การเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอลูมิเนียมด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้ากับนาโนซิลิกอนไดออกไซด์

THE DECREASING OF FRICTION PROPERTIES OF ALUMINIUM FROM ANODIZING PROCESS AND SILICON DIOXIDE SUPPLEMENT

นางสาวณัฐวรรณ พรมชาดา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีการศึกษา 2561

ชื่อปริญญานิพนธ์	การเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอลูมิเนียมด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าเสริมนาโนซิลิกอนไดออกไซด์
ชื่อ นามสกุล	นางสาวณัฐวรรณ พรมชาดา
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วัสดุสาตร์อุตสาหกรรม)
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2561

คณะกรรมการสอบได้ให้ความเห็นชอบปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ

อาจารย์ธนาพร บุญชู

..... กรรมการ

ดร. ธนพงศ์ สารีอินทร์

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. จิระศักดิ์ ธาระจักร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาตรบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

วันที่ 26 เดือน เมษายน พ.ศ. 2562

ชื่อปริญญานิพนธ์	การเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอลูมิเนียมด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้ากับนาโนซิลิกอนไดออกไซด์
ชื่อ สกุล	นางสาวณัฐวรรณ พรมชาดา
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม)
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

อลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในส่วนต่างๆของอุตสาหกรรม แต่มีข้อจำกัดบางประการเกี่ยวกับคุณสมบัติทางไทรโบโลยี เช่นการสึกหรอและแรงเสียดทานเมื่อถูกเทียบกับโลหะอื่นๆ คุณสมบัติไทรโบโลยีของอลูมิเนียมได้รับการปรับปรุงกระบวนการด้านการอโนไดซ์และเสริมซิลิกอนไดออกไซด์ ผลของเวลาบนโคตรสร้างพื้นผิวและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและทดสอบการสึกหรอ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของอลูมิเนียมลดลงหลังจากการปรับปรุง

คำสำคัญ : อลูมิเนียม, ซิลิกอนไดออกไซด์, การอโนไดซ์, สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

Project title	THE DECREASING OF FRICTION PROPERTIES OF ALUMINIUM FROM ANODIZING PROCESS AND SILICON DIOXIDE SUPPLEMENT
Author	Miss Nuttawan Promchada
Degree	Bachelor of Science
	Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Major program	Industrial Material Science
Faculty	Science and Technology
Academic Year	2018

Abstract

Aluminum is a lightweight material which are popularly used in various parts of the industry. However, there are some limitations on the tribological properties such as abrasive wear and friction when it was compared to other metals. Tribological properties of aluminium was improved with anodizing process and silicon dioxide supplement. the effect of time on surface structure and friction coefficient were studied with with scanning electron microscope and sliding wear tester. It was found that friction coefficient of aluminium was decreased after improvement process was applied.

Keyword : Aluminium, Silicon dioxide, Anodizing, Friction coefficient.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอลูมิเนียมด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้ากับนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ ของวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผู้จัดทำโครงงานขอ ขอบพระคุณหน่วยงานและบุคลากรผู้ที่มีส่วนให้การสนับสนุนในการดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี ได้แก่

สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งเป็นหน่วยงานสังกัดของผู้จัดทำโครงงาน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ สิ่งของอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการจัดทำโครงงาน ผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ให้แนวคิดและคำปรึกษา ตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่อง และปัญหาที่เกิดขึ้น อันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาโครงการนี้ ขอขอบพระคุณ ดร.ธนพงศ์ สารีอินทร์ และอาจารย์ธนาพร บุญชู ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการ ที่ให้คำแนะนำ

ขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยเป็นกำลังใจสำคัญให้แก่ผู้จัดทำโครงงานอย่างสม่ำเสมอ เป็นแรงขับเคลื่อนให้ผู้จัดทำมีความตั้งใจทำโครงงาน และสนับสนุนทุนทรัพย์เป็นอย่างดี ให้ทำโครงงานสำเร็จไปได้ด้วยดี

ประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากโครงงานนี้ ผู้จัดทำโครงงานขอมอบบูชาแด่ บิดา มารดา ที่ให้การอบรมสั่งสอนเลี้ยงดู และบูชาแด่คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้จัดทำโครงงาน

ณัฐวรรณ พรมชาดา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 วิธีดำเนินโครงงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 อลูมิเนียม	4
2.2 ซิลิกอนไดออกไซด์	9
2.3 อโนไดซ์	14
2.4 การเพิ่มสมบัติของอลูมิเนียมด้วยการเติมสารซิลิกอนไดออกไซด์	16
2.5 เทคโนโลยีไทรโบโลยี	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	22
3.1 การศึกษาการเพิ่มสมบัติให้กับอลูมิเนียมด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี	22
3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย	23
3.3 อุปกรณ์และสารเคมี	24
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล	30
4.1 ผลการทดลองด้วยวิธีการการอโนไดซ์	30
4.2 ผลการทดสอบวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ	31
4.3 ผลการทดสอบความเสียดทาน	33

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 35
5.1 สรุปผลการวิจัย 35
5.2 ข้อเสนอแนะ 35
บรรณานุกรม 36
ภาคผนวก ก 38
กราฟแสดงผลการทดสอบความเสียดทาน 39
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน 43

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	แสดงขอบเขตโครงงาน	2
1-2	แสดงระยะเวลาการดำเนินงาน	2
2-1	สมบัติของอลูมิเนียม	5
2-2	แสดงอัตราส่วนสารประกอบของออกซิเจนและซิลิกา	10
2-3	แสดงชนิดของซิลิกาแบ่งตามโครงสร้างผลึก	12
2-4	แสดงประโยชน์ของซิลิกาและซิลิกาอสัณฐาน	13
3-1	แสดงการตั้งค่าของเครื่องขัดอลูมิเนียมอัตโนมัติ	25
3-2	แสดงการกำหนดค่าการทดสอบแรงเสียดทาน	29
4-1	แสดงค่าธาตุประกอบเชิงปริมาณ	32
4-2	แสดงค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	34

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	การผลิตอลูมิเนียม	5
2-2	ซิลิกา	9
2-3	ปฏิกิริยาการเกิดอโนไดซ์	14
2-4	ภาพจำลองการเคลือบสาร	16
2-5	เทคโนโลยีไทรโบโลยี	17
2-6	ทฤษฎีความเสียดทาน	18
2-7	แรงเสียดทานน้อย และ แรงเสียดทานมาก	19
2-8	แรงเสียดทานมาก และ แรงเสียดทานน้อย	19
2-9	หลักการทำงานของ เครื่องทดสอบแรงเสียดทาน	20
3-1	ภาพแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	23
3-2	เครื่องขัดชิ้นงาน	25
3-3	การชุบอโนไดซ์	26
3-4	การทดสอบการเกิดปฏิกิริยาเบื้องต้น	27
3-5	เครื่องอัลตราโซนิค	27
3-6	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	28
3-7	เครื่องทดสอบแรงเสียดทาน	29
4-1	ลักษณะโครงสร้างผิวชิ้นงานอลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์	30
4-2	กราฟการทดสอบอลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ 1 ชั่วโมง	31
4-3	กราฟการทดสอบอลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ 2 ชั่วโมง	32
4-4	กราฟการทดสอบอลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ 3 ชั่วโมง	32
4-5	กราฟการเปรียบเทียบค่าความเสียดทาน	33

