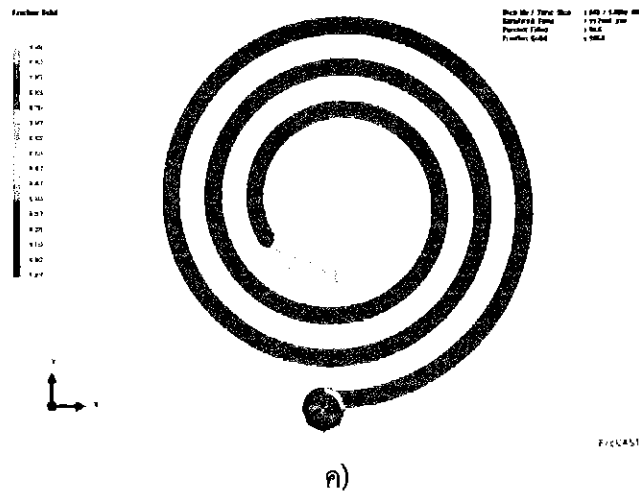
ซึ่งผลการทดลองจากโปรแกรมช่วยในการจำลองไม่สามารถเห็นผลของดัชนีการไหลได้ เนื่องจากโลหะหลอมเหลวไหลเต็มแม่พิมพ์ ทำให้ไม่สามารถนำผลการทดลองที่มีความแตกต่างของ อุณหภูมิเท และอัตราการเทมาวิเคราะห์ได้ ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการทดลองเพิ่มโดยการลด อุณหภูมิเทลงเพื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับดัชนีการไหล โดยเลือกใช้อุณหภูมิเท 560 องศาเซลเซียส, อัตราการเทระดับที่ 1 และระดับที่ 2 และอุณหภูมิเท 600 องศาเซลเซียส, อัตราการเท ระดับที่ 1 ผลจากการทดสอบพบว่าดัชนีการไหลของ Al EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg จากโปรแกรม ช่วยในการจำลอง โดยใช้อุณหภูมิเท 560 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 1, อุณหภูมิเท 560 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 2 และอุณหภูมิเท 600 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับ ที่ 1 มีดัชนีการไหลเท่ากับ 96, 133 และ 134 มิลลิเมตร ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลของดัชนีการไหลของ Al EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

ก) โดยใช้อุณหภูมิเท 560 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 1

ข) โดยใช้อุณหภูมิเท 560 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 2



รูปที่ 4.6 (ต่อ) ผลของดัชนีการไหลของ Al EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลอง

ค) โดยใช้อุณหภูมิเท 600 องศาเซลเซียส และอัตราการเทระดับที่ 1

ผลการเปรียบเทียบดัชนีการไหลของ Al EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg จากโปรแกรมช่วยในการจำลอง เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท แสดงดังตารางที่ 4.5 และเมื่อทำการเปลี่ยนอัตราการเท แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.9 ดัชนีการไหลของ Al EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg เมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท

อัตราการเท	อุณหภูมิเท (องศาเซลเซียส)	ดัชนีการไหล (มิลลิเมตร)
ระดับที่ 1	560	96
	600	134

พบว่าที่อุณหภูมิเท 560 และ 600 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการเทระดับที่ 1 เห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเทสูงขึ้นจะมีดัชนีการไหลเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิเทที่ไม่เท่ากันจะมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (Degree of Superheat) ต่างกัน ถ้าความแตกต่างของอุณหภูมิ (Degree of Superheat) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อะลูมิเนียมหลอมเหลวมีความหนืด (Viscosity) ลดลง ลดความต้านทานต่อการไหลช่วยให้อะลูมิเนียมหลอมเหลวมีความสามารถในการไหลได้ดีขึ้น

ตารางที่ 4.10 ดัชนีการไหลของ Al EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg เมื่อทำการเปลี่ยนอัตราการใช้

อุณหภูมิเท (องศาเซลเซียส)	อัตราการใช้	ดัชนีการไหล (มิลลิเมตร)
560	ระดับที่ 1	96
	ระดับที่ 2	133

พบว่าที่อัตราการใช้ระดับที่ 1 และระดับที่ 2 โดยใช้อุณหภูมิเท 560 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่าเมื่ออัตราการใช้เพิ่มขึ้นจะมีดัชนีการไหลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทะลุรูมีเนียมหลอมเหลวลงสู่แม่พิมพ์เร็ว จะทำให้ความสามารถในการดันโลหะหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ได้เร็วก่อนที่โลหะหลอมเหลวจะเกิดการแข็งตัว ส่งผลให้อะลูมิเนียมหลอมเหลวไหลได้ดีกว่าอัตราการใช้ที่ช้ากว่า

4.5 เปรียบเทียบผลของดัชนีการไหล โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองกับการหล่อจริง

ผลการเปรียบเทียบดัชนีการไหลเมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท และอัตราการใช้ โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองกับการหล่อจริง แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบดัชนีการไหลเมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเท และอัตราการใช้ โดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองกับการหล่อจริง

