



รายงานการวิจัย

อิทธิพลของปริมาณสังกะสีที่มีต่อคุณภาพของอะลูมิเนียมสักร่อน
Influence of Zinc Contents on Quality of Aluminum Sacrificial Anode

รอมฎอน บุระพา Romadorn Burapa
สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ Surasit Rawangwong
จักรนรินทร์ ฉัตรทอง Jaknarin Chatthong

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2557

อิทธิพลของปริมาณสังกะสีที่มีต่อคุณภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อน

รอมฎอน บุระพา¹ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์¹ และ จักรนรินทร์ ฉัตรทอง¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณสังกะสีที่เติมลงในอะลูมิเนียมที่มีต่อคุณภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนเพื่อใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำทะเล โดยทำการหลอมอะลูมิเนียมแล้วปรับปรุงส่วนผสมทางเคมีโดยการเติมสังกะสีในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 0%, 2.5%, 5%, 7.5% และ 10% โดยน้ำหนักของสังกะสี แล้วทำการเทหล่อในแม่พิมพ์เพื่อผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อน จากนั้นจึงทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้เพื่อทดสอบคุณภาพในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำทะเล ด้วยการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักที่สูญเสียไป ค่าความจุกระแส ประสิทธิภาพในการกันกร่อน และอัตราการสิ้นเปลือง ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่า อะลูมิเนียมที่มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไปในปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความจุกระแสที่สูงที่สุดมีค่า 2,480 Ah/kg ประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้สูงที่สุดคิดเป็น 83.18 % และมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองของชิ้นงานที่ต่ำที่สุดอยู่ที่ 0.4 g/Ah ส่วน โครงสร้างทางจุลภาคของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไปในปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก ที่ผลิตได้มีขนาดของเกรนที่เล็กลงและมีการกระจายตัวของเฟสสังกะสีในเนื้ออะลูมิเนียมที่ดี ส่งผลให้มีการสูญเสียเนื้ออะลูมิเนียมกันกร่อนน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด

คำสำคัญ: อะลูมิเนียมกันกร่อน สังกะสี การกัดกร่อน โครงสร้างจุลภาค

¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2557 และขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่โรงฝึกปฏิบัติงานสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และคณะผู้บริหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ให้กำลังใจในการวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

รอมฎอน นุระพา
สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์
จักรนรินทร์ ฉัตรทอง
5 กันยายน 2558



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
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	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโลหะอะลูมิเนียม (Aluminum)	4
2.2 การหลอมโลหะผสมอะลูมิเนียม (Al-Alloy Melting)	6
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสังกะสี (Zinc)	9
2.4 เตาหลอมที่ใช้ในการหลอมโลหะ	10
2.5 การเลือกใช้เตาหลอม	12
2.6 การตรวจวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่ใช้ในกระบวนการหล่ออะลูมิเนียม	13
2.7 การกัดกร่อน (Corrosion)	14
2.8 ปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะ	15
2.9 ลักษณะการกัดกร่อนของโลหะ	16
2.10 การป้องกันการกัดกร่อนของโลหะและโลหะผสม	17
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	21
3.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน	21
3.2 สถานที่ทำการวิจัย	22
3.3 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์หล่อ โลหะสำหรับการหล่อขึ้นรูปอะลูมิเนียม กันกร่อน	23
3.5 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	24
3.6 การหลอมและหล่ออะลูมิเนียมกันกร่อนที่มีปริมาณของสังกะสีที่ต่างกัน	25
3.7 การตรวจวัดส่วนผสมทางเคมีของโลหะที่ใช้ในกระบวนการหลอมและหล่อ	27
3.8 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสังกะสีที่เหมาะสมในการผลิตอะลูมิเนียมกัน กร่อน	28
3.9 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ผลิตได้	30
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	34
4.1 ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี	34
4.2 ผลการทดสอบการป้องกันการกัดกร่อนภายในห้องปฏิบัติการ	35
4.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	38
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	40
5.1 สรุปผลการทดลอง	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
บรรณานุกรม	41

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	สัญลักษณ์กลุ่มโลหะผสม Wrought Aluminum	4
2.2	สัญลักษณ์กลุ่มของอะลูมิเนียมหล่อผสม	5
3.1	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	23
3.2	อัตราส่วนที่ใช้ในการหลอมของอะลูมิเนียมต่อสังกะสี	25
4.1	ส่วนผสมทางเคมีของโลหะที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยครั้งนี้	34
4.2	ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ผลิตได้	35
4.3	สรุปผลที่ได้จากการทดสอบการป้องกันการกัดกร่อนภายในห้องปฏิบัติการ	36

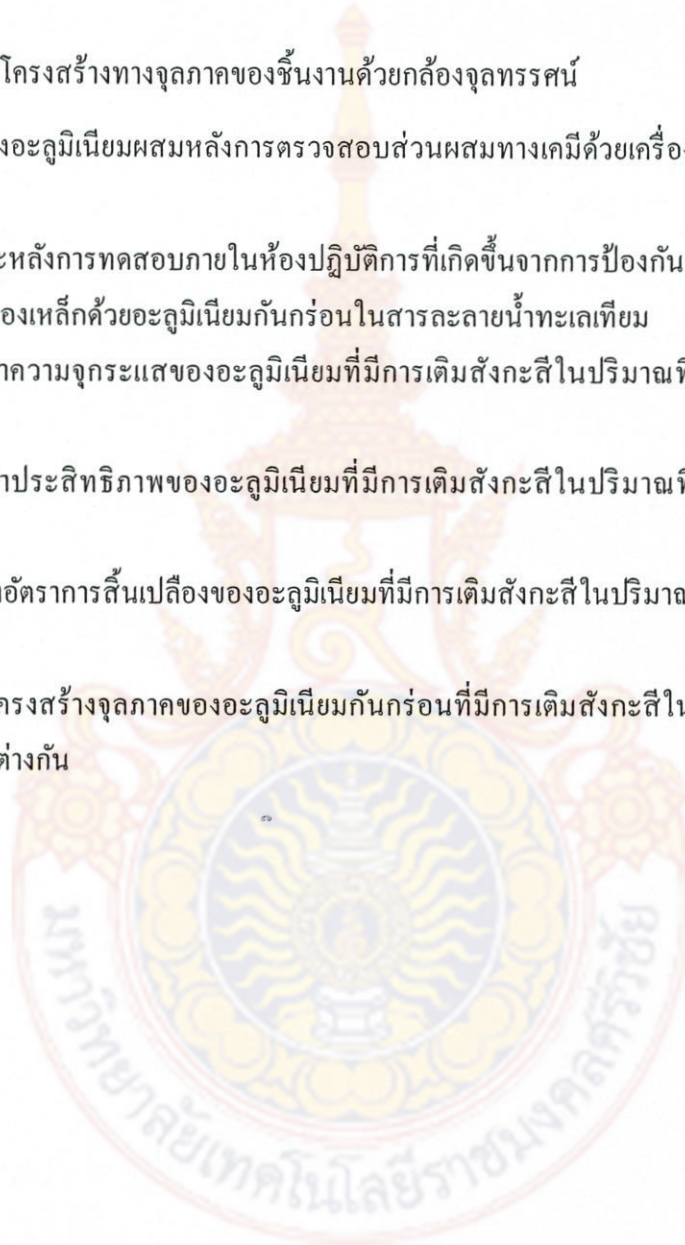


สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	เตาที่ใช้พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้า	12
2.2	แสดงศักย์มาตรฐานของขั้วไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของโลหะบางชนิด	16
3.1	แสดงขั้นตอน และกิจกรรมการดำเนินงานวิจัย	21
3.2	แม่พิมพ์หล่อโลหะสำหรับการหล่อขึ้นรูปอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ใช้ในงานวิจัย	23
3.3	แสดงแท่งโลหะอะลูมิเนียมที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้	24
3.4	แสดงแท่งโลหะสังกะสีที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้	24
3.5	นำโลหะอะลูมิเนียมที่ซึ่งน้ำหนักตามปริมาตรที่ต้องการแล้วใส่ลงในเบ้าหลอม	25
3.6	โลหะอะลูมิเนียมผสมสังกะสีที่หลอมละลายกลายเป็นน้ำโลหะ	26
3.7	การเทน้ำโลหะผสมระหว่างอะลูมิเนียมและสังกะสีที่หลอมละลายและผสมเข้ากันดีแล้วลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้	26
3.8	ชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป	27
3.9	ชิ้นงานตัวอย่างอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี	27
3.10	การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้ เพื่อใช้ในการทดสอบคุณภาพในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็ก	28
3.11	แผ่นเหล็กที่ใช้เป็นขั้วแคโทด (Cathode) เพื่อใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ	28
3.12	ชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนและแผ่นเหล็กเพื่อใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ	29
3.13	แสดงถึงวงจรที่ใช้ในการวัด Galvanic Current	29
3.14	ชุดทดสอบการกัดกร่อนแบบกัลวานิก พร้อมทั้งชุดคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูล	30
3.15	แสดงขั้นตอนการอัดชิ้นงานตัวอย่าง (Sample mounting)	31
3.16	การขัดหยาบชิ้นงานตัวอย่างด้วยกระดาษทรายเบอร์ต่างๆ	31
3.17	การขัดละเอียดชิ้นงานตัวอย่างด้วยผ้าหยาบ (Cloth Pad) ร่วมกับผงขัดอะลูมินา	32
3.18	ขั้นตอนการขัดผิวหน้าชิ้นงาน	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.19	33
4.1	34
4.2	36
4.3	37
4.4	38
4.5	38
4.6	39



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากโลหะกันกร่อน (Sacrificial Anode) เพื่อป้องกันการเกิดสนิม และเกิดความเสียหายจากการกัดกร่อน (Corrosion) ของวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องจักรต่างๆ ที่ทำจาก โลหะ โดยเฉพาะเหล็ก เช่น ท่าเทียบเรือ เรือขนส่งสินค้า เรือรบ แท่นขุดเจาะ ท่อน้ำมันและแก๊สใต้ ทะเล เป็นต้น โดยโลหะกันกร่อนที่นิยมใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็ก มีอยู่ 3 ชนิด คือ 1) สังกะสี (Zinc) ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องของน้ำหนักที่มาก และมีค่าความจุกระแสต่ำ (Current Capacity) ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองของเนื้อสังกะสีในปริมาณมากด้วยระยะเวลาอันสั้น อีกทั้งการใช้งานของสังกะสีกันกร่อนเหมาะสำหรับใช้ป้องกันการกัดกร่อนบริเวณน้ำทะเลเท่านั้น 2) แมกนีเซียม (Magnesium) ที่มีน้ำหนักเบาและมีค่าความจุกระแสปานกลาง แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องขีดความสามารถและศักยภาพในการผลิตของประเทศไทย ทำให้ต้องนำเข้าแมกนีเซียมจาก ต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง นอกจากนี้การใช้งานของแมกนีเซียมกันกร่อนเหมาะสำหรับการใช้ ป้องกันการกัดกร่อนในบริเวณน้ำจืดและน้ำกร่อยเท่านั้น 3) อะลูมิเนียม (Aluminum) ที่มีราคาถูก กว่า อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบาและมีค่าความจุกระแสสูง สามารถใช้งานได้ดีกว่าสังกะสีและแมกนีเซียม จึงเหมาะสำหรับใช้ป้องกันการกัดกร่อนบริเวณน้ำทะเลและน้ำกร่อย ดังนั้นในการใช้งาน โลหะกัน กร่อนสำหรับการป้องกันการกัดกร่อนของอุปกรณ์ และเครื่องจักรต่างๆ ในน้ำทะเลที่ทำจากเหล็ก จึงมีการเปลี่ยนไปใช้อะลูมิเนียมกันกร่อนกันมากขึ้น [1]

อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญสำหรับการใช้งานอะลูมิเนียมกันกร่อนคือการเกิดฟิล์มออกไซด์ ของอะลูมิเนียมทำให้อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ไม่สามารถใช้ป้องกันการกัดกร่อนได้จึงต้องมีการเติมธาตุ ผสมลงในอะลูมิเนียมบริสุทธิ์เพื่อทำให้ฟิล์มที่เกิดขึ้นมีสภาพอ่อนแอและสามารถหลุดออกได้ [2] โดยธาตุที่นิยมใช้เติมลงไปให้อะลูมิเนียมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนของ เหล็กในน้ำทะเล ได้แก่ อินเดียม (Indium) บิสมัท (Bismuth) และปรอท (Mercury) แต่มีราคาแพง เพราะต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ส่วนสังกะสี (Zinc) มีราคาถูกกว่าเพราะสามารถหาซื้อได้ ภายในประเทศไทยเอง ทำให้มีความเหมาะสมมากกว่าในการนำมาใช้เติมลงไปให้อะลูมิเนียม บริสุทธิ์เพื่อทำการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อนสำหรับใช้งานภายในประเทศไทย และจากการทบทวน งานวิจัยที่ผ่านมามีพบว่าประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านโลหะวิทยา เช่น ปริมาณธาตุผสมที่เติมลงในโลหะผสมอะลูมิเนียม การกระจายตัวของโลหะผสมภายในชิ้นงาน และโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงาน [3]

จากเหตุผลดังกล่าว โครงการวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อทำการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณสังกะสีที่เติมลงในอะลูมิเนียมที่มีต่อคุณภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนเพื่อใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำทะเล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณสังกะสีที่เติมลงในอะลูมิเนียมที่มีต่อคุณภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อน

1.2.2 เพื่อศึกษาและผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อนที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำทะเล

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ขอบเขตของโครงการวิจัยนี้คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณสังกะสีที่เติมลงในอะลูมิเนียมที่มีต่อคุณภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนสำหรับการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำทะเล โดยเริ่มต้นจาก

1.3.1 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์หล่อโลหะที่ใช้ในการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อน

1.3.2 ทำการหลอมอะลูมิเนียมแล้วปรับปรุงส่วนผสมทางเคมีโดยการเติมสังกะสีในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 0%, 2.5%, 5%, 7.5% และ 10% โดยน้ำหนักของสังกะสี

1.3.3 ทำการเทหล่อในแม่พิมพ์เพื่อผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อน

1.3.4 ทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้เพื่อทดสอบคุณภาพในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำทะเล ด้วยการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักที่สูญเสียไป ค่าความจุกระแส ประสิทธิภาพในการกันกร่อน

