รหัสบทความ SEITS 63

โครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสม เกรด 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6

Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloys 6061-T6 , 6063 and 7075-T6

สุรเชษฐ์ กิจสนิท[1*], ปฏิเวธ ถิ่นวงษ์ม่อม[1], ณัฐพงศ์ อินทรชิต[1], จตุพร พิศวง[1], ชานนท์ มูลวรรณ[2] สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ[3]

[1] นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต surachatetatc@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6 มาตรฐาน JIS โครงสร้างจุลภาคอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 ประกอบด้วยเฟสของสารประกอบแมกนีเซียมซิลิไซด์ (Mg_2Si) กระจายอยู่ในโครงสร้างหลัก (matrix) ของอะลูมิเนียมอัลฟา (α-Aluminum) ค่าความแข็งแรง 105.08 HV ความแข็งแรงดึงเท่ากับ 492.35 MPa และ อัตราการกัดกร่อนเท่ากับ 2.87 mdd. โครงสร้างจุลภาคอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ประกอบด้วยเฟสของสารประกอบแมกนีเซียมซิลิไซด์ (Mg_2Si) กระจายอยู่ในโครงสร้างหลัก (matrix) ของอะลูมิเนียมอัลฟา (α-Aluminum) ค่าความแข็งแรง 61.8 HV ความแข็งแรงดึงเท่ากับ 328.84 MPa และ อัตราการกัดกร่อนเท่ากับ 2.46 mdd. โครงสร้างอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6 ประกอบด้วยเฟสของสารประกอบแมกนีเซียมซิงค์ ($MgZn_2$) กระจายอยู่ในโครงสร้างหลัก (matrix) ของอะลูมิเนียมอัลฟา (α-Aluminum) ค่าความแข็งแรง 171 HV ความแข็งแรงดึงเท่ากับ 767.22 MPa และอัตราการกัดกร่อนเท่ากับ 1.64 mdd. เมื่อนำมาอะลูมิเนียมผสมทั้ง 3 เกรด เปรียบเทียบพบว่า อะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6 มีค่าสมบัติเชิงกลและมีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดีกว่าอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063

คำสำคัญ : ความแข็งแรง , ความแข็งแรงดึง , ความต้านทานการกัดกร่อน

Abstract

This research is a study of the microstructure and mechanical properties of 6061-T6 , 6063 and 7075-T6 aluminum alloys. 6061-T6 aluminum alloys microstructure consists of a magnesium silicide (Mg_2Si) distributed in the α-aluminum matrix phase. The average hardness value is 105.08 HV, the tensile strength is 492.35 MPa and the corrosion rate is 2.87 mdd. 6063 aluminum alloys microstructure consists of a magnesium silicide (Mg_2Si) distributed in the α-aluminum matrix phase. The average hardness value is 61.8 HV, the tensile strength is 328.84 MPa and the corrosion rate is 2.46 mdd. 7075-T6 aluminum alloys microstructure consists of a magnesium zinc compound ($MgZn_2$) distributed in the α-aluminum matrix phase. The average hardness is 171 HV, the tensile strength is 767.22 MPa and the corrosion rate is 1.64 mdd. comparison of three aluminum alloys it is found that aluminum alloys grade 7075-T6 has better mechanical properties than aluminum alloys grade 6061-T6 and 6063 but aluminum alloy grade 7075-T6 is more resistant to corrosion.

Keywords : Hardness , tensile strength , corrosion resistant

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันอะลูมิเนียมผสมได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากการมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา มีความเหนียว ทนต่อการกัดกร่อน เป็นต้น อะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีความแข็งแรงต่ำ หากนำไปผสมกับธาตุอื่นๆ เช่น ซิลิกอน สังกะสี แมกนีเซียม เป็นต้น ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น ในงานอุตสาหกรรมอะลูมิเนียมเป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้เป็นอันดับสอง รองจากเหล็ก [1] เนื่องจากอะลูมิเนียมมีน้ำหนักเบากว่าเหล็กประมาณ 3 เท่าตัว และมีความต้านทานการกัดกร่อนดีเยี่ยมและต้านทานต่อการเกินออกซิเดนชั่นแบบโปรเกรสซีฟ [2] นอกจากนี้อะลูมิเนียมผสมยังสามารถนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนจะทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น [3]

