

๖๒ ๙๐/๖๙



รายงานการวิจัย

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมเกรด 5083
ที่ผ่านกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็ง

Study on Microstructure and Mechanical Properties of 5083 Aluminium
Alloy with Semi-Solid Squeeze Casting Process

รอมฎอน บุระพา Romadorn Burapa

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ Surasit Rawangwong

จักรนรินทร์ ฉัตรทอง Jaknarin Chatthong

๐.๖๖๙.๗๓๒๒

๕๑๙๖

๒๕๕๙

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๙

การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083

ที่ผ่านกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็ง

รอมฎอน บุระพา¹ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์¹ และ จักรนรินทร์ ฉัตรทอง¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการหล่ออัด โลหะแบบกึ่งของแข็ง โดยการพ่นพองแก๊สเข้าไปในน้ำโลหะขณะแข็งตัว โดยทำการศึกษาถึงผลของเวลาที่ใช้ในการพ่นพองแก๊สเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็งที่มีต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ผลจากการวิจัยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยกระบวนการ GISS คือ การใช้เวลาในการจุ่มแท่งกราไฟต์เพื่อพ่นพองแก๊สที่ 5 วินาที ส่งผลให้เกิดสัดส่วนของแข็งเพิ่มขึ้น และเฟส α อะลูมิเนียมที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแบบก้อนกลมเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้การหล่ออัดแบบกึ่งของแข็งสำหรับการขึ้นรูปอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ทำให้สมบัติทางกลของชิ้นงานดีขึ้น โดยมีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดอยู่ที่ 244.2 MPa และมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวอยู่ที่ 10.5 %

คำสำคัญ: อะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 การหล่อ โลหะกึ่งของแข็ง กระบวนการหล่อแบบอัด

¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Study on Microstructure and Mechanical Properties of 5083 Aluminium Alloy with Semi-Solid Squeeze Casting Process

Romadorn Burapa¹ Surasit Rawangwong¹ and Jaknarin Chatthong¹

Abstract

This research aims to study the semi-solid squeeze casting by the Gas Induced Semi-Solid (GISS) process. In this work, the effects of rheocasting times on the resulting mechanical properties and microstructure of 5083 aluminum alloy were investigated. Results of experiments show the relationship of the rheocasting time in the GISS process. In summary, the results indicate the suitable conditions of the GISS process is rheocasting time at 5 seconds. These conditions result in the solid fraction is increased and the formation of fine and uniform globular structure of the primary α - Al phase. In addition, using semi-solid slurry prepared by the GISS process with squeeze casting can improve mechanical properties such as maximum tensile stress of 244.2 MPa and elongation of 10.5 %.

Keywords: 5083 aluminium alloy, Semi-solid metal casting, Squeeze casting process.

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2559 ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่โรงฝึกปฏิบัติงานสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ และขอบคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และคณะผู้บริหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความสนใจในการวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

รอมฎอน บุระพา
สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์
จักรนรินทร์ ฉัตรทอง
5 สิงหาคม 2560



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
ABSTRACT	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอะลูมิเนียม (Aluminum)	4
2.2 การหลอมโลหะผสมอะลูมิเนียม (Al-Alloy Melting)	6
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083	9
2.4 เตาหลอมที่ใช้ในการหลอมโลหะ	11
2.5 การเลือกใช้เตาหลอม	13
2.6 การตรวจวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่ใช้ในกระบวนการหล่อ	14
2.7 การหล่อโลหะแบบกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Metal Casting)	14
2.8 การผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยกระบวนการ GISS	16
2.9 กระบวนการหล่อแบบอัด (Squeeze Casting Process)	17
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	21
3.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน	21
3.2 สถานที่ทำการวิจัย	22
3.3 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	22
3.4 การหล่ออัดแบบกึ่งของแข็งของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083	24

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 การหล่ออัดแบบกึ่งของแข็งของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083	27
3.6 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อด้วยกล้องจุลทรรศน์	28
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	32
4.1 ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี	32
4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกลด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile Test)	33
4.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	35
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผล	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	37
บรรณานุกรม	38
ภาคผนวก ก	40



สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	สัญลักษณ์กลุ่มโลหะผสม Wrought Aluminum	4
2.2	สัญลักษณ์กลุ่มของอะลูมิเนียมหล่อผสม	5
2.3	คุณลักษณะทั่วไปของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083	9
2.4	คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083	10
2.5	คุณสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083	10
3.1	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	23
4.1	ส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสมอะลูมิเนียม เกรด 5083 ที่ได้จากการตรวจสอบ	32
4.2	ผลทดสอบแรงดึงของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ภายใต้สภาวะการหล่อที่แตกต่างกัน	33

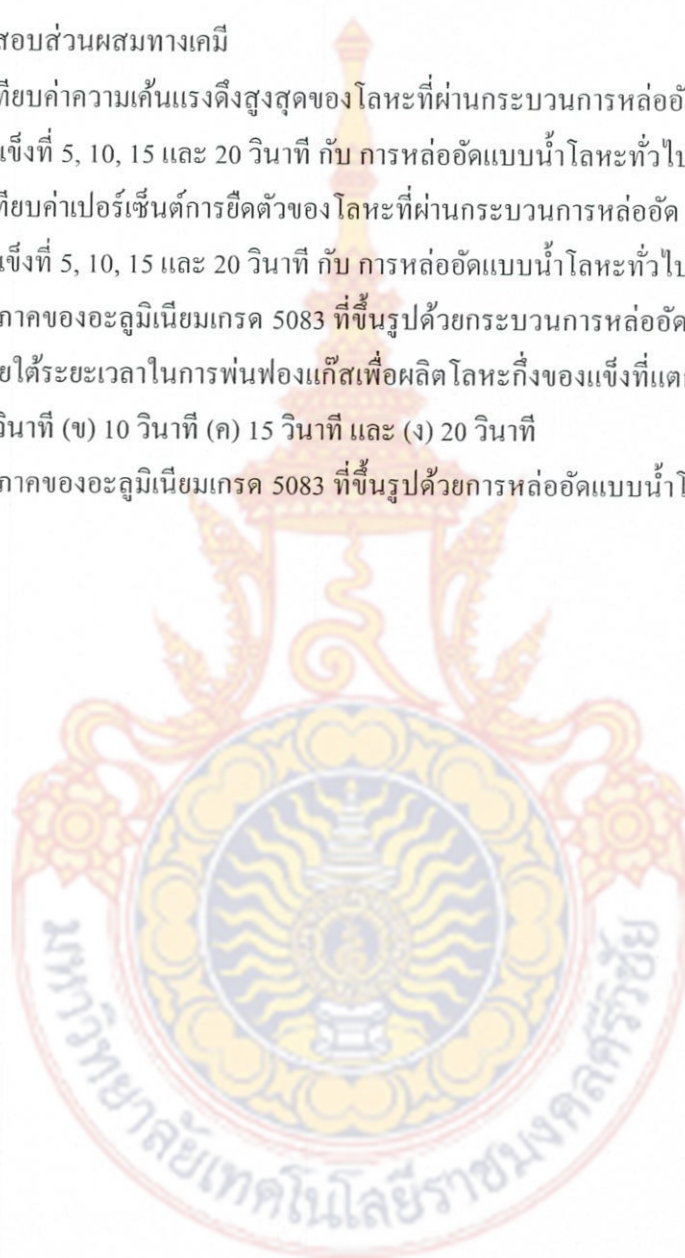


สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
2.1	เตาที่ใช้พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้า	12
2.2	แผนภาพสมดุลภาคแสดงช่วงอุณหภูมิของโลหะที่อยู่ในสถานะกึ่งของแข็ง	15
2.3	เปรียบเทียบโครงสร้างและการไหลของการหล่อน้ำโลหะกับโลหะกึ่งของแข็ง	15
2.4	กระบวนการ Gas Induced Semi-Solid และ โครงสร้างเกรนแบบกึ่งกลมที่ผลิตได้	16
2.5	แสดงกระบวนการหล่อแบบอัด (Squeeze Casting Process)	17
3.1	แสดงขั้นตอน และกิจกรรมการดำเนินงานวิจัย	21
3.2	ทำการหลอมโลหะอะลูมิเนียมผสม เกรด 5083	24
3.3	ตักน้ำโลหะอะลูมิเนียมที่หลอมเหลวจากเตาหลอม	25
3.4	กระบวนการสร้างโลหะกึ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีการพ่นฟองแก๊ส (Gas Induced Semi-Solid, GISS)	25
3.5	นำอะลูมิเนียมหลอมเหลวจากเตาหลอมมาเทหล่อลงในแม่พิมพ์	26
3.6	ชิ้นงานอะลูมิเนียมผสม เกรด 5083 ที่ได้จากการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็ง	26
3.7	การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อ	27
3.8	เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) และการ ทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อ	28
3.9	การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค	29
3.10	การขัดหยาบตัวอย่างชิ้นงาน (Sample grinding) (ก) กระดาษทรายเบอร์หยาบ (ข) การขัดตัวอย่างชิ้นงาน	29
3.11	การขัดละเอียดตัวอย่างชิ้นงาน (Sample polishing) ด้วยผ้าหยาบ (Cloth pad) ร่วมกับผงขัดอะลูมินา (Aluminum oxide powder) ขนาด 5 ไมครอน	30
3.12	(ก) แสดงกรดที่ใช้ในการกัดผิวหน้าของชิ้นงาน (Keller' s reagent) (ข) เป่าตัวอย่างชิ้นงานให้แห้งด้วยโดทเป่าผม	31
3.13	กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบ โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานหล่อ	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1	32
4.2	34
4.3	34
4.4	35
4.5	36



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ในปัจจุบันโลหะผสมอะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการนำไปใช้ผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อทดแทนการใช้วัสดุจำพวกเหล็ก เนื่องจากโลหะดังกล่าวมีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีน้ำหนักที่เบากว่าโลหะในกลุ่มเหล็กประมาณ 3 เท่า และมีความแข็งแรงต่อน้ำหนัก (Strength to Weight Ratio) ที่ดีกว่าโลหะหลายชนิด ด้านทานการกัดกร่อนได้ดี อีกทั้งยังมีความเหมาะสมด้านราคา รวมถึงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างต่ำ และสามารถผลิตขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ได้ง่ายด้วยกระบวนการหลอม (Melting) และหล่อโลหะ (Metal Casting) โดยหลังจากการหล่อขึ้นรูปโลหะผสมอะลูมิเนียมแล้ว พบว่าอะลูมิเนียมผสมส่วนใหญ่สามารถปรับปรุงสมบัติทางกลให้ดียิ่งขึ้นได้ ด้วยกระบวนการอบชุบทางความร้อน (Heat Treatment) อย่างไรก็ตามยังมีอะลูมิเนียมผสมบางเกรดที่ไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงหลังจากการหล่อขึ้นรูปได้ เช่น อะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ซึ่งเป็นโลหะผสมของอะลูมิเนียมที่มีแมกนีเซียม แมงกานีส และโครเมียม เป็นส่วนผสมสำคัญ มีความทนต่อการกัดกร่อนดีเยี่ยม มีความแข็งแรงสูง มีความสามารถในการเชื่อมดีมาก นิยมใช้ในโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น ชิ้นส่วนในเครื่องบิน รถยนต์ และเรือ อากาศยานบรรทุกแรงดันสูง เสาโทรทัศน์ และแผ่นเกราะ เป็นต้น [1]

นอกจากนี้ จากการศึกษากระบวนการหล่อขึ้นรูปโลหะอะลูมิเนียมผสมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันพบว่าแต่ละกระบวนการจะมีกรรมวิธีที่แตกต่างกันไป แต่โดยหลักการพื้นฐานแล้วเป็นการทำให้อะลูมิเนียมหลอมเหลว และนำอะลูมิเนียมเหลวเข้าสู่แบบหล่อ จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวจึงได้ชิ้นงานออกมา ซึ่งถือเป็นการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อแบบน้ำโลหะทั่วไป (Liquid Casting Process) ชิ้นงานที่ได้จะมีโครงสร้างเกรนแบบกิ่งไม้ (Dendrite Structure) เกิดการหดตัวและรูพรุนในเนื้อชิ้นงานเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้สมบัติทางกลของชิ้นงานลดลง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีการคิดค้นกระบวนการหล่อแบบใหม่ขึ้นมา เรียกว่า กระบวนการหล่อโลหะแบบกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Metal Casting Process) ทำให้เกิดโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลม (Globular Structure) และเมื่อนำมาใช้ร่วมกับกระบวนการหล่อแบบอัด (Squeeze Casting Process) ทำให้อะลูมิเนียมเกิดการรวมตัวกันแน่นยิ่งขึ้น รูพรุนในเนื้อชิ้นงานหล่นน้อยลง ส่งผลให้สมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อเพิ่มสูงขึ้นได้ [2, 3]

จากปัญหาดังกล่าว โครงการวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่จะทำการผลิตชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ด้วยกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็ง เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล

ของชิ้นงานหล่อที่ได้ รวมถึงนำผลที่ได้มาศึกษาเชิงเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อแบบน้ำโลหะทั่วไป เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็ง

1.2.2 เพื่อนำผลที่ได้มาศึกษาเชิงเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อแบบน้ำโลหะทั่วไป