	อุณหภูมิเท (องศาเซลเซียส)	อัตราการใช้	ดัชนีการไหล (มิลลิเมตร)
หล่อจริง	680	ระดับที่ 1	52
		ระดับที่ 2	131
	720	ระดับที่ 1	95
โปรแกรมช่วยในการจำลอง	680	ระดับที่ 1	n/a
		ระดับที่ 2	n/a
	720	ระดับที่ 1	n/a

หมายเหตุ: n/a = Not Applicable

จากตารางที่ 4.9 เห็นได้ว่าผลการทดลองของการหล่อจริง และโปรแกรมช่วยในการจำลอง โดยใช้อุณหภูมิเท และอัตราการใช้เท่ากัน จะมีดัชนีการไหลไม่เท่ากันเนื่องจากผลการจำลอง (Simulation) แสดงให้เห็นว่าโลหะหลอมเหลวไหลเต็มแม่พิมพ์จึงไม่สามารถทราบดัชนีการไหลได้ และวัสดุที่ใช้ในการหล่อจริงกับวัสดุที่ป้อนลงในโปรแกรมช่วยในการจำลองเป็นวัสดุต่างชนิดกันโดยจะ

มีองค์ประกอบทางเคมี สัมประสิทธิ์การนำความร้อน อุณหภูมิของเหลว อุณหภูมิของแข็ง สัดส่วนของแข็ง และความหนาแน่นของวัสดุต่างกัน และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เครื่องมือในการเก็บข้อมูลอาจจะไม่มีความถูกต้อง แม่นยำ ส่งผลให้ดัชนีการไหลมีค่าไม่เท่ากัน



บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงบทสรุป ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา รวมทั้งปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไขของโครงการนี้มีรายละเอียดดังนี้

5.1 บทสรุป

5.1.1 ผลของดัชนีการไหลโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองกับการหล่อจริง พบว่าเมื่ออุณหภูมิเท และอัตราการเทเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดัชนีการไหลเพิ่มขึ้น

5.1.2 ผลการเปรียบเทียบดัชนีการไหลโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองกับการหล่อจริง พบว่าดัชนีการไหลมีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการหล่อจริงกับวัสดุที่ใช้ในโปรแกรมช่วยในการจำลองเป็นวัสดุต่างชนิดกัน

5.2 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไข

5.2.1 ในการวัดอุณหภูมิของโลหะหลอมเหลว ควรใช้อุปกรณ์ในการวัดที่มีความเที่ยงตรง เพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้อง และแม่นยำ

5.2.2 ในการหล่อจริงควรติดตั้งเครื่องเท และตำแหน่งแม่พิมพ์ที่แน่นอนทุกครั้ง เพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้อง และแม่นยำ

5.2.3 เนื่องจากในการหลอมโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูง ขณะเตรียมการเทโลหะหลอมเหลว ทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงควรวางแผนในการปฏิบัติงานของแต่ละคนให้ดีเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ และถูกต้อง

5.2.4 เนื่องจากโปรแกรมไม่สามารถทดสอบดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ ได้จึงควรทำการศึกษาข้อมูลการใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองให้มากกว่านี้ เพื่อสามารถทดสอบดัชนีการไหลของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ มาเปรียบเทียบกับการหล่อจริงได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การปฏิบัติงานมีโอกาสเกิดอันตรายจากอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการหลอมโลหะ ควรใส่อุปกรณ์ป้องกันความร้อน เพื่อความปลอดภัยขณะปฏิบัติงาน

5.3.2 ในการหล่อจริงสามารถปรับเปลี่ยนอุณหภูมิเท และอัตราการเทได้

5.3.3 ในการหล่อจริงควรทำความสะอาดแม่พิมพ์ให้สะอาด เนื่องจากสิ่งเจือปนหรือเศษวัสดุ ส่งผลให้ไปขัดขวางการไหลของโลหะหลอมเหลว เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง และแม่นยำ

5.3.4 ในการหล่อจริงควรอยู่ในบรรยากาศปิด เพื่อให้การวัดค่าตัวแปร (Parameters) ต่างๆ เช่น อุณหภูมิล้อมรอบ อุณหภูมิเท เป็นต้น ได้ค่าที่เที่ยงตรงแม่นยำ

5.4 การพัฒนา

5.4.1 ในการทดสอบดัชนีการไหลสามารถนำไปแก้ไขข้อบกพร่องชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการหล่อ ได้ เช่น โลหะหลอมเหลวไหลไม่เต็มแบบ เป็นต้น

5.4.2 ผลของดัชนีการไหลที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเท และอัตราการเทที่สูงขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการหล่อที่ต้องการใช้ความสามารถในการไหลของโลหะหลอมเหลวได้