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อลูมิเนียม ถูกนำมาใช้ในงานในด้านต่างๆ รองจากเหล็ก และทองแดง เช่น ใช้ทำภาชนะในครัวเรือน วัสดุก่อสร้าง และของใช้อื่นๆ ข้อดีของอลูมิเนียมคือ เป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบากว่าเหล็กและทองแดง จึงนิยมใช้อลูมิเนียมทำส่วนประกอบของเครื่องบิน และอากาศยาน โดยทั่วไปอลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีความแข็งแรงต่ำ แต่ปัจจุบันมีการพัฒนาอลูมิเนียมให้มีความแข็งแรงสูงขึ้น โดยผสมทองแดง แมกนีเซียม แมงกานีส หรือซิลิคอน เนื่องจากโลหะผสมเหล่านี้มีความแข็งแรงและความแข็ง (hardness) สูงกว่าอลูมิเนียมบริสุทธิ์มาก ในการใช้งานอลูมิเนียมในอุตสาหกรรมความแข็งแรงและคงทนต่อการสึกหรอ อลูมิเนียมถือเป็นปัจจัยสำคัญในการใช้งานอันส่งผลต่ออายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่างๆ การคำนึงถึงสมบัติทางไทรโบโลยี (wear, lubricant, friction) จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการเลือกใช้งานของอลูมิเนียม ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ชิ้นส่วนประกอบบางส่วน มีการสัมผัสกันระหว่างผิวหน้าเนื่องจากมีการเคลื่อนที่ พื้นผิวเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการหล่อลื่นอย่างเหมาะสมเพื่อสามารถใช้งานได้ยาวนานและประหยัดพลังงาน

การพัฒนาอลูมิเมียมให้มีค่าแรงเสียดทานต่ำ จะสามารถช่วยให้การนำอลูมิเนียมไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสียหายและการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีได้ โดยทั่วไปจะมีการนำวัสดุอื่นๆ มาใส่เสริม เพื่อลดการแรงเสียดทาน เมื่อเพิ่มเติมธาตุลงไปกลับส่งผลให้สมบัติด้านการหล่อลื่นของอลูมิเนียม ดังนั้น การปรับปรุงสมบัติของอลูมิเนียมเฉพาะที่ผิวจะสามารถช่วยแก้ปัญหาการลดลงหรือส่งผลกระทบต่อสมบัติอื่นของอลูมิเนียมได้ วัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการลดแรงเสียดทานมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น SiO_2, MoS_2 และ H-BN เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือก SiO_2 เพื่อใช้เป็นสารสำหรับช่วยลดแรงเสียดทานให้กับชิ้นงานอลูมิเนียม เพิ่มความลื่นและความเงาให้กับผิวชิ้นงานอลูมิเนียม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีด้านการหล่อลื่นให้กับชิ้นงานอลูมิเนียม

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ตารางที่ 1-1 แสดงขอบเขตโครงงาน

วัสดุ	- อลูมิเนียม - ผงนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ของบริษัท KC (กรุงเทพเคมี) รุ่น F029SD
กระบวนการ	อโนไดซ์ - อุณหภูมิ (40 องศาเซลเซียส) - กระแสไฟฟ้า (12 โวลต์ 10 แอมป์) - เวลา (1,2 และ 3 ชั่วโมง)
การทดสอบ	- โครงสร้างจุลภาคของผิวที่อโนไดซ์ - ความเสียดทาน - ปริมาณของธาตุ (EDS)
เครื่องมือ	- SEM (Scanning Electron Microscope) รุ่น Nova SEM - EDS (Energy Dispersive Spectromer) รุ่น Nova SEM - เครื่องทดสอบแรงเสียดทาน (อุปกรณ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ)

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาปัญหา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการการเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอลูมิเนียมด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าโดยใช้นาโนซิลิกอนไดออกไซด์

1.4.2 เตรียมอุปกรณ์และสารเคมีในการทำการทดลอง

1.4.3 ทำการทดลองกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าโดยการอโนไดซ์และเติมสารเสริมแรงนาโนซิลิคอนไดออกไซด์

1.4.4 ทดสอบโครงสร้างจุลภาคของผิวอลูมิเนียมที่ทำการอโนไดซ์ ที่วิเคราะห์ผลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จากนั้นนำไปทดสอบหาปริมาณธาตุ (EDS) และทดสอบความเสียดทานด้วยวิธีการทดสอบแบบลื่นไถล (Ball on Disk) ซึ่งการทดสอบแรงเสียดทานจะเป็นวิธีการทดสอบเพื่อศึกษาการสึกหรอของผิวคู่สัมผัสที่เกิดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน โดยการทดสอบนี้จะดูลักษณะของการสึกหรอและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างตัวคู่สัมผัส

1.4.5 สรุปผลการทำโครงงาน และจัดทำรายงาน

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ตารางที่ 1-2 แสดงระยะเวลาการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปีการศึกษา											
	พ.ศ.2561			พ.ศ.2562								
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลงานวิจัย												
2. รวบรวมข้อมูล												
3. เตรียมอุปกรณ์/สารเคมี												
4. ทำการทดลอง												
5. สรุปผลการทดลอง												
6. นำเสนอ												

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ชิ้นงานอลูมิเนียมที่มีสมบัติทนต่อการเสียดทานได้มากขึ้น

1.5.2 ได้นำความรู้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้งานหรือต่อยอดภายในอนาคต

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำโครงงาน เรื่องการเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอลูมิเนียมด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้ากับนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ ผู้จัดทำได้มีการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ โดยสามารถจำแนกเป็นหัวข้อหลัก ๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.1 อลูมิเนียม
2.2 ซิลิกอนไดออกไซด์
2.3 อโนไดซ์
2.4 การเพิ่มสมบัติของอลูมิเนียมด้วยการเติมสารซิลิกอนไดออกไซด์
2.5 ไทรโบโลยี
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อลูมิเนียม

อลูมิเนียม (Aluminium) [1] ถือเป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากทั้งในภาคอุตสาหกรรม และภาคครัวเรือน สำหรับภาคอุตสาหกรรมใช้ในการผลิตอลูมิเนียมผสม และผลิตภัณฑ์อลูมิเนียม ส่วนภาคครัวเรือนมีใช้มากในการก่อสร้าง และตกแต่งบ้าน ทดแทนไม้ และเหล็ก เนื่องจากเป็นโลหะที่มีสมบัติคงทนต่อการหัก ความร้อน การกัดกร่อน น้ำหนักเบา และมีความสามารถในการสะท้อนแสง และความร้อนได้ดี มักใช้ในงานก่อสร้าง งานตกแต่ง อุตสาหกรรมหลักซึ่งใช้อะลูมิเนียมกว่า 80% ของทั้งประเทศ ประกอบด้วย

2.1.1 อลูมิเนียมในอุตสาหกรรมยานยนต์

มีแนวโน้มขยายตัวตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณการผลิตรถยนต์เพื่อตอบสนองการฟื้นตัวของกำลังซื้อทั้งจากในประเทศและต่างประเทศ ประกอบกับสัดส่วนการใช้อลูมิเนียม (aluminium content) ที่มากขึ้นในรถยนต์แต่ละคัน เพื่อลดน้ำหนักและเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ [1]