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ขอบเขตของโครงการวิจัยนี้คือ การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็ง โดยเริ่มต้นจากการหลอมอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 แล้วนำอะลูมิเนียมหลอมเหลวที่ได้มาผ่านกระบวนการผลิตโลหะกึ่งของแข็ง ด้วยการพ่นฟองแก๊สขณะแข็งตัว (Gas Induced Semi-Solid, GISS Process) ภายใต้อายุเวลาที่แตกต่างกัน คือ 5, 10, 15 และ 20 วินาที แล้วจึงทำการเทหล่ออะลูมิเนียมกึ่งของแข็งที่ได้ลงไปบนแม่พิมพ์เพื่อทำการหล่ออัดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยแรงดัน จากนั้นจึงทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ และทำการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง เพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานหล่อที่ขึ้นรูปได้ รวมถึงทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็ง และที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อแบบน้ำโลหะทั่วไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการผลิตชิ้นงานของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ที่ได้จากกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็ง

1.4.2 ทำให้ทราบถึงโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ที่ได้จากกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็ง

1.4.3 ได้องค์ความรู้และแนวทางในการปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของ อะลูมิเนียมผสมหล่อขึ้นรูป ที่สามารถนำไปถ่ายทอดให้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องและมีความ สนใจเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

1.4.4 ได้ผลงานวิจัยเพื่อนำไปเผยแพร่ในวารสารหรือที่ประชุมวิชาการในระดับชาติและหรือนานาชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง

1.4.5 ช่วยพัฒนาและผลิตนักศึกษาระดับปริญญาตรีให้มีศักยภาพในการทำวิจัยอย่างน้อย 2 คน



บทที่ 2

ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอะลูมิเนียม (Aluminum)

อะลูมิเนียมประกอบด้วยสมบัติต่างๆ มากมายที่เป็นประโยชน์ต่องานด้านวิศวกรรมเป็นอย่างมาก อะลูมิเนียมมีความหนาแน่นต่ำประมาณ 2.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จึงทำให้อะลูมิเนียมมีประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมทางด้านคมนาคม นอกจากนี้อะลูมิเนียมยังมีความทนทานต่อการกัดกร่อนในทุกสภาวะแวดล้อมได้ดี เนื่องจากที่ผิวของอะลูมิเนียมมักจะเกิดแผ่นฟิล์มของออกไซด์ขึ้น และแม้ว่าอะลูมิเนียมที่บริสุทธิ์จะมีความแข็งแรงต่ำ แต่มันสามารถทำให้มีความแข็งแรงสูงขึ้นได้โดยการเติมธาตุอัลลอยด์ตัวอื่นเข้าไป อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่ไม่มีพิษ ดังนั้นจึงมักถูกใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร นอกจากนี้อะลูมิเนียมยังมีสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดี จึงเหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้า จากการที่อะลูมิเนียมมีสมบัติต่างๆ มากมายเช่นนี้ และราคาถูก จึงทำให้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุโลหะที่สำคัญอย่างมากต่ออุตสาหกรรม [4]

2.1.1 การแยกประเภทของโลหะผสม Wrought Aluminum

โลหะผสมอะลูมิเนียมที่ถูกผลิตในรูป Wrought (เช่น Sheet, Plate, Extrusions, Rod และ Wire) จะถูกแยกประเภทตามธาตุอัลลอยด์หลักที่มีอยู่ การแยกประเภทนั้นจะใช้ระบบตัวเลข 4 ตัว ตามตารางที่ 2.1 ได้รวบรวมกลุ่มโลหะผสม Wrought Aluminum ต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์กลุ่มโลหะผสม Wrought Aluminum [4]

สัญลักษณ์	ธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักในอะลูมิเนียม
1XXX	อะลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ ไม่น้อยกว่า 99.00%
2XXX	ทองแดง (Copper, Cu)
3XXX	แมงกานีส (Manganese, Mn)
4XXX	ซิลิกอน (Silicon, Si)
5XXX	แมกนีเซียม (Magnesium, Mg)
6XXX	แมกนีเซียม (Magnesium, Mg) และ ซิลิกอน (Silicon, Si)
7XXX	สังกะสี (Zinc, Zn)
8XXX	ธาตุอื่นๆ (Other element)

ตัวเลขหลักที่หนึ่งจะบอกถึงกลุ่มโลหะผสมที่ประกอบด้วยธาตุอัลลอยด์เฉพาะ และตัวเลข 2 ตัวหลังจะบอกถึงความบริสุทธิ์ของโลหะผสมอะลูมิเนียมนั้น ส่วนตัวเลขหลักที่สองจะบอกถึงการปรับปรุงในโลหะผสมเดิม หรือปริมาณจำกัดของสิ่งเจือปน [4]

2.1.2 การแยกประเภทของอะลูมิเนียมหล่อผสม (Aluminum Casting Alloy)

สามารถจำแนกกลุ่มของอะลูมิเนียมหล่อผสมตามมาตรฐานของ ASTM (American Society of Metals) ซึ่งเป็นการจำแนกตามระบบตัวเลข 4 หลัก ตามตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์กลุ่มของอะลูมิเนียมหล่อผสม [4]

สัญลักษณ์	ธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักในอะลูมิเนียม
1XX.X	อะลูมิเนียม ที่มีความบริสุทธิ์ ไม่น้อยกว่า 99.00%
2XX.X	ทองแดง (Copper, Cu)
3XX.X	ซิลิกอน (Silicon, Si) ร่วมกับการเติมทองแดง (Copper, Cu) และหรือ แมกนีเซียม (Magnesium, Mg)
4XX.X	ซิลิกอน (Silicon, Si)
5XX.X	แมกนีเซียม (Magnesium, Mg)
6XX.X	ยังไม่มีใช้ (Unused Series)
7XX.X	สังกะสี (Zinc, Zn)
8XX.X	ดีบุก (Tin, Sn)
9XX.X	ธาตุอื่นๆ (Other Element)

1) ตัวเลขตัวที่หนึ่ง เป็นสัญลักษณ์แสดงกลุ่มธาตุที่ผสม ธาตุหนึ่งเป็นหลัก เช่น 2XX.X เป็นกลุ่มธาตุผสมของอะลูมิเนียมที่มีทองแดงเป็นธาตุผสมหลัก เป็นต้น

2) ตัวเลขตัวที่สองและสาม เป็นสัญลักษณ์แสดงอะลูมิเนียมผสม ที่มีธาตุผสมชนิดอื่นผสมเข้าไป หรือแสดงอะลูมิเนียมบริสุทธิ์

3) ตัวเลขตัวที่สี่ เป็นสัญลักษณ์ซึ่งเป็นการแบ่งตามการผลิตอย่างอื่น โดยจะใช้จุดทศนิยมแสดงการผลิต เป็นต้น เช่น การหล่อ หรือ จากแท่งอินกอต การปรับปรุงจากธาตุผสมเดิม หรือ จำนวนสิ่งเจือปนเข้าไป อย่างไรก็ตามอะลูมิเนียมหล่อผสมทั่วไปจะใช้ตัวเลข 3 หลัก

2.2 การหลอมโลหะผสมอะลูมิเนียม (Al-Alloy Melting)

การที่จะผลิตชิ้นงานโลหะหล่อขึ้นรูปให้มีคุณภาพดีได้นั้น จำเป็นจะต้องควบคุมตัวแปรสำคัญหลักสองอย่างคือ ควบคุมการหลอมและสภาพของแบบหล่อโลหะ ทั้งนี้เพื่อให้ได้น้ำโลหะที่ถูกต้องทั้งส่วนผสมเคมีและอุณหภูมิน้ำโลหะ ในขณะที่การควบคุมสภาพของแบบหล่อ ได้แก่ วัสดุแบบหล่อ การออกแบบระบบจ่ายน้ำโลหะ ทั้งรูเทและรูล้นจะต้องเหมาะสมและมีปริมาณน้ำโลหะเพียงพอที่จะป้องกันเหตุการณ์หดตัวของน้ำโลหะที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการแข็งตัวของน้ำโลหะ

การหลอมโลหะไม่ใช่เป็นเพียงการให้ความร้อนกับก้อนโลหะเพื่อทำให้โลหะหลอมละลายเท่านั้น การหลอมจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของเนื้อโลหะหลังการแข็งตัว ความแข็งแรงของเนื้อก้อนโลหะของชิ้นงานโลหะหล่อหลังการแข็งตัว สิ่งแรกที่มีความสำคัญมากสำหรับการหลอมโลหะคือ การมีอุปกรณ์และเครื่องมือในการหลอมที่ดี ใช้เทคนิคการหลอมที่ถูกต้อง องค์ประกอบทั้งสองนี้จะมีผลทำให้ชิ้นงานที่ได้มีความสมบูรณ์ในทุกด้านเมื่อเปรียบกับโลหะที่นำมาใช้เป็นวัสดุเริ่มต้นการหลอม

2.2.1 ปัญหาและองค์ประกอบในการหลอมอะลูมิเนียม

โดยทั่วไป อะลูมิเนียมจะไม่แสดงพฤติกรรมที่ดีในการหลอมทุกๆสภาวะ แต่อะลูมิเนียมแสดงพฤติกรรมที่ทำปฏิกิริยาเคมีได้ง่ายมากในขณะที่หลอมละลาย พฤติกรรมดังกล่าว จำเป็นจะต้องถูกควบคุมอย่างใกล้ชิดเพื่อให้ได้น้ำโลหะชิ้นงานหลังการแข็งตัวที่ดี

ที่ระดับอุณหภูมิสูงๆ อะลูมิเนียมจะสามารถจับตัวกับออกซิเจน กลายเป็นสารประกอบออกไซด์ได้รวดเร็วมาก เมื่ออะลูมิเนียมหลอมละลาย ปริมาณออกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นตามระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น รวมทั้งระยะเวลาที่น้ำโลหะอยู่ที่อุณหภูมิสูงมากๆเป็นระยะเวลาที่ยาวนานมากยิ่งขึ้นนอกจากนี้การที่ความตึงจำเพาะของน้ำโลหะผสมอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกัน เป็นเหตุให้อะลูมิเนียมออกไซด์สามารถแขวนลอยในน้ำโลหะและติดปนกับน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบหล่อได้โดยง่าย ดังนั้นการหลอมอะลูมิเนียมทั้งบริสุทธิ์และผสมจึงควรหลีกเลี่ยงการกวนน้ำโลหะและการปล่อยทิ้งให้น้ำโลหะอยู่ที่ระดับอุณหภูมิหลอมละลายเป็นระยะเวลายาวนานเกินความจำเป็น

ปัญหาอื่นๆ ที่สำคัญในการหลอมโลหะผสมอะลูมิเนียม คือ การที่น้ำโลหะอะลูมิเนียมทั้งบริสุทธิ์และโลหะผสมสามารถที่จะละลายก๊าซต่างๆ ที่รวมกันอยู่ในบรรยากาศเหนือโลหะได้ง่ายมากและละลายได้ในปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไฮโดรเจนที่ละลายปนในน้ำโลหะจะมีผลทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเนื้อโลหะได้มากทั้งในระหว่างการแข็งตัวและหลังการแข็งตัวของน้ำโลหะ ดังนั้นการหลอมโลหะอะลูมิเนียมผสมที่ใช้เปลวไฟให้ความร้อนกับก้อนโลหะและน้ำโลหะโดยตรง จะมีโอกาสเสี่ยงต่อการละลายของก๊าซเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

จะให้ไอน้ำที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาไหม้ น้ำโลหะจะทำปฏิกิริยากับไอน้ำทำให้ไฮโดรเจนแยกตัวออกจากไอน้ำและละลายปะปนในน้ำโลหะ [5]

2.2.2 การหลอมอะลูมิเนียมในงานหล่อโลหะ

อะลูมิเนียมผสมในงานหล่อโลหะโดยมากจะมี Cu, Si, Mg, และ Zn เป็นองค์ประกอบเคมีหลัก ซึ่งหลังจากการอุ่นผนังเตาที่กรุใหม่และเบ้าหลอมอย่างช้าๆ จนร้อนแดงแล้ว เตาหลอมโลหะดังกล่าวพร้อมที่จะทำการบรรจุโลหะที่ต้องการหลอม ในทางปฏิบัติช่วงเริ่มต้นการหลอมสามารถที่จะบรรจุเตาด้วยโลหะที่ไม่ได้ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิเลยลงในเตาการหลอมด้วย Crucible Furnace โลหะที่บรรจุลงในเบ้าไม่ควรจะเบียดกันจนแน่น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโลหะได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัว ซึ่งอาจจะทำให้ตัวเบ้าหลอมเกิดการแตกร้าวได้ นอกจากนี้โลหะที่เบียดอัดกันแน่นในบริเวณส่วนบนของเบ้าจะเลื่อนลงสู่ก้นเบ้า (Bridging) ทำให้น้ำโลหะที่ก้นเบ้ามีระดับอุณหภูมิสูงเกินควร หลังจากที่โลหะเริ่มหลอมละลายและมีน้ำโลหะรวมกันที่ก้นเบ้าแล้ว จะบรรจุโลหะลงในเบ้าเพิ่มขึ้นโดยปล่อยให้โลหะให้ค้างบนก้นโลหะที่ยังไม่หลอมละลาย ทำให้โลหะที่บรรจุลงไปใหม่ถูกอุ่นให้ร้อน ก่อนที่จะจมลงในน้ำโลหะในเบ้า การอุ่นโลหะจัดเป็นสิ่งจำเป็นมาก ทั้งนี้เพราะความร้อนจะทำให้ทั้งไอน้ำและก๊าซที่ละลายปนหรือเกาะติดที่ผิวโลหะหนีออกไป นอกจากนี้การอุ่นโลหะยังทำให้คราบน้ำมันและความชื้นที่เกาะติดผิวโลหะสลายตัวหนีออกไป สารปนเปื้อนเหล่านี้จะเป็นแหล่งกำเนิดของก๊าซไฮโดรเจนที่มีผลทำให้เกิดตำหนิงานหล่อในขณะเกิดการแข็งตัวของน้ำโลหะได้ง่าย [5]