โลหะอะลูมิเนียมผสมมีหลายกลุ่ม กลุ่มที่นิยมใช้มากสุด ได้แก่ 6xxx และ 7xxx ซึ่งมีสมบัติเด่น ได้แก่ มีความแข็งแรงสูงเทียบเท่ากับโครงสร้างเหล็ก ต้านทานกัดกร่อนได้ดี [4] การปรับปรุงสมบัติเชิงกลด้วยกระบวนการทางความร้อนที่มีปัจจัยที่สำคัญ คือ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบละลายและการบ่มแข็งเทียม ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกล แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาศึกษาเชิงเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมผสมทั้ง 3 เกรด เพื่อให้ได้วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงต้านทานการกัดกร่อนได้ดี และเป็นแนวทางในการลดต้นทุนในการผลิตต่อไป

ปัจจุบันอะลูมิเนียมผสมได้ถูกนำไปใช้งานจำนวนมาก ได้แก่ อะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6 หากนำอะลูมิเนียมผสมทั้ง 3 เกรด มาปรับปรุงสมบัติเชิงกลด้วยกระบวนการทางความร้อน ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรง และ ความแข็งแรงดึง สามารถนำอะลูมิเนียมผสมมาแทนวัสดุที่ต้องการความแข็งสูงๆในการใช้งาน เช่น เหล็กโครงสร้าง โครงสร้างทางทะเล โครงสร้างอากาศยาน เป็นต้น [5] อาจจะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะนำไปประยุกต์ใช้หรือปรับปรุงการผลิตในอุตสาหกรรมอะลูมิเนียม เพื่อทำให้อะลูมิเนียมมีสมบัติเชิงกลที่สูง

นพพล เหลืออักษร และ คณะ ได้ศึกษาอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 [6] ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อกึ่งแข็งและผ่านกระบวนการทางความร้อน ในการทดลองได้อบละลายที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตามด้วยการชุบน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้อุณหภูมิในการบ่มแข็ง 3 ช่วงอุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส และ ในเวลาการบ่มแข็ง 4 ช่วงเวลาคือ 4 6 8 และ 10 ชั่วโมง การบ่มแข็งที่เงื่อนไขอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ ค่าความแข็ง 66 HRB (130 HV) ค่าความแข็งแรงดึง 335.60 MPa

Omar Quintero และ A.L Rivas ได้ศึกษาอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 [7] การเผาแบบแบทช์ถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ 560 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 , 6 และ 8 ชั่วโมง หลังจากทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ถูกทำให้เย็นลงในอากาศที่ 220 องศาเซลเซียส จนกว่าจะถึงอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะอัดขึ้นรูปในเครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 15 ตัน และทำให้เป็นเนื้อเดียวกันถูกทำให้ร้อนขึ้น 468 องศาเซลเซียส ชิ้นส่วนอัดขึ้นรูปตัว T ที่ได้รับจะถูกทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องโดยใช้อากาศบังคับตามด้วยการยืดชิ้นส่วนรูปตัว T ยาว 50 นิ้ว ที่ 185 องศาเซลเซียส สมบัติเชิงกลที่เพียงพอทำได้โดยเวลาการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันขั้น 8 ชั่วโมง ให้ ค่าความแข็งแรง 88 HV ค่าความแข็งแรงดึง 219 MPa

นภิสพร มีมงคล และ เจษฎา วรรณสิน ได้ศึกษาอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075 [8] ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปกึ่งของแข็งโดยใช้เทคนิคการพ่นฟองแก๊ส (GISS) เป็นปัจจัยสำคัญของกระบวนการทางความร้อน T6 ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลเหล่านี้ คือ อุณหภูมิและเวลาการอบละลาย โดยใช้เงื่อนไขการอบละลายที่อุณหภูมิ 450 480 และ 510 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 และ 8 ชั่วโมง ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด คือ การอบละลายที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ให้ ค่าความแข็ง 88 HRB (170 HV) ค่าความแข็งแรงดึง 480 Mpa

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้เพื่อเป็นการศึกษา โครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกล ของอะลูมิเนียมผสมทั้ง 3 เกรด เป็นพื้นฐานในการนำอะลูมิเนียมผสมไปใช้ในการพัฒนาออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมนั้นๆ และ เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ต้นทุนต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Methodology)

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ คือ อะลูมิเนียมผสม เกรด 6061-T6 , 6063 เป็นรูปทรงกระบอก ขนาด Ø 25.4 x 100 มิลลิเมตร และ 7075-T6 ขนาด Ø 22.2 x 100 มิลลิเมตร ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อกึ่งแข็งและทำการขึ้นรูปชิ้นงานตามแบบมาตรฐานการทดสอบ ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางนี้