เอกสารอ้างอิง

- เกียรติศักดิ์ ไชยวรรณ.(2556).ความตึงผิว(ออนไลน์), สืบค้นจาก: <https://essonaysandee.Wordpress.com/เนื้อหาบทเรียน/ความตึงผิว>, [5 ตุลาคม 2559]
- ดร.เกศินี เหมวิเชียร และดร.พิริยธร สุวรรณมาลา. (2553). การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ ตอนที่ 1 เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Polymer Characterization: Differential Scanning Calorimeter (DSC). กลุ่มวิจัยและพัฒนาชีวเคมี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), นครนายก.
- ดิสยากุล แซ่เอ็ง.(2556).เหล็กมาตรฐานDIN(ออนไลน์),สืบค้นจาก: <http://www.ssi-steel.com>, [27 พฤษภาคม 2560]
- ฉลอง ดอกยี่สุ่น และวชิรวิธ หมอทรัพย์.(2556).เหล็กมาตรฐานDIN pdf(ออนไลน์),สืบค้นจาก: http://www.rtc.ac.th/www_km/02/027/225602/unit01.pptx, [27 พฤษภาคม 2560]
- เชิดศักดิ์ อรัญมาลา และรศ.ดร.ชาญยุทธ โกธิตะวงษ์ (2547). การศึกษาภาพพื้นฐานและหลักการออกแบบ GATE และ RUNNER ของชิ้นงาน LOCKING KNOB ในอุตสาหกรรมโคมไฟ โดยใช้เทคนิคการจำลองวิธีการหล่อลุมิเนียม. วิทยานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร
- รศ.ดร.ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ2558, วัสดุวิศวกรรม, สำนักพิมพ์ซีเอ็ดบุ๊คกรุงเทพมหานคร, กรุงเทพมหานคร
- ณรงค์ฤทธิ์ โสตะ.(2559). โลหะอะลูมิเนียมผสม(ออนไลน์), สืบค้นจาก:<https://www.scribd.com>.doc,[5 ตุลาคม 2559]
- ทองศักดิ์ มูลสาร. (2554). การเขียนโปรแกรม AutoCAD (ออนไลน์), สืบค้นจาก: <http://www.pbntc.ac.th>, [5 ตุลาคม 2559]
- ปิยนุช มีธรรม และผศ.ดร.ชาคริต สุวรรณจำรัส. (2557). แบบจำลองการหล่อแม่พิมพ์ความดันสูงกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรูพรุนภายในชิ้นงาน. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม
- ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และผศ.ดร.นวกัทยา หนูนา. (2535). การวัดการไหล (flow measurement) (ออนไลน์), สืบค้นจาก: <http://www.foodnetworksolution.com/การวัดการไหล>, [12 พฤศจิกายน 2559]
- ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนปนนท์. (2559). เครื่อง Differential Scanning Calorimeter(ออนไลน์),สืบค้นจาก:<http://www.foodnetworksolution.com>, [10 พฤศจิกายน 2559]
- มงคล แก้วพรัตน์ (2012). การลดปัญหาข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จากอะลูมิเนียมหล่อโดยใช้โปรแกรมจำลองงานหล่อขึ้นรูป.วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- รศ.ดร.เชาวลิต ลิ้มมณีวิจิตร. (2560). มาตรฐานอะลูมิเนียม (ออนไลน์), สืบค้นจาก: <http://www.cemt.net/.pdf>, [7 พฤษภาคม 2560]
- ศิริพร สิงห์ธัญ. (2557). เครื่อง TCA mtec (ออนไลน์), สืบค้นจาก: <http://www.mtec.or.th>, [30 พฤศจิกายน 2559]
- สมชัย เสี่ยมสุขใจ. (2559). เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี OES(ออนไลน์), สืบค้นจาก: www.unithai.co.th, [10 เมษายน 2560]
- อภิรัฐ โกสิตานนท์ และคณะ (2554). การศึกษาพฤติกรรมการไหลของกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยง. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร
- เอกรินทร์ เอ็บอัม (2547). การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่างควันด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมการวาวรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ตาก
- เอกรินทร์ เอ็บอัม, (2549). เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) (ออนไลน์), สืบค้นจาก: <http://www.neutron.rmutphysics.com>, [11 พฤศจิกายน 2559]
- เอกชัย กิติแก้วทิวีเสริฐ และคณะ (2554). อิทธิพลของตัวแปรในการออกแบบ Fan gate ที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหลของโลหะเหลวในกระบวนการหล่อความดันสูง. อวารสารวิจัยและพัฒนาจธ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร
- F. Bonollo, E. Faltracco, F. Danieli, B. Molinas, Evaluation of fluidity in aluminum alloys, Proc. Conf. "EUROMAT 2001", Rimini (2001, paper 910; Associazione ItalianadiMetallurgia-Milano.
- F. Zupanic. (2014). Microstructure of an Al-Mn-Be-B alloy, Journal of Alloys and Compounds b617 (2014) 174-179
- Mohan Krishna and G. S. Reddy, (2014). SIMULATION OF FLUIDITY IN ALUMINUM ALLOYS, SUPER ALLOY CMSX4, AND DUCTILE CAST IRON. December 12th-14th, 2014, IIT Guwahati, Assam, India
- J. Campbell, Castings, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2003, pp.74-96.
- M. DiSabatino, L. Arnberg, S. Brusethaug, D. Apelian, Int. J. Cast Met. Res., vol. 19 (2006), p. 94.