2.2.3 ผลกระทบอุณหภูมิหลอมและระยะเวลาหลอมแช่

ในระหว่างการเตรียมน้ำโลหะสำหรับงานหล่อ สิ่งที่ต้องปฏิบัติพึงจะต้องระวังไว้เสมอคือจะต้องหลีกเลี่ยงการหลอมน้ำโลหะที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมละลายมาก พร้อมทั้งหลีกเลี่ยงการปล่อยแช่ น้ำโลหะที่ระดับอุณหภูมิดังกล่าวเป็นระยะเวลายาวนานเกินความจำเป็น การออกแบบระบบจ่ายน้ำโลหะในโพรงแบบหล่อควรจะออกแบบ เพื่อให้สามารถเทน้ำโลหะด้วยอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่เพียงพอจะทำให้ น้ำโลหะไหลเต็มโพรงแบบหล่อได้เท่านั้น สิ่งเหล่านี้จัดเป็นสิ่งสำคัญมากในงานหล่อโลหะ ทั้งนี้เพราะการหลอมโลหะที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมละลายมาก ๆ เป็นระยะเวลายาวนานมาก ๆ จะทำให้เนื้อโลหะชิ้นงานที่ได้มีเกรนหยาบ เนื้อโลหะจะมีคุณสมบัติทางกลต่ำมาก นอกจากนี้การหลอมโลหะที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ๆ จะมีผลทำให้น้ำโลหะละลายก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศเหนือน้ำโลหะในปริมาณมากขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาตำหนิชิ้นงานหล่อที่เกิดจากก๊าซได้ง่ายขึ้น ในการหลอมโลหะผสมอะลูมิเนียมอุณหภูมิของน้ำโลหะไม่ควรสูงเกินกว่า 760 องศาเซลเซียส ยกเว้นกรณีที่ชิ้นงานบางมาก ๆ หรือเทลงในแบบหล่อที่เป็นโลหะที่ต้องการอุณหภูมิ Superheat ที่ระดับสูงมาก ๆ จึงจะไหลเต็มโพรงแบบได้ อีกสิ่ง

หนึ่งที่อยู่ปฏิบัติควรจะต้องระลึกไว้คือหลังจากการที่ก้อนอะลูมิเนียมหลอมละลายหมดแล้ว อุณหภูมิของน้ำโลหะจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อน้ำโลหะได้ง่าย การใช้เตาหลอมที่มีอุปกรณ์ควบคุมที่ดีจะทำให้สามารถป้องกัน Superheat หรือ Overheat ที่จะเกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี [5]

2.2.4 สิ่งสกปรกที่เจือปนเข้าไปในน้ำโลหะอะลูมิเนียม (Inclusion)

สิ่งสกปรกที่เจือปนเข้าไปในน้ำโลหะอะลูมิเนียม ส่วนมากแล้วจะเป็นแผ่นฟิล์มอะลูมิเนียม เศษวัสดุทนไฟจากผนังเตาหลอมหรือเตาหลอม และสิ่งสกปรกที่ไม่ใช่โลหะปะปนเข้าไปในน้ำโลหะ ซึ่งสิ่งสกปรกเหล่านี้จะทำให้ความสามารถในการไหลตัวของน้ำโลหะอะลูมิเนียมลดลงและยังทำให้คุณภาพของชิ้นงานหล่อโลหะมีคุณสมบัติเชิงกลที่ลดลงอีกด้วย วิธีการป้องกันสามารถทำได้โดย จะต้องทำการดูแลรักษาความสะอาดในเตาหลอมหรือเตาหล่อที่บรรจุน้ำโลหะอะลูมิเนียมไว้อยู่เสมอ หลีกเลี่ยงการป้อนน้ำโลหะหรือการเติมน้ำโลหะไม่ให้มีการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Metal Transfers) ใช้ตัวกรอง (Filter) ในการดักสิ่งสกปรกก่อนน้ำโลหะอะลูมิเนียมจะไหลเข้าสู่แบบหล่อ หลีกเลี่ยงการหลอมน้ำโลหะอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิสูงเกินไป และอาจจะทำการใช้ฟลักซ์ (Flux) ในการกำจัดสิ่งสกปรกที่ปะปนอยู่ในน้ำโลหะอะลูมิเนียม [6]

2.2.5 การปรับปรุงคุณภาพของน้ำอะลูมิเนียมด้วยฟลักซ์

การปรับปรุงคุณภาพของน้ำอะลูมิเนียมด้วยฟลักซ์ (Treatment with Cover and Cleaning Fluxes) ได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการหลอมโลหะอะลูมิเนียม ซึ่งฟลักซ์เป็นสารเคมีที่นำมาผสมกันเพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำอะลูมิเนียมให้ดีขึ้น ในปัจจุบันฟลักซ์มากกว่า 150 ชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมการหลอมโลหะอะลูมิเนียมซึ่งแต่ละชนิดจะมีส่วนผสมทางเคมีที่แตกต่างกันออกไป และผู้ผลิตแต่ละรายก็จะมีการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกันออกไปแต่โดยส่วนใหญ่แล้วส่วนผสมทางเคมีของฟลักซ์จะมีโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เป็นหลัก แล้วจะมีการเติมเกลือหรือสารเคมีชนิดอื่นลงไปอีกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของฟลักซ์หรือเพื่อวัตถุประสงค์ทางเทคนิคอื่น ๆ ซึ่งได้แก่ CaF_2 , NaF , AlF_3 , AlCl_3 , NaAlCl_4 , KAlCl_4 , K_2AlF_6 เป็นต้น ฟลักซ์ส่วนมากในท้องตลาดจะมีการผสมอยู่ในรูปแบบของ NaCl-KCl-AlCl₃-NaF-KF-AlF₃ แต่ในปัจจุบันได้มีการวิเคราะห์และทำการทดลองปรับปรุงประสิทธิภาพของฟลักซ์ให้สามารถใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น แต่ละโรงงานก็อาจจะมีสูตรของฟลักซ์ซึ่งคิดค้นและพัฒนาขึ้นมาเองตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานและในปัจจุบันทางผู้ใช้งานก็สามารถที่จะให้ผู้ผลิตฟลักซ์ทำการผลิตตามสูตรที่ผู้ใช้งานให้ไปได้อีกด้วย ซึ่งฟลักซ์ตัวเดียวอาจทำหน้าที่ได้หลายอย่าง เช่น ทำหน้าที่ทั้งทำความสะอาดน้ำอะลูมิเนียมและทำหน้าที่ในการแยกน้ำอะลูมิเนียมออกจากครอสได้ในขณะเดียวกัน

ฟลักซ์ทำความสะอาดน้ำอะลูมิเนียม (Cleaning Fluxes) ถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำอะลูมิเนียม เช่นอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยฟลักซ์ทำความสะอาดน้ำอะลูมิเนียมนี้จะมีส่วนผสมของโซเดียมฟลูออโรซิลิเกต (Na_2SiF_6) ซึ่งทำหน้าที่กำจัดอะลูมิเนียมออกไซด์ให้แยกตัวออกจากน้ำอะลูมิเนียมได้

อย่างไรก็ตามการเกิดปฏิกิริยาทำความสะอาดนั้นจะขึ้นอยู่กับพลังงานพื้นที่ผิวของน้ำอะลูมิเนียม (Surface Energy) โซเดียมฟลูออโรซิลิเกตจะไปเคลือบตรงบริเวณที่สัมผัสกันของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) กับน้ำอะลูมิเนียมที่ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ซึ่งจะอยู่ตรงกลางของอะลูมิเนียมออกไซด์ ทำให้อะลูมิเนียมออกไซด์หลุดออกจากน้ำอะลูมิเนียมที่ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเนื่องจากกลไกการทำปฏิกิริยาของฟลักซ์ และลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของน้ำอะลูมิเนียม [6]

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083

อะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 เป็นโลหะผสมของอะลูมิเนียมที่มีแมกนีเซียม แมงกานีส และโครเมียมเป็นส่วนผสมสำคัญ จำหน่ายในสภาพที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปเย็นเพื่อให้ความแข็งแรงสูงสุดและอบเสถียรเพื่อช่วยรักษาคุณสมบัติทางกลให้คงที่และเพื่อให้มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ดีเยี่ยม ซึ่งมีคุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics) ดังนี้

- มีน้ำหนักเบากว่าเหล็กมาก ประมาณ 3 เท่า
- มีค่าการนำความร้อนและไฟฟ้าสูงกว่าเหล็ก
- มีความแข็งแรงสูง
- ต้านทานต่อการกัดกร่อนดีเยี่ยม
- ความสามารถในการเชื่อมดีมาก
- ความสามารถในการขึ้นรูปเย็นดีพอใช้
- ความสามารถในการตัดกลึงพอใช้

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะทั่วไปของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 [7]

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	Mg	Mn	Cr	Al.
AA	5083			
ISO	AlMg4.5Mn			
DIN	3.3547 (AlMg4.5Mn)			
สภาพจำหน่าย	ผ่านการขึ้นรูปร้อน และอบเทมเปอร์ (H112) ความแข็งอย่างน้อย 70 HB			

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 [7]

คุณสมบัติ	ค่าเฉลี่ย
ความหนาแน่น / Density (g/cm ³)	2.7
อุณหภูมิหลอมเหลว / Melting range (°C)	590-640
การนำความร้อน ที่ 20°-100°C Thermal Conductivity (W/m·K)	110-120
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนระหว่าง 20°-100°C Coefficient of thermal expansion between 20°-100°C (µm/m·K)	23.8
ค่าการนำไฟฟ้า ที่ 20°C Electrical conductivity (m/Ω·mm ²)	16-18
โมดูลัสของการยืดหยุ่น ที่ 20°C Modulus of elasticity (10 ³ N/mm ²)	71

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 [7]

Thickness (mm)	Y.S. (N/mm ²)	U.T.S. (N/mm ²)	U.S.S. (N/mm ²)	El. (%)	Hard. (HB)
4-6.5	≥ 127	≥ 284	≥ 170	≥ 11	≥ 70
6.5-40	≥ 127	≥ 275	≥ 170	≥ 12	≥ 70
40-80	≥ 118	≥ 275	≥ 170	≥ 12	≥ 70
มาตรฐาน	160	305	185	23	70

การใช้งาน (Applications) อะลูมิเนียม 5083 นิยมใช้ในโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงสูง มีความทนต่อการกัดกร่อนดี และอาจมีการเชื่อมร่วมด้วย เช่นถังบรรจุแก๊สที่ไม่ติดไฟ หรือชิ้นส่วนในยานพาหนะต่างๆ รวมทั้งชิ้นส่วนในงานที่ต้องทนต่ออุณหภูมิต่ำ เป็นต้น ชิ้นส่วนในเครื่องบิน รถยนต์ และเรือ ภาชนะบรรจุทนแรงดันสูง เสาทีวี ชิ้นส่วนในจรวดมิสไซล์ และแผ่นเกราะ ตู้คอนเทนเนอร์

2.4 เตาหลอมที่ใช้ในการหลอมโลหะ

เตาหลอมที่ใช้ในการหลอมโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

2.4.1 เตาที่เปลวไฟสัมผัสโดยตรงกับโลหะ (Direct Fuel Fire Furnace)

เป็นเตาที่เปลวไฟจากการสันดาปสัมผัสโดยตรงกับโลหะในอ่างหลอม (Melting Bath) มีการสูญเสียของธาตุผสมประมาณ 5 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างคือ เตาอน (Reverberatory Furnace) ใช้หลอมโลหะในปริมาณมากส่งถ่ายพลังงานความร้อนโดยการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน มีการแบ่งส่วนของเตาออกเป็น 3 ส่วนประกอบด้วย ส่วนที่ใช้ในการอุ่นเศษโลหะร้อน (Preheat Zone) ส่วนหลอมละลายโลหะ (Melting Zone) ส่วนควบคุมอุณหภูมิเหน้าโลหะ (Holding Zone or Superheat Zone)

2.4.2 เตาที่เปลวไฟไม่สัมผัสโดยตรงกับโลหะ (Indirect Fuel Fire Furnace)