1.3.5 ทำการเปรียบเทียบคุณภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่เติมสังกะสีในปริมาณที่แตกต่างกัน เพื่อให้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อนที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำทะเลได้ต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของปริมาณสังกะสีที่เติมลงในอะลูมิเนียมที่มีต่อคุณภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อน

1.4.2 ได้องค์ความรู้และแนวทางในการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อนที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำทะเล ที่สามารถนำไปถ่ายทอดให้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องและมีความสนใจ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

1.4.3 ได้ผลงานวิจัยเพื่อนำไปเผยแพร่ในวารสารและที่ประชุมวิชาการในระดับชาติและหรือนานาชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง

1.4.4 ช่วยพัฒนาและผลิตนักศึกษาระดับปริญญาตรีให้มีศักยภาพในการทำวิจัยอย่างน้อย 2 คน



บทที่ 2

ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอะลูมิเนียม (Aluminum)

อะลูมิเนียมประกอบด้วยสมบัติต่างๆ มากมายที่เป็นประโยชน์ต่องานด้านวิศวกรรมเป็นอย่างมาก อะลูมิเนียมมีความหนาแน่นต่ำประมาณ 2.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จึงทำให้อะลูมิเนียมมีประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมทางด้านคมนาคม นอกจากนี้อะลูมิเนียมยังมีความทนทานต่อการกัดกร่อนในทุกสภาวะแวดล้อมได้ดี เนื่องจากที่ผิวของอะลูมิเนียมมักจะเกิดแผ่นฟิล์มของออกไซด์ชั้น และแม้ว่าอะลูมิเนียมที่บริสุทธิ์จะมีความแข็งแรงต่ำ แต่มันสามารถทำให้มีความแข็งแรงสูงขึ้นได้โดยการเติมธาตุอัลลอยด์ตัวอื่นเข้าไป อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่ไม่มีพิษ ดังนั้นจึงมักถูกใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหาร นอกจากนี้อะลูมิเนียมยังมีสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดี จึงเหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้า จากการที่อะลูมิเนียมมีสมบัติต่าง ๆ 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)

ตัวเลขหลักที่หนึ่งจะบอกถึงกลุ่ม โลหะผสมที่ประกอบด้วยธาตุอัลลอยด์เฉพาะ และตัวเลข 2 ตัวหลังจะบอกถึงความบริสุทธิ์ของ โลหะผสมอะลูมิเนียมนั้น 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 ทั้งรูเทและรูล้นจะต้องเหมาะสมและมีปริมาณน้ำโลหะเพียงพอที่จะป้อนชดเชยการหดตัวของน้ำโลหะที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการแข็งตัวของน้ำโลหะ

การหลอมโลหะไม่ใช่เป็นเพียงการให้ความร้อนกับก้อนโลหะเพื่อทำให้โลหะหลอมละลายเท่านั้น การหลอมจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของเนื้อโลหะหลังการแข็งตัว ความแข็งแรงของเนื้อก้อนโลหะของชิ้นงานโลหะหล่อหลังการแข็งตัว สิ่งแรกที่มีความสำคัญมากสำหรับการหลอมโลหะคือ การมีอุปกรณ์และเครื่องมือในการหลอมที่ดี ใช้เทคนิคการหลอมที่ถูกต้อง องค์ประกอบทั้งสองนี้จะมีผลทำให้ชิ้นงานที่ได้มีความสมบูรณ์ในทุกด้านเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะที่นำมาใช้เป็นวัสดุเริ่มต้นการหลอม

2.2.1 ปัญหาและองค์ประกอบในการหลอมอะลูมิเนียม

โดยทั่วๆ ไปอะลูมิเนียมจะไม่แสดงพฤติกรรมที่ดีในการหลอมทุกๆสภาวะ แต่อะลูมิเนียมแสดงพฤติกรรมที่ทำปฏิกิริยาเคมีได้ง่ายมากในขณะหลอมละลาย พฤติกรรมดังกล่าว จำเป็นจะต้องถูกควบคุมอย่างใกล้ชิดเพื่อให้ได้น้ำโลหะชิ้นงานหลังการแข็งตัวที่ดี

ที่ระดับอุณหภูมิสูงๆ อะลูมิเนียมจะสามารถจับตัวกับออกซิเจน กลายเป็นสารประกอบออกไซด์ได้รวดเร็วมาก เมื่ออะลูมิเนียมหลอมละลาย ปริมาณออกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นตามระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น รวมทั้งระยะเวลาที่น้ำโลหะอยู่ที่อุณหภูมิสูงมากๆเป็นระยะเวลาที่ยาวนานมากยิ่งขึ้นนอกจากนี้การที่ความถ่วงจำเพาะของน้ำโลหะผสมอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกัน เป็นเหตุให้อะลูมิเนียมออกไซด์สามารถแขวนลอยในน้ำโลหะและติดปนกับน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบหล่อได้โดยง่าย ดังนั้นการหลอมอะลูมิเนียมทั้งบริสุทธิ์และผสมจึงควรหลีกเลี่ยงการกวนน้ำโลหะและการปล่อยทิ้งให้น้ำโลหะอยู่ที่ระดับอุณหภูมิหลอมละลายเป็นระยะเวลาเวลานานเกินความจำเป็น

ปัญหาอื่นๆ ที่สำคัญในการหลอมโลหะผสมอะลูมิเนียม คือ การที่น้ำโลหะอะลูมิเนียมทั้งบริสุทธิ์และโลหะผสมสามารถที่จะละลายก๊าซต่างๆ ที่รวมกันอยู่ในบรรยากาศเหนือโลหะได้ง่ายมากและละลายได้ในปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งไฮโดรเจนที่ละลายปนในน้ำโลหะจะมีผลทำให้เกิดปัญหากับเนื้อโลหะได้มากทั้งในระหว่างการแข็งตัวและหลังการแข็งตัวของน้ำโลหะ ดังนั้นการหลอมโลหะอะลูมิเนียมผสมที่ใช้เปลวไฟให้ความร้อนกับก้อนโลหะและน้ำโลหะโดยตรง จะมีโอกาสเสี่ยงต่อการละลายของก๊าซเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

จะให้ไอน้ำที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาไหม้ น้ำโลหะจะทำปฏิกิริยากับไอน้ำทำให้ไฮโดรเจนแยกตัวออกจากไอน้ำและละลายปะปนในน้ำโลหะ [5]

2.2.2 การหลอมอะลูมิเนียมในงานหล่อโลหะ

อะลูมิเนียมผสมในงานหล่อโลหะโดยมากจะมี Cu, Si, Mg, และ Zn เป็นองค์ประกอบเคมีหลัก ซึ่งหลังจากการอุ่นผนังเตาที่กรุใหม่และเบ้าหลอมอย่างช้าๆ จนร้อนแดงแล้ว เตาหลอมโลหะดังกล่าวพร้อมที่จะทำการบรรจุโลหะที่ต้องการหลอม ในทางปฏิบัติช่วงเริ่มต้นการหลอมสามารถที่จะบรรจุเตาด้วยโลหะที่ไม่ได้ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิเลยลงในเตาการหลอมด้วย Crucible Furnace โลหะที่บรรจุลงในเบ้าไม่ควรจะเปียกกันจนแน่น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโลหะได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัว ซึ่งอาจจะทำให้ตัวเบ้าหลอมเกิดการแตกร้าวได้ นอกจากนี้โลหะที่เปียกอัดกันแน่นในบริเวณส่วนบนของเบ้าจะเลื่อนลงสู่กันเบ้า (Bridging) ทำให้น้ำโลหะที่ก้นเบ้ามีระดับอุณหภูมิสูงเกินควร หลังจากที่โลหะเริ่มหลอมละลายและมีน้ำโลหะรวมกันที่ก้นเบ้าแล้ว จะบรรจุโลหะลงในเบ้าเพิ่มขึ้นโดยปล่อยให้โลหะให้ค้างบนก้น โลหะที่ยังไม่หลอมละลาย ทำให้โลหะที่บรรจุลงไปใหม่ถูกอุ่นให้ร้อน ก่อนที่จะจมลงในน้ำโลหะในเบ้า การอุ่นโลหะจัดเป็นสิ่งจำเป็นมาก ทั้งนี้เพราะความร้อนจะทำให้ทั้งไอน้ำและก๊าซที่ละลายปนหรือเกาะติดที่ผิวโลหะหนีออกไป นอกจากนี้การอุ่นโลหะยังทำให้คราบน้ำมันและความชื้นที่เกาะติดผิวโลหะสลายตัวหนีออกไป สารปนเปื้อนเหล่านี้จะเป็นแหล่งกำเนิดของก๊าซไฮโดรเจนที่มีผลทำให้เกิดตำหนิงานหล่อในขณะที่เกิดการแข็งตัวของน้ำโลหะได้ง่าย [5]

2.2.3 ผลกระทบอุณหภูมิหลอมและระยะเวลาหลอมแช่

ในระหว่างการเตรียมน้ำโลหะสำหรับงานหล่อ สิ่งที่ต้องปฏิบัติพึงจะต้องระวังไว้เสมอคือจะต้องหลีกเลี่ยงการหลอมน้ำโลหะที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมละลายมาก พร้อมทั้งหลีกเลี่ยงการปล่อยแช่น้ำโลหะที่ระดับอุณหภูมิดังกล่าวเป็นระยะเวลายาวนานเกินความจำเป็น การออกแบบระบบจ่ายน้ำโลหะในโพรงแบบหล่อควรจะต้องออกแบบ เพื่อให้สามารถเทน้ำโลหะด้วยอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่เพียงพอจะทำให้ น้ำโลหะไหลเต็มโพรงแบบหล่อได้เท่านั้น สิ่งเหล่านี้จัดเป็นสิ่งสำคัญมากในงานหล่อโลหะ ทั้งนี้เพราะการหลอมโลหะที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมละลายมาก ๆ เป็นระยะเวลายาวนานมาก ๆ จะทำให้เนื้อโลหะชิ้นงานที่ได้มีเกรนหยาบ เนื้อโลหะจะมีคุณสมบัติทางกลต่ำมาก นอกจากนี้การหลอมโลหะที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ๆ จะมีผลทำให้น้ำโลหะละลายก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศเหนือน้ำโลหะในปริมาณมากขึ้น ซึ่งจะทำให้มีปัญหาดำหนิชิ้นงานหล่อที่เกิดจากก๊าซได้ง่ายขึ้น ในการหลอมโลหะผสมอะลูมิเนียมอุณหภูมิของน้ำโลหะไม่ควรสูงเกินกว่า 760 องศาเซลเซียส ยกเว้นกรณีที่ชิ้นงานบางมาก ๆ หรือเทลงในแบบหล่อที่เป็นโลหะที่ต้องการอุณหภูมิ Superheat ที่ระดับสูงมาก ๆ จึงจะไหลเต็มโพรงแบบได้ อีกสิ่ง

หนึ่งที่ผู้ปฏิบัติควรจะต้องระลึกไว้คือหลังจากการที่ก้อนอะลูมิเนียมหลอมละลายหมดแล้ว 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- AlCl_3 -NaF-KF- AlF_3 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 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสังกะสี (Zinc)

สังกะสีเป็นโลหะที่มีการผลิตและนำมาใช้ประโยชน์เมื่อประมาณ 600 ปีมาแล้ว โดยช่วงแรกจะมีการใช้มากในแถบประเทศอินเดียและจีน โดยมีการผลิตเครื่องใช้ที่ทำจากโลหะสังกะสีผสมและนำสังกะสีออกไซด์มาผสมถ่านหินเพื่อใช้ทำเครื่องปั้นดินเผา สำหรับกระบวนการผลิตโลหะสังกะสีที่เป็นต้นแบบของเทคโนโลยีการถลุงสังกะสีในปัจจุบันถูกคิดค้นในปี 1738 โดยวิลเลียมแชมเปียม ทำให้มีการใช้สังกะสีอย่างแพร่หลาย และถือเป็นโลหะที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดเป็นอันดับสี่ในปัจจุบันรองจากเหล็ก อะลูมิเนียม และทองแดง [7]

คุณสมบัติทั่วไปของสังกะสี หากกล่าวถึงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ สังกะสีมีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 65.41 มีระบบผลึกเป็นแบบ Hexagonal มีความหนาแน่นประมาณ 7.14 g/cm^3 และมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ $420 \text{ }^\circ\text{C}$ ในส่วนของการใช้ประโยชน์ของโลหะสังกะสี สังกะสีเป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ มีความเหนียวน้อยหรือเปราะ เพราะมีระบบผลึกเป็นรูปหกเหลี่ยม อัตราการยึดตัวน้อย และมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถก่อให้เกิดพิษได้เนื่องจากรวมตัวกับออกซิเจนเป็นสังกะสีออกไซด์ได้ง่าย ซึ่งเป็นอันตราย สังกะสีถูกนำไปใช้ประโยชน์หลายด้าน ตามคุณสมบัติที่มีมากมาย โดยอาจแบ่งการใช้ประโยชน์ตามลักษณะการนำไปใช้ได้ดังนี้

- 1) ใช้เคลือบผิวเหล็กเพื่อป้องกันการเกิดสนิม และการผุกร่อน โดยสังกะสีจะทำหน้าที่ป้องกัน 2 ชั้นตอนคือ ชั้นแรกจะทำหน้าที่ป้องกันผิวเหล็กไม่ให้สัมผัสกับอากาศหรือสารอย่างอื่น และหากเกิดการoxidationหรือผุกร่อนจนถึงผิวเหล็กแล้ว สังกะสีจะทำหน้าที่ในขั้นต่อไปรูปของ Galvanic action คือโลหะสังกะสีซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical activity) สูงกว่าเหล็กจะทำตัวเป็นขั้วบวกและดึงออกซิเจนมาทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสนิมแทนเหล็ก ทำให้ผิวเหล็กไม่ผุ

กร่อนแม้ผิวเหล็กจะสัมผัสถูกอากาศ การใช้งานด้านนี้มีสัดส่วนมากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละประมาณ 45-50 ของการบริโภคสังกะสีทั้งหมด