2.1.2 อลูมิเนียมในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

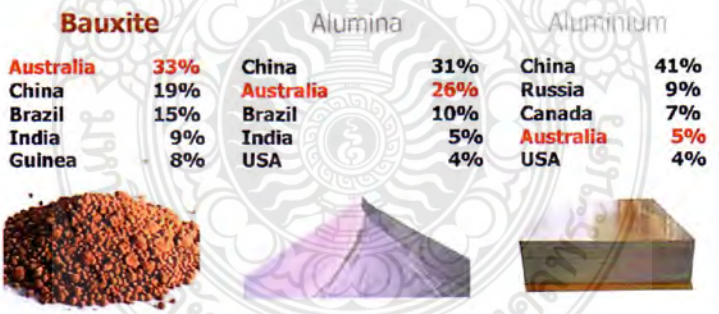
คาดว่าจะขยายตัวตามการเพิ่มขึ้นของโครงการคอนโดมิเนียมตามแนวก่อสร้างรถไฟฟ้า และโครงการอาคารสำนักงานเพื่อรองรับความต้องการเข้าใช้ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ความต้องการใช้กรอบอะลูมิเนียมสำหรับงานกระจกอาคาร แผ่นอะลูมิเนียมสำหรับงานฝ้าเพดาน รวมถึงอะลูมิเนียมคอมโพสิตสำหรับงานหุ้มผนัง (facade) [1]

2.1.3 อลูมิเนียมในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม

มีแนวโน้มเติบโตตามการขยายตัวของตลาดเบียร์ น้ำอัดลม และเครื่องดื่มชูกำลังในประเทศ ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องให้ความต้องการใช้อะลูมิเนียมสำหรับการผลิตกระป๋องเติบโตขึ้นตามไปด้วย [1]

2.1.4 **ตารางที่ 2-1** สมบัติของอลูมิเนียม

สมบัติของอลูมิเนียม
1. อลูมิเนียมมีจุดหลอมละลายที่ 660 องศาเซลเซียส 2. เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา รับภาระน้ำหนักได้สูง 3. สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เสี่ยงต่อรอยร้าว และการแตกหัก ไม่เป็นสนิม 4. ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์



ภาพที่ 2-1 การผลิตอลูมิเนียม [1]

2.1.5 การผลิตอลูมิเนียม

อลูมิเนียมถูกผลิตเริ่มต้นจากอุตสาหกรรมต้นน้ำในเหมืองแร่ผลิตแร่บอกไซด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนแข็ง อัดตัวแน่น มีสีเหลืองออกสีน้ำตาลจนถึงน้ำตาลแดง แต่อาจพบในลักษณะสีอื่น เช่น สีขาว สีน้ำตาล ซึ่งมีการผลิตในต่างประเทศด้วยการนำแร่บอกไซด์มาถลุงจนได้อลูมิน่าบริสุทธิ์ และนำอลูมิน่าเข้าหลอมเป็นแท่งจนได้แท่งอลูมิเนียมบริสุทธิ์กลายเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ สำหรับเศษอลูมิเนียมเก่าสามารถนำมาหลอมเป็นแท่งอลูมิเนียมนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบใหม่ได้

2.1.6 ชนิดของอลูมิเนียม

2.1.6.1 แบ่งตามการผลิต

อลูมิเนียมบริสุทธิ์ เป็นอลูมิเนียมที่ได้จากการถลุงแร่หรือการหลอมให้มีความบริสุทธิ์ 99.00% และมีธาตุอื่นเจือปนเพียง 1% เท่านั้น เป็นอลูมิเนียมที่มีความเหนียวสูง ขึ้นรูปได้ดี ส่วนอลูมิเนียมผสม เป็นอลูมิเนียมที่ได้จากการหลอมร่วมกับโลหะชนิดอื่นตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป ได้แก่ ทองแดง แมกนีเซียม แมงกานีส โครเมียม ซิลิกอน นิเกิล ดีบุก สังกะสี เป็นต้น เพื่อเป็นโลหะผสมให้มีคุณสมบัติทนต่อแรงดึงสูง [1]

2.1.6.2 แบ่งตามเกรดอลูมิเนียม

การแบ่งเกรดอลูมิเนียม มีการแบ่งเกรดจากสมาคมอลูมิเนียมแห่งสหรัฐอเมริกา โดยใช้หลักเกณฑ์ของส่วนผสมเป็นเกณฑ์ด้วยเลข 4 หลัก สำหรับใช้แทนเป็นสัญลักษณ์เกรดอลูมิเนียมขึ้นรูป

สัญลักษณ์แสดงกลุ่มอลูมิเนียมขึ้นรูป [1]

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 1xxx

เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้มีเหล็ก และซิลิกอนเป็นธาตุหลัก (1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350) เป็นประเภทที่ต้านการกัดกร่อนได้ดี สภาพการนำความร้อน และไฟฟ้าสูง

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 2xxx

เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 201.0; 203.0; 206.0; 224.0; 242.0;)

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 3xxx

เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (3003, 3004, 3105, 383.0; 385.0; A360; 390.0) โดยปกติแล้วจะไม่สามารถใช้การอบร้อนได้ แต่มีค่าความแข็งแกร่งมากกว่าประเภท 1xxx อยู่ 20%

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 4xxx

เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (4032, 4043, 4145, 4643, อื่นๆ)

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 5xxx

เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (5005, 5052, 5083, 5086, อื่นๆ) ใช้ในงานเชื่อมได้ดี และต้านทานการกัดกร่อนจากน้ำได้ดี

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 6xxx

เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (6061, 6063) ประกอบไปด้วยซิลิคอน และแม็กนีเซียม

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 7xxx

เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (7075, 7050, 7049, 710.0, 711.0, อื่นๆ)

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 8xxx

เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (8006; 8111; 8079; 850.0; 851.0; 852.0) สงวนไว้สำหรับการผสมกับธาตุอื่นๆ นอกเหนือจากที่ใช้สำหรับประเภท 2xxx ถึง 7xxx เหล็ก และนิกเกิลถูกใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง โดยไม่มีการสูญเสียสภาพการนำไฟฟ้า และถูกใช้อย่างแพร่หลายเช่น อัลลอยด์ตัวนำ 8017 อลูมินัม-ลิเทียม อัลลอยด์ 8090 มีความแข็งแรง และความแข็งสูงเป็นพิเศษ เพราะถูกพัฒนาให้ใช้กับงานอากาศยาน

9xxx หมายถึง ยังไม่มีใช้

2.1.7 ประโยชน์ของอลูมิเนียม

2.1.7.1 ด้านการก่อสร้าง

ใช้เป็นโครงสร้าง และวัสดุตกแต่งในงานต่างๆ โครงสร้างเสา กรอบประตู หน้าต่าง รั้ว เนื่องจากมีคุณสมบัติคงทน น้ำหนักเบา ซึ่งสามารถทดแทนไม้ และเหล็กได้เป็นอย่างดี [1]

2.1.7.2 ด้านการขนส่ง

ใช้เป็นวัสดุโครงสร้างในอุตสาหกรรมรถยนต์ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม มีอายุการใช้ง่าย และสามารถรับแรงกด แรงกระแทกได้มาก จึงนิยมนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องบิน รถไฟ และยานพาหนะอื่นๆ [1]