เป็นเตาที่มีภาชนะรูปทรงกระบอกสูง (Crucible) รูปร่างคล้ายกระทะ (Hearth) รูปร่างทรงกระบอกสูง (Shaft) เพื่อใช้บรรจุน้ำโลหะป้องกันก๊าซสันดาปสัมผัสโดยตรงกับน้ำโลหะที่หลอมเหลว เตาแบบนี้สามารถใช้เชื้อเพลิงจากการสันดาปจากถ่าน ไม้ น้ำมัน และก๊าซเชื้อเพลิง สามารถติดตั้งหัวเผาแบบอัตโนมัติ (Automatic Burner) ที่สามารถควบคุมอัตราส่วนการเผาไหม้ และควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ หัวเผาสามารถปิด - เปิดด้วยระบบอัตโนมัติซึ่งทำให้ประหยัดพลังงานได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ เตาแบบนี้มีการสูญเสียของธาตุผสมประมาณ 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ เตาหลอมทำจากวัสดุทนความร้อนต้องมีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง ส่งถ่ายความร้อนดี ทำจากวัสดุกราไฟต์ใช้กับเตาเกลือในงานอบชุบโลหะด้วยความร้อน ทำจากวัสดุดินทนไฟผสมกับกราไฟต์และวัสดุคาร์บอนผสมซิลิคอนคาร์ไบด์ ใช้กับการหลอมอะลูมิเนียมและทองแดงผสม และเข้าโลหะที่ทำจากวัสดุเหล็กหล่อเหนียวเคลือบผิวด้วยวัสดุทนไฟใช้กับการหลอมโลหะแมกนีเซียมผสม แต่ต้องระวังการปนเปื้อนออกไซด์และเหล็กในน้ำโลหะ เตาแบบนี้แบ่งออกได้ 5 ชนิด ประกอบด้วย เตาเข้าแบบยกเข้าหลอมได้ (Lift - Out Furnace) เตาเข้าแบบยกเข้าหลอมไม่ได้ (Bate - Out Furnace) เตาเข้าแบบเอียงเหน้าโลหะได้ (Tilting Furnace) เตาเข้าแบบถ่ายความร้อน (Immersed Crucible Furnace) เตาเข้าแบบหมุน (Rotary Crucible Furnace) การสร้างเตาเข้าหลอมโลหะสำหรับงานหล่อด้วยแม่พิมพ์ (Die Casting) งานหล่อด้วยแบบหล่อถาวร (Permanent Mold) งานหล่อด้วยแบบทราย (Sand Casting) โดยการออกแบบสร้างพัดลมเป่าอากาศ (Combustion Blower) และหัวเผาอยู่ในชุดเดียวกัน มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับ (Flame Safety) อุปกรณ์จุดไฟอัตโนมัติ (Spark Ignition) และอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงอัตโนมัติ (FM Approved Main Gas Valve) มีกลไกการยกฝาปิดเตาด้วยระบบใช้แรงดันอากาศ (Pneumatic)

มีการออกแบบผนังวัสดุทนไฟ 4 ชั้น ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (Neutral Gas) หรือก๊าซโพรเพน (Propane Gas)

2.4.3 เตาที่ใช้พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (Electric Furnace)

เป็นเตาที่ใช้พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้า แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ประกอบด้วย เตาแบบความต้านทานด้วยกระแสไฟฟ้า (Electric Resistance Furnace) ที่มีการออกแบบขดลวดความร้อนทำจากซิลิคอนคาร์ไบด์ซึ่งให้อุณหภูมิได้สูงถึง 1,600 องศาเซลเซียส และขดลวดทำจากโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ (MoSi_2) ให้อุณหภูมิได้สูงประมาณ 1,700 ถึง 1,900 องศาเซลเซียส และ เตาแบบเหนี่ยวนำด้วยกระแสไฟฟ้า (Induction Furnace) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ที่แบ่งออกได้เป็นแบบมีแกนเหนี่ยวนำ (Core Induction Furnace) และแบบไม่มีแกนเหนี่ยวนำ (Coreless Induction Furnace)



ภาพที่ 2.1 เตาที่ใช้พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้า [8]

ซึ่งจะสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ เตาความถี่ต่ำ (Low Frequency) ใช้ความถี่อยู่ที่ 50 เฮิร์ตซ์ เตาความถี่ปานกลาง (Medium Frequency) ใช้ความถี่ 150 ถึง 500 เฮิร์ตซ์ เตาความถี่สูง (High Frequency) ใช้ความถี่ 100 ถึง 10,000 เฮิร์ตซ์ การออกแบบและสร้างเตาหลอมแบบ Induction Skull Melting (ISM) ใช้สำหรับหลอมโลหะไทเทเนียมและเซอร์โคเนียมที่ต้องการความบริสุทธิ์สูงด้วยเตาหลอมโลหะทองแดงที่มีระบบน้ำหล่อเย็นอยู่ในผนังเตา ภายใต้ภาวะสุญญากาศหรือบรรยากาศที่ควบคุมด้วยก๊าซเฉื่อยด้วยขดลวดเหนี่ยวนำไม่มีการใช้วัสดุทนไฟผนังเตาหลอม จึงไม่มีการปนเปื้อนในโลหะหลอม [9]

2.5 การเลือกใช้เตาหลอม

การเลือกเตาหลอมโลหะที่ใช้ในการหลอมโลหะนอกกลุ่มเหล็ก มีข้อพิจารณา คือ การนำไปใช้งานจำนวนโลหะผสม ผลผลิตประจำวันของโลหะผสมแต่ละชนิด ปริมาณงานหล่อที่ใหญ่ที่สุดความต่อเนื่องในการป้อนน้ำโลหะ ขนาดของเตาหลอม และการเลือกเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานความร้อนกับเตาหลอม การเลือกเตาหลอม (Melting Furnace) เตาที่ใช้หลอมอะลูมิเนียมมีหลายแบบ ขึ้นอยู่กับปริมาณของโลหะอะลูมิเนียม เช่น เตาแบบ Crucible, เตากระทะ (Reverberatory) และเตาไฟฟ้า (Electric Furnace)

ถ้าเป็นเตาแบบใช้ถ่านหรือน้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ควรจะเป็นลักษณะที่เปลวความร้อนไม่สัมผัสกับโลหะ (Indirect Fired Furnace) เพราะเปลวไฟจะมีไอน้ำปนอยู่ด้วย จะทำให้ไอน้ำแยกตัวเมื่อสัมผัสกับอะลูมิเนียม ได้แก๊สไฮโดรเจนกับออกซิเจน และเนื่องจากอะลูมิเนียมสามารถละลายแก๊สไฮโดรเจนได้ดี และกลายเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับออกซิเจน ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะต้องป้องกันแก๊สทั้งสองให้มากที่สุด

สำหรับเตาไฟฟ้า ถ้าเป็นแบบกระแสเหนี่ยวนำ (Induction) ไม่ว่าจะเป็ประเภทความถี่ต่ำหรือความถี่สูง จะมีผลทำให้เกิดการกวน (Stirring Effect) ในน้ำโลหะที่กำลังหลอมเหลว ทำให้มีโอกาสละลายแก๊สในอากาศได้มาก

เตาหลอมไฟฟ้าที่ดีที่สุดควรจะเป็นแบบใช้ลวดความต้านทาน (Resistance) เนื่องจากสามารถควบคุมได้ง่ายทั้งการละลายแก๊ส และการเกิดอะลูมิเนียมออกไซด์ เพราะไม่เกิดการกวนน้ำโลหะ

ในการหลอมโลหะจะประกอบด้วยขั้นตอนในการถ่ายเทความร้อนดังนี้

ก) การถ่ายเทความร้อนภายในเตาไปยังพื้นผิวของโลหะ จากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนซึ่งเกิดจากการเผาไหม้

ข) การถ่ายเทความร้อนภายในชิ้นโลหะ โดยการนำความร้อนจากบริเวณพื้นผิวเข้าไปภายใน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการนำความร้อนและค่าความจุความร้อนของโลหะชนิดนั้นๆ และแสดงโดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

เวลาที่ใช้ในการหลอมขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ขนาด และรูปร่างของชิ้นงานในการที่จะทำให้อุณหภูมิที่แกนกลางถึงจุดหลอมเหลว

การหลอมโลหะอะลูมิเนียมผสมขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำโลหะ และจำนวนปริมาตรของอะลูมิเนียมที่จะหลอม มีเตาที่ใช้ในอุตสาหกรรมอยู่ 5 ประเภท คือ เตาเบ้าที่ใช้ น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้เบ้ากราไฟต์หรือเซรามิกชนิดยกเทออกใช้สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เตากระทะโดยใช้เหล็กหล่อหรือเหล็กกล้าพิเศษเป็นเบ้าใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ใช้สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เตา

นอนแบบสะท้อนความร้อนมีทั้งตั้งอยู่กับที่ และเอียงเทได้ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ใช้สำหรับงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และขนาดกลาง เตาไฟฟ้าที่ใช้มี 2 ประเภท คือ แบบใช้ความต้านทานด้วยไฟฟ้าเป็นเตาที่ดีที่สุดในการหลอมอะลูมิเนียม เพราะง่ายต่อการควบคุมการละลายก๊าซ และซีโลหะ ส่วนเตาแบบเหนี่ยวนำด้วยไฟฟ้าแบบช่อง (Channel) จะทำให้เกิดการกวนน้ำโลหะทำให้เกิดการละลายก๊าซในน้ำโลหะ ใช้สำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลาง [10]

2.6 การตรวจวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่ใช้ในกระบวนการหล่ออะลูมิเนียม

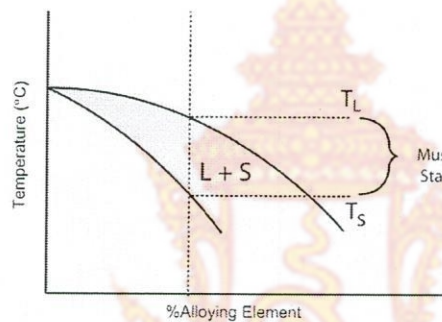
วัตถุดิบและวัสดุต่างๆ ที่นำมาใช้ในการเตรียมอะลูมิเนียมหลอมเหลวไม่ว่าจะเป็นอินกอต อะลูมิเนียม เศษอะลูมิเนียมประเภทต่างๆ ธาตุผสมในรูปของโลหะบริสุทธิ์หรือมาสเตอร์อัลลอย ตลอดจนฟลักซ์ต่างๆ อาจมีความแปรปรวนจากหลายสาเหตุ อาทิ การซื้อวัตถุดิบจากผู้ผลิตที่หลากหลาย ซึ่งอาจมีทั้งแหล่งที่มีการควบคุมการผลิตที่ดีและแหล่งผลิตที่คุณภาพมีความแปรปรวนสูง และในทางปฏิบัติแล้วยังมีการใช้สัดส่วนของวัตถุดิบแต่ละประเภทที่แตกต่างกันออกไป การใช้เศษโลหะในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมอาจมีผลทำให้อะลูมิเนียมหลอมเหลวที่ได้มีการปนเปื้อน และอาจจะมีการสูญเสียธาตุบางตัวในขณะที่ทำการหลอมหรืออุ่นรอเท ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุต่างๆ ในอะลูมิเนียมหลอมเหลวที่เตรียมขึ้นเพื่อให้มั่นใจได้ว่ามีค่าส่วนผสมทางเคมีถูกต้องตามเกรดมาตรฐานที่กำหนดไว้

เทคนิคพื้นฐานที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่ใช้ในกระบวนการหล่ออะลูมิเนียม คือ สเปกโตรสโกปี สเปกโตรสโกปี (Spark Emission Spectroscopy) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถตรวจวัดธาตุต่างๆ จากตัวอย่างงานโลหะในสภาพของแข็งได้ โดยปกติแล้วปริมาณของธาตุที่สามารถถูกตรวจวัดด้วยวิธีดังกล่าวได้จะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนัก ในกรณีที่ต้องการตรวจหาธาตุปนเปื้อนบางตัวที่มีสัดส่วนต่ำกว่าขีดความสามารถของเทคนิคสเปกโตรสโกปี สเปกโตรสโกปี จะต้องใช้เทคนิคอื่นที่มีความละเอียดในการตรวจวัดสูงกว่า เช่น เอกซ์-เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ เป็นต้น [11]

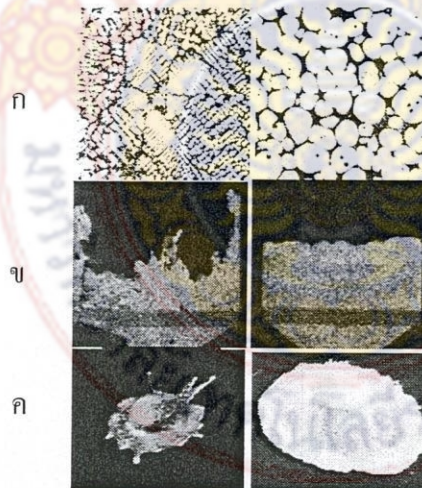
2.7 การหล่อโลหะแบบกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Metal Casting)

การหล่อโลหะแบบกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Metal Casting) จากในอดีตที่มีการค้นพบเป็นครั้งแรกในช่วงต้นปี 1970 โดย Spencer และ Flemings ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งรัฐแมสซาชูเซตส์ (Massachusetts Institute of Technology, MIT) จนถึงปัจจุบันก็ได้มีการวิจัยและพัฒนากันมาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา โดยการหล่อโลหะแบบกึ่งของแข็งนี้เป็นการขึ้นรูปโลหะด้วยการหล่อในขณะที่โลหะอยู่ในสถานะกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Mushy State) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งโลหะจะมีการแข็งตัว

เป็นบางส่วน โดยโลหะส่วนที่แข็งตัวแล้วจะมีโครงสร้างเกรนไม่เป็นแบบเดนไดรต์ (Non-Dendritic Grain) หรือบางที่เรียกว่าเกรนแบบก้อนกลม (Spheroidal หรือ Globular Grain) ดังภาพที่ 2.3-ก (รูปขวา) ซึ่งเกรนก้อนกลมที่ลอยอยู่ในน้ำโลหะนี้จะทำให้โลหะกึ่งของแข็ง มีความหนืดมากกว่าน้ำโลหะทั่วไปหลายเท่า ทำให้การไหลเข้าแม่พิมพ์ไม่เป็นแบบปั่นป่วน (Non-Turbulent หรือ Laminar Flow) ภาพที่ 2.3-ข แสดงการไหลเปรียบเทียบระหว่างน้ำโลหะทั่วไป (รูปซ้าย) และโลหะกึ่งของแข็ง (รูปขวา) และภาพที่ 2.3-ค เปรียบเทียบการไหลของน้ำโลหะทั่วไปที่มีโครงสร้างเกรนแบบเดนไดรต์ (รูปซ้าย) กับโลหะในสถานะกึ่งแข็งกึ่งเหลวที่มีโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลม (รูปขวา) ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าโลหะกึ่งของแข็งมีการไหลที่ราบเรียบกว่ามาก [4]