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมผสม 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6 (% โดยมวล)

	6061-T6	6063	7075-T6
Al	96.94	98.94	90.07
Si	0.68	0.2	0.08
Fe	0.52	0.52	0.22
Ti	0.21	0.1	-
Cu	0.25	0.1	1.57
Mg	1.08	0.45	2.60
Zn	0.016	0.10	0.10
Mn	0.09	0.10	0.10
Cr	0.21	0.013	0.19

2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักด้วยกัน ได้แก่ ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค การทดสอบสมบัติเชิงกล และ การกัดกร่อน ตามลำดับ สามารถแสดงได้ดังนี้

2.2.1 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

- การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี โดยใช้เครื่อง Spectrolab Model : Lavm 12

2.2.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

- การตรวจสอบโครงสร้างของอะลูมิเนียมผสม โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง รุ่น Olympus Laser Microscope รุ่น OLS 400

2.2.3 การตรวจสอบสมบัติเชิงกล

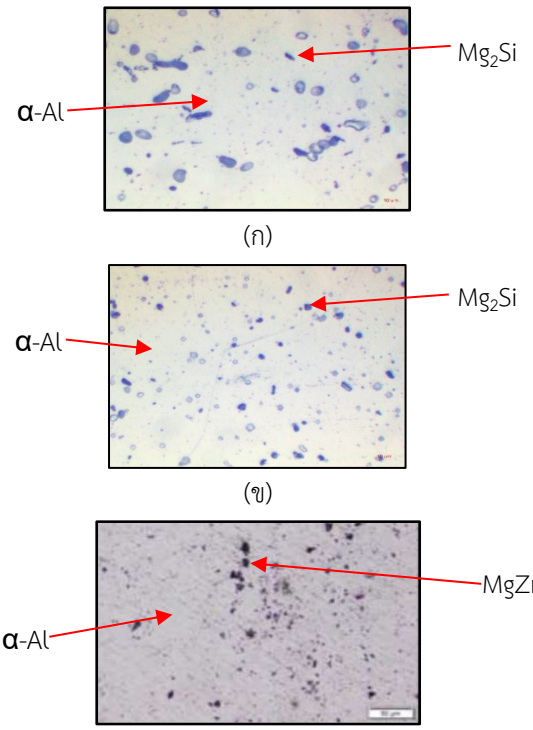
- การทดสอบความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM E72 โดยกดจุดชิ้นงานจำนวน 5 จุดภายใต้แรง 10 กิโลกรัมระยะเวลา 10-15 วินาที และหาค่าเฉลี่ยในการกดจุด การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Tester) โดยใช้เครื่อง Struers รุ่น Duramin-5
- การสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM E8 โดยใช้เครื่อง MF100 Pro Serie

2.2.4 การตรวจสอบการกัดกร่อน

- การทดสอบการกัดกร่อนของสเปรย์เกลือ ตามมาตรฐาน ASTM B117-2016 : Salt spray (Fog) ความเข้มข้น 5% NaCl by weight ทำให้เป็นอองที่ 1.4 ml / 80cm^2/hr. ที่อุณหภูมิภายในตู้ขณะทดสอบ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 168 ชั่วโมง โดยใช้เครื่อง Ascott CC1000iP

3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6



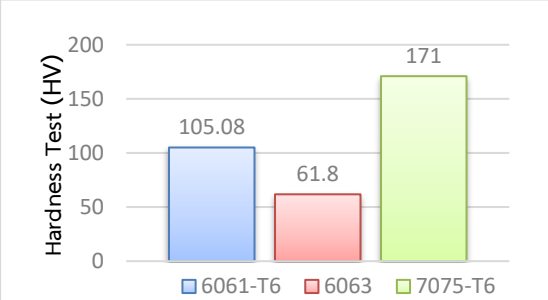
ภาพที่ 1 (ก) โครงสร้างอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 (ข) โครงสร้างอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 (ค) โครงสร้างอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6