2.1.7.3 ด้านบรรจุภัณฑ์

อลูมิเนียมนิยมนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหาร และเป็นภาชนะสำหรับประกอบอาหาร เช่น ฟอล์ยครอบอาหาร กระป๋องบรรจุอาหาร จาน ชาม หม้อ กระทะ เป็นต้น เนื่องจากเป็นโลหะที่ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารหรือสารเคมีอื่นง่าย ไม่เกิดสนิม และทนต่อความร้อน การกัดกร่อนได้ดี [1]

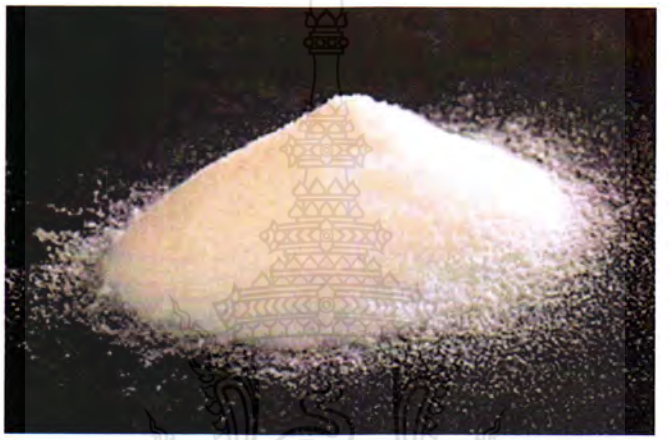
2.1.7.3 อุตสาหกรรมไฟฟ้า

ใช้อลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สายไฟฟ้า เนื่องจากเป็นสื่อนำไฟฟ้าได้ดี มีน้ำหนักเบา มีความคงทน และไม่เกิดสนิม [1]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2.2 ซิลิกอนไดออกไซด์

ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นสารประกอบของซิลิกอน และออกซิเจน มีลักษณะเป็นผลึกไม่มีสี หรือเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น และรส พบมากในดิน และหิน และเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับ 2 บนเปลือกโลกรองจากออกซิเจน และถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน อาทิ เป็นสารดูดซับความชื้น เป็นสารเพิ่มความเงา เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้าง และใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 2-2 ซิลิกา (silica/SiO_2) [2]

2.2.1 สมบัติทั่วไปของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) [3]

ชื่อทั่วไป	silica, quartz, free crystalline silica, silica flour, silica
สูตรโมเลกุล	SiO2
น้ำหนักโมเลกุล	60.1 (g/mol)
สถานะ	ของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น
จุดเดือด	มากกว่า 2,200 °C
จุดหลอมเหลว	1713 °C
การติดไฟ	ไม่ลุกติดไฟ

ซิลิกาเป็นสารประกอบของธาตุซิลิกอน (Si) และธาตุออกซิเจน (O) มีการจัดเรียงตัวแบบเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) แบบตาข่าย 3 มิติแบบไม่รู้จบ โดยมีซิลิกอนเป็นอะตอมกลาง และล้อมรอบด้วย 4 อะตอม ของออกซิเจน เป็น SiO_4 ซึ่งมีอะตอมของออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงรูปของซิลิกาจะเกิดขึ้นได้ช้ามาก แต่จะเกิดขึ้นได้เร็วมากเมื่อหลอมรวมกับอัลคาไล (alkali),วานาเดต (vanadate), คลอไรด์ (chloride) และบอเรตท์ (borate) แต่จะไม่เปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพมากนัก แบ่งซิลิกาออกเป็น 6 ชนิด [2]

ตารางที่ 2-2 แสดงอัตราส่วนสารประกอบของออกซิเจนและซิลิกาทั้ง 6 ชนิด

ลำดับที	ชื่อสารประกอบ	อัตราส่วนของ SiO_2
1	นีโซซิลิเกต (Nesosilicate)	1 : 4
2	โซโรซิลิเกต (Sorosilicate)	2 : 7
3	ไซโคลซิลิเกต (Cyclosilicate)	1 : 3
4	ไอโนซิลิเกต (Inosilicate)	4 : 11
5	ฟิลโลซิลิเกต (Phyllosilicate)	2 : 5
6	เทกโทซิลิเกต (Tectosilicate)	1 : 2

ซิลิกามีสมบัติทางเคมีที่ค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิปกติ และไม่ทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีหลายชนิด แต่สามารถเปลี่ยนรูปแบบได้ โดยซิลิกาชนิดอสัณฐานจะไวต่อปฏิกิริยามากกว่าซิลิกาชนิดผลึก เพราะซิลิกาอสัณฐานมีพื้นผิวมากกว่า

2.2.2 รูปแบบของซิลิกา

2.2.2.1 ซิลิกาผลึก (Crystalline Silica) เป็นซิลิกาที่พบในรูปแบบสินแร่ มีการจัดเรียงอะตอมของโครงสร้างอย่างมีระเบียบและต่อเนื่อง มีรูปร่างเป็นระบบผลึกที่แน่นอนภายใต้ความดันปกติ มี 3 รูปแบบ คือ 1.ควอร์ตซ์ (Quartz) เป็นรูปที่พบมากที่สุด อุณหภูมิเสถียรน้อยกว่า 870 องศาเซลเซียส 2.ไทรดิไมท์ (Tridymite) อุณหภูมิเสถียรที่ 870 -1,470 องศาเซลเซียส 3.คริสโตบาไลท์ (Cristobalite) อุณหภูมิเสถียรที่ 1470 องศาเซลเซียส และหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1,713 องศาเซลเซียส ผลึกทั้งสามรูปนี้ สามารถจะเปลี่ยนไปมาระหว่างกันได้โดยการให้ความร้อน

หรือลดอุณหภูมิ ซึ่งการเปลี่ยนแปลง (Inversion) นี้มี 2 รูปแบบ คือ แบบที่หนึ่งจะมีการจัดเรียงอะตอมภายในโครงสร้างใหม่ ส่วนแบบที่สองเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบรวดเร็ว พันธะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่สามารถกลับคืนสภาพเดิมได้เร็ว โดย α-quartz ที่อุณหภูมิ 573 °C จะเปลี่ยนเป็น β-quartz ได้อย่างรวดเร็ว ส่วน Quartz ที่มีความบริสุทธิ์สูง ที่อุณหภูมิ 870 °C จะสามารถเปลี่ยนเป็น Cristobalite ได้ แต่หากมีสิ่งเจือปนสูง จะสามารถเปลี่ยนเป็น α-tridymite ที่อุณหภูมิ 870 °C และค่อยเปลี่ยนแปลงเป็น α-cristobalite ที่อุณหภูมิ 1,470 °C ต่อ และหากได้รับอุณหภูมิสูงประมาณ 1,713 °C ก็จะเกิดการหลอมเหลวขึ้น ส่วนในระหว่างการทำให้เย็นลง พบว่า Tridymite และ Cristobalite จะไม่เปลี่ยนมาเป็น Quartz ตามเงื่อนไขปกติ แต่จะมีการเปลี่ยนมาเป็น γ-tridymite และเปลี่ยนเป็น β-cristobalite อย่างรวดเร็ว [2]