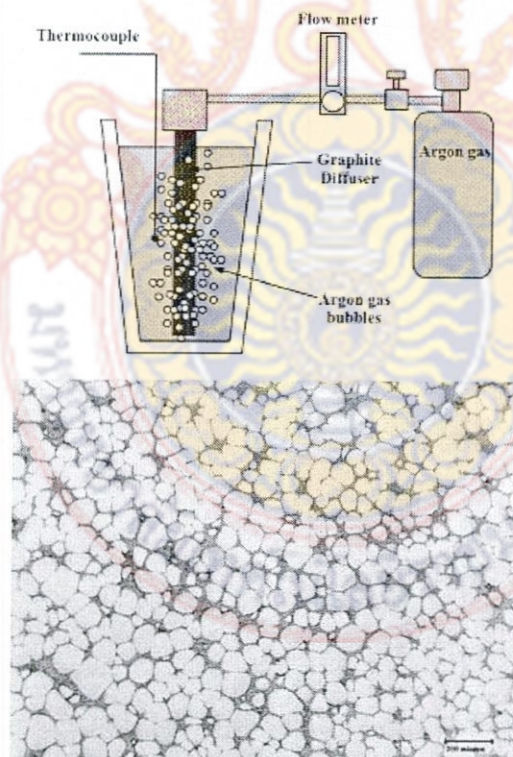
ภาพที่ 2.2 แผนภาพสมดุลภาคแสดงช่วงอุณหภูมิของโลหะที่อยู่ในสถานะกึ่งของแข็ง [5]



ภาพที่ 2.3 เปรียบเทียบ โครงสร้างและการไหลของการหล่อน้ำโลหะ กับโลหะกึ่งของแข็ง [4]

2.8 การผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยกระบวนการ GISS (Gas Induced Semi-Solid Process)

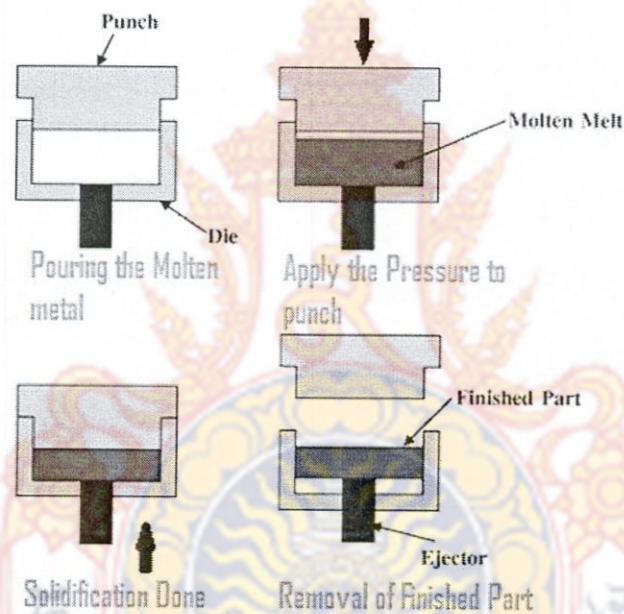
ปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตโลหะกึ่งของแข็งแบบใหม่ขึ้นในประเทศไทย นำโดย รศ.ดร. เจษฎา วรรณสินธุ์ อาจารย์และนักวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องแม่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยมีที่ปรึกษาจากสหรัฐอเมริกาหลายคน รวมทั้ง Prof. Merton Flemings จาก MIT กำลังวิจัยและพัฒนากรรมวิธี Rheocasting แบบใหม่ ภายใต้การสนับสนุนของโครงการสมองไหลกลับ สวทช. ซึ่งได้ยื่นจดสิทธิบัตรในประเทศไทยและในต่างประเทศแล้ว โดยกระบวนการนี้จะใช้การฟุ้งฟองแก๊สเฉื่อย เช่น แก๊สอาร์กอนหรือไนโตรเจน ผ่านแท่งกราไฟต์พรมในปริมาณที่น้อยมากให้ไหลลงไปในน้ำโลหะเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็ง โดยใช้หลักการการเคลื่อนย้ายของน้ำโลหะและการดูดความร้อนเฉพาะจุด ซึ่งวิธีการนี้ฟองแก๊สจะเป็นตัวกลางในการกวนและแท่งกราไฟต์พรมจะเป็นตัวดูดระบายความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 2.4 และเรียกกรรมวิธีแบบใหม่นี้ว่ากระบวนการ Gas Induced Semi-Solid (GISS Process) ซึ่งผลจากการวิจัยและพัฒนากระบวนการที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าเทคนิคนี้สามารถผลิตโลหะกึ่งของแข็งที่มีโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลมได้ [6]



ภาพที่ 2.4 กระบวนการ Gas Induced Semi-Solid และ โครงสร้างเกรนแบบก้อนกลมที่ผลิตได้ [6]

2.9 กระบวนการหล่อแบบอัด (Squeeze Casting Process)

กระบวนการหล่อแบบอัดเป็นการขึ้นรูปโลหะหลอมเหลวด้วยแรงดัน โดยแม่พิมพ์ตัวบน (Punch) จะเคลื่อนที่ลงมาอัดน้ำโลหะที่อยู่ในแม่พิมพ์ตัวล่าง (Die) แรงดันที่เกิดขึ้นช่วยกำจัดแก๊สหรือฟองอากาศภายในโลหะหลอมเหลว และภายใต้ความดันสูงที่สัมผัสกับแม่พิมพ์ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดีและเป็นไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ชิ้นงานหล่อมีโครงสร้างที่มีความละเอียด มีสมบัติทางกลที่ดี และกระบวนการนี้สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความซับซ้อน มีความเที่ยงตรงแม่นยำสูงในเรื่องของขนาดชิ้นงาน ได้ชิ้นงานที่มีผิวเรียบสวยงาม และสามารถขึ้นรูปได้ทั้งโลหะกลุ่มเหล็กและโลหะนอกกลุ่มเหล็ก ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงกระบวนการหล่อแบบอัด (Squeeze Casting Process) [7]

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shang-Nan Chou และคณะ (2007) ทำการศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบระหว่างโลหะอะลูมิเนียมผสมกับอะลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งผลิตด้วยการหล่อแบบอัด (Squeeze Casting) โดยเริ่มต้นจากการผลิตอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีรูพรุนด้วยวิธีการอัดให้เป็นก้อนแล้วเผาอบในสภาวะอากาศปกติที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำอะลูมิเนียมหลอมเหลวเกรด A356, 6061 และ 1050 ที่มีปริมาณแตกต่างกันในช่วง 10 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ไปใช้ในการแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนของอะลูมิเนียมออกไซด์ เพื่อผลิตเป็นวัสดุเชิงประกอบด้วยการหล่อแบบอัด ระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เป็นส่วนเสริมแรงกับโลหะ

อะลูมิเนียมผสมที่แตกต่างกัน 3 ชนิดเป็นเนื้อหลัก ผลที่ได้เมื่อนำวัสดุเชิงประกอบดังกล่าวไปทดสอบความแข็งแรงดัดแบบ 4 จุด (Four-Point Bending Strength) ค่าที่ได้เปลี่ยนแปลงไปจาก 397 เมกกะปาสกาล เป็น 443, 435.1 และ 418.7 เมกกะปาสกาล ค่าความแข็งลดลงจาก 610 HV เป็น 213, 201 และ 153 HV และค่าความแข็งแรงต่อการแตกหักเพิ่มขึ้นจาก 4.97 เมกกะปาสกาลต่อตารางเมตร เป็น 11.35, 11.15 และ 10.98 เมกกะปาสกาลต่อตารางเมตร ตามลำดับของอะลูมิเนียมที่ใช้เป็นเนื้อพื้น และจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค พบว่าอัตราส่วนรูพรุนและความหนาแน่นของวัสดุเชิงประกอบเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีผลต่อสมบัติทางกล [8]

มงคล แก้วนพรัตน์ (2555) ศึกษาการลดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จากอะลูมิเนียมหล่อโดยใช้โปรแกรมจำลองงานหล่อขึ้นรูป โดยได้ทำการศึกษาสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อโลหะผสมอะลูมิเนียม กรณีเกิดการรั่วบริเวณใต้รูเกลียว (Tap M6) ของชิ้นส่วนยานยนต์ Pipe inlet ที่ผลิตด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปแรงดันต่ำและเพื่อหาแนวทางลดจำนวนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่อง ด้วยการวิเคราะห์ทางโลหวิทยาและการใช้ซอฟต์แวร์จำลองกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งมีสถานะการหล่อขึ้นรูปดังนี้ คือ อลูมิเนียมเทน้ำโลหะที่ 760 องศาเซลเซียส อลูมิเนียมแม่พิมพ์โลหะที่ 350 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องจากแผนภูมิแก๊งปลาและตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าปัจจัยหลักที่อาจเป็นสาเหตุของการเกิดรูพรุน ได้แก่ อลูมิเนียมแม่พิมพ์โลหะ อลูมิเนียมเทน้ำโลหะ และการออกแบบแม่พิมพ์โลหะ ทั้งนี้จึงสร้างแบบจำลองโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสถานะการหล่อดังนี้คือ 1) อลูมิเนียมแม่พิมพ์โลหะที่ 300 350 400 450 และ 480 องศาเซลเซียส 2) อลูมิเนียมเทน้ำโลหะที่ 680 720 730 740 และ 780 องศาเซลเซียส และ 3) แก๊งแม่พิมพ์โลหะโดยการเพิ่มทางเดินน้ำโลหะที่มีขนาดพื้นที่ หน้าตัด 10×10 15×15 และ 20×20 ตารางมิลลิเมตร จากผลการจำลองพบว่าเมื่อทางเดินน้ำโลหะมีขนาดเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณรูพรุนในชิ้นงานลดลง แต่การที่แม่พิมพ์โลหะมี ทางเดินน้ำโลหะขนาดใหญ่เกินไปก็จะสูญเสียวัตถุดิบในการผลิตมากเกินไป ดังนั้นจึงเลือกทำการแก้ไขแม่พิมพ์โลหะให้มีทางเดินน้ำโลหะขนาด 15X15 ตารางมิลลิเมตร โดยไม่เปลี่ยนแปลงอลูมิเนียมเทน้ำโลหะ และอลูมิเนียม ของแม่พิมพ์โลหะ จากนั้นทำการหล่อขึ้นส่วน Pipe inlet จำนวน 188 ชิ้น ผลการตรวจสอบจำนวนชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องจากขั้นตอนทดสอบการรั่ว เปรียบเทียบชิ้นงานหล่อก่อนและหลังการแก้ไขแม่พิมพ์โลหะ ร่วมกับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และการวิเคราะห์ปริมาณรูพรุนด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ พบว่าเมื่อทำการแก้ไขแม่พิมพ์โลหะ จำนวนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องลดลงจากร้อยละ 4.92 เหลือร้อยละ 0.53 ส่วนรูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานหลังจากแก้ไขแม่พิมพ์โลหะก็มีขนาดเล็กและมีจำนวนลดลง [9]

นพพล เหลืองอักษร และคณะ (2555) ศึกษาสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อกึ่งของแข็งและผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 โดยในการทดลองได้อบละลายที่อุณหภูมิ 540°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตามด้วยการชุบน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้อุณหภูมิในการบ่มแข็ง 3 ช่วงอุณหภูมิ คือ 160 180 และ 200 °C และเวลาในการบ่มแข็ง 4 ช่วงเวลาคือ 4 6 8 และ 10 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การบ่มแข็งที่เงื่อนไขอุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดคือ 66.2 ± 1.26 HRB และ 335.60 ± 40.46 MPa ตามลำดับ และมี โครงสร้างจุลภาคเป็นเกรนแบบก้อนกลม อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่าสมบัติทางกล ทั้งค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงดึงมาเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075 ที่ขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบของเหลวคั้งเดิม (Liquid Casting Process) พบว่าอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อกึ่งของแข็งและผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 มีค่าใกล้เคียงกัน รวมถึงมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า [10]

ทศพร เงินเนตร และพิบูลย์ เครือคำอ้าย (2555) ศึกษาการขึ้นรูปโลหะในสภาพกึ่งของแข็งซึ่งเป็นเทคโนโลยีการผลิตใหม่ทำให้ชิ้นส่วนมีคุณสมบัติเชิงกลที่สูงได้รูปร่างและขนาดใกล้เคียงกับแบบที่ต้องการและสามารถขึ้นรูปโลหะผสมได้ทุกกลุ่ม โดยงานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบกระบวนการหล่อที่มีผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงกลของโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด AA6061 โดยทำการหล่อด้วยแบบหล่อทราย การหล่อกดอัดและขึ้นรูปโลหะในสภาพกึ่งของแข็งด้วยกระบวนการหล่อ Rheocasting แล้วบ่มแข็งเทียม แล้วนำไปศึกษาโครงสร้างจุลภาคและทดสอบแรงดึง ผลการทดลองพบว่าโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด AA6061 ที่หล่อด้วยกระบวนการ Rheocasting มีขนาดเกรนเล็กและความต้านทานแรงดึงสูงสุดสูงกว่า [11]