2) ใช้ทำทองเหลืองโดยผสมกับโลหะทองแดง และอาจมีโลหะอื่นๆ ผสมเพิ่มคุณสมบัติเป็นการเฉพาะต่อการใช้งาน เช่น ตะกั่ว อะลูมิเนียม ดีบุก พลวง แมงกานีส เป็นต้น

3) สังกะสีออกไซด์ใช้ในอุตสาหกรรมยาง เซรามิก ยา สีสะท้อนแสง สังกะสีซัลเฟตใช้ในการผลิตสารทำใบสังเคราะห์เรยอน และสังกะสีคลอไรด์ใช้ทำยาดับกลิ่นปาก ยาฆ่าเชื้อ และยารักษาเนื้อไม้ไม่ให้ผุและติดไฟง่าย

4) สังกะสีฝุ่น (Zinc dust) ใช้ในการผลิตสารเคมีที่ใช้ในการพิมพ์และย้อมผ้า ใช้ผสมกับอะลูมิเนียมผงเพื่อแก่น้ำกระด้าง ใช้เป็นสารผลิตก๊าซในคอนกรีตทำให้ได้รูปพรุน ใช้ไปสารเร่งในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ช่วยให้เกิดการคายไฮโดรเจนในการทำสบู่จากจีฟี่พาราฟิน นอกจากนี้ยังใช้ทำดอกไม้ไฟ ผงไฟแฟลช อุตสาหกรรมน้ำตาล และกระดาษ

5) ใช้ทำโลหะผสมสำหรับงานหล่อ (Die casting) เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำ จึงให้คุณสมบัติที่ดีคือ ง่ายต่อการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังคงทน กลิ้งไสตกแต่งง่าย และมีสีมันสวยงาม โลหะผสมที่สำคัญได้แก่ อะลูมิเนียม แมกนีเซียม และทองแดง เป็นต้น สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยโลหะสังกะสีผสมมีมากมายเช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ลูกบิดประตู ของเล่นเด็ก เครื่องใช้ในครัวเรือน เครื่องมือกล อุปกรณ์สำนักงาน และท่อน้ำ เป็นต้น [7]

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)

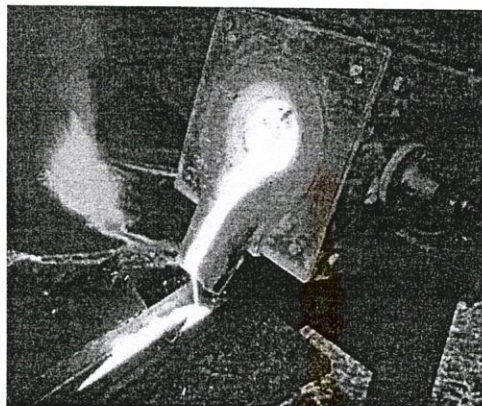
2.4.2 เตาที่เปลวไฟไม่สัมผัสโดยตรงกับโลหะ (Indirect Fuel Fire Furnace)

เป็นเตาที่มีภาชนะรูปทรงกระบอกสูง (Crucible) รูปร่างคล้ายกระทะ (Hearth) รูปร่างทรงกระบอกสูง (Shaft) เพื่อใช้บรรจุน้ำโลหะป้องกันก๊าซสันดาปสัมผัสโดยตรงกับน้ำโลหะที่

หลอมเหลว เตาเบ้าแบบนี้สามารถใช้เชื้อเพลิงจากการสันดาปจากถ่าน ไม้ น้ำมัน และก๊าซเชื้อเพลิง สามารถติดตั้งหัวเผาแบบอัตโนมัติ (Automatic Burner) ที่สามารถควบคุมอัตราส่วนการเผาไหม้ และควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ หัวเผาสามารถปิด - เปิดด้วยระบบอัตโนมัติซึ่งทำให้ประหยัดพลังงานได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ เตาเบ้าแบบนี้มีการสูญเสียของธาตุผสมประมาณ 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ เ้าหลอมทำจากวัสดุทนความร้อนต้องมีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง ส่งถ่ายความร้อนดี ทำจากวัสดุกราไฟต์ใช้กับเตาเกลือในงานอบชุบโลหะด้วยความร้อน ทำจากวัสดุดินทนไฟผสมกับกราไฟต์และวัสดุคาร์บอนผสมซิลิคอนคาร์ไบด์ ใช้กับการหลอมอะลูมิเนียมและทองแดงผสม และเบ้าโลหะที่ทำจากวัสดุเหล็กหล่อเหนียวเคลือบผิวด้วยวัสดุทนไฟใช้กับการหลอมโลหะ แมกนีเซียมผสม แต่ต้องระวังการปนเปื้อนออกไซด์และเหล็กในน้ำโลหะ เตาเบ้าแบบนี้แบ่งออกได้ 5 ชนิด ประกอบด้วย เตาเบ้าแบบยกเบ้าหลอมได้ (Lift - Out Furnace) เตาเบ้าแบบยกเบ้าหลอมไม่ได้ (Bate - Out Furnace) เตาเบ้าแบบเอียงเทน้ำโลหะได้ (Tilting Furnace) เตาเบ้าแบบถ่ายความร้อน (Immersed Crucible Furnace) เตาเบ้าแบบหมุน (Rotary Crucible Furnace) การสร้างเตาเบ้าหลอมโลหะสำหรับงานหล่อด้วยแม่พิมพ์ (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 และขดลวดทำจากโมลิบดีนัมไดซิลิไซด์ (MoSi_2) ให้อุณหภูมิได้สูงประมาณ 1,700 ถึง 1,900 องศาเซลเซียส และเตาแบบเหนี่ยวนำด้วยกระแสไฟฟ้า (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) ใช้สำหรับหลอมโลหะไทเทเนียมและเซอร์โคเนียมที่ต้องการความบริสุทธิ์สูงด้วยเบ้าหลอมโลหะทองแดงที่มีระบบน้ำหล่อเย็นอยู่ในผนังเบ้า ภายใต้ภาวะสุญญากาศหรือบรรยากาศที่ควบคุมด้วยก๊าซเฉื่อยด้วยขดลวดเหนี่ยวนำไม่มีการใช้วัสดุทนไฟบุผนังเบ้าหลอม 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) ไม่ว่าจะ เป็นประเภทความถี่ต่ำ หรือความถี่สูง จะมีผลทำให้เกิดการกวน (Stirring Effect) ในน้ำโลหะที่กำลังหลอมเหลว ทำให้มี โอกาสละลายแก๊สในอากาศได้มาก

เตาหลอมไฟฟ้าที่ดีที่สุดควรจะเป็นแบบใช้ลวดความต้านทาน (Resistance) เนื่องจาก สามารถควบคุมได้ง่ายทั้งการละลายแก๊ส และการเกิดอะลูมิเนียมออกไซด์ เพราะไม่เกิดการกวนน้ำ โลหะ

ในการหลอมโลหะจะประกอบด้วยขั้นตอนในการถ่ายเทความร้อนดังนี้

ก) การถ่ายเทความร้อนภายในเตาไปยังพื้นผิวของโลหะ จากการพาความร้อนและการแผ่ รังสีความร้อนซึ่งเกิดจากการเผาไหม้

ข) การถ่ายเทความร้อนภายในชิ้นโลหะโดยการนำความร้อนจากบริเวณพื้นผิวเข้าไปภายใน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการนำความร้อนและค่าความจุความร้อนของโลหะชนิดนั้นๆ และแสดงโดยค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

เวลาที่ใช้ในการหลอมขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ขนาด และรูปร่างของ ชิ้นงานในการที่จะทำให้อุณหภูมิที่แกนกลางถึงจุดหลอมเหลว

การหลอมโลหะอะลูมิเนียมผสมขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำโลหะ และจำนวนปริมาตรของ อะลูมิเนียมที่จะหลอม มีเตาที่ใช้ในอุตสาหกรรมอยู่ 5 ประเภท คือ เตาเบ้าที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้เบ้ากราไฟต์หรือเซรามิกชนิดยกเทออกใช้สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เตากะทะโดยใช้ เหล็กหล่อหรือเหล็กกล้าพิเศษเป็นเบ้าใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ใช้สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เตา นอนแบบสะท้อนความร้อนมีทั้งตั้งอยู่กับที่ และเอียงเทได้ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ใช้สำหรับงาน อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และขนาดกลาง เตาไฟฟ้าที่ใช้มี 2 ประเภท คือ แบบใช้ความต้านทานด้วย ไฟฟ้าเป็นเตาที่ดีที่สุดในการหลอมอะลูมิเนียม เพราะง่ายต่อการควบคุมการละลายก๊าซ และขี้โลหะ ส่วนเตาแบบเหนี่ยวนำด้วยไฟฟ้าแบบช่อง (Channel) จะทำให้เกิดการกวนน้ำโลหะทำให้เกิดการ ละลายก๊าซในน้ำโลหะ ใช้สำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลาง

2.6 การตรวจวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่ใช้ในกระบวนการหล่ออะลูมิเนียม

วัตถุดิบและวัสดุต่างๆ ที่นำมาใช้ในการเตรียมอะลูมิเนียมหลอมเหลวไม่ว่าจะเป็นอินกอต อะลูมิเนียม เศษอะลูมิเนียมประเภทต่างๆ ธาตุผสมในรูปของ โลหะบริสุทธิ์หรือมาสเตอร์อัลลอย ตลอดจนฟลักซ์ต่างๆ อาจมีความแปรปรวนจากหลายสาเหตุ อาทิ การซื้อวัตถุดิบจากผู้ผลิตที่ หลากหลาย ซึ่งอาจมีทั้งแหล่งที่มีการควบคุมการผลิตที่ดีและแหล่งผลิตที่คุณภาพมีความแปรปรวน สูง และในทางปฏิบัติแล้วยังมีการใช้สัดส่วนของวัตถุดิบแต่ละประเภทที่แตกต่างกันออกไป การใช้

เศษโลหะในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมอาจมีผลทำให้อะลูมิเนียมหลอมเหลวที่ได้มีการปนเปื้อน และ อาจจะมีการสูญเสียธาตุบางตัวในขณะที่ทำการหลอมหรืออุ่นรอก ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการ ตรวจวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุต่างๆ ในอะลูมิเนียมหลอมเหลวที่เตรียมขึ้นเพื่อให้อุ่นใจได้ว่ามีค่า ส่วนผสมทางเคมีถูกต้องตามเกรดมาตรฐานที่กำหนดไว้

เทคนิคพื้นฐานที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่ใช้ในกระบวนการหล่อ อะลูมิเนียม คือ สเปกโตรสโกปี สเปกโตรสโกปี (Spark Emission Spectroscopy) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ สามารถตรวจวัดธาตุต่างๆ จากตัวอย่างงานโลหะในสภาพของแข็งได้ โดยปกติแล้วปริมาณของธาตุ ที่สามารถถูกตรวจวัดด้วยวิธีดังกล่าวได้จะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.01 โดยน้ำหนัก ในกรณี ที่ต้องการตรวจหาธาตุปนเปื้อนบางตัวที่มีสัดส่วนต่ำกว่าขีดความสามารถของเทคนิคสเปกโตรสโกปี สเปกโตรสโกปี จะต้องใช้เทคนิคอื่นที่มีความละเอียดในการตรวจวัดสูงกว่า เช่น เอกซ์-เรย์ ฟลูออ เรสเซนซ์ เป็นต้น [10]

2.7 การกัดกร่อน (Corrosion)

การกัดกร่อน หมายถึง การผุพังของโลหะและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโลหะอัน เนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งทำให้คุณสมบัติของโลหะเปลี่ยนแปลงไป เช่น ความแข็งแรงลดลง การเกิดสนิมของเนื้อเหล็ก เป็นต้น โดยหลักการของการเกิดการกัดกร่อนของโลหะอาจแยกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.7.1 การกัดกร่อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง (Direct Chemical Corrosion) เกิดปฏิกิริยาเคมีโดยตรงระหว่างผิวโลหะและแก๊ส เช่น ออกซิเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น และปฏิกิริยา ดังกล่าวมักเกิดที่อุณหภูมิสูง สารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเหล่านี้ ถ้ามีลักษณะปกคลุมผิว โลหะอย่างเหนียวแน่น และไม่มีรูพรุนจะทำให้ปฏิกิริยาหยุดได้ และจะเป็นตัวป้องกันผิวโลหะไว้ อีกชั้นหนึ่ง เช่น Al_2O_3 ที่ปกคลุมผิวอะลูมิเนียม เป็นต้น

2.7.2 การกัดกร่อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electro- Chemical Corrosion) โลหะจะเกิด การกัดกร่อนได้ จะต้องมี electrolyte ซึ่งอาจจะเป็นบรรยากาศที่ชื้นหรือของเหลวใดๆ ที่โลหะ สัมผัสอยู่ ปฏิกิริยาแบบนี้จะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากโลหะที่กัดกร่อนซึ่งเรียกว่า แอโนด (Anode) ไปยังโลหะหรือธาตุซึ่งแอโนดสัมผัสอยู่ โลหะหรือธาตุตัวหลังนี้เรียกว่า แคโทด (Cathode) เป็นขั้วที่มีประจุบวก (Cation) วิ่งไปหา ในขณะที่ขั้วแอโนดมีประจุลบ (Anion) วิ่งไปหา เซลล์ไฟฟ้าจะครบวงจร เนื่องจากกระแสอิเล็กตรอนไหลสวนทางกับกระแสไฟฟ้า

โลหะในธรรมชาติเกิดการกัดกร่อนมีสาเหตุหลายประการ สาเหตุหนึ่งคือเกิดจากผิวของ โลหะสัมผัสกับน้ำและแก๊สออกซิเจน การกัดกร่อนของโลหะเกิดจากการที่อะตอมของโลหะถูก

ออกซิไดซ์เป็นไอออนแล้วรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศได้ผลิตภัณฑ์เป็นออกไซด์ของโลหะนั้น เช่น สนิมเหล็ก (Fe_2O_3) สนิมทองแดง (CuO) หรือสนิมอะลูมิเนียม (Al_2O_3) ปฏิกิริยาการเกิดสนิมมีกระบวนการซับซ้อนมาก และมีลักษณะเฉพาะตัว เช่น การเกิดสนิมเหล็กเนื่องจากบริเวณผิวเหล็กที่สัมผัสน้ำจะมีการให้และรับอิเล็กตรอน โดยอะตอมของเหล็กจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือถูกออกซิไดซ์เป็น Fe^{2+} ส่วนน้ำและออกซิเจนในอากาศจะรับอิเล็กตรอนหรือถูกรีดิวซ์เป็น OH^-