- โครงสร้างจุลภาค ของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 ประกอบด้วย เฟส α-Al 96.94% มีลักษณะสีขาว และ Mg_2Si รวม 3.06% มีลักษณะเป็นสีฟ้าสดใสปริมาณเพียงเล็กน้อยและโครงสร้างเป็นแบบ Eutectic ดังภาพ 1 (ก)
- โครงสร้างของอะลูมิเนียมผสม เกรด 6063 ประกอบด้วย เฟส α-Al 98.94% มีลักษณะสีขาว และ Mg_2Si 1.59% มีลักษณะเป็นสีฟ้าสดใส และโครงสร้างเป็นแบบ Eutectic ดังภาพ 1 (ข)
- โครงสร้างของอะลูมิเนียมผสม เกรด 7075-T6 ประกอบด้วย เฟส α-Al 90.07% มีลักษณะสีขาว และ $MgZn_2$ 9.93% มีลักษณะเป็นจุดสีดำมีปริมาณเพียงเล็กน้อย และโครงสร้างเป็นแบบ Eutectic ดังภาพ 1 (ค)

3.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ผลการตรวจสอบสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงและความแข็งแรงดึงมีดังนี้

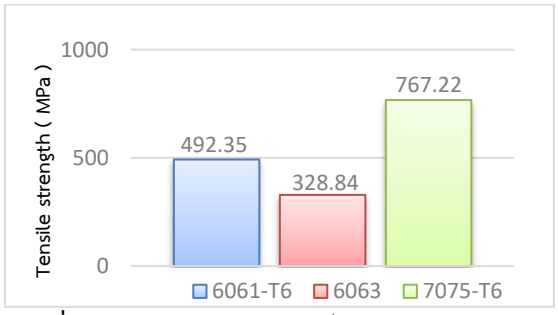
3.2.1 ผลการทดสอบความแข็งแรง (Hardness)



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบความแข็งแรงของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6

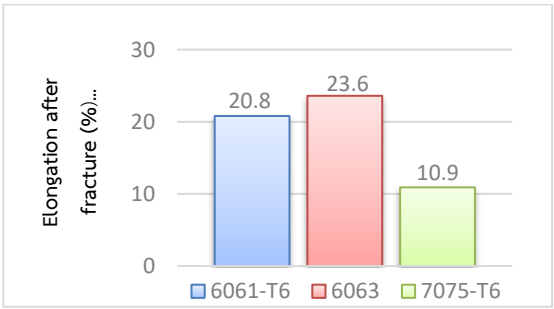
จากภาพที่ 2 อะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 มีความแข็งแรงเฉลี่ยเท่ากับ 105.08 HV , อะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 มีค่าความแข็งแรงเฉลี่ยเท่ากับ 61.8 HV และอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6 มีค่าความแข็งแรงเฉลี่ยเท่ากับ 171 HV

3.2.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength)



ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6

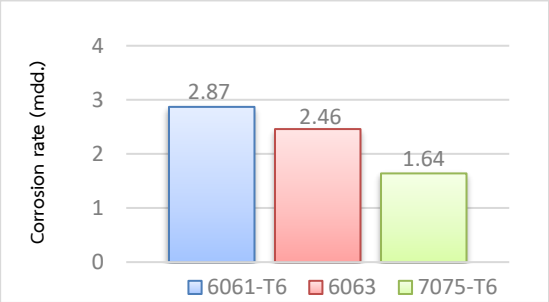
จากภาพที่ 3 อะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 ความแข็งแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 492.35 MPa อะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ความแข็งแรงดึงค่าเฉลี่ยเท่ากับ 328.84 MPa และอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6 ความแข็งแรงดึงค่าเฉลี่ยเท่ากับ 767.22 MPa



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบ Elongation after fracture ของอะของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6

จากภาพที่4 Elongation after fracture อะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 มีร้อยละการยืด 20.8% อะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 มีร้อยละการยืด 23.6% และ อะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6 มีร้อยละการยืด 10.9%

3.2.3 ผลการทดสอบการกัดกร่อน



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6

จากภาพที่ 5 ช่วงเวลา 168 ชั่วโมง อะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 มีอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยเท่ากับ 2.87 mdd. อะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 มีอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยเท่ากับ 2.46 mdd. และ อะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6 มีอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.64 mdd.