Shulin Lu และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาการผลิตโลหะกึ่งของแข็งของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ด้วยการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการสั่นสะเทือนทางอ้อม (Indirect Ultrasonic Vibration, IUV Process) เพื่อทำให้โลหะหลอมเหลวที่บรรจุอยู่ในเบ้าหลอมเกิดการสั่นสะเทือนและเปลี่ยนสภาพเป็นโลหะกึ่งของแข็ง ผลจากการวิจัยชี้ให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวนี้สามารถทำให้อะลูมิเนียมหลอมเหลวกลายเป็นอะลูมิเนียมกึ่งของแข็งได้ด้วยการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการสั่นสะเทือนทางอ้อมเป็นเวลา 50 วินาที ทำให้อะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 เกิดโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลมที่มีขนาดเล็ก 60 ไมครอน และมีค่าความกลมอยู่ที่ 0.54 ส่วนความแข็งแรงและการยึดตัวของตัวอย่างที่ได้จากการใช้วิธี IUV ร่วมกับการหล่อแบบรีโอคาสติง (Rheocasting) อยู่ที่ 283 MPa และ 9% ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้น 11.4% และ 32.4% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการหล่อแบบน้ำโลหะในแม่พิมพ์ฉีดทั่วไป [12]

Shi-bo BIN และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรทางเทคนิคที่มีต่อความแข็งแรงและความเหนียวของโลหะอะลูมิเนียม AISi9Cu3 ในการหล่อแบบอัด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปที่มากกว่า 65 MPa ความแข็งแรงของโลหะดังกล่าวลดลงเมื่อใช้ความดันในการขึ้นรูปและอุณหภูมิในการเทน้ำโลหะที่สูงขึ้น ในขณะที่ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นทำได้โดยการเพิ่มความเร็วในการเติมเต็มน้ำโลหะในแม่พิมพ์และอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่สูงขึ้น ส่วนความเหนียวของโลหะดังกล่าวปรับปรุงได้โดยการเพิ่มความดันในการขึ้นรูปพร้อมกับความเร็วในการเติมเต็มน้ำโลหะในแม่พิมพ์ แต่ความเหนียวจะลดลงเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิเทน้ำโลหะ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรทางเทคนิคที่ใช้ในการขึ้นรูปของอะลูมิเนียมดังกล่าว พบว่าอุณหภูมิเทน้ำโลหะอยู่ที่ 730°C ความดันในการหล่อขึ้นรูปอยู่ที่ 75 MPa ความเร็วในการเติมเต็มน้ำโลหะในแม่พิมพ์อยู่ที่ 0.5 m/s และอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ใช้อยู่ที่ 220°C ทำให้ความแข็งแรงดึง การยืดตัว และความแข็งของโลหะดังกล่าวที่ได้จากการหล่อแบบอัดเพิ่มสูงขึ้น 16.7% 9.1% และ 10.1% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับหล่อเทในแบบหล่อทรายทั่วไป [13]

Najib Souissi และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการทาทุชิในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ความแข็ง และตัวแปรในกระบวนการผลิตในการหล่ออัดอะลูมิเนียมผสมเกรด 2017 ซึ่งผลกระทบของการปรับเปลี่ยนตัวแปรในการหล่อ ได้แก่ ความดัน อุณหภูมิหลอมของโลหะ และอุณหภูมิของแม่พิมพ์ถูกศึกษาโดยใช้วิธีการทาทุชิ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความดันในการหล่ออัดมีผลกระทบโดยตรงต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสม 2017 อย่างมีนัยสำคัญ [14]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และรายละเอียดของแต่ละกิจกรรมได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้

3.1.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็งของโลหะอะลูมิเนียมผสมจากเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย

ว ๖๖๑.๗๓๒๒
 ๕ ๑๙๖
 ๒๕๕๙



ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอน และกิจกรรมการดำเนินงานวิจัย

3.1.2 จัดหาวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

3.1.3 ทำการหลอมอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 และทำการผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยการพ่นฟองแก๊สขณะแข็งตัว ภายใต้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน คือ 5, 10, 15 และ 20 วินาที

3.1.4 ทำการเทหล่ออะลูมิเนียมกึ่งของแข็งที่ได้ลงไปแม่พิมพ์เพื่อทำการหล่ออัดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยแรงดัน

3.1.5 เตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์และทำการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

3.1.6 ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็ง และที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อแบบน้ำโลหะทั่วไป

3.2 สถานที่ทำการวิจัย

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
เลขที่ 1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000

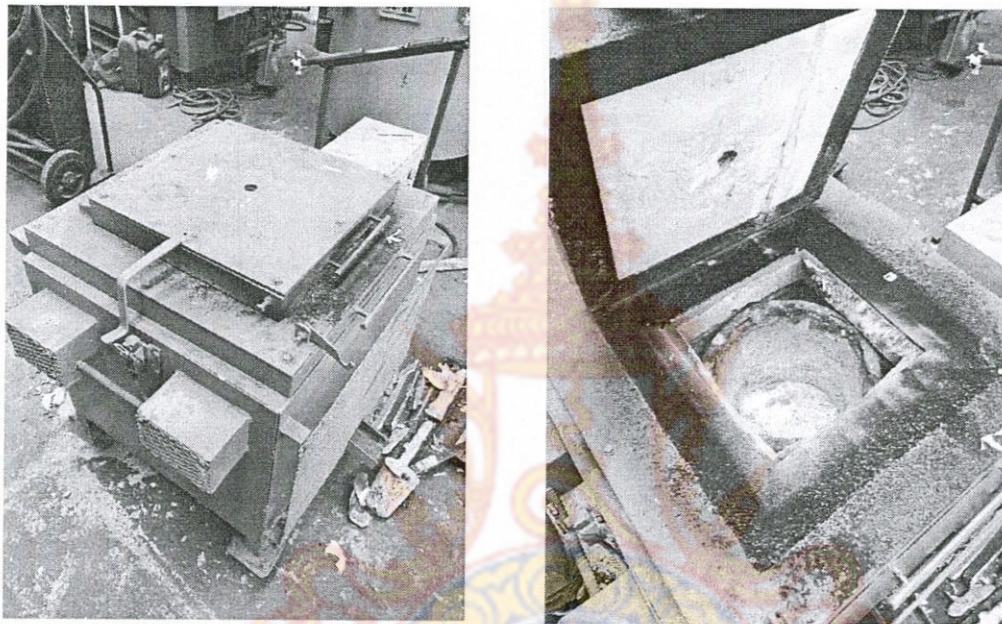
ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

3.3 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ใช้เวลาในการทำวิจัย 12 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2558 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2559 ดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.4 การหล่ออัดแบบกึ่งของแข็งของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083

3.4.1 ขั้นตอนการหลอมอะลูมิเนียมผสม เกรด 5083 เริ่มจากทำการหลอมโลหะอะลูมิเนียมผสม เกรด 5083 โดยการบรรจุลงไปในเบ้าหลอมโลหะชนิด Cray Graphite แล้วทำการหลอมด้วยเตา หลอมโลหะแบบไฟฟ้าชนิดขดลวดความต้านทาน ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ดังในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ทำการหลอม โลหะอะลูมิเนียมผสม เกรด 5083

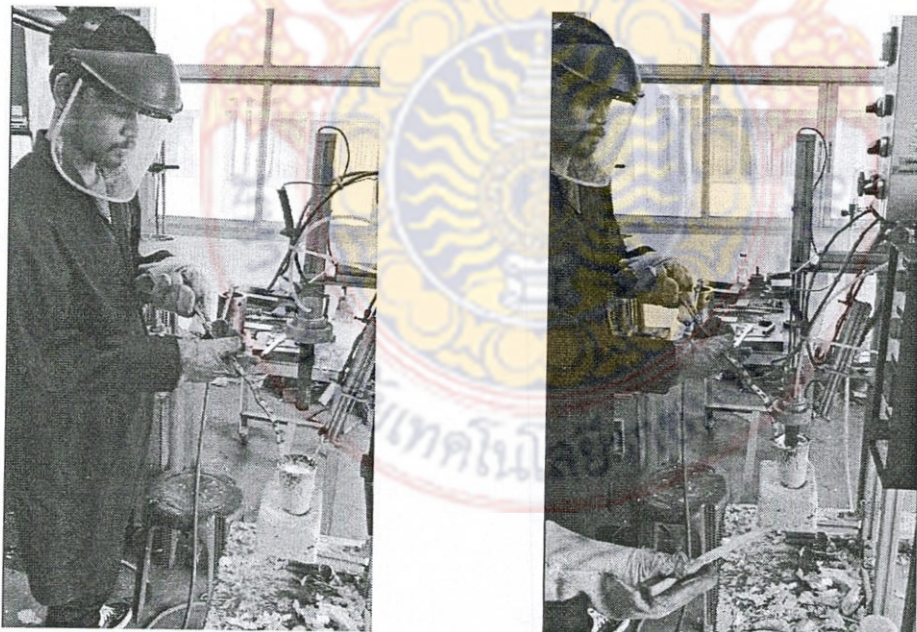
3.4.2 ขั้นตอนการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็งทำการผลิต ชิ้นงานหล่อด้วยการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็ง เริ่มจากใช้เบ้า Stainless ที่พ่นเคลือบด้วยโบรอนไน ไตรท์ (Boron Nitride) ตักน้ำโลหะอะลูมิเนียมที่หลอมเหลวในปริมาณ 700 กรัม (250 ลูกบาศก์ เซนติเมตร) จากเตาหลอม ดังแสดงในภาพที่ 3.3

จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการสร้างโลหะกึ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีการพ่นฟองแก๊ส (Gas Induced Semi-Solid, GISS) โดยเริ่มแรกน้ำโลหะที่ตักออกมาจากเตาจะมีอุณหภูมิประมาณ 680 องศา เซลเซียส ต่อมาน้ำโลหะนี้จะเย็นตัวลงอย่างช้าๆ เมื่ออุณหภูมิลดลงมาอยู่ที่ 642 องศาเซลเซียส แท่ง กราไฟต์ก็จะถูกจุ่มลงไปใต้น้ำโลหะอย่างรวดเร็วและปล่อยแก๊สไนโตรเจนฟองเล็กๆ ออกมาด้วย

อัตรา 9 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 5 วินาที จะได้โลหะกิ่งของแข็งของโลหะผสมอะลูมิเนียมผสม เกรด 5083 ดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.3 ตักน้ำโลหะอะลูมิเนียมที่หลอมเหลวจากเตาหลอม



ภาพที่ 3.4 กระบวนการสร้างโลหะกิ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีการพ่นฟองแก๊ส

(Gas Induced Semi-Solid, GISS)

จากนั้นนำโลหะกึ่งของแข็งที่เตรียมได้มาเทลงไปในแม่พิมพ์ที่มีการอุ่นแม่พิมพ์ให้ร้อนที่อุณหภูมิของแม่พิมพ์ 270 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 3.5 แล้วทำการอัดโลหะกึ่งของแข็งด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Press) โดยใช้แรงในการกดอัดประมาณ 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แล้วจึงนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และทำการตกแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อย ดังแสดงในภาพที่ 3.6 เมื่อได้ชิ้นงานอะลูมิเนียมกึ่งของแข็งที่ผ่านการพ่นพองแก๊สขณะแข็งตัวภายใต้ระยะเวลาที่ 5 วินาที ตามจำนวนที่กำหนดแล้ว จึงทำการเปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการพ่นพองแก๊สเพิ่มขณะแข็งตัวภายใต้ระยะเวลาที่ 10 15 และ 20 วินาที ตามลำดับต่อไป



ภาพที่ 3.5 นำอะลูมิเนียมหลอมเหลวจากเตาหลอมมาเทหล่อลงในแม่พิมพ์

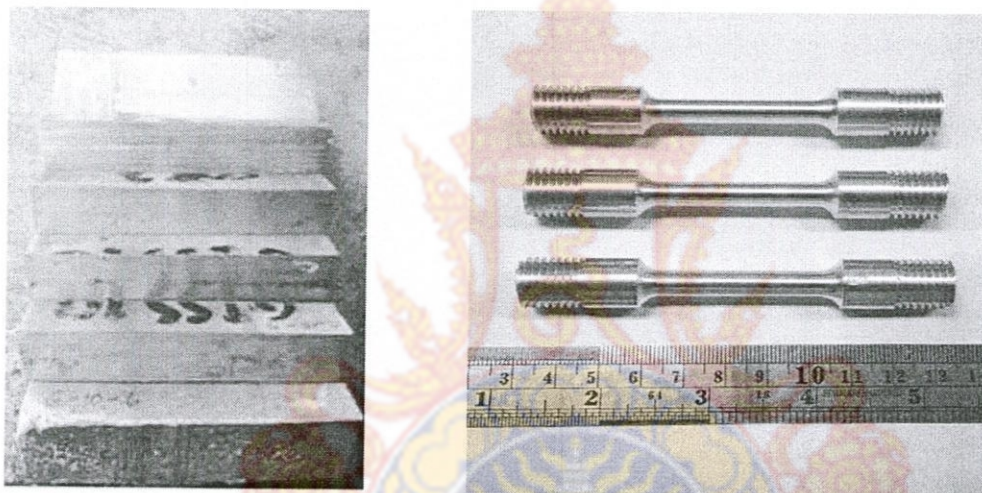


ภาพที่ 3.6 ชิ้นงานอะลูมิเนียมผสม เกรด 5083 ที่ได้จากการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็ง