ตารางที่ 2-3 ตารางแสดงชนิดของซิลิกาแบ่งตามโครงสร้างผลึก

ชนิดซิลิกา	โครงสร้างผลึก	ความหนาแน่น (g/cm^3)
β-quartz	trigonal	2.65
α-quartz	hexagonal	2.53
γ-tridymite	orthorhombic	2.26
α-tridymite	hexagonal	2.22
β-cristobalite	tetragonal	2.32
α-cristobalite	cubic	2.2

2.2.2.2 ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous silica) เป็นซิลิกาที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (biogenic silica) และสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ มีลักษณะเป็นของแข็ง มีรูปร่างไม่แน่นอน ไม่เป็นผลึก มีการจัดเรียงอะตอมภายในโครงสร้างไม่เป็นระเบียบ อาจอยู่ในรูปของไฮเดรต (Hydrate) หรือแอนไฮเดรต (Anhydrate) มีพันธะหลายรูปแบบ เช่น siloxane (-Si-O-Si-), silonol (-Si-O-H-), silane (-Si-H), Organic silicon (-Si-O-R หรือ -Si-C-R) การสังเคราะห์จะสามารถสังเคราะห์ได้จากการให้ความร้อนจนมีสภาวะเป็นไอ และการตกตะกอนสารละลาย แบ่งเป็น 3 ประเภทตามลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ ได้แก่ 1.วิเทรียสซิลิกา (vitreous silica) หรือ ซิลิกาแก้ว (silica glass) เป็นของแข็ง ไม่มีรูพรุน ผลิตได้จากการหลอมเหลวผลึกซิลิกาอสัณฐานแล้วปล่อยให้เย็นตัว 2.ซิลิกาเจล (silica gel) มีลักษณะแข็ง มีรูพรุนสูง มีโครงสร้างรูพรุนแบบเปิด และมีพื้นที่ผิว 3.ซิลิกาผง (powder silica) เป็นซิลิกาที่เตรียมได้จากสภาวะกลายเป็นไอ และการตกตะกอนของสารละลายที่มีลักษณะการฟุ้งกระจายของอนุภาคสูง เมื่อตกตะกอนจะได้ซิลิกาที่มีมีขนาดเล็กมาก และมีพื้นที่ผิวสูง [2]

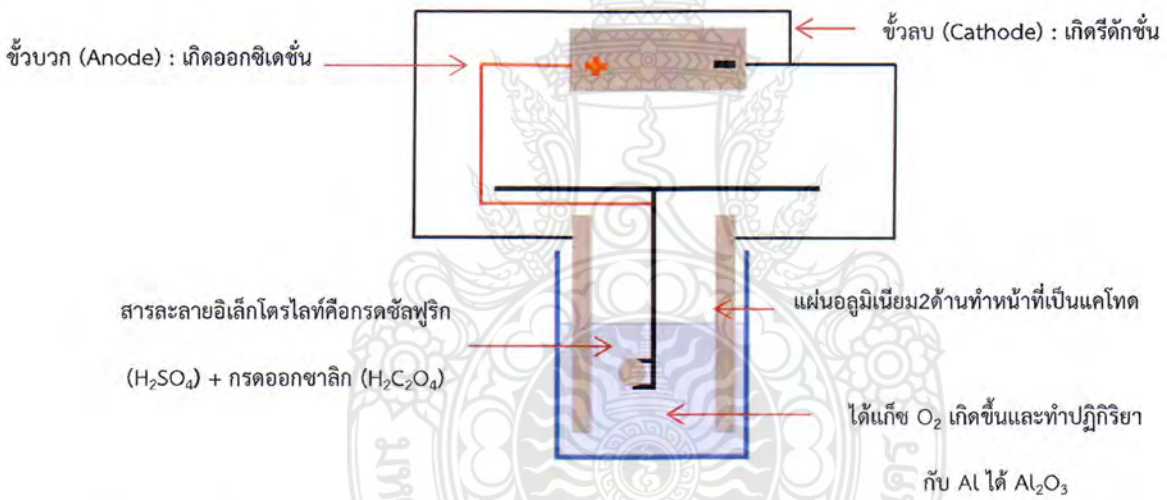
2.2.3 ประโยชน์ของซิลิกา

ตารางที่ 2-4 ตารางแสดงประโยชน์ของซิลิกาและซิลิกาอสัณฐาน

สมบัติของซิลิกา	ประโยชน์
ซิลิกา	- ซิลิกาเป็นวัตถุดิบสำหรับเป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้าง
ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica)	– ใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง และความหนาแน่นในผลิตภัณฑ์ยาง พลาสติก และพอลิเมอร์ เป็นต้น – ใช้เป็นสารเพิ่มแรงยึดติดในผลิตภัณฑ์กาว – ใช้เป็นสารลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างของแข็งที่แขวนลอยในของเหลว – ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น จารบี หมึกพิมพ์ สี ยา และเครื่องสำอาง เป็นต้น – ใช้เป็นสารปรับสภาพพื้นผิวให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ – ใช้เป็นสารดูดความชื้น

2.3 อโนไดซ์ (Anodize)

การชุบผิวอลูมิเนียม [3] (การทำให้เกิดออกไซด์ด้วยประจุบวก) คือ การชุบผิวอลูมิเนียมด้วยกระแสไฟฟ้าขั้วบวก เพื่อสร้างแผ่นฟิล์ม (สนิม) ด้วยปฏิกิริยาออกไซด์เทียมขึ้น ใส่สารเคมีซึ่งมีการเจือจางกรดซัลฟิวริกหรือกรดออกซาลิกด้วยน้ำในบ่อชุบผิวไฟฟ้า (สารละลายอิเล็กโตรไลต์) จากนั้นต่อชิ้นงานอลูมิเนียมที่ชุบเข้ากับขั้วบวก จุ่มลงในสารละลายอิเล็กโตรไลต์และปล่อยกระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดปฏิกริยาการแยกสารละลายของน้ำด้วยไฟฟ้า และสร้างเป็นฟิลม์ของออกไซด์ของอลูมิเนียมดังนั้นเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไปที่อลูมิเนียม จะเกิดปฏิกิริยาที่ ผิวของชิ้นงานทำให้เกิดความหยาบบนผิวพร้อมกับเกิดชั้นฟิลม์ขึ้นซ้ำๆ จนทำให้กลายเป็นโครงสร้างผิวที่เรียกว่าเซลล์ ดังภาพที่ 2-3



ปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าที่ขั้วแอโนด : $2Al + 3H_2O \longrightarrow Al_2O_3 + 6H^+ + 6e^-$

ปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าที่ขั้วแคโทด : $6H^+ + 6e^- \longrightarrow 3H_2$

ปฏิกิริยารวม : $2Al + 3H_2O \longrightarrow Al_2O_3 + 3H_2$

ภาพที่ 2-3 ปฏิกิริยาการเกิดอโนไดซ์ [3]

2.3.1 ประเภทของการชุบอโนไดซ์

กระบวนการชุบอโนไดซ์ให้ชิ้นงานที่ต้องการเคลือบผิวออกไซด์เป็นขั้วบวกหรือที่เรียกว่า แอโนด (Anode) อาจใช้ตะกั่วหรือกราไฟต์เป็นขั้วลบหรือที่เรียกว่าแคโทด (Cathode) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่นิยมใช้ในการทำปฏิกิริยามักเป็นกรดซัลฟิวริก กรดโคโรมิก กรดออกซาลิก กรดโครมิค เป็นต้น [3]