ภาคผนวก ก

องค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ
โดยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Optical Emission
Spectrometer ; OES) และองค์ประกอบทางเคมีของ EN AC-45100
AlSi5Cu3Mg และ Low Carbon AISI 1008 จากข้อมูลพื้นฐานในโปรแกรม
ช่วยในการจำลอง

ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ

ธาตุ (Element)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (Percent by Weight)
ซิลิคอน (Si)	4.74496
ทองแดง (Cu)	3.34000
เหล็ก (Fe)	0.45188
แมกนีเซียม (Mg)	0.21086
สังกะสี (Zn)	0.18444
แมงกานีส (Mn)	0.18189
ไททาเนียม (Ti)	0.11542
ฟอสฟอรัส (P)	0.06379
ตะกั่ว (Pb)	0.02425
โครเมียม (Cr)	0.01545
พลวง (Sb)	0.01311
แคลเซียม (Ca)	0.01302
วานาเดียม (V)	0.01060
ดีบุก (Sn)	0.00840
โซเดียม (Na)	0.00342
เซอร์โคเนียม (Zr)	0.00286
แคดเมียม (Cd)	0.00026
เบริลเลียม (Be)	0.00020
โคบอลต์ (Co)	0.00002
อะลูมิเนียม (Al)	Balance

ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

ธาตุ (Element)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (Percent by Weight)
แมงกานีส (Mn)	1.08764
ทองแดง (Cu)	0.30111
ซิลิคอน (Si)	0.24495
คาร์บอน (C)	0.20136
โครเมียม (Cr)	0.12979
นิกเกิล (Ni)	0.11873
วานาเดียม (V)	0.03240
อะลูมิเนียม (Al)	0.02934
โคบอลต์ (Co)	0.02357
ไททาเนียม (Ti)	0.01905
โมลิบดีนัม (Mo)	0.01533
สารหนู (As)	0.01424
ฟอสฟอรัส (P)	0.01196
กำมะถัน (S)	0.00752
ทังสเตน (W)	0.00511
แทนทาลัม (Ta)	0.00501
พลวง (Sb)	0.00412
แคลเซียม (Ca)	0.00344
ตะกั่ว (Pb)	0.00215
สังกะสี (Zn)	0.00151
ไนโอเบียม (Nb)	0.00058
เซอร์โคเนียม (Zr)	0.00054
โบรอน (B)	0.00017
เหล็ก (Fe)	Balance

ตารางที่ ก.3 องค์ประกอบทางเคมีของ EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg

ธาตุ (Element)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (Percent by Weight)	ช่วงแนะนำ (Recommended Rang)
ซิลิคอน (Si)	5	0-17.5
ทองแดง (Cu)	3	0-5.5
สังกะสี (Zn)	0.5	0-8.1
นิกเกิล (Ni)	0.3	0-0.5
ไทเทเนียม (Ti)	0.25	0-0.5
แมกนีเซียม (Mg)	0.1	0-7.6
แกโดลิเนียม (Gd)	-	0-0.5
เจอร์เมเนียม (Ge)	-	0-0.5
แฮฟเนียม (Hf)	-	0-0.5
ลิเทียม (Li)	-	0-0.5
เหล็ก (Fe)	-	0-1.0
แมงกานีส (Mn)	-	0-1.2
โครเมียม (Cr)	-	0-0.5
ซีลีเนียม (Se)	-	0-0.5
เงิน (Ag)	-	0-0.5
ดีบุก (Sn)	-	0-0.5
สตรอนเชียม (Sr)	-	0-0.5
โบรอน (B)	-	0-0.5
วานาเดียม (V)	-	0-0.5
อิตเทรียม (Y)	-	0-0.5
คาร์บอน (C)	-	0-0.5
เซอร์โคเนียม (Zr)	-	0-0.5

ตารางที่ ก.4 องค์ประกอบทางเคมีของ Low Carbon AISI 1008

ธาตุ (Element)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (Percent by Weight)	ช่วงแนะนำ (Recommended Rang)
โครเมียม (Cr)	0.45	0-27
แมงกานีส (Mn)	0.31	0-4.5
ซิลิคอน (Si)	0.08	0-5.5
คาร์บอน (C)	0.08	0-4
กำมะถัน (S)	0.05	0-0.05
ฟอสฟอรัส (P)	0.03	0-0.05
อะลูมิเนียม (Al)	-	0-0.5
ทองแดง (Cu)	-	0-7.5
แมกนีเซียม (Mg)	-	0-0.5
สารหนู (As)	-	0-5
โมลิบดีนัม (Mo)	-	0-10
ไนโตรเจน (N)	-	0-0.5
ไนโอเบียม (Nb)	-	0-4
นิกเกิล (Ni)	-	0-36
โคบอลต์ (Co)	-	0-10
ตะกั่ว (Pb)	-	0-5
แคลเซียม (Ca)	-	0-5
โบรอน (B)	-	0-4
ดีบุก (Sn)	-	0-0.05
ไทเทเนียม (Ti)	-	0-4
วานาเดียม (V)	-	0-7
ทังสเตน (W)	-	0-7
เซอร์โคเนียม (Zr)	-	0-0.05