การกัดกร่อนของเหล็กหรือเกิดสนิมอาจเกิดได้เร็วขึ้นเมื่อเหล็กสัมผัสกับสารเคมีที่เป็นตัวออกซิไดซ์ เช่น กรด สารละลายของสารประกอบไอออนิกบางชนิด เช่น NaCl หรือสัมผัสกับโลหะที่มีศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์สูงกว่า ส่วนโลหะอื่นๆ สามารถเกิดการกัดกร่อนได้เช่นเดียวกัน ตัวอย่าง เช่น ทองแดง (Cu) และ เงิน (Ag) แต่การกัดกร่อนจะเกิดอย่างช้าๆ เนื่องจากเป็นธาตุที่ให้อิเล็กตรอนยาก

2.8 ปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะ

การที่โลหะถูกทำลายหรือผุกร่อนไปโดยเร็ว นับว่าเป็นความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่ง อัตราการกัดกร่อนอาจขึ้นกับปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการ คือ ขึ้นอยู่กับโลหะนั้นและขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม ซึ่งอาจจำแนกได้ต่างๆ กัน คือ

2.8.1 ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโลหะใน electro-chemical series ดังแสดงในภาพที่ 2.2 โลหะแต่ละชนิดจะมีความสามารถละลายลงในสารละลายได้มากน้อยต่างกัน โลหะที่มีค่า electrode potential ต่ำ จะมีความสามารถละลายลงไปได้มากกว่าโลหะที่มีค่า electrode potential สูงกว่า

2.8.2 ขึ้นอยู่กับโลหะอีกชนิดหนึ่งที่สัมผัสอยู่ เช่น สังกะสีที่สัมผัสกับเหล็ก สังกะสีจะผุกร่อนไปในขณะที่เหล็กไม่ถูกกัดกร่อน แต่ถ้าเหล็กมาสัมผัสกับดีบุก เนื้อเหล็กจะถูกกัดกร่อนไปในขณะที่ดีบุกไม่ถูกกัดกร่อน และถ้าโลหะที่มาสัมผัสกันนั้นมีค่า electrode potential ต่างกันมาก การกัดกร่อนนั้นก็รุนแรงมากขึ้น

2.8.3 ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเนื้อโลหะนั้น เช่น ถ้าเนื้อโลหะมีสิ่งเจือปนมากหรือเนื้อโลหะไม่เป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด โลหะนั้นก็จะผุกร่อนได้ง่าย

2.8.4 ขึ้นอยู่กับความเครียดภายในเนื้อโลหะ ถ้าเนื้อโลหะมีความเครียดภายในมาก โลหะนั้นก็จะผุกร่อนได้ง่ายเช่นกัน

นอกจากนี้สภาวะแวดล้อมก็เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกประการหนึ่ง ซึ่งอาจจำแนกออกได้ต่างๆ กัน คือ 1) ความชื้นสัมพัทธ์ ถ้าบรรยากาศมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง โลหะก็อาจผุกร่อนได้โดยรวดเร็ว 2) ขึ้นกับมลภาวะของบรรยากาศ ถ้ามีมากก็ทำให้โลหะผุกร่อนได้เร็วเช่นกัน 3) ขึ้นกับการกระจายตัวของออกซิเจน ถ้าออกซิเจนกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โลหะก็อาจผุกร่อนได้ง่าย 4) ขึ้นกับ

อัตราการไหลของของเหลว 5) ขึ้นกับความถี่กรวด ความถี่ต่างของของเหลว และ 6) ขึ้นอยู่กับความเครียดที่เนื้อโลหะได้รับ

	Electrode Reaction	Standard Electrode Potential, V^0 (V)
	$\text{Au}^{3+} + 3e^- \longrightarrow \text{Au}$	+1.420
	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.229
	$\text{Pt}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Pt}$	~+1.2
	$\text{Ag}^+ + e^- \longrightarrow \text{Ag}$	+0.800
	$\text{Fe}^{3+} + e^- \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0.771
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \longrightarrow 4(\text{OH}^-)$	+0.401
	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}$	+0.340
	$2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2$	0.000
	$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Pb}$	-0.126
	$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Sn}$	-0.136
	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Ni}$	-0.250
	$\text{Co}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Co}$	-0.277
	$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cd}$	-0.403
	$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Fe}$	-0.440
	$\text{Cr}^{3+} + 3e^- \longrightarrow \text{Cr}$	-0.744
	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Zn}$	-0.763
	$\text{Al}^{3+} + 3e^- \longrightarrow \text{Al}$	-1.662
	$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Mg}$	-2.363
	$\text{Na}^+ + e^- \longrightarrow \text{Na}$	-2.714
	$\text{K}^+ + e^- \longrightarrow \text{K}$	-2.924

ภาพที่ 2.2 แสดงศักย์มาตรฐานของขั้วไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของโลหะบางชนิด [11]

2.9 ลักษณะการกัดกร่อนของโลหะ

ลักษณะการกัดกร่อนของโลหะ สามารถแบ่งออกเป็นลักษณะใหญ่ๆ ได้ 2 ลักษณะ คือ

2.9.1 การกัดกร่อนแบบ Uniform attack ลักษณะการกัดกร่อนของโลหะจะกระจายเต็มพื้นที่ผิว เนื้อโลหะจะบางลงจนใช้งานไม่ได้ การกัดกร่อนแบบนี้ไม่มีอันตรายร้ายแรงแต่ประการใด เนื่องจากเราสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนและอาจทำการตรวจสอบได้โดยง่าย การกัดกร่อนแบบนี้อาจเกิดได้ในโลหะสองชนิดที่นำมาสัมผัสกัน โดยโลหะที่เป็นแอโนดจะสึกกร่อนไป อัตราการสึกกร่อนจะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่ไหลและพื้นที่แอโนด ถ้าพื้นที่เล็กความหนาแน่นกระแสจะมาก การกัดกร่อนก็เกิดได้รวดเร็วขึ้น นอกจากนี้อาจเกิดได้ในโลหะที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ อยู่มาก โลหะจะไม่ใช่เนื้อเดียวกันตลอด ทำให้เกิดเป็นเซลล์ไฟฟ้าที่มีขั้วแอโนดและแคโทดขึ้น โลหะผสมที่เนื้อโลหะแยกเป็น 2 phase ก็อาจเกิดเป็นเซลล์ไฟฟ้าได้เช่นกัน โลหะส่วนที่เป็นแอโนดจะสึกกร่อนลงไปเหลือส่วน

ที่เป็นแคโทดอยู่ ดังนั้นโลหะผสมที่ต้องการให้มีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดี จึงควรจะมีเนื้อเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันตลอด คือมี เนื้อเป็น phase เดียวเท่านั้น

2.9.2 การกัดกร่อนแบบ Pitting ลักษณะการกัดกร่อนจะเกิดเป็นรูลึกเข้าไปในเนื้อโลหะ เมื่อมองด้วยตาเปล่าอาจสังเกตเห็นไม่พบว่าโลหะสึกกร่อนไปมากแล้ว ทำให้เกิดอันตรายขึ้นได้บ่อยๆ การเกิด pitting อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุต่างๆ กัน เช่น เกิดจากการกระจายตัวของออกซิเจนไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมักจะเกิดในบริเวณน้ำนิ่ง โลหะที่อยู่ในบริเวณที่มีออกซิเจนละลายอยู่น้อยจะเกิดเป็นแอโนดขึ้น ในขณะที่โลหะที่อยู่ในบริเวณที่มีออกซิเจนละลายอยู่มากเป็นแคโทด โลหะที่เป็นแอโนดจะถูกกัดลึกเป็นรูลงไป การกัดกร่อนของโลหะดังกล่าวจะเกิดขึ้นถึงแม้ว่าโลหะนั้นจะเป็นโลหะบริสุทธิ์ก็ตาม

2.10 การป้องกันการกัดกร่อนของโลหะและโลหะผสม

โลหะและโลหะผสมบางชนิดอาจต้านทานการกัดกร่อนในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ดี แต่อาจจะมีราคาแพงมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้โลหะที่มีราคาพอสมควรและหาทางให้โลหะนั้นใช้งานได้ทนทาน การป้องกันการกัดกร่อนของโลหะและโลหะผสมอาจทำได้หลายวิธี เช่น

2.10.1 ทาผิวหน้าของโลหะด้วยสี หรือน้ำมัน หรือเคลือบด้วยพลาสติก หรือทาด้วยสารป้องกันการสึกกร่อนชนิดต่างๆ ที่มีจำหน่าย

2.10.2 เคลือบ หรือเชื่อม หรือพันด้วยโลหะที่เสียอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่า

2.10.3 ชุบ หรือเคลือบผิวหน้าของโลหะที่ต้องการป้องกันการสึกกร่อนด้วยโลหะอื่น โลหะที่นิยมใช้เคลือบ คือ โลหะที่เกิดสารประกอบออกไซด์แล้วสารประกอบออกไซด์นี้สามารถเคลือบผิวหน้าของโลหะไว้ไม่ให้สึกกร่อนลุกลามต่อไปได้

2.10.4 ทำเป็นโลหะผสม โดยการนำโลหะตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาหลอมรวมกัน ทำให้ทนต่อการสึกกร่อนได้

2.10.5 วิธีอะโนไดซ์ คือ การใช้กระแสไฟฟ้าทำให้ผิวหน้าของโลหะกลายเป็นโลหะออกไซด์ ซึ่งใช้กับโลหะที่มีสมบัติพิเศษ คือ เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นออกไซด์ของโลหะแล้วออกไซด์ของโลหะนั้นจะเคลือบผิวของโลหะไม่เกิดการสึกกร่อนต่อไป

2.10.6 วิธีแคโทดิก เนื่องจากการสึกกร่อนของโลหะ คือ การที่โลหะเสียอิเล็กตรอนจึงเปรียบได้กับขั้วแอโนด ดังนั้นถ้าต้องการไม่ให้โลหะเกิดการสึกกร่อน จะต้องทำให้โลหะนั้นมีสถานะเป็นแคโทด หรือคล้ายแคโทด

2.10.7 วิธีการรมดำ เป็นการป้องกันการกัดกร่อนและเพิ่มความสวยงามให้แก่ชิ้นงานโลหะ เป็นการทำให้ผิวของโลหะเปลี่ยนเป็นออกไซด์ของโลหะนั้น ซึ่งมีลักษณะเป็นคราบสีดำเกาะติดแน่นบนผิวของชิ้นงานโลหะ

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าผลงานวิจัยของ S.M.A. Shibli และคณะ (2007) กล่าวว่าปัญหาที่สำคัญสำหรับการใช้งานอะลูมิเนียมกันกร่อนคือการเกิดฟิล์มออกไซด์ของอะลูมิเนียม ทำให้อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ไม่สามารถใช้ป้องกันการกัดกร่อนได้จึงต้องมีการเติมธาตุผสมลงในอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ เพื่อให้ฟิล์มที่เกิดขึ้นมีสภาพอ่อนแอและสามารถหลุดออกได้ ธาตุที่นิยมใช้ได้แก่ อินเดียม สังกะสี บิสมัท พรอท และดีบุก [1]

ส่วนเรื่องประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อน H. Sina และคณะ (2006) พบว่าจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านโลหะวิทยา เช่น ปริมาณธาตุผสมที่เติมลงในโลหะผสมอะลูมิเนียม การกระจายตัวของโลหะผสมภายในชิ้นงานโดยโลหะผสมอะลูมิเนียมอาจจะอยู่ในลักษณะสารละลายของแข็ง หรือ segregation second phase ก็ได้ นอกจากนี้ H. Sina และคณะ (2006) ยังได้ทำการศึกษาการเติมธาตุไทเทเนียม และเซอร์โคเนียม ใน Al-5%Zn ซึ่งทำให้ขนาดของเกรนมีขนาดลดลงและประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้สูงขึ้น [2] โดยกระบวนการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อนในปัจจุบันใช้การหล่อซึ่งทำให้ส่วนผสมของชิ้นงานที่ได้มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ (Segregation) และเกิดโครงสร้างทางจุลภาคขึ้น 3 ส่วน คือ 1) Chill Structure จะเกิดขึ้นบริเวณผนังของแบบหล่อมีลักษณะของเกรนขนาดเล็กเม็ดเกรนกลมและมีขนาดเท่ากัน 2) Columnar Structure เกรนมีใหญ่กว่า Chill Zone และรูปร่างเกรนมีลักษณะเป็นรูปเข็ม และ 3) Equiaxial Structure เม็ดเกรนกลมและมีขนาดเท่ากัน

นอกจากโครงสร้างที่แตกต่างกันของงานหล่อแล้ว Salinas และคณะ (1999) ศึกษาพบว่าโครงสร้างแบบ Chill Zone ทำให้อะลูมิเนียมกันกร่อนมีประสิทธิภาพดีกว่าโครงสร้างแบบ Columnar Zone และ Equiaxial Structure เนื่องจากมีขนาดของเม็ดเกรนกลมและมีขนาดสม่ำเสมอ เพราะฉะนั้นกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีส่วนผสมมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจะทำให้ประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนสูงขึ้น [3]

J. Aromaa และคณะ (2006) กล่าวว่าเมื่อความเค็มของน้ำทะเลลดต่ำลงมากจนกลายเป็นน้ำกร่อย รัศมีในการป้องกันการกัดกร่อนของแอโนดจะลดลงโดยรัศมีในการป้องกันการกัดกร่อนอาจจะลดลงเหลือเพียง 10-15% เมื่อเปรียบเทียบกับรัศมีในการป้องกันของแอโนดในน้ำทะเล ซึ่งรัศมีในการป้องกันอาจจะลดลงต่ำกว่า 10% ถ้าน้ำกร่อยเพิ่มมากขึ้น จากการทดลองป้องกันการกัดกร่อน