2.3.1.1 การชุบอโนไดซ์ (Anodize) [3] ด้วยกรดโคโรมิก เป็นวิธีการตั้งแต่ดั้งเดิม ที่รู้จักกันว่าเป็นวิธีแบบ Type I ซึ่งวิธีการใช้กรดโคโรมิกนี้จะให้ความหนาของชั้นฟิล์มบางตั้งแต่ 5-18 ไมโครเมตร และผิวชิ้นงานที่ทึบแสง แผ่นฟิล์มที่ได้จะอ่อนนุ่ม ยากต่อการชุบสี เหมาะสำหรับการเตรียมผิวอลูมิเนียมก่อนไปพ่นสี การใช้กระแสไฟต้องเพิ่มมากขึ้น ตามกระบวนการชุบ

2.3.1.2 การชุบอโนไดซ์ (Anodize) [3] ด้วยกรดซัลฟิวริก เป็นวิธีที่นิยมกันมากที่สุด โดยกรดซัลฟิวริกเป็นสารละลายหลัก เรียกวิธีนี้ว่า Type II จะให้ความหนาของชั้นฟิล์มปานกลาง 1.8 – 25 ไมโครเมตร แต่ถ้าการชุบให้ความหนามากกว่า 25 ไมโครเมตร เรียกว่าเป็นการชุบแบบหนา ที่เรียกว่า Type III, Hard Coat หรือ Engineering anodizing แต่ถ้าเป็นการชุบที่ให้ความหนามากๆ และยังคงให้กรดซัลฟิวริกเป็นสารละลาย เรียกวิธีนี้ว่า Type IIB การชุบแบบหนามากๆ ต้องการกระบวนการและเครื่องมือในการควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้เครื่องทำความเย็นควบคุมอุณหภูมิของสารละลายให้ใกล้จุดเยือกแข็งของน้ำ และใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่าการชุบแบบบาง การชุบแบบหนาจะมีชั้นฟิล์มตั้งแต่ 25 – 150 ไมโครเมตร การชุบอโนไดซ์ (Anodize) หนาจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพต่อการกัดกร่อน มีผิวลื่นทนต่อแรงเสียดทาน ทนความร้อนและเป็นฉนวนไฟฟ้า

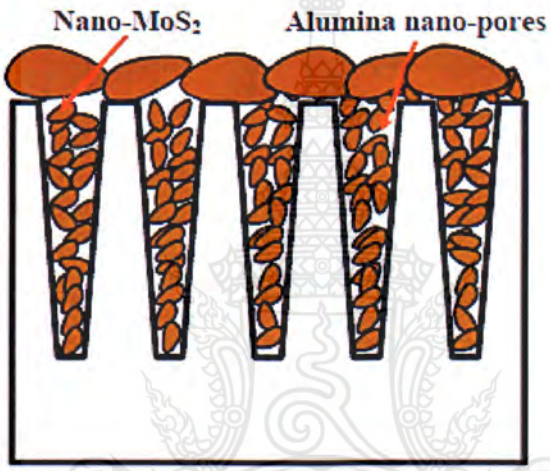
2.3.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอโนไดซ์

2.3.2.1 กระแสไฟฟ้าสัมพันธ์กับอุณหภูมิของสารละลายเนื่องจากกระบวนการอโนไดซ์กระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน มีผลต่อการก่อตัวของชั้นอลูมิเนียมออกไซด์

2.3.2.2 ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ผิวชิ้นงานอลูมิเนียมถูกทำลายไปอย่างรวดเร็วระหว่างผิวอลูมิเนียมและชั้นออกไซด์จะเกิดความร้อนกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำให้ขั้นตอนการอโนไดซ์อลูมิเนียมหยุดลงเปลี่ยนเป็นรูปแบบเป็น การกัดกรด [3]

2.4 การเพิ่มสมบัติของอลูมิเนียมด้วยการเติมสารซิลิกอนไดออกไซด์

การเพิ่มสมบัติของอลูมิเนียมด้วยการเติมสารซิลิกอนไดออกไซด์ เริ่มจากปรับปรุงผิวโดยทำการอโนไดซ์ชิ้นงานอลูมิเนียมเพื่อให้ผิวหน้าของชิ้นงานมีความขรุขระและเกิดรอยแตกขึ้น ซึ่งสารซิลิกอนไดออกไซด์ที่เติมเข้าไปจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ภายในรอยแตกของชิ้นงานที่ผ่านการอโนไดซ์ โดยเกี่ยวข้องกับงานวิจัยของ Luanxia Chen และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มสมบัติปรับปรุงผิวอลูมิเนียมด้วยกระบวนการอโนไดซ์เสริมสาร Nano-MoS_2 ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 ภาพจำลองการเคลือบสาร Nano-MoS_2 [4]

วิธีการเตรียมสารคือสาร MoS_2 14 g เอทานอล 200 ml ผสมให้สารเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิค เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงานลงไปชุบสาร Nano-MoS_2 15 นาที ผลที่ได้คืออนุภาคที่เล็กของสาร Nano-MoS_2 จะแทรกซึมเข้าไปในรูที่เจาะโดยเครื่อง Micro Milling โดยสารที่มีขนาดใหญ่จะปกคลุมอยู่เหนือรูพรุน

2.5 เทคโนโลยีไทรโบโลยี

ภาพที่ 2-5 เทคโนโลยีไทรโบโลยี [5]

ไทรโบโลยี (tribology) [5] เป็นเรื่องใหม่ที่คนไทยยังไม่รู้จักมากนัก แต่สำหรับประเทศที่มีเทคโนโลยีก้าวหน้า ไทรโบโลยี ถือเป็นศาสตร์สำคัญมากในวงการอุตสาหกรรมการผลิต

ไทรโบโลยี [5] เป็นศาสตร์และหลักการด้านวิศวกรรมศาสตร์ของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวในการเคลื่อนไหวเชิงสัมพัทธ์ โดยจะรวมถึงการศึกษาและการประยุกต์หลักการของการ เสียดทาน การหล่อลื่น และการสึกหรอ ซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของวิศวกรรมเครื่องยนต์และวัสดุศาสตร์ ส่วนประโยชน์จากการใช้ทฤษฎีของไทรโบโลยีนั้น ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างหลากหลายในอุตสาหกรรมที่ต้องมีการเสียดสี สึกหรอ ความร้อน และการสูญเสียพลังงานอยู่ภายใน และไทรโบโลยี (Tribology) เป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่สำหรับคนไทย ลดความเสียหายของเครื่องจักรต่างๆ การศึกษาไทรโบโลยี มีจุดประสงค์เพื่อลดความเสียหายจากความสึกหรอของเครื่องจักรต่างๆ ในทุกๆ อุตสาหกรรม และช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร และลดงบประมาณในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร ประหยัดพลังงาน เมื่อวัตถุ 2 ชนิดมีการเสียดสีกัน มักจะทำให้เกิดความร้อนและสูญเสียพลังงานไปมากกว่าที่ควรเป็นซึ่งก่อให้เกิดพลังงานสูญเปล่า การศึกษาไทรโบโลยี จะช่วยให้สามารถผลิตวัตถุที่ลดแรงเสียดสีเพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันหล่อลื่นและเชื้อเพลิงได้