4. อภิปรายผล

4.1 โครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6

- โครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 ประกอบด้วยเฟสของสารประกอบแมกนีเซียมซิลิไซด์ (Mg_2Si) กระจายอยู่ในโครงสร้างหลัก (Matrix) มีสารประกอบ เฟส α-Al 96.94% , Si 0.68% , Fe 0.52% , Ti 0.21% , Cu 0.25% , Mg 1.08% , Zn 0.016% , Mn 0.09% , Cr 0.21%
- โครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ประกอบด้วยเฟสของสารประกอบแมกนีเซียมซิลิไซด์ (Mg_2Si) กระจายอยู่ในโครงสร้างหลัก (Matrix) มีสารประกอบ เฟส α-Al 98.41% , Si 0.2% , Fe 0.52% , Ti 0.1% , Cu 0.1% , Mg 0.45% , Zn 0.10% , Mn 0.10% , Cr 0.013%
- โครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6 ประกอบด้วยเฟสของสารประกอบแมกนีเซียมซิงค์ ($MgZn_2$) กระจายอยู่ในโครงสร้างหลัก (matrix) มีสารประกอบ เฟส α-Al 90.07% , Si 0.08% , Fe 0.22% , Cu 1.57% , Mg 2.60% , Zn 5.19% , Mn 0.08% , Cr 0.19%

4.2 สมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6

- อะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 ความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 105.08 HV และ ความแข็งแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 492.35 MPa เปรียบเทียบงานวิจัยของ นพพล เหลืออักษร, และ คณะ ให้ค่าความแข็งแรงเฉลี่ยเท่ากับ 103 HV และ ความแข็งแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 335.60 MPa [6]
- อะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 61.8 HV และ ความแข็งแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 328.84 MPa เปรียบเทียบงานวิจัยของ Omar Quintero ให้ค่าความแข็งแรงเฉลี่ยเท่ากับ 88 HV และ ความแข็งแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 219 MPa [7]
- อะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6 ความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 171 HV และ ความแข็งแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 767.22 MPa เปรียบเทียบงานวิจัยของ นภิสพร มีมงคล และ เจษฎา วรรณสิน ให้ค่าความแข็งแรงเฉลี่ยเท่ากับ 171 HV และ ความแข็งแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 480 MPa [8]

4.3 การกัดกร่อนอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6

- อัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6 มีอัตราการกัดกร่อน 1.64 mdd. มีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดีกว่าอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 และ อะลูมิเนียมผสมเกรด 6063

5. สรุปผล

การเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063 และ 7075-T6 สรุปผล ได้ดังนี้

- โครงสร้างจุลภาคอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 , 6063 มีลักษณะคล้ายกัน เป็นเฟสของ อัลฟา (α-Aluminum) และ แมกนีเซียมซิลิไซด์ (Mg_2Si) จะแตกต่างกับอะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6 มีเฟสของ อัลฟา (α-Aluminum) และ แมกนีเซียมซิงค์ ($MgZn_2$)
- สมบัติเชิงกล อะลูมิเนียมที่ความแข็งแรงมากสุดคือ อะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6 และ มีค่าความแข็งแรงดึง 767.22 MPa
- อะลูมิเนียมผสมเกรด 7075-T6 มีค่าความต้านทานการกัดกร่อนที่ดีที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ที่ช่วย ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ตรวจสอบสมบัติเชิงกล และ ตรวจสอบการกัดกร่อน ขอกราบขอบพระ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว รวมทั้ง ผศ.ชานนท์ มูลวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย และ ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ ที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] J.R. Davis Aluminum and Aluminum Alloys. Alloying:Understanding the Basics.

[2] Kharia Hassan and Abbas Alwan , Stady of Corrosion Resistance of Aluminum Alloy 6061 / Sic Composites in 3.5% NaCl Solution , University of Technology , Iraq , 2015

[3] เสาวลักษณ์ คงเอียง , การปรับปรุงสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมกึ่งของแข็ง 7075 โดยการอบละลายสองขั้นตอนและการเติมธาตุสตรอนเทียม สแกนเดียม และ/หรือ เซอร์โคเนียม , วิศวกรรมศาสตร์วัสดุ , 2556

[4] วิจิตร พงษ์บัณฑิต , เทคโนโลยีการหล่อโลหะ, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร , 2542.

[5] ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และสาโรช ฐิติเกียรติพงศ์, วัสดุในงานวิศวกรรม , กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2541.

[6] นพพล เหลืออักษร , การศึกษาสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061 ที่ผ่านกระบวนการกึ่งแข็งและกระบวนการทางความร้อน T6 , มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , 2555

[7] Omar Quintero , Effect of the microstructure on the mechanical properties and surface finish of an extruded AA 6063 Aluminum alloy , Simon Bolivar University , 2015

[8] นภิสพร มีมงคล และ เจษฎา วรรณสิน , การวิเคราะห์สมบัติทางกลและต้นทุนของโลหะผสมอะลูมิเนียมเกรด 7075 ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน , มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , 2556