ภาคผนวก ข

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอะลูมิเนียมผสม เอซี 2 เอ และเหล็กกล้า
คาร์บอนต่ำ โดยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal
Conductivity Analysis ; TCA)

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของอะลูมิเนียม ผสมเอซี 2 เอ

ทดสอบครั้งที่	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity, W/m·K)
1	240.10
2	239.20
3	237.40
4	233.70
5	227.60
6	225.70
เฉลี่ย	233.95

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

ทดสอบครั้งที่	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity, W/m·K)
1	42.41
2	42.40
3	42.38
4	42.37
5	42.36
6	42.34
7	42.19
8	42.02
9	41.82
เฉลี่ย	42.25

ภาคผนวก ค
G-code สำหรับสร้างแม่พิมพ์โดยเครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine)

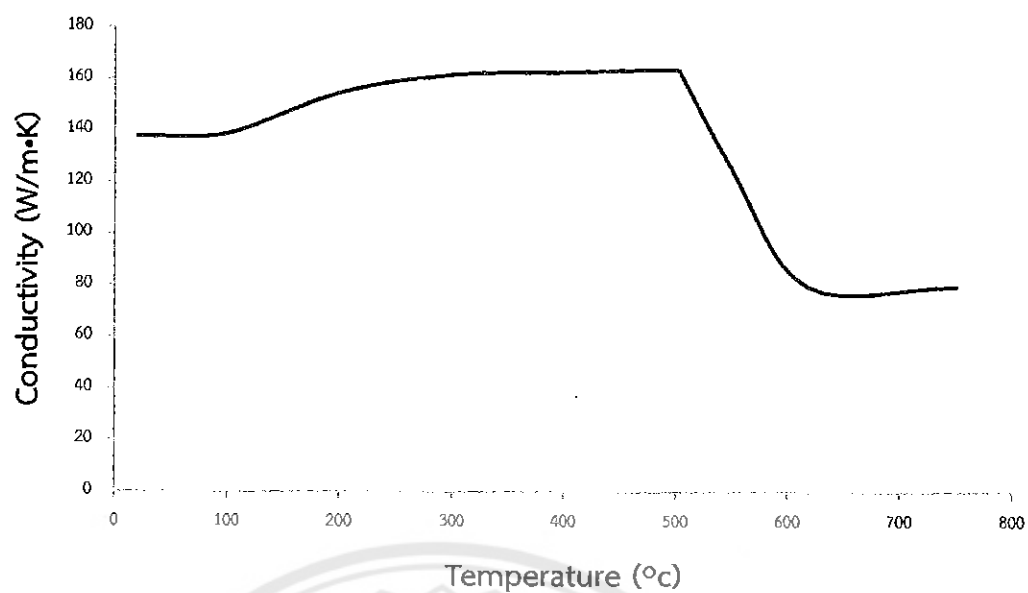


ตารางที่ ค.1 G-code สำหรับสร้างแม่พิมพ์แบบสไปรอล (Spiral Mold)

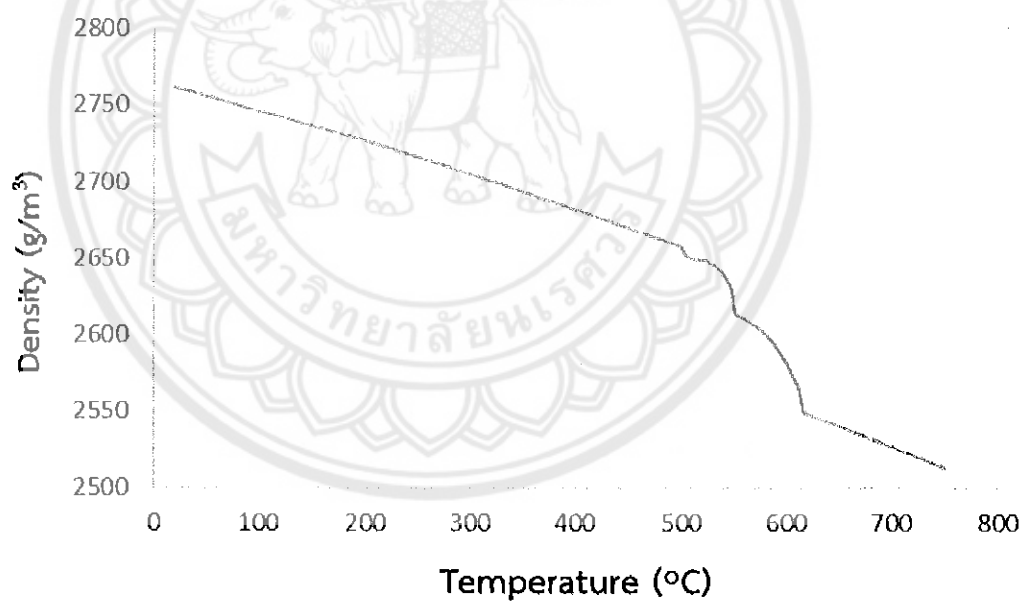
004496 ;	
N1	T6 ;
N2	M03 S1000 ;
N3	G90 G17 G54 ;
N4	G00 X90. Y30. Z10. ;
N5	G01 X100. Y40. Z0. F90. ;
N6	X120. Y40. Z-6. ;
N7	G03 X120. Y248.3 R104.2 ;
N8	G03 X120. Y63.4 R92.5 ;
N9	G03 X120. Y225. R80.8 ;
N10	X120. Y86.7 R69.2 ;
N11	X120. Y201.7 R57.5 ;
N12	X120. Y110. R45.9 ;
N13	G00 Z100. M05 ;
N14	M30 ;