2.5.1 การทดสอบทางไทรโบโลยีด้านแรงเสียดทาน

แรงเสียดทาน (friction force) [6] เป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัส 2 ผิว พยายามต่อต้านไม่ให้ผิวทั้งสองเคลื่อนที่ผ่านกัน แรงเสียดทานมีผลต่อการเคลื่อนที่ คือ พยายามต่อต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุค่าของแรงเสียดทานจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวสัมผัสแรงกดวัตถุลงบนพื้นสัมผัสและชนิดของวัตถุที่สัมผัส ทฤษฎีความเสียดทาน การศึกษาพฤติกรรมวัตถุที่สัมผัสกันและมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นดังนี้

2.5.1.1 แรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับการไถล

2.5.1.2 แรงเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่วัตถุอยู่กับที่ เมื่อมีแรงมากระทำ

ภาพที่ 2-6 ทฤษฎีความเสียดทาน [6]

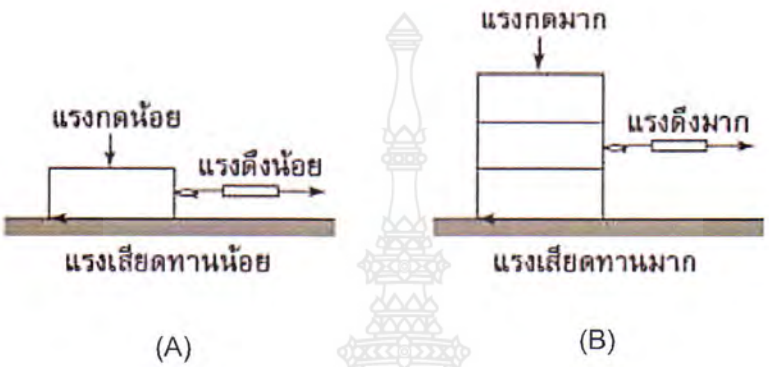
2.5.2 ประเภทของแรงเสียดทาน

2.5.2.1 แรงเสียดทานสถิต (static friction) คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ ในสภาวะที่วัตถุได้รับแรงกระทำแล้วอยู่นิ่ง [6]

2.5.2.2 แรงเสียดทานจลน์ (kinetic friction) คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ ในสภาวะที่วัตถุได้รับแรงกระทำแล้วเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ [6]

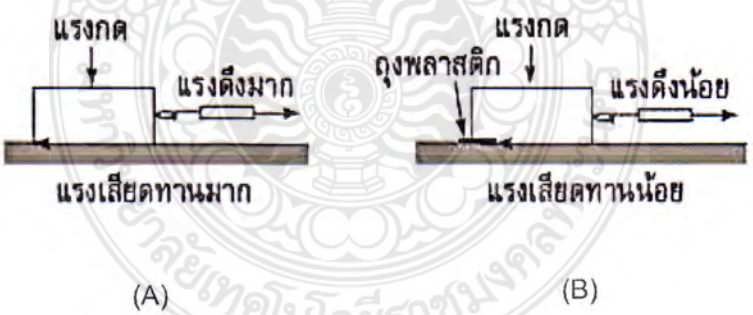
2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทาน

2.5.3.1 แรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส ถ้าแรงกดตัวฉากกับผิวสัมผัสมากจะเกิดแรงเสียดทานมาก ถ้าแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัสน้อยจะเกิดแรงเสียดทานน้อย [7] ดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 ภาพ (A) แรงเสียดทานน้อย ภาพ (B) แรงเสียดทานมาก [7]

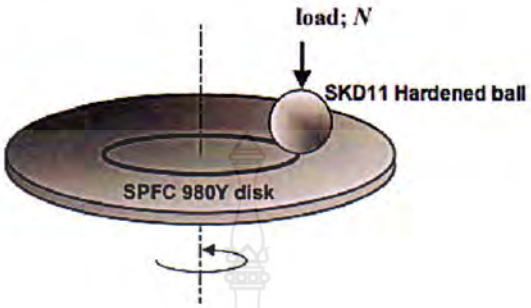
จากภาพลักษณะของผิวสัมผัส ถ้าผิวสัมผัสหยาบ ขรุขระจะเกิดแรงเสียดทานมาก ดังภาพ (A) ส่วนผิวสัมผัสเรียบลื่นจะเกิดแรงเสียดทานน้อยดังภาพ (B)



ภาพที่ 2-8 ภาพ (A) แรงเสียดทานมาก ภาพ (B) แรงเสียดทานน้อย [7]

ชนิดของผิวสัมผัส เช่น คอนกรีตกับเหล็ก เหล็กกับไม้ จะเห็นว่าผิวสัมผัสแต่ละคู่ มีความหยาบขรุขระ หรือเรียบลื่น เป็นมันแตกต่างกัน ทำให้เกิดแรงเสียดทานไม่เท่ากัน

2.5.5 การทดสอบเครื่องมือทางไทรโบโลยี



ภาพที่ 2-9 หลักการทำงานของ เครื่องทดสอบแรงเสียดทาน Ball-on-Disk [8]

หลักการทำงานของ เครื่องทดสอบแรงเสียดทาน Ball-on-Disk [8] เป็นวิธีการทดสอบเพื่อศึกษาการสึกหรอของผิวคู่สัมผัสที่เคลื่อนที่สัมพัทธ์กันโดยการทดสอบจะดูลักษณะของการสึกหรอและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัส โดยหน่วยวัดที่ใช้กำหนดอยู่ในระบบมาตรฐาน SI การทดสอบแต่ละครั้งต้องใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 2 ชิ้นที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมทางไทรโบโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสเพื่อเตรียมเป็นบอลกับแผ่นจาน วัสดุชิ้นทดสอบที่ถูกเตรียมเป็นบอลจะถูกจับยึดด้วยด้ามจับที่มีความแกร่งเพียงพอ ในการทดสอบด้ามจับบอลจะถูกยึดติดกับก้านทดสอบของเครื่องไตรบอมิเตอร์โดยมีแรงกด (Load; N) จากตุ้มน้ำหนักกดบอลลงบนชิ้นงานที่เตรียมเป็นแผ่นจาน ในการทดสอบจานหมุนด้วยต้นกำลังจากมอเตอร์ค่าสัมประสิทธิ์ ความเสียดทาน μ สามารถหาได้โดยตรงจากอัตราส่วนของแรงเสียดทาน f ซึ่งเป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ระหว่างผิวคู่สัมผัสของชิ้นทดสอบ กับแรงกด N

2.5.6 การใช้ประโยชน์จากการลดแรงเสียดทาน

2.5.6.1 ข้อต่อกระดูกของคนเรา จะเสียดสีกันตลอดเวลาขณะเราทำงาน การลดการเสียดสีของร่างกาย คือ มีสารหล่อลื่นได้แก่ น้ำหล่อสมองไขมันสันหลัง หรือน้ำหล่อลื่นระหว่างข้อต่อกระดูก

2.5.6.2 ลูกสูบของกระบอกสูบในเครื่องยนต์ จะเสียดสีกันตลอดเวลาจึงต้องใช้สารที่ทำหน้าที่ช่วยลดการเสียดสี เช่นน้ำมันเครื่อง แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้จะไร้สารหล่อลื่นก็ยังมีการสูญเสียพลังงานไปกับแรงเสียดทานประมาณ 25 %