ของแผ่นเหล็กทดสอบให้ได้รัศมีประมาณ 11-12 เมตร ในน้ำทะเลนิ่งที่มีค่าความเค็ม 3.6 wt% NaCl ค่ากระแสและความหนาแน่นของกระแสที่ต้องการเพื่อป้องกันการกัดกร่อนจะอยู่ที่ 5.7 mA และ 320 mA/m² และในน้ำกร่อยนิ่งที่มีค่าความเค็มอยู่ระหว่าง 0.25-0.6 wt% NaCl ค่ากระแสและความหนาแน่นของกระแสที่ต้องการเพื่อป้องกันการกัดกร่อนจะอยู่ที่ระหว่าง 110-125 mA และ 6,100-6,900 mA/m² ตามลำดับ ซึ่งก็แสดงให้เห็นว่าในน้ำกร่อยที่มีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าสูง Anode จะต้องมีค่าความจุกระแสที่สูงเพียงพอ เพื่อที่จะสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [12]

พินัย มุ่งสันติ และ เสริมศักดิ์ ศรีหิรัญ (2554) ได้ทดลองผลิตอะลูมิเนียมแอโนดที่ผสมธาตุ ดีบุก (Tin) แทนธาตุอินเดียม (Indium) ด้วยวิธีการหล่อและต่อเนื่องด้วยการอบละลายโครงสร้างให้เป็นเนื้อเดียวกัน ผลจากการทดลองพบว่าสังกะสีแอโนด ซึ่งมีค่า Electrode Potential เท่ากับ -1006.33 mV vs Ag/AgCl และมีค่าความจุกระแสเท่ากับ 783.41 Ah/kg ไม่สามารถเอาชนะความต้านทานไฟฟ้าที่สูงในน้ำกร่อยได้ จึงทำให้การป้องกันการกัดกร่อนของสังกะสีแอโนดในน้ำกร่อยไม่ได้ผลเท่าที่ควร ส่วนอะลูมิเนียมแอโนดที่ผสมธาตุดีบุกลงไปจะมีค่า Electrode Potential ต่ำกว่าสังกะสีแอโนด ทำให้อะลูมิเนียมแอโนดที่ผสมดีบุกมีความต่างศักย์ที่จะขับเคลื่อนกระแสไปได้ไกลกว่า และยังมีค่าความจุกระแสสูงกว่าสังกะสีแอโนดประมาณ 3 เท่า ทำให้อะลูมิเนียมแอโนดที่ผสมดีบุกสามารถจ่ายกระแสเพื่อตอบสนองต่อความต้องการกระแสที่มากขึ้นของแผ่นเหล็กเพื่อใช้ในการป้องกันสนิมในน้ำกร่อยได้ดีกว่าสังกะสีแอโนด และยังมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่า 2.6 เท่า ทำให้อะลูมิเนียมแอโนดที่ผสมดีบุกได้เปรียบสังกะสีแอโนดทั้งในด้านน้ำหนักที่เบา และการป้องกันสนิมที่ดีกว่า [13]

วิชาญ ช่วยพันธ์ (2543) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของโลหะแมงกานีสที่มีต่อคุณภาพของแมกนีเซียมแอโนด ที่ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนแบบ Sacrificial Anode โดยทดสอบแท่งแอโนดที่หล่อขึ้นด้วย เตาสูญญากาศที่ปริมาณแมงกานีสผสมต่างกัน และแท่งแอโนดนำเข้าจากต่างประเทศ 3 ประเทศ คือ ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา และจีน ซึ่งทดสอบด้วยชุดอุปกรณ์การทดสอบที่สร้างขึ้นตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM-G97 เพื่อหาค่าน้ำหนักที่สูญเสียไป ค่าความจุกระแส ค่าความต่างศักย์ ค่า Consumption rate ค่าประสิทธิภาพ พร้อมทั้งศึกษาลักษณะรูปแบบการกัดกร่อน ของแอโนดและวิเคราะห์ขนาดของเกรน จากการวิจัยพบว่าแอโนดชนิดแมกนีเซียมบริสุทธิ์ 99.737% ซึ่งไม่เติมแมงกานีสมีคุณสมบัติความเป็นแอโนดต่ำ สูญเสียเนื้อแอโนดได้ง่าย มีความจุกระแสต่ำ ค่า Consumption rate สูง ค่าความต่างศักย์ต่ำ และมีประสิทธิภาพต่ำ แต่เมื่อเติมแมงกานีสปรากฏว่ามีผลทำให้คุณสมบัติของแอโนดเกิดการเปลี่ยนแปลงไป โดยคุณสมบัติของแอโนดดีขึ้นตามปริมาณแมงกานีส และเมื่อเปรียบเทียบกับผลของแอโนดจาก

ต่างประเทศ พบว่าแอมโนเนียมที่แมงกานีส 0.5% มี คุณภาพใกล้เคียงกับแอมโนเนียมจากประเทศออสเตรเลีย สำหรับ โครงสร้างจุลภาคของแอมโนเนียมพบว่าเมื่อผสมแมงกานีสในระดับปริมาณต่างๆ ปรากฏว่า ขนาดของเกรนไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงว่าระดับปริมาณแมงกานีสที่ผสมในแมกนีเซียมแอมโนเนียม มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเกรน นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าขนาดของเกรนไม่มีผลต่อ ความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนของแอมโนเนียม เพราะแอมโนเนียมที่หล่อระดับอุณหภูมิ Superheat มีขนาดเกรนต่างกันแต่ความสามารถในการป้องกันไม่แตกต่างกัน [14]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และรายละเอียดของแต่ละกิจกรรมได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้

3.1.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะและการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อน จากเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย และช่วยในการออกแบบการทดลอง

3.1.2 ทำการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์หล่อโลหะสำหรับการหล่อขึ้นรูปอะลูมิเนียมกันกร่อน เพื่อใช้ในงานวิจัยต่อไป



ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอน และกิจกรรมการดำเนินงานวิจัย

3.1.3 กำหนดส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่จะใช้ในการวิจัย แล้วจึงทำการหลอมวัสดุดิบต่างๆ ผสมรวมกัน รวมถึงทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสมที่ได้ เพื่อใช้ในการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อนต่อไป

3.1.4 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสังกะสีที่เหมาะสมในการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อน เพื่อใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำทะเล

3.1.5 ทำการหล่ออะลูมิเนียมกันกร่อนที่มีปริมาณของสังกะสีที่แตกต่างกัน โดยทำการเทหล่อในแม่พิมพ์โลหะที่ได้ทำการออกแบบและสร้างไว้ก่อนหน้านี้แล้ว

3.1.6 ทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างของอะลูมิเนียมกันกร่อนเพื่อทดสอบคุณภาพในการป้องกันการกัดกร่อน ด้วยการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักที่สูญเสียไป ค่าความจุกระแส ประสิทธิภาพในการกันกร่อน รวมถึงทำการเปรียบเทียบคุณภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่เติมสังกะสีในปริมาณที่แตกต่างกัน เพื่อให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อนที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำทะเล

3.1.7 นำชิ้นงานที่ได้จากการหล่อไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของชิ้นงานหล่อที่เกิดขึ้น

3.1.8 วิเคราะห์ผลของปริมาณสังกะสีที่แตกต่างกันในการทดลอง และโครงสร้างจุลภาคที่มีผลต่อคุณภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อน สำหรับนำไปใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำทะเล รวมถึงสรุปผลการศึกษาวิจัย เขียนรายงานวิจัย และเผยแพร่งานวิจัยต่อไป

3.2 สถานที่ทำการวิจัย

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

3.3 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

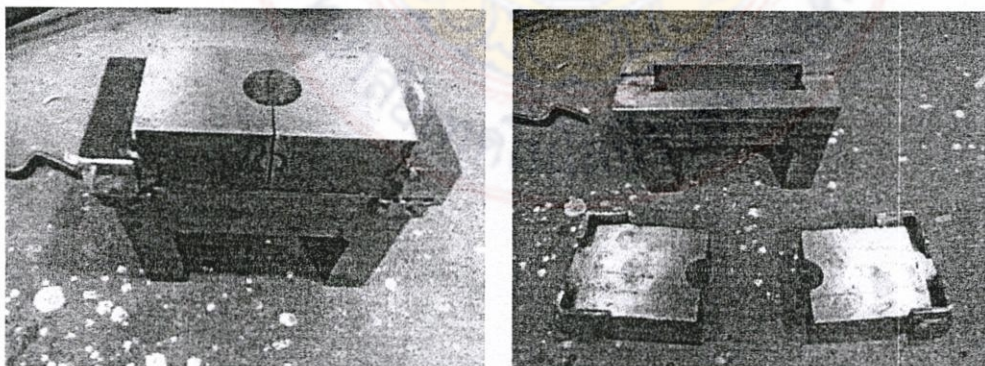
ใช้เวลาในการทำวิจัย 12 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

แผนการดำเนินงาน	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	■	■											
2. จัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย		■	■										
3. ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์หล่อโลหะ			■	■									
4. ทำการหลอมโลหะอะลูมิเนียมและทำการปรับปรุงส่วนผสมทางเคมี				■	■	■	■						
5. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสังกะสีที่เหมาะสมในการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อน					■	■	■	■					
6. ทดสอบคุณภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อน และวิเคราะห์ผลที่ได้							■	■	■	■			
7. สรุปผลและเขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์										■	■	■	
8. เสนอผลการวิจัยและเผยแพร่งานวิจัย													■

3.4 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์หล่อโลหะสำหรับการหล่อขึ้นรูปอะลูมิเนียมกันกร่อน

ในการดำเนินการของโครงการนี้วิจัยนี้จะเริ่มจากการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์หล่อโลหะสำหรับการหล่อขึ้นรูปอะลูมิเนียมกันกร่อน ดังแสดงในภาพที่ 3.2 เพื่อให้สามารถเทหล่อขึ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนต้นแบบของโลหะอะลูมิเนียมผสมสังกะสี (Al-Zn Alloys) ได้ จากนั้นจึงนำแม่พิมพ์หล่อโลหะสำหรับการหล่อขึ้นรูปอะลูมิเนียมกันกร่อนดังกล่าวไปใช้ในการทดลองผลิตชิ้นงานต่อไป



ภาพที่ 3.2 แม่พิมพ์หล่อโลหะสำหรับการหล่อขึ้นรูปอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้

3.5 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

ทำการจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ อะลูมิเนียมและสังกะสี เพื่อทำการหลอมผสมและทำการหล่อเป็นชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนตามน้ำหนักที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 และ 3.4



ภาพที่ 3.3 แสดงแท่งโลหะอะลูมิเนียมที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้



ภาพที่ 3.4 แสดงแท่งโลหะสังกะสีที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

โดยทำการเตรียมวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ให้มีลักษณะของโลหะอะลูมิเนียมผสมสังกะสีที่ใช้ในการหลอม ซึ่งกำหนดไว้ 5 ลักษณะ ตามอัตราส่วนที่ใช้ในการหลอมของอะลูมิเนียมต่อสังกะสี ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนที่ใช้ในการหลอมของอะลูมิเนียมต่อสังกะสี

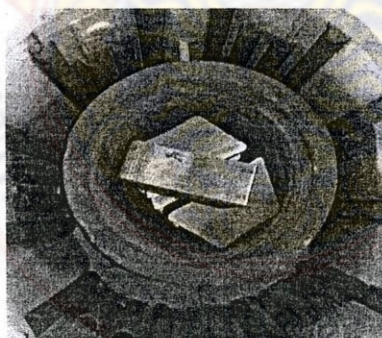
ลักษณะของโลหะอะลูมิเนียมผสมสังกะสี ที่ใช้ในการหลอม	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	
	อะลูมิเนียม	สังกะสี
1) อะลูมิเนียม – 0 % สังกะสี	100	0
2) อะลูมิเนียม – 2.5 % สังกะสี	97.5	2.5
3) อะลูมิเนียม – 5.0 % สังกะสี	95.0	5.0
4) อะลูมิเนียม – 7.5 % สังกะสี	92.5	7.5
5) อะลูมิเนียม – 10.0 % สังกะสี	90.0	10.0

3.6 การหลอมและหล่ออะลูมิเนียมกันกร่อนที่มีปริมาณของสังกะสีที่แตกต่างกัน

ทดลองหลอมและหล่ออะลูมิเนียมกันกร่อนตามส่วนผสมทางเคมีที่ต้องการดังตารางที่ 3.2 สามารถแบ่งเป็นลำดับขั้นตอนในการหลอมและหล่อได้ดังต่อไปนี้

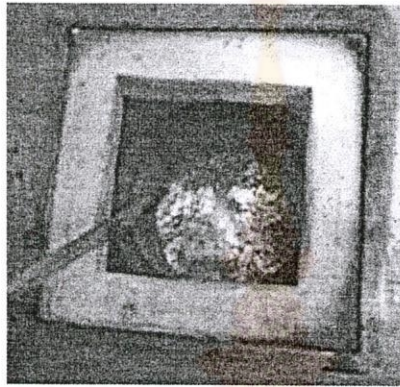
3.6.1 ทำการเตรียมและชั่งโลหะชนิดต่าง ๆ ให้ได้ปริมาณตามที่คำนวณไว้ เพื่อให้ได้ส่วนผสมทางเคมีตามที่ต้องการ

3.6.2 ทำการหลอมโลหะอะลูมิเนียมที่บรรจุอยู่ในเบ้าหลอม โลหะชนิด Cray Graphite ด้วยเตาหลอมโลหะแบบไฟฟ้าชนิดขดลวดความต้านทาน ดังแสดงในภาพที่ 3.5



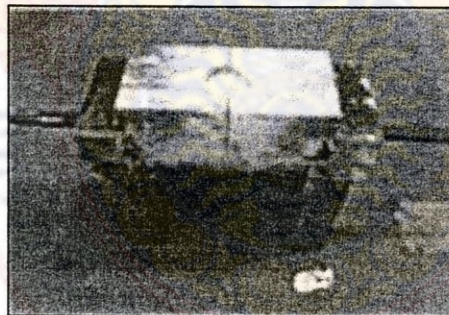
ภาพที่ 3.5 นำโลหะอะลูมิเนียมที่ชั่งน้ำหนักตามปริมาณที่ต้องการแล้วใส่ลงในเบ้าหลอม

3.6.3 เมื่อโลหะอะลูมิเนียมหลอมละลายได้ที่ดีแล้ว จากนั้นจึงนำโลหะสังกะสีใส่ลงไปในเบ้าหลอม แล้วคนให้เข้ากันอีกครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 3.6