นำชิ้นงานอะลูมิเนียมผสม เกรด 5083 ที่ผลิตได้ไปเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อทดสอบสมบัติทางกล และตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคต่อไป

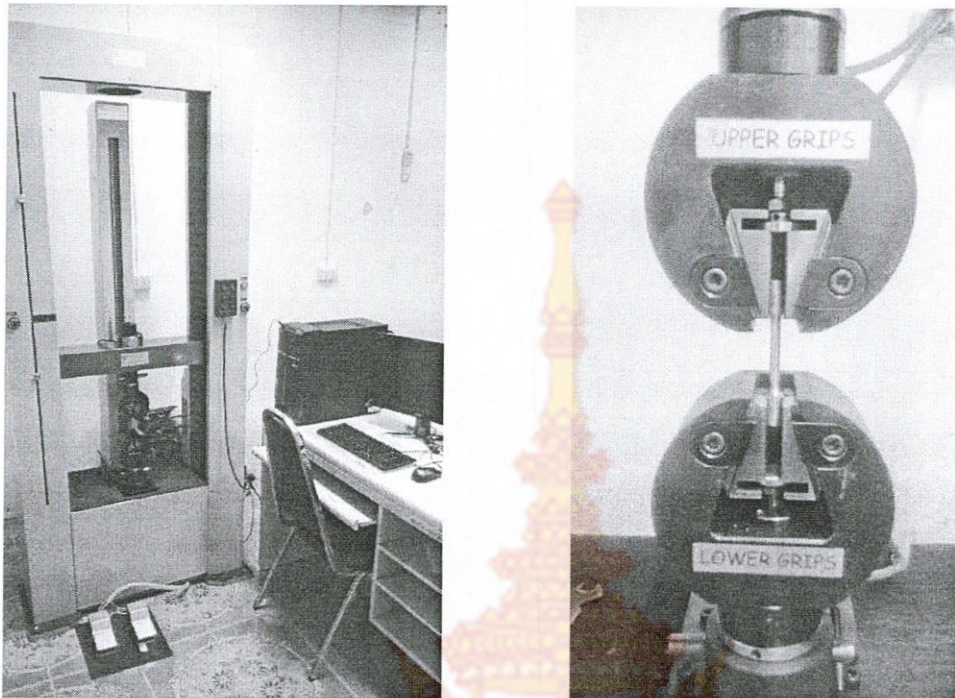
3.5 การทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

3.5.1) นำชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นมัตต์แบ่งเป็น 6 ชิ้น โคนการใช้เครื่องเลื่อยออโตมาตร์ รุ่น อี 250 (Automa Model E 250) แล้วจึงนำชิ้นงานมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบแรงดึง ด้วยการกลึงชิ้นงานให้ได้ตามขนาดที่กำหนดสำหรับการทดสอบแรงดึง ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อ

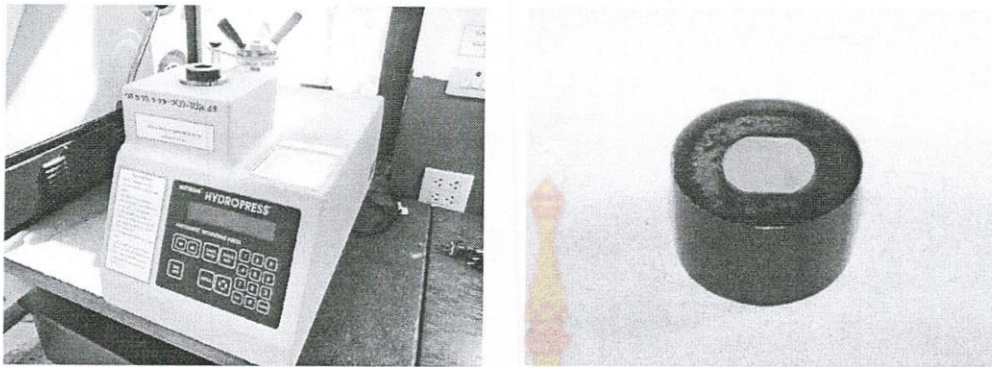
3.5.2) ทำการตั้งค่าเครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) เพื่อทำการทดสอบแรงดึง จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติทางกล โดยเครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ดังภาพที่ 3.8 แล้วจึงบันทึกผลการทดสอบเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป



ภาพที่ 3.8 เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) และการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อ

3.6 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.6.1) เลือกบริเวณที่จะตรวจสอบ โครงสร้างของชิ้นงานหล่อ และเลือกตัดชิ้นงานในตำแหน่งดังกล่าวที่เราต้องการพิจารณา ดูโครงสร้างจุลภาค โดยเลือกตัดเอาบางส่วนของชิ้นงานมาขัดก็ได้ โดยทำการอัดตัวอย่างชิ้นงานก่อนทำการขัด ด้วยการอัดตัวอย่างชิ้นงานแบบร้อน (Hot mounting) ซึ่งการอัดตัวอย่างชิ้นงานแบบร้อนจะทำได้โดยนำตัวอย่างชิ้นงานใส่ลงไปเครื่องอัดชิ้นงานตัวอย่าง (Thermo Press) จากนั้นทำการอัดผงเรซินเบเคอไลต์ (Bakelite) ลงไปในแบบอัดแล้วใช้ความร้อนและความดันเพื่อให้ผงเรซินเบเคอไลต์ มีการแข็งตัวติดกับตัวอย่างชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.9



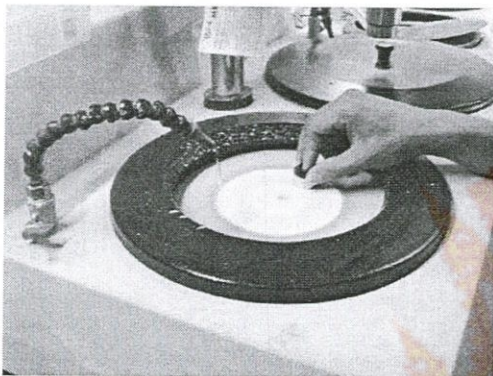
ภาพที่ 3.9 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค

3.6.2) เมื่อตัวอย่างชิ้นงานถูกตัดหรือถูกอัดมาแล้ว จำเป็นต้องทำการลบรอยตัดที่เกิดจากใบเลื่อย และทำให้ผิวตัวอย่างชิ้นงานเรียบขึ้นโดยการขัดหยาบตัวอย่างชิ้นงาน (Sample grinding) ซึ่งเริ่มต้นการขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบ 320 Grit และทำการขัดตัวอย่างชิ้นงานไปในทิศทางเดียวกัน จนกระทั่งรอยขีดข่วนและรอยขีดหมดไป จึงทำการหมุนตัวอย่างชิ้นงานไป 90 องศา และขัดตัวอย่างชิ้นงานอีกครั้งจนกระทั่งรอยขีดเดิมที่มีอยู่หมดไป จากนั้นทำซ้ำในขั้นตอนดังกล่าวไปเรื่อยๆ โดยเพิ่มความละเอียดของกระดาษทรายจนกระทั่งถึงเบอร์ 600-1200 Grit ดังแสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 การขัดหยาบตัวอย่างชิ้นงาน (Sample grinding) (ก) กระดาษทรายเบอร์หยาบ
(ข) การขัดตัวอย่างชิ้นงาน

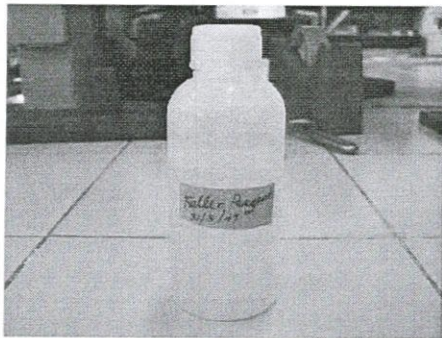
3.6.3) จากนั้นตัวอย่างชิ้นงานจำเป็นต้องขัดผิวให้ละเอียดจนใสเหมือนกระจกและไม่มีรอยขีดข่วนปรากฏอยู่ โดยเริ่มต้นการขัดละเอียดด้วยผ้าหยาบ (Cloth pad) ร่วมกับผงขัดอะลูมินา (Aluminum oxide powder) ขนาด 5 ไมครอน ขยับชิ้นงานไป-มาซ้ายขวาบนผิวของจานขัดหรือเคลื่อนชิ้นงานไปรอบๆ จานขัดในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับการหมุนของจานขัด เมื่อรอยขัดจากกระดาษทรายหมดไปแล้วจึงทำการใช้ผงขัดอะลูมินาขนาด 1, 0.3 และ 0.05 ไมครอนตามลำดับอีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 การขัดละเอียดตัวอย่างชิ้นงาน (Sample polishing) ด้วยผ้าหยาบ (Cloth pad) ร่วมกับผงขัดอะลูมินา (Aluminum oxide powder) ขนาด 5 ไมครอน

3.6.4) ทำการกัดผิวหน้าของชิ้นงานด้วย Keller' s reagent โดยใช้สำลีจุ่มลงใน Keller' s reagent แล้วนำมาเช็ดผิวหน้าของชิ้นงาน เป็นเวลาประมาณ 30 วินาที จากนั้นจึงนำชิ้นงานมาล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วเป่าให้แห้งด้วยไดท์เป่าผม ดังแสดงในภาพที่ 3.12

3.6.5) นำตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการขัดและกัดกรดมาแล้ว มาส่องดูโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ ดังแสดงในภาพที่ 3.13 แล้วถ่ายรูปเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองต่อไป



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.12 (ก) แสดงกรดที่ใช้ในการกัดผิวหน้าของชิ้นงาน (Keller' s reagent)

(ข) เป่าตัวอย่างชิ้นงานให้แห้งด้วยไดท์เป่าผม



ภาพที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบ โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานหล่อ

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

4.1 ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

จากการนำโลหะผสมอะลูมิเนียมเกรด 5083 ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ส่งวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี เพื่อตรวจสอบปริมาณธาตุแต่ละชนิดที่เจือปนอยู่ และจากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของตัวอย่างชิ้นงานดังกล่าว ด้วยเครื่อง Spectrometer แสดงในภาพที่ 4.1 พบว่าโลหะผสมอะลูมิเนียมเกรด 5083 ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีส่วนผสมทางเคมี แสดงในตาราง 4.1



ภาพที่ 4.1 ชิ้นงานตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

ตาราง 4.1 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสมอะลูมิเนียมเกรด 5083 ที่ได้จากการตรวจสอบ

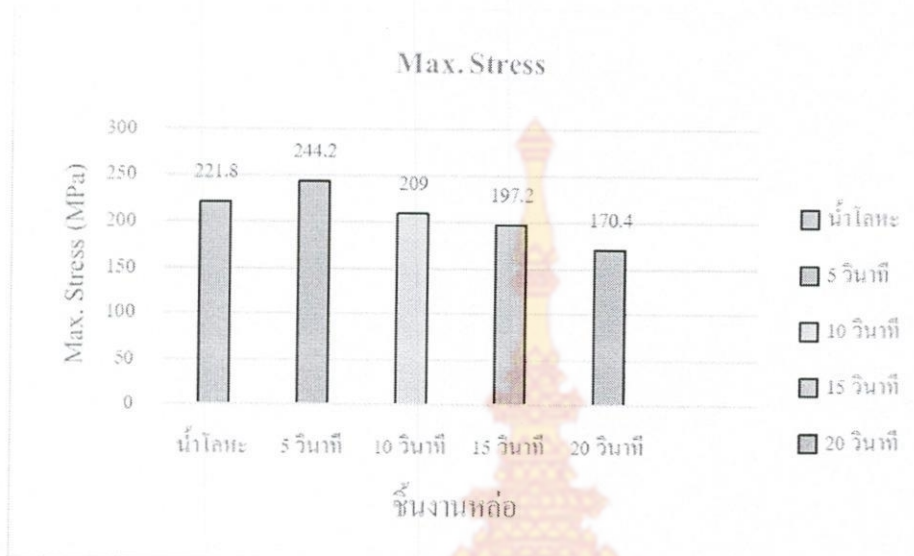
โลหะผสม	ส่วนผสมทางเคมี (%)								
	Si	Fe	Cu	Ti	Mg	Mn	Cr	Zn	Al
อะลูมิเนียมเกรด 5083	0.12	0.27	0.04	0.01	4.13	0.58	0.1	0.04	Bal.