ภาคผนวก ง
ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมช่วยในการจำลอง (ProCAST 2015)

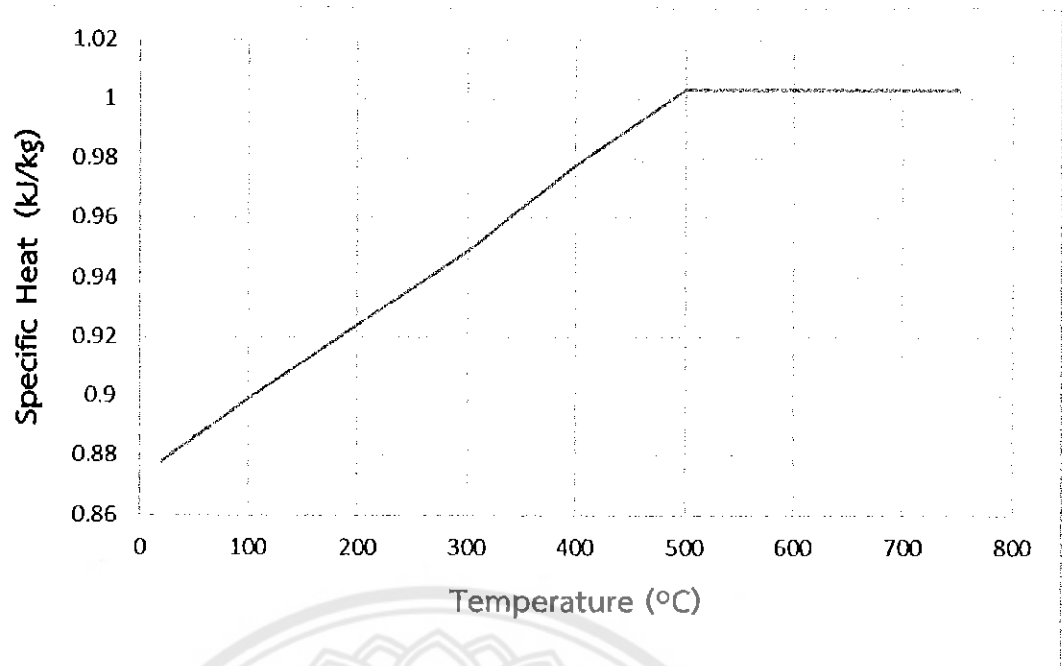




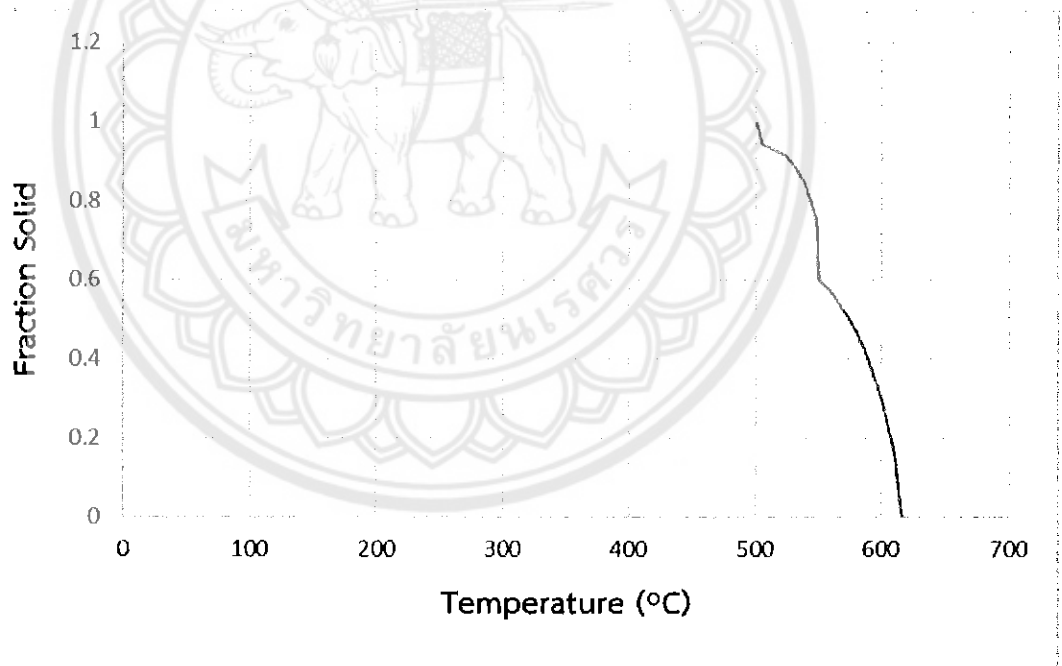
รูปที่ ง.1 ค่า Conductivity ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg



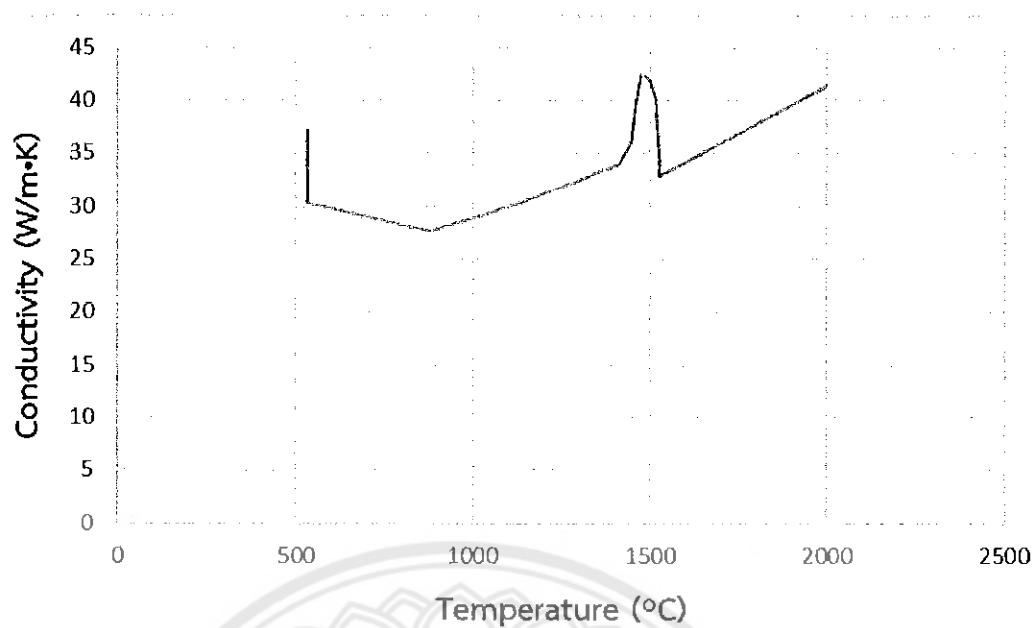
รูปที่ ง.2 ค่า Density ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg



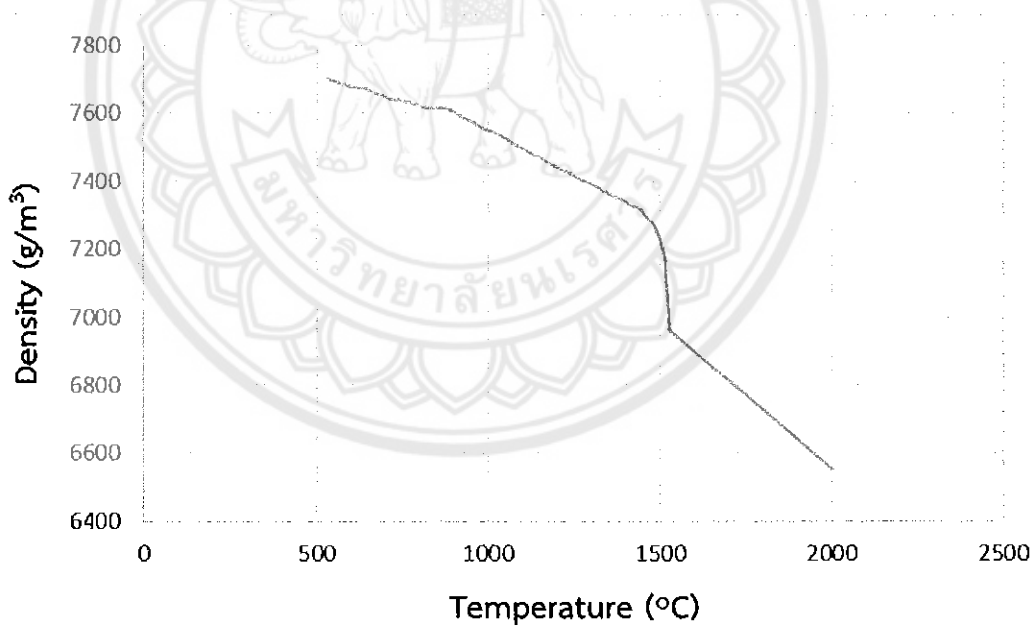
รูปที่ ๓.3 ค่า Specific Heat ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg



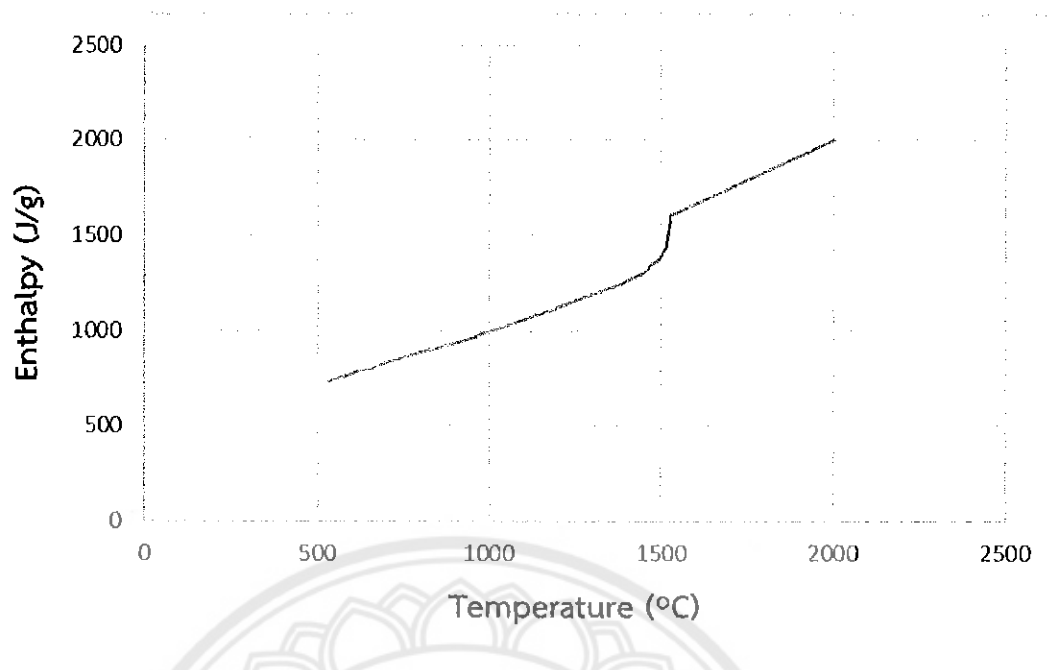
รูปที่ ๓.4 ค่า Fraction Solid ของอะลูมิเนียม EN AC-45100 AlSi5Cu3Mg



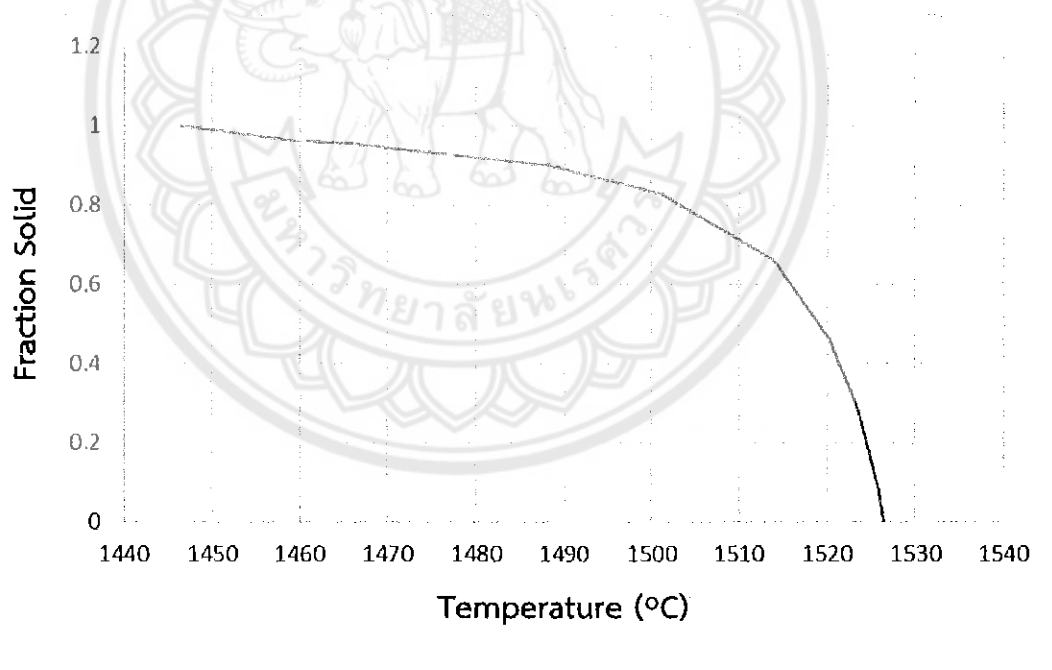
รูปที่ ง.5 ค่า Conductivity ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008



รูปที่ ง.6 ค่า Density ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008



รูปที่ ง.7 ค่า Enthalpy ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008



รูปที่ ง.8 ค่า Fraction Solid ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ Low-Carbon AISI 1008

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาวบรรเจิดลักษณ์ แยมเนียม
ภูมิลำเนา 91 หมู่ 3 ต.สะเตียง อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาโรงเรียนเพชรพิทยาคม
จ.เพชรบูรณ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: BunjertlarkYeam@hotmail.com



ชื่อ นางสาวปาริฉัตร ป้อมไย
ภูมิลำเนา 4/5 หมู่ 11 ต.บ้านมะเกลือ อ.เมือง
จ.นครสวรรค์
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาโรงเรียนนวมินทราชูทิศ
มัชฌิม จ.นครสวรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: may-parichat2537@hotmail.com