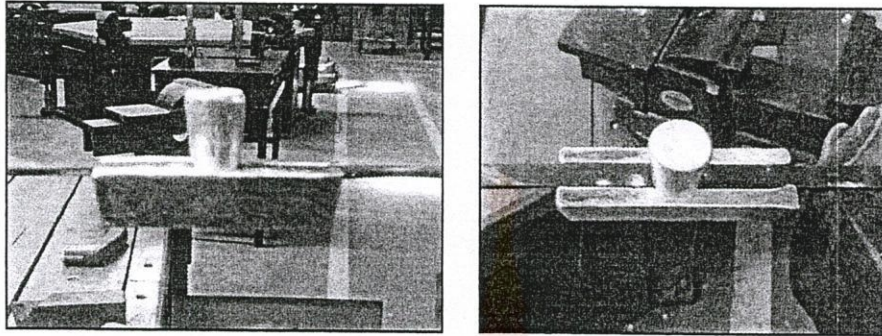


ภาพที่ 3.6 โลหะอะลูมิเนียมผสมสังกะสีที่หลอมละลายกลายเป็นน้ำโลหะ

3.6.4 จากนั้นจึงทำการเทโลหะหลอมเหลวที่ผสมเข้ากันดีแล้วลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ ดังแสดงในภาพที่ 3.7 เพื่อทำการหล่อเป็นชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อน ดังแสดงในภาพที่ 3.8 ที่มีปริมาณของสังกะสีที่แตกต่างกันต่อไป



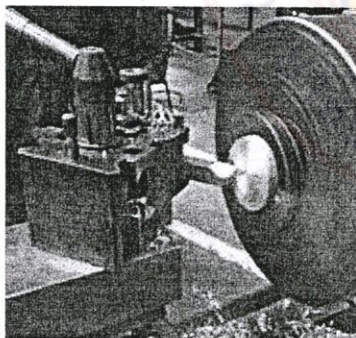
ภาพที่ 3.7 การเทน้ำโลหะผสมระหว่างอะลูมิเนียมและสังกะสีที่หลอมละลาย และผสมเข้ากันดีแล้วลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้



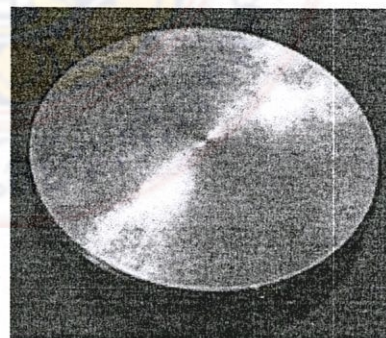
ภาพที่ 3.8 ชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป

3.7 การตรวจวัดส่วนผสมทางเคมีของโลหะที่ใช้ในกระบวนการหลอมและหล่อ

เริ่มต้นจากการเตรียมชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้ด้วยการกลึงปาดหน้าชิ้นงานให้เรียบทั้งสองด้าน โดยมีขนาดความหนาของชิ้นงานอยู่ที่ 10 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ไปทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่อง Optical Emission Spectrometer (OES) ดังแสดงในภาพที่ 3.9 เพื่อตรวจหาชนิดและปริมาณของธาตุแต่ละชนิดที่เจือปนอยู่ในเนื้อของชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ผลิตได้ ด้วยหลักการ Spark Emission ของชิ้นงานที่เป็นโลหะภายในห้อง Spectrometer ที่เป็นระบบสุญญากาศ และมีอุณหภูมิภายในห้อง Spectrometer เท่ากับ 38 องศาเซลเซียส ทำให้สารเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นเพื่อให้อิสรที่วิเคราะห์นั้นเปล่งแสงหรือสเปกตรัมออกมา ซึ่งจะอยู่ในช่วงของ UV-Visible Ray ที่มีลักษณะเฉพาะตัว และวัดความเข้มของแสงนั้น แล้วจึงใช้คอมพิวเตอร์ซึ่งมีโปรแกรมสำเร็จรูป ในการประมวลผลการวิเคราะห์ ทำให้ได้ผลวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และเพื่อให้มั่นใจได้ว่าอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ผลิตได้มีส่วนผสมทางเคมีถูกต้องตามที่กำหนดไว้



(ก) กลึงปาดหน้าชิ้นงานทั้งสองด้าน



(ข) ลักษณะผิวชิ้นงานก่อนการตรวจสอบ

ภาพที่ 3.9 ชิ้นงานตัวอย่างอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

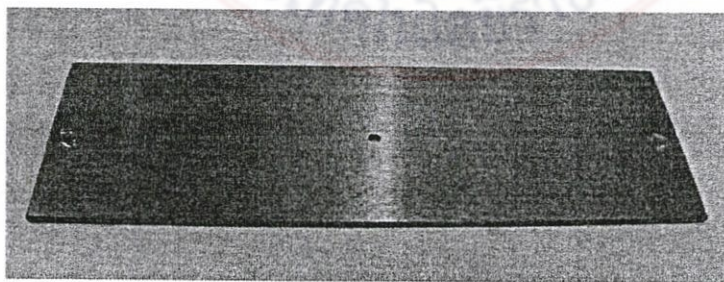
3.8 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสังกะสีที่เหมาะสมในการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อน

3.8.1 โดยทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้ ด้วยการกลึงชิ้นงานให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 2.0 cm. จากนั้นจึงเลื่อยตัดชิ้นงานให้มีความยาวเท่ากับ 3.5 cm. แล้วจึงนำชิ้นงานไปขัดผิวให้เรียบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1200 ดังแสดงในภาพที่ 3.10 เมื่อได้ชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนที่มีผิวเรียบ แล้วจึงนำชิ้นงานไปล้างด้วยเอทานอล (Ethanol) ตามด้วยน้ำสะอาดและเป่าให้แห้ง เก็บชิ้นงานไว้ในตู้ควบคุมความชื้น ก่อนการทดสอบนำชิ้นงานมาล้างด้วยอะซิโตน (Acetone) ตามด้วยน้ำกลั่นและเป่าให้แห้ง ชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดสอบ (Initial Weight) เพื่อใช้เป็นขั้วแอโนด (Anode) ในการทดสอบคุณภาพในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็ก ด้วยการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักที่สูญเสียไป ค่าความจุกระแส และประสิทธิภาพในการกันกร่อนต่อไป

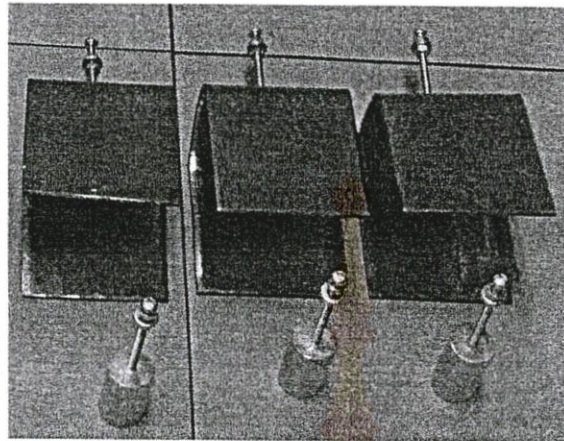


ภาพที่ 3.10 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้ เพื่อใช้ในการทดสอบคุณภาพในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็ก

3.8.2 ทำการเตรียมแผ่นเหล็กที่มีความหนา 0.3 cm. ขนาดความกว้าง 10 cm และความยาว 28.3 cm จากนั้นทำการเจียรระโนผิวเหล็กทั้ง 2 ด้าน ด้วยเครื่องเจียรระโนราบเพื่อเอาผิวเดิมของแผ่นเหล็กออก แล้วนำแผ่นเหล็กที่ได้ไปตัดโค้ง เพื่อใช้เป็นขั้วแคโทด (Cathode) ดังแสดงในภาพที่ 3.11 และ ภาพที่ 3.12

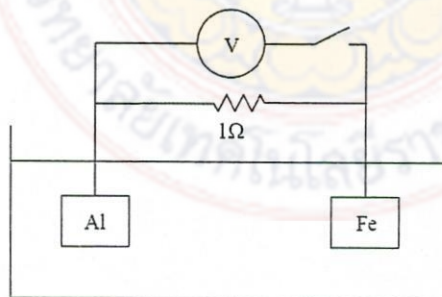


ภาพที่ 3.11 แผ่นเหล็กที่ใช้เป็นขั้วแคโทด (Cathode) เพื่อใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

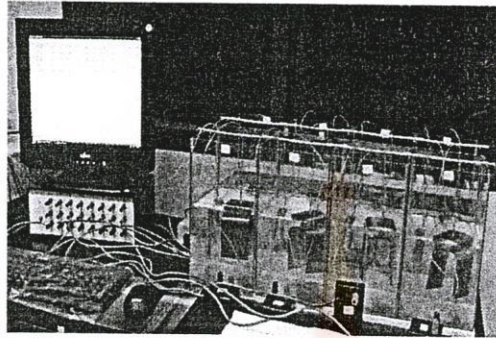


ภาพที่ 3.12 ชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนและแผ่นเหล็กเพื่อใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.8.3 ทำการทดสอบคุณสมบัติในการป้องกันการกัดกร่อนในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการทดสอบการกัดกร่อนแบบกัลวานิกของชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อน ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบเพื่อวัดค่า Galvanic Current ที่อะลูมิเนียมกันกร่อน (Al Anodes) จ่ายให้กับแผ่นเหล็กในสารละลาย (Electrolyte) ของน้ำทะเลเทียมที่มีค่าความเค็มเท่ากับ 35 ppt. หรือ 3.5 wt% NaCl ซึ่งมีค่าเท่ากับ 100% of Seawater Strength ตามมาตรฐาน ASTM D 1141-75 [17] ซึ่งการวัดค่ากระแสทำได้โดยการวัดความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 1Ω ด้วย Volt Meter ที่มีความละเอียด 0.1 mV ดังภาพที่ 3.13 แสดงถึงวงจรที่ใช้ในการวัด Galvanic Current ของอะลูมิเนียมกันกร่อน และภาพที่ 3.14 แสดงชุดทดสอบการกัดกร่อนแบบกัลวานิก พร้อมทั้งชุดคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลค่าการจ่ายกระแสไฟฟ้า (Current) ของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่จ่ายให้กับแผ่นเหล็กในสารละลายน้ำทะเลเทียม



ภาพที่ 3.13 แสดงถึงวงจรที่ใช้ในการวัด Galvanic Current



ภาพที่ 3.14 ชุดทดสอบการกักกร่อนแบบกัลวานิก พร้อมทั้งชุดคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูล

3.8.4 ทำการคำนวณหาค่าความจุกระแส (Current Capacity) ของอะลูมิเนียมกันกร่อน และค่า Current Capacity ที่ได้จะมีหน่วยเป็น Ah/kg โดยวิธีดังกล่าวเรียกว่า Mass Loss Method ส่วนค่าความหมดเปลือง (Consumption Rate) ของอะลูมิเนียมกันกร่อนก็คือค่าส่วนกลับของค่า Current Capacity ซึ่งมีหน่วยเป็น g/Ah

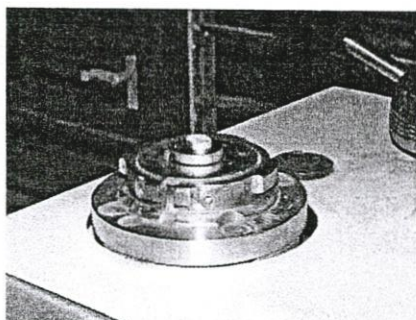
3.8.5 หลังการทดสอบทำความสะอาดชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนเพื่อกำจัดออกไซด์ฟิล์ม ภายหลังจากทดสอบการจ่ายกระแสของอะลูมิเนียมกันกร่อนซึ่งตามมาตรฐาน ASTM G 1-03 [16] สามารถใช้กรดไนตริก (Nitric Acid, HNO_3) ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.42 (ความเข้มข้น 69% v/v) จุ่มล้างชิ้นงานที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 1 ถึง 5 นาที และหลังจากทำความสะอาดชิ้นงานด้วยสารละลายเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ชิ้นงานก็จะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ $121 \pm 11^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที เพื่อไล่ความชื้นออกจากชิ้นงาน ก่อนที่จะนำชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าน้ำหนักที่สูญหาย (Weight Loss) ต่อไป

3.9 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ผลิตได้

นำชิ้นงานหล่อที่ได้มาเตรียมผิวชิ้นงานเพื่อตรวจสอบ โครงสร้างทางจุลภาคที่เกิดขึ้น โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

3.9.1 ทำการเลื่อยตัดชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ผลิตได้ในแต่ละกรณีให้มีขนาดที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบ โครงสร้างทางจุลภาค

3.9.2 ขึ้นรูปชิ้นงานแบบร้อน (Hot Mounting) โดยใช้ผงเบกาไลต์ (Bakelite) ใสลงไป ในเครื่องอัดแล้วใช้ความร้อนและความดันเพื่อให้ผงเบกาไลต์ มีการแข็งตัวติดกับชิ้นงานตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 3.15



(ก) นำตัวอย่างชิ้นงานใส่ลงไปเครื่องอัด



(ข) อัดผงเรซินเบเคอไลต์ (Bakelite) ลงไป



(ค) ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการอัดแบบร้อนแล้ว

ภาพที่ 3.15 แสดงขั้นตอนการอัดชิ้นงานตัวอย่าง (Sample mounting)

3.9.3 ทำการขัดหยาบ (Grinding) ด้วยกระดาษทราย (SiC Paper) เบอร์ P320 P600 P800 P1000 และ P1200 ตามลำดับ โดยขัดตัวอย่างชิ้นงานไปในทิศทางเดียวกันจนกระทั่งรอยขีดข่วนและรอยขัดหมดไป ดังแสดงในภาพที่ 3.16



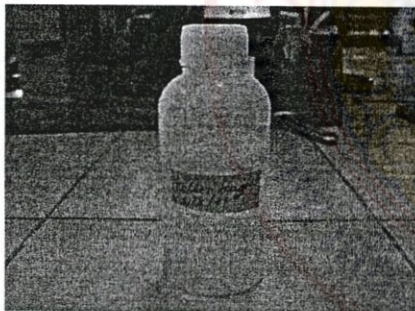
ภาพที่ 3.16 การขัดหยาบชิ้นงานตัวอย่างด้วยกระดาษทรายเบอร์ต่างๆ