4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกลด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

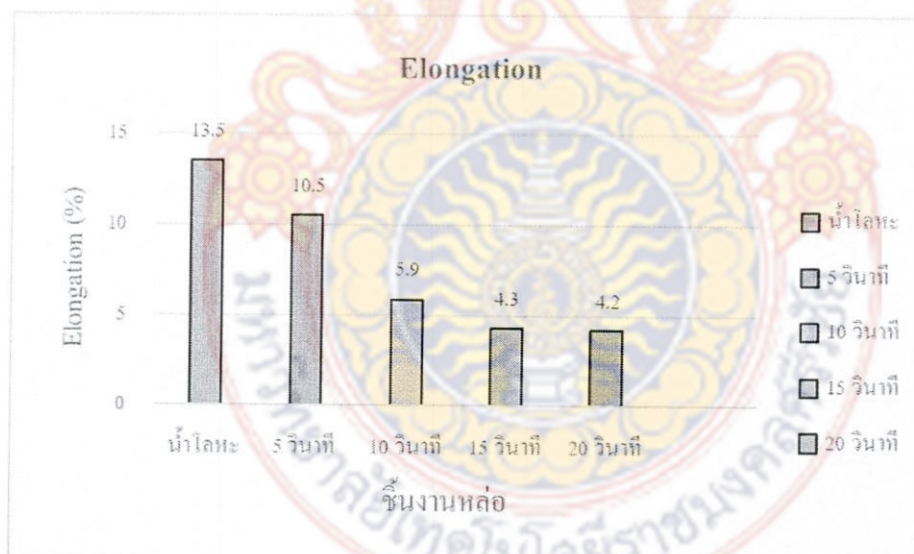
ชิ้นงานตัวอย่างที่ผลิตได้จะถูกนำมาตัดและกลึงขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบแรงดึง เพื่อหาค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด (Maximum Tensile Stress) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation) ซึ่งผลการทดสอบสมบัติทางกลด้วยการทดสอบแรงดึง ดังแสดงในตาราง 4.2 พบว่าชิ้นงานโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ที่ขึ้นรูปด้วยการหล่ออัดแบบน้ำโลหะทั่วไป จะมีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 221.8 MPa และ 13.5 % ตามลำดับ ส่วนชิ้นงานของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็งด้วยการพ่นฟองแก๊สขณะแข็งตัว (Gas Induced Semi-Solid, GISS Process) ภายใต้ระยะเวลาในการพ่นฟองแก๊สเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็งที่แตกต่างกัน คือ 5 วินาที จะมีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 244.2 MPa และ 10.5 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาในการพ่นฟองแก๊สเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็งที่ 10 วินาที จะมีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 209 MPa และ 5.9 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาในการพ่นฟองแก๊สเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็งที่ 15 วินาที จะมีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 197.2 MPa และ 4.3 % ตามลำดับ ที่ระยะเวลาในการพ่นฟองแก๊สเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็งที่ 20 วินาที จะมีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 170.4 MPa และ 4.2 % ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.2 และ 4.3

ตาราง 4.2 ผลทดสอบแรงดึงของอะลูมิเนียมผสมเกรด 5083 ภายใต้สภาวะการหล่อที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาในการพ่นฟองแก๊สเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (วินาที)	สภาวะที่ทำการหล่อ	ความเค้นสูงสุดเฉลี่ย (MPa)	การยืดตัวเฉลี่ย (%)
0	น้ำโลหะ	221.8	13.5
5	โลหะกึ่งของแข็ง	244.2	10.5
10	โลหะกึ่งของแข็ง	209.0	5.9
15	โลหะกึ่งของแข็ง	197.2	4.3
20	โลหะกึ่งของแข็ง	170.4	4.2



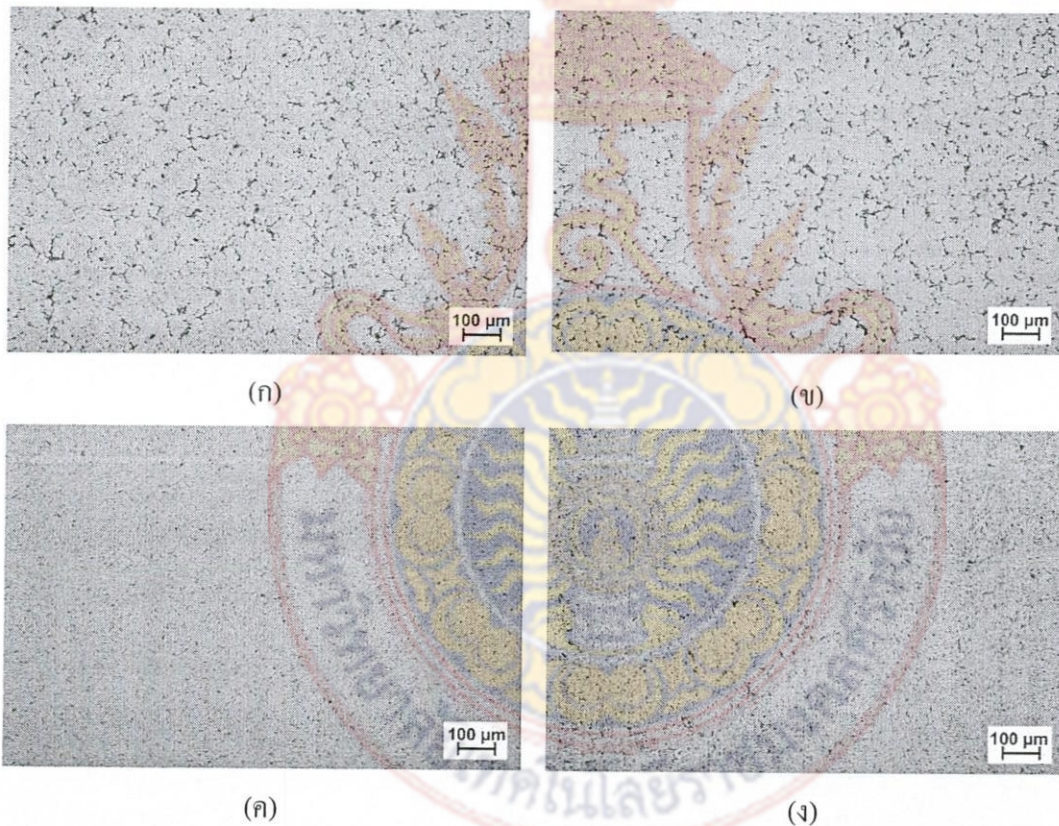
ภาพที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดของโลหะที่ผ่านกระบวนการหล่ออัดโลหะกึ่งของแข็งที่ 5, 10, 15 และ 20 วินาที กับ การหล่ออัดแบบน้ำโลหะทั่วไป



ภาพที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของโลหะที่ผ่านกระบวนการหล่ออัดโลหะกึ่งของแข็งที่ 5, 10, 15 และ 20 วินาที กับ การหล่ออัดแบบน้ำโลหะทั่วไป

4.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ผลการศึกษาทางโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมผสม เกรด 5083 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่าชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบโลหะกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Squeeze Casting) ด้วยกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็งด้วยการพ่นฟองแก๊สเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็งที่แตกต่างกัน คือ 5, 10, 15 และ 20 วินาที พบว่าชิ้นงานจะมีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 4.4 และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการหล่ออัดแบบน้ำโลหะทั่วไป (Liquid Squeeze Casting) เมื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคจะปรากฏโครงสร้างที่ได้มีลักษณะดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.4 โครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมเกรด 5083 ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็งภายใต้ระยะเวลาในการพ่นฟองแก๊สเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็งที่แตกต่างกัน คือ (ก) 5 วินาที (ข) 10 วินาที (ค) 15 วินาที และ (ง) 20 วินาที



ภาพที่ 4.5 โครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมเกรด 5083 ที่ขึ้นรูปด้วยการหล่ออัดแบบน้ำโลหะทั่วไป



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 สมบัติทางกลของอะลูมิเนียมเกรด 5083 ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็งด้วยการพ่นฟองแก๊สขณะแข็งตัว (Gas Induced Semi-Solid, GISS Process) ภายใต้อายุการใช้งานในการพ่นฟองแก๊สเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็งที่ 5 วินาที จะทำให้ชิ้นงานมีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 244.2 MPa และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวอยู่ที่ 10.5 % เมื่อเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมเกรด 5083 ที่ได้จากหล่ออัดแบบน้ำโลหะทั่วไป

5.1.2 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมเกรด 5083 ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็งด้วยการพ่นฟองแก๊สขณะแข็งตัว (Gas Induced Semi-Solid, GISS Process) ภายใต้อายุการใช้งานในการพ่นฟองแก๊สเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็งที่แตกต่างกัน จะทำให้ชิ้นงานมีโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างไปจากโครงสร้างของอะลูมิเนียมเกรด 5083 ที่ได้จากหล่ออัดแบบน้ำโลหะทั่วไป

5.1.3 กระบวนการหล่ออัดแบบกึ่งของแข็งด้วยการพ่นฟองแก๊สขณะแข็งตัว (Gas Induced Semi-Solid, GISS Process) ที่เหมาะสมสามารถช่วยปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการหล่อได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อะลูมิเนียมที่นำไปหลอมเหลวเมื่อนำออกมาจากเตาหลอมเกิดการเย็นตัวโดยเร็ว ทำให้เป็นอุปสรรคในการเทใส่แม่พิมพ์และในการอัดขึ้นรูป เพื่อให้ได้น้ำโลหะเย็นตัวช้าต้องทำการเผาให้ความร้อนแม่พิมพ์ก่อนทำการเทน้ำโลหะลงในแม่พิมพ์

5.2.2 ในการทำการหล่ออัดไม่ควรเข้าไปใกล้ เพราะในการอัดน้ำโลหะอะลูมิเนียมจะทำให้ น้ำโลหะอะลูมิเนียมฉีดออกมาโดยเราไม่ทราบที่น้ำโลหะอะลูมิเนียมจะฉีดออกมาในลักษณะใด ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายได้

5.2.3 ควรใช้ความระมัดระวังทุกครั้งในทุกขั้นตอนของการดำเนินการหลอมและหล่อโลหะ และควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลทุกครั้งปฏิบัติงาน

บรรณานุกรม

- [1] วิลเลียม เอฟ สมิท (2547) “วัสดุวิศวกรรม-Principles of Materials Science and Engineering แปลและเรียบเรียงโดยแม่น อมรสิทธิ์ และ สมชัย อัครทิวา” กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป/แมคกรอ-ฮิล
- [2] สุภชัย ประเสริฐกุล (2548) “เทคโนโลยีงานหล่อโลหะ 2 ฉบับมาตรฐาน” กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไซน์แอนด์เอ็นจิเนียริง
- [3] ธนากรณ ตั้งวานิชกพงษ์ (2549) “การปฏิบัติการทางด้านโลหะวิทยาของโลหะอะลูมิเนียม” วารสารหล่อโลหะ 16(1): 37-42
- [4] เจษฎา วรรณสินธุ์. (2549). เทคโนโลยีการหล่ออะลูมิเนียมไดแคสติงแบบกึ่งของแข็ง. การประชุมเชิงวิชาการเทคโนโลยีการหล่อโลหะไทย ครั้งที่ 3 ณ ไบเทค บางนา กรุงเทพฯ. 23 พฤศจิกายน 2549. หน้า 7-1 ถึง 7-15.
- [5] ธเนศ รัตโนชัยกุล. (2553). การพัฒนากระบวนการอัดรีดอะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [6] Wannasin, J., Martinez, R.A. and Flemings, M.C. (2006). A Novel Technique to Produce Metal Slurries for Semi-Solid Metal Processing. Solid State Phenomena Vols. 116-117: 366-369.
- [7] Squeeze Casting. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.mechanicalengineeringblog.com/tag/squeeze-casting/> (วันที่สืบค้นข้อมูล: 18 เมษายน 2558)
- [8] Shang-Nan Chou, Jow-Lay Huang, Ding-Fwu Lii, Horng-Hwa Lu, “The mechanical properties and microstructure of Al₂O₃/aluminum alloy composites fabricated by squeeze casting”, Journal of Alloys and Compounds 436 (2007) pp. 124–130.
- [9] มงคล แก้วนพรัตน์. (2555). การลดปัญหาข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จากอะลูมิเนียมหล่อโดยใช้โปรแกรมจำลองงานหล่อขึ้นรูป. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

- [10] นพดล เหลืองอักษร นฤมล ปลื้มจิตต์ และนภิสพร มีมิงคล. (2555). การศึกษาสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ที่ผ่านกระบวนการกึ่งของแข็งและกระบวนการทางความร้อน T6. การประชุมเชิงวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. 17-19 ตุลาคม 2555. หน้า 1337-1343.
- [11] ทศพร เงินเนตร และพิบูลย์ เครือคำอ้าย. (2555). การเปรียบเทียบกระบวนการหล่อที่มีผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงกลของโลหะอะลูมิเนียมผสมเกรด AA6061. การประชุมเชิงวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. 17-19 ตุลาคม 2555. หน้า 1742-1746.
- [12] Shulin Lu, Shusen Wu, Chong Lin, Zuqi Hu, Ping An, "Preparation and rheocasting of semisolid slurry of 5083 Al alloy with indirect ultrasonic vibration process", *Materials Science and Engineering A* 528 (2011) pp. 8635–8640.
- [13] Shi-bo BIN, Shu-ming XING, long-mei TIAN, Ning ZHAO, Lan LI, "Influence of technical parameters on strength and ductility of AlSi9Cu3 alloys in squeeze casting", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 23 (2013) pp. 977–982.
- [14] Najib Souissi, Slim Souissi, Christophe Le Niniven, Mohamed Ben Amar, Chedly Bradai and Foued Elhalouani, "Optimization of Squeeze Casting Parameters for 2017 A Wrought Al Alloy Using Taguchi Method", *Metals* (2014) 4 pp. 141–154.



ภาคผนวก ก

มาตรฐาน ASTM E8-04

มาตรฐาน ASTM E8-04

E 8M - 04



Dimensions, mm

Nominal Width	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type 40 mm	Sheet-Type 12.5 mm	6 mm
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1	25.0 ± 0.1
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2	6.0 ± 0.1
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25	12.5	6
L—Overall length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	450	209	100
A—Length of reduced section, min	225	57	32
B—Length of grip section, (Note 6)	75	50	30
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50	29	10