3.9.4 ต่อจากนั้นจึงทำการขัดละเอียด (Polishing) ชิ้นงาน โดยเริ่มต้นการขัดละเอียดด้วยผ้าหยาบ (Cloth Pad) ร่วมกับผงขัดอะลูมินาขนาด 5 μm . เมื่อรอยขัดจากกระดาษทรายหมดไปแล้ว จึงทำการขัดโดยใช้ผงขัดอะลูมินาขนาด 1, 0.3 และ 0.05 μm . ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 การขัดละเอียดชิ้นงานตัวอย่างด้วยผ้าหยาบ (Cloth Pad) ร่วมกับผงขัดอะลูมินา

3.9.5 ทำการกัดผิวหน้าของชิ้นงาน โดยใช้น้ำยากัดผิวซึ่งมีชื่อเรียกว่า Keller's Reagent โดยประกอบไปด้วย กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ความเข้มข้น 48% ในปริมาณ 1 มิลลิลิตร กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) 1.5 มิลลิลิตร กรดไนตริก (HNO_3) 2.5 มิลลิลิตร ผสมในน้ำกลั่น 95 มิลลิลิตร โดยนำชิ้นงานมาจุ่มลงในสารละลาย Keller เป็นเวลาประมาณ 10 วินาที จากนั้นจึงนำชิ้นงานมาล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วเป่าให้แห้งด้วยไดท์เป่าลม ดังแสดงในภาพที่ 3.18



(ก)

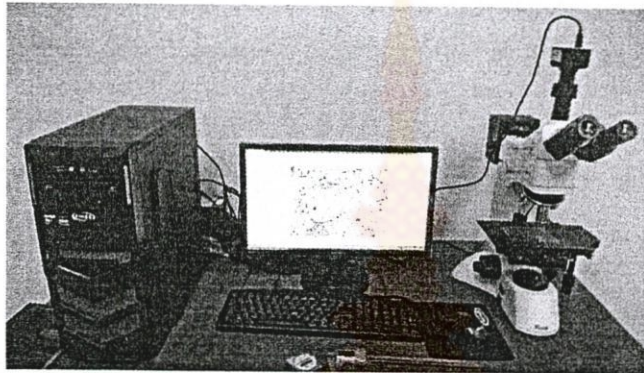


(ข)

(ก) กรดที่ใช้ในการกัดผิวหน้าของชิ้นงาน (ข) เป่าตัวอย่างชิ้นงานให้แห้งด้วยไดท์เป่าลม

ภาพที่ 3.18 ขั้นตอนการกัดผิวหน้าชิ้นงาน

3.9.6 นำชิ้นตัวอย่างที่ได้มาตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ แล้วทำการถ่ายรูปโครงสร้างของชิ้นงานที่ปรากฏขึ้นมาเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองและทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 การตรวจสอบ โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์



บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

4.1 ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

4.1.1 ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อน นำตัวอย่างชิ้นงานของโลหะอะลูมิเนียมและโลหะสังกะสีที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยนี้ ส่งวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงในภาพที่ 4.1 เพื่อตรวจสอบปริมาณธาตุแต่ละชนิดที่เจือปนอยู่ และจากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของตัวอย่างชิ้นงาน โลหะด้วยเครื่อง OES ผลที่ได้แสดงดังในตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ชิ้นงานตัวอย่างอะลูมิเนียมหลังการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่อง OES

ตาราง 4.1 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยครั้งนี้

โลหะที่ใช้เป็นวัตถุดิบ	ส่วนผสมทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)								
	Zn	Mg	Ni	Fe	Cu	Si	Ti	V	Al
1) อะลูมิเนียม (Al)	-	-	0.01	0.15	-	0.05	0.01	0.01	99.77
2) สังกะสี (Zn)	95.81	0.04	-	0.05	0.20	-	-	-	3.90

4.2.2 ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ผลิตได้

นำตัวอย่างชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนที่หล่อได้ในแต่ละกรณีของลักษณะโลหะอะลูมิเนียมที่ได้มาจากการหลอมและหล่อให้เป็นอะลูมิเนียมกันกร่อน ที่มีสังกะสีผสมอยู่ในช่วงประมาณ 0 – 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีและปริมาณธาตุแต่ละ

ชนิดที่เจือปนอยู่ในตัวอย่างชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนสำหรับแต่ละกรณี ด้วยเครื่อง OES ผลที่ได้แสดงดังในตารางที่ 4.2

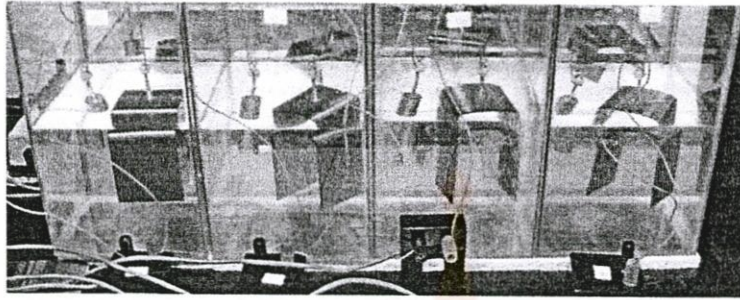
ตาราง 4.2 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ผลิตได้

โลหะผสม	ส่วนผสมทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)								
	Zn	Mg	Ni	Fe	Cu	Si	Ti	V	Al
1) Al – 0 % Zn	-	-	0.01	0.15	-	0.05	0.01	0.01	99.77
2) Al – 2.5 % Zn	2.58	0.01	-	0.16	0.08	0.03	0.01	0.01	97.12
3) Al – 5.0 % Zn	5.15	0.02	-	0.17	0.12	0.03	0.01	-	94.50
4) Al – 7.5 % Zn	7.54	0.02	0.01	0.19	0.15	0.02	-	-	92.07
5) Al – 10.0 % Zn	10.12	0.03	0.01	0.20	0.18	0.02	-	-	89.44

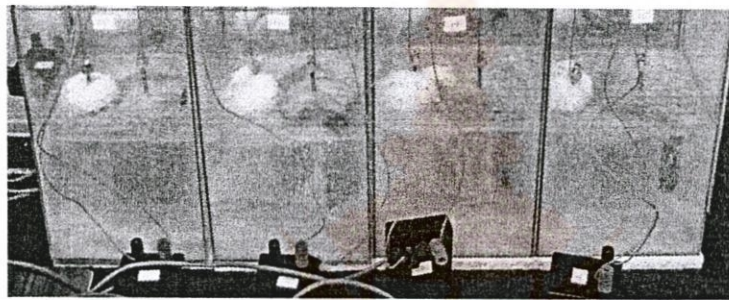
จากตารางที่ 4.2 ผลที่ได้พบว่าการหลอมผสมระหว่างโลหะอะลูมิเนียมกับโลหะสังกะสีตามอัตราส่วนที่กำหนดทำให้ได้ชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนที่มีปริมาณส่วนผสมของโลหะสังกะสีเป็นไปตามที่กำหนดไว้ทั้ง 5 ลักษณะ คือ (1) อะลูมิเนียม – 0 % สังกะสี (2) อะลูมิเนียม – 2.5 % สังกะสี (3) อะลูมิเนียม – 5.0 % สังกะสี (4) อะลูมิเนียม – 7.5 % สังกะสี และ (5) อะลูมิเนียม – 10.0 % สังกะสี ตามลำดับ

4.2 ผลการทดสอบการป้องกันการกัดกร่อนภายในห้องปฏิบัติการ

จากการเตรียมชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อนและแผ่นเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ พื้นที่ผิวรวมของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ใช้เป็นแอโนดมีค่าเท่ากับ 28.3 cm^2 และพื้นที่ผิวรวมของแผ่นเหล็กที่ใช้เป็นแคโทดมีค่าเท่ากับ 566 cm^2 ดังนั้นอัตราส่วนของแอโนดต่อแคโทดที่ใช้ในการทดสอบเพื่อวัดค่ากระแสที่อะลูมิเนียมกันกร่อนจ่ายให้กับแผ่นเหล็กในสารละลายน้ำทะเลเทียมจึงมีค่าเท่ากับ 1 : 20 ซึ่งผลจากการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลา 10 วัน (240 ชั่วโมง) พบว่ามีฟองสีขาวลอยอยู่บนผิวน้ำเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะบริเวณผิวน้ำด้านบนของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ใช้เป็นแอโนดจะปรากฏฟองสีขาวเกาะตัวรวมกันอย่างหนาแน่น เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical Dissolution) ที่เกิดจากโลหะสองชนิดที่มีการเชื่อมต่อกันมาแช่อยู่ในสารละลายที่สามารถนำไฟฟ้าได้ (Electrolyte) ทำให้อะลูมิเนียมซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเกิดการกัดกร่อน ส่วนแผ่นเหล็กที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าจะได้รับการป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อนหรือเกิดเป็นสนิมขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.2



(ก) เริ่มต้นการทดสอบ



(ข) หลังจากการทดสอบเป็นระยะเวลา 10 วัน (240 ชั่วโมง)

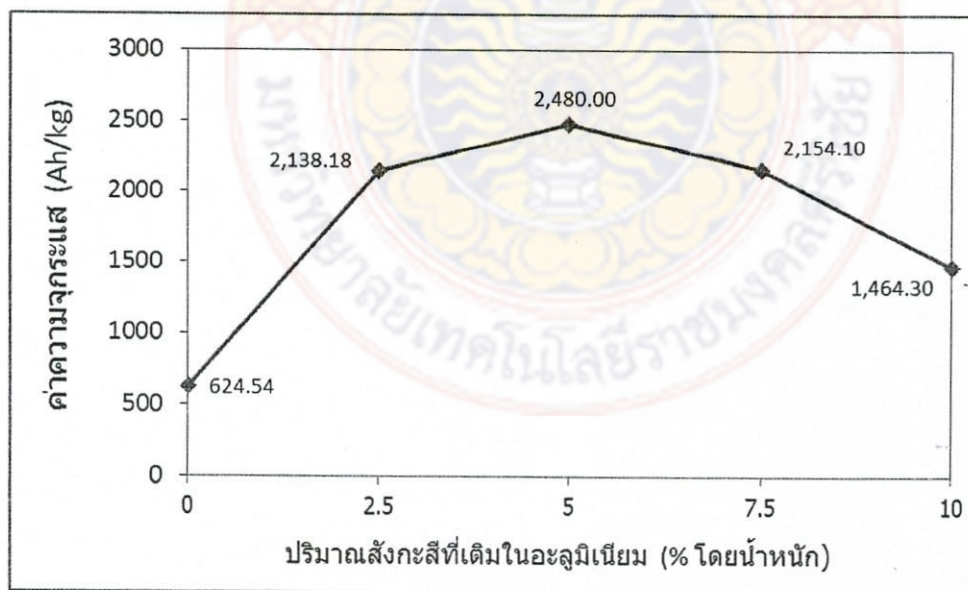
ภาพที่ 4.2 สภาพก่อนและหลังการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการที่เกิดขึ้นจากการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กด้วยอะลูมิเนียมกันกร่อนในสารละลายน้ำทะเลเทียม

ผลจากการวัดค่ากระแสที่อะลูมิเนียมกันกร่อนจ่ายให้กับแผ่นเหล็กเป็นระยะเวลา 10 วัน หรือ 240 ชั่วโมง ในแต่ละกรณี ดังแสดงในตารางที่ 4.3

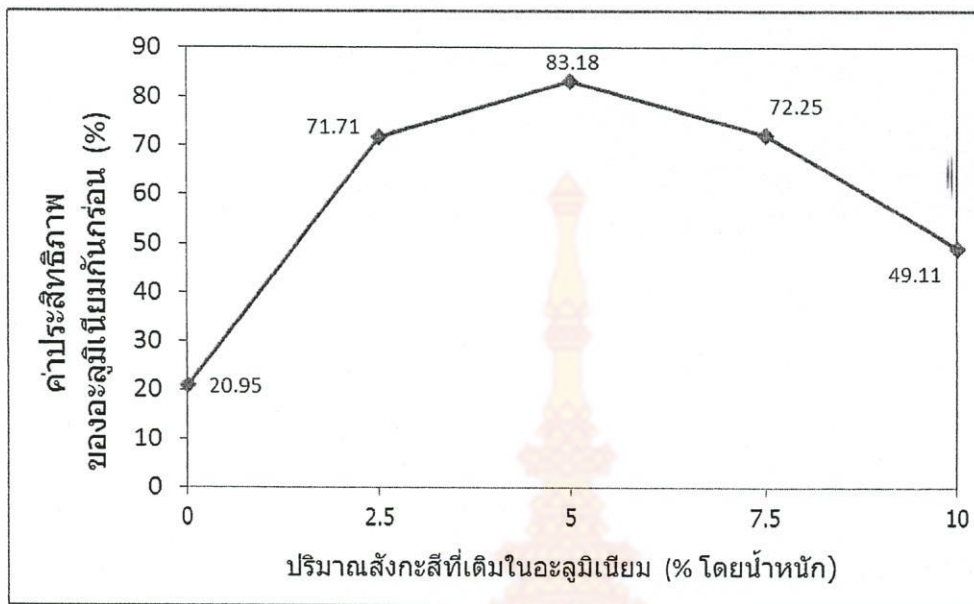
ตาราง 4.3 สรุปผลที่ได้จากการทดสอบการป้องกันการกัดกร่อนภายในห้องปฏิบัติการ

Types of Aluminium Anodes	Testing Time, t (h)	Current, I (mA)	Initial Weight, w_i (g)	Final Weight, w_f (g)	Weight Loss, Δw (g)	Current Capacity, CC (Ah/kg)	Consumption Rate (g/Ah)	Anode Efficiency, η (%)
Al-0% Zn	240	4.58	30.12	28.36	1.76	624.54	1.60	20.95
Al-2.5% Zn	240	10.78	30.08	28.87	1.21	2,138.18	0.47	71.71
Al-5.0% Zn	240	11.16	30.14	29.06	1.08	2,480.00	0.40	83.18
Al-7.5% Zn	240	10.95	30.05	28.83	1.22	2,154.10	0.46	72.25
Al-10.0% Zn	240	9.64	30.10	28.52	1.58	1,464.30	0.68	49.11

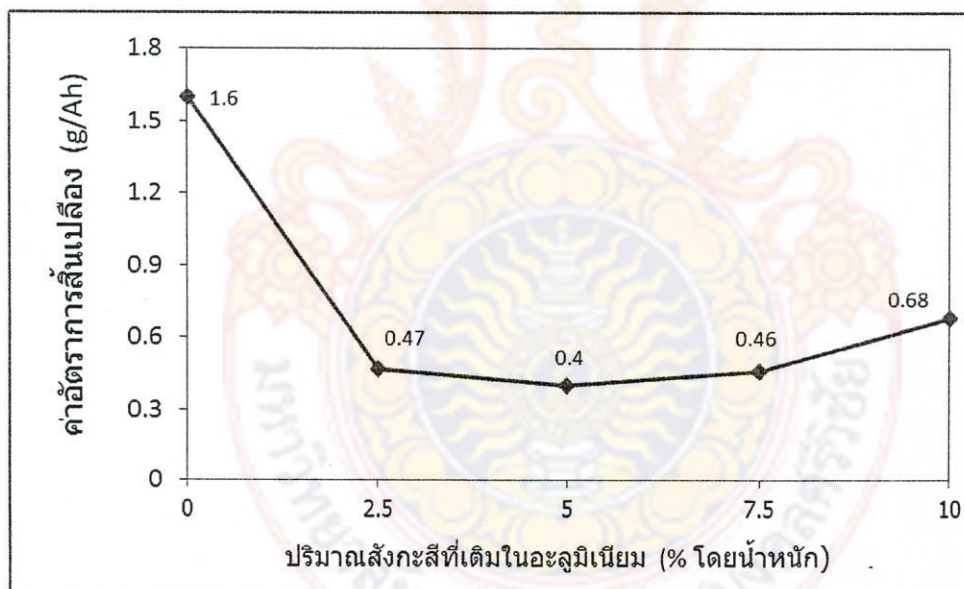
ตาราง 4.3 แสดงเวลาที่ใช้ในการทดสอบ (Testing Time) ค่ากระแส (Current) ที่อะลูมิเนียมกัณฑ์จ่ายให้กับแผ่นเหล็กเพื่อป้องกันการกัดกร่อน ค่าน้ำหนักของอะลูมิเนียมกัณฑ์ก่อนการทดสอบ (Initial Weight) ค่าน้ำหนักของอะลูมิเนียมกัณฑ์หลังการทดสอบ (Final Weight) ค่าน้ำหนักของอะลูมิเนียมกัณฑ์ที่สูญเสียไป (Weight Loss) ค่าความจุกระแส (Current Capacity) ค่าอัตราการสิ้นเปลือง (Consumption Rate) และค่าประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมกัณฑ์ (Anode Efficiency) ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่า อะลูมิเนียมกัณฑ์ที่ไม่ได้มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไป จะมีค่าความจุกระแสอยู่ที่ 624.54 Ah/kg และประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมกัณฑ์คิดเป็น 20.95 % ซึ่งถือว่าให้ค่าต่ำที่สุดในการทดสอบครั้งนี้ จึงมีผลทำให้มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองสูงสุดอยู่ที่ 1.60 g/Ah เมื่อเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมกัณฑ์ที่มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไปในปริมาณ 2.5, 5, 7.5 และ 10 % ดังแสดงในภาพที่ 4.3 – 4.5 โดยอะลูมิเนียมที่มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไปในปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความจุกระแสสูงสุดอยู่ที่ 2,480 Ah/kg และประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมกัณฑ์คิดเป็น 83.18 % ถือว่าให้ค่าสูงที่สุดในการทดสอบกับตัวอย่างทั้งหมดในการทดลองของงานวิจัยนี้ ซึ่งหมายความว่าน้ำหนักของอะลูมิเนียมกัณฑ์ที่มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไปในปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก น้ำหนักของชิ้นงานที่สูญเสียไปมากกว่าประมาณ 83 % ถูกนำไปใช้เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของแผ่นเหล็ก และน้ำหนักที่สูญเสียไปเนื่องจากการกัดกร่อนในตัวเองของอะลูมิเนียมกัณฑ์มีค่าไม่เกินประมาณ 17 % ส่งผลให้มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองของชิ้นงานต่ำที่สุดอยู่ที่ 0.4 g/Ah



ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความจุกระแสของอะลูมิเนียมที่มีการเติมสังกะสีในปริมาณที่ต่างกันไป



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมที่มีการเติมสังกะสีในปริมาณที่แตกต่างกัน

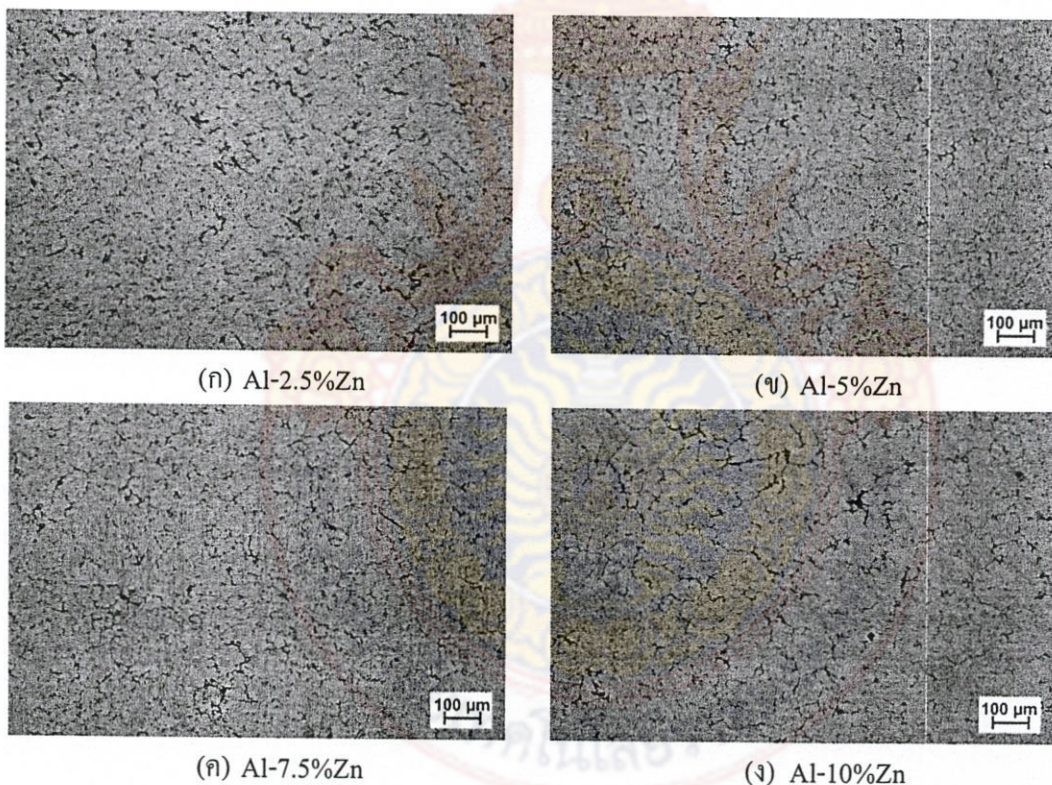


ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าอัตราการสิ้นเปลืองของอะลูมิเนียมที่มีการเติมสังกะสีในปริมาณที่แตกต่างกัน

4.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมแก๊นก่อนที่ผลิตด้วยกระบวนการหล่อขึ้นรูป โดยการเติมธาตุสังกะสีในปริมาณที่แตกต่างกันผสมในอะลูมิเนียมแล้วทำการหล่อขึ้นรูปให้

เป็นชิ้นงานอะลูมิเนียมกันกร่อน พบว่าโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่หล่อได้ในแต่ละส่วนผสมมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.6 โดยอะลูมิเนียมที่มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไปในปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก จะมีลักษณะของโครงสร้างจุลภาคที่มีความละเอียดและมีการกระจายตัวของโครงสร้างที่สม่ำเสมอมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมที่มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไปในปริมาณอื่นๆ ส่งผลให้อะลูมิเนียมที่มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไปในปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก มีค่าความจุกระแสและค่าประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนสูงที่สุดและมีอัตราการสิ้นเปลืองที่น้อยที่สุด ส่วนอะลูมิเนียมที่มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไปในปริมาณ 10 % โดยน้ำหนัก จะมีลักษณะของโครงสร้างจุลภาคที่มีขนาดเกรนค่อนข้างใหญ่ทำให้มีค่าความจุกระแสและค่าประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนต่ำกว่า และทำให้มีอัตราการสิ้นเปลืองที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียมที่มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไปในปริมาณอื่นๆ



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่มีการเติมสังกะสีในปริมาณที่แตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ทดสอบความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กด้วยอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้ทำการเติมโลหะสังกะสีลงไปปริมาณต่างๆ เพื่อการผลิตอะลูมิเนียมกันกร่อนที่สามารถใช้งานได้จริงและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับอะลูมิเนียมกันกร่อนที่มีขายอยู่ในท้องตลาด ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 อะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้จากการหลอมผสมระหว่างโลหะอะลูมิเนียมกับโลหะสังกะสีในปริมาณที่แตกต่างมีส่วนผสมทางเคมีตามที่กำหนดไว้ในช่วง 0-10 % โดยน้ำหนัก

5.1.2 การทดสอบการกัดกร่อนในห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลา 240 ชั่วโมง พบว่าอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ไม่ได้มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไป จะมีค่าความจุกระแสต่ำสุดอยู่ที่ 624.54 Ah/kg และประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนคิดเป็น 20.95 % ทำให้มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองสูงสุดอยู่ที่ 1.60 g/Ah

5.1.3 อะลูมิเนียมที่มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไปในปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความจุกระแสสูงสุดอยู่ที่ 2,480 Ah/kg และประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมกันกร่อนคิดเป็น 83.18 % ส่งผลให้มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองของชิ้นงานต่ำที่สุดอยู่ที่ 0.4 g/Ah

5.1.4 โครงสร้างทางจุลภาคของอะลูมิเนียมกันกร่อนที่มีการเติมโลหะสังกะสีเข้าไปในปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก ที่ผลิตได้มีขนาดของเกรนที่เล็กลงและมีการกระจายตัวของเฟสสังกะสีในเนื้ออะลูมิเนียมที่ดี ส่งผลให้มีการสูญเสียเนื้ออะลูมิเนียมกันกร่อนน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การชั่งน้ำหนักอะลูมิเนียมกันกร่อนทดสอบการกันกร่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อน ควรใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดมากขึ้น เนื่องจากค่าที่ได้จะมีความแม่นยำสูง ส่งผลให้การคำนวณค่าต่างๆแม่นยำยิ่งขึ้น

5.2.2 การนำอะลูมิเนียมกันกร่อนที่ได้จากการเติมสังกะสีในปริมาณที่แตกต่างกันไปใช้งานนั้น ควรพิจารณาเลือกอะลูมิเนียมกันที่คุ้มทุน หรือตรงกับเป้าหมายที่ตั้งไว้

บรรณานุกรม

- [1] L. Umoru and O. Ige, (2007), "Effects of tin on aluminum-zinc-magnesium alloy as a sacrificial anode in sea water", *Journal of Minerals & Materials characterization & Enigineering*, Vol. 7(2): 105-113
- [2] S.M.A. Shibli, B. Jabeera, and R. Manu, (2007), "Development of high performance aluminium alloy sacrificial anodes reinforced with metal oxides", *Materials Letters*, Vol. 61: 3000-3004
- [3] H. Sina, M. Emamy, M. Saremi, A. Keyvani, M. Mahta, and J. Campbell, (2006), "The influence of Ti and Zr on electrochemical properties of aluminum sacrificial anodes", *Material Science and Engineering A*, Vol. 431: 263-276
- [4] วิลเลียม เอฟ สมิธ (2547) "วัสดุวิศวกรรม-Principles of Materials Science and Engineering แพลตและเรียบเรียงโดยแม้น อมรสิทธิ์ และ สมชัย อัครทิวา" กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ท็อป/แมคกรอ-ฮิล
- [5] สุภชัย ประเสริฐกุล (2548) "เทคโนโลยีงานหล่อ โลหะ 2 ฉบับมาตรฐาน" กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไซน์แอนด์เอ็นจิเนียริ่ง
- [6] ธนากรณ์ ตั้งวานิชกพงษ์ (2549) "การปฏิบัติการทางด้านโลหะวิทยาของโลหะอะลูมิเนียม" *วารสารหล่อโลหะ* 16(1): 37-42
- [7] กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน "โลหะกับการพัฒนาประเทศ บทที่ 11 สังกะสี" สำนักอุตสาหกรรม พื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
- [8] Pan Drive Co., LTD. (2009). Induction Furnace (Online). Available : <http://pandrive-sale.blogspot.com/2009/02/inverter.html> [2010, October 20]
- [9] สุรพล ชูสวัสดิ์. (2546). การออกแบบสร้างเตาหลอมโลหะขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซออกซิเจน-อะเซทิลีน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขา วิศวกรรมเหมืองแร่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [10] จุลเทพ ขจรไชยกูล. (2548). "ข้อควรคำนึงพื้นฐานในการหลอมอะลูมิเนียมและโลหะผสม อะลูมิเนียม." *วารสารหล่อโลหะ* 15(4): 29-32.
- [11] Callister, Jr. William D., (2007), "Materials Science and Engineering an Introduction" 7th Edition, John Wiley & Sons, Inc., USA.

- [12] J. Aromaa, A. Pehkonen and O. Forsén, (2006), “Cathodic Protection of Ship in Brackish water”, *Journal of Solid State Electrochem*, Vol. 10: 681-688
- [13] พินัย มุ่งสันติ และ เสริมศักดิ์ ศรีหิรัญ (2554) “การผลิตและคุณสมบัติของอลูมิเนียมกันกร่อนที่ผสมธาตุดีบุก”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, จังหวัดกระบี่, 19-21 ตุลาคม 2554
- [14] วิชาญ ช่วยพันธ์ (2543) “การพัฒนาแมกนีเซียมแอโนดสำหรับการป้องกันการกัดกร่อน”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [15] DNV Recommended Practice RP B401 (1993), “Cathodic Protection Design”, Det Norske Veritas Industry AS, Hovik, 1993.
- [16] ASTM G1-03, 2003, “Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, DOI: 10.1520/G0001-03.
- [17] ASTM D1141, 98 (2008), “Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water, ASTM International”, West Conshohocken, PA, 2008, DOI: 10.1520/D1141-98R08.