2.5.6.3 การผลิตสารเคลือบ หรือฉาบบนภาชนะเพื่อให้เกิดความลื่นสารนี้คือ PTFE (Poly Tetrafluoro Ethylene) มีชื่อทางการค้าว่า เทฟลอน ใช้กับกระทะ ถาดอบ หม้อหุงข้าว ปัจจุบันมีการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ ยานพาหนะที่ไม่ต้องทำการอัดฉีดด้วยสารหล่อลื่น [8]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 ปริญญา ศรีสัตยกุล [3] สรุปงานวิจัยได้ว่า การออกแบบและสร้างเครื่องเคลือบสีอลูมิเนียมโดยวิธีการ Anodized สามารถออกแบบเครื่องเคลือบสีอลูมิเนียม ได้ทั้งหมด 6 ขั้นตอนการทำงาน คือ บ่อที่ 1 ล้างไขมันที่ผิวชิ้นงานด้วยโซเดียมฟอสเฟส บ่อที่ 2 ล้างน้ำสะอาด บ่อที่ 3 ทำการอโนไดซ์ในสารละลายกรดซัลฟิวริก บ่อที่ 4 ล้างกรดซัลฟิวริก บ่อที่ 5 เป็นกระบวนการเคลือบสีอลูมิเนียม บ่อที่ 6 ทำความสะอาดชิ้นงาน โดยเป็นกระบวนการอัตโนมัติถูกควบคุมด้วยระบบ PLC ส่งให้ประสิทธิภาพของกระบวนการเคลือบสี อลูมิเนียมโดยวิธีการ Anodized มากกว่าการใช้แรงงานคน

2.6.2 Luanxia Chen และคณะ [4] ทำการศึกษาการเพิ่มสมบัติปรับปรุงผิวอลูมิเนียมด้วยกระบวนการอโนไดซ์เสริมสาร Nano-MoS_2 ผลที่ได้คือ อนุภาคที่เล็กของสาร Nano-MoS_2 จะแทรกซึมเข้าไปในรูที่เจาะโดยเครื่อง Micro Milling โดยสารที่มีขนาดใหญ่จะปกคลุมอยู่เหนือรูพรุน

2.6.3 Tim Aerts และคณะ [11] สรุปงานวิจัยได้ว่าชิ้นงานไหม้จากกระบวนการ Hard anodized ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเกิดจากกระแสไฟที่จ่ายเข้าไปในตัวชิ้นงานและเกิดความร้อนขณะที่สร้างฟิล์ม และความหนาของชิ้นงานที่บางมีโอกาสเกิดการไหม้ได้สูงกว่าชิ้นงานหนา

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาและพัฒนางานวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีด้านการหล่อลื่นให้กับชิ้นงานอลูมิเนียม เพื่อแก้ปัญหาของอลูมิเนียมให้ทนต่อความเสียดทานสูงขึ้น การที่อลูมิเนียมมีสมบัติการต้านความเสียดทานต่ำ ทำให้อลูมิเนียมอัลลอยด์ที่ต้องสัมผัสกับโลหะหรือวัสดุชนิดอื่นๆ ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่สูง มีประสิทธิภาพในการทำงานแบบไทรโบโลยี (Tribological) ด้านการหล่อลื่นค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการปรับปรุงพื้นผิว จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาคุณสมบัติทางไทรโบโลยีของอลูมิเนียมอัลลอยด์

3.1 การศึกษาการเพิ่มสมบัติให้กับอลูมิเนียมด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี

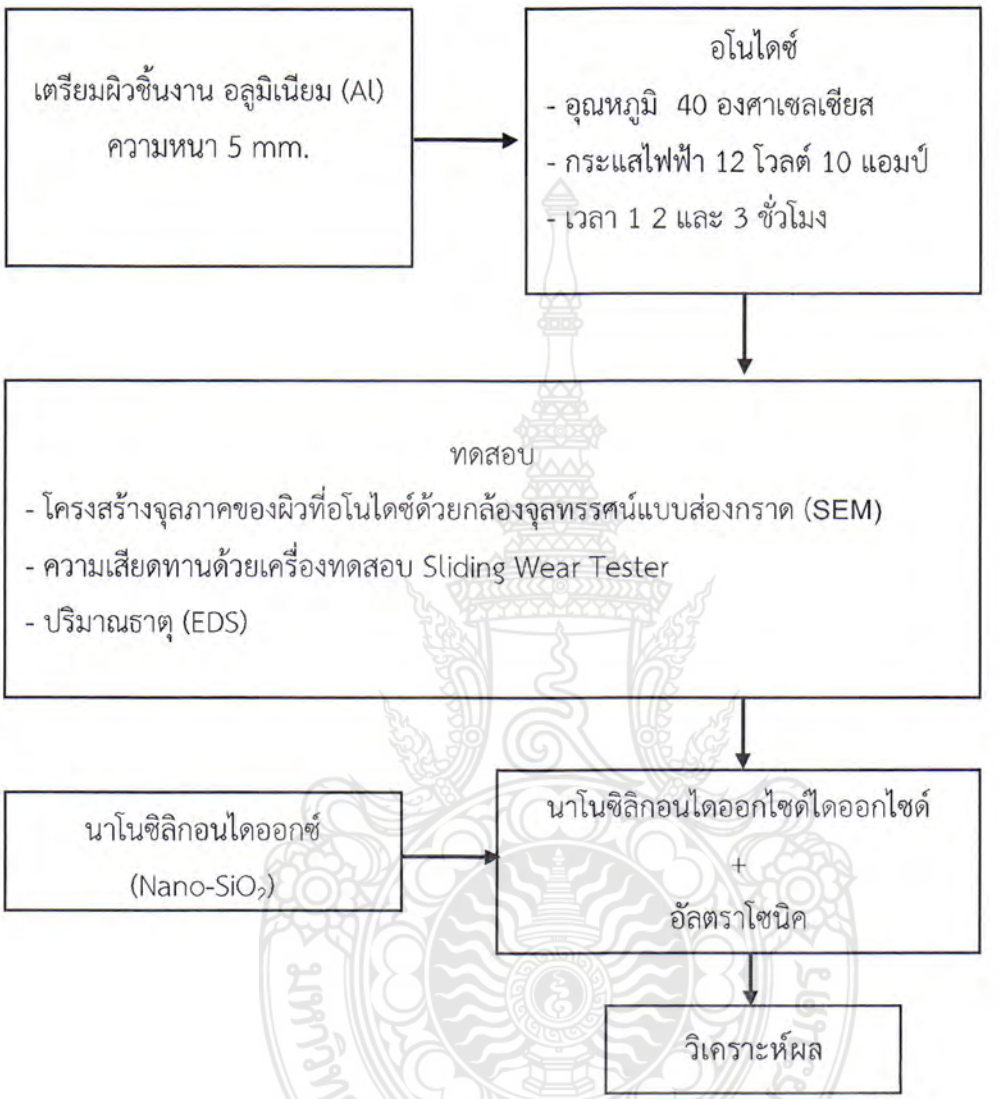
การศึกษาการเพิ่มสมบัติให้กับอลูมิเนียมด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.1.1 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของชิ้นงานอลูมิเนียมด้วยกระบวนการอโนไดซ์

3.1.2 ศึกษาการเติมสารนาโนซิลิกอนไดออกไซด์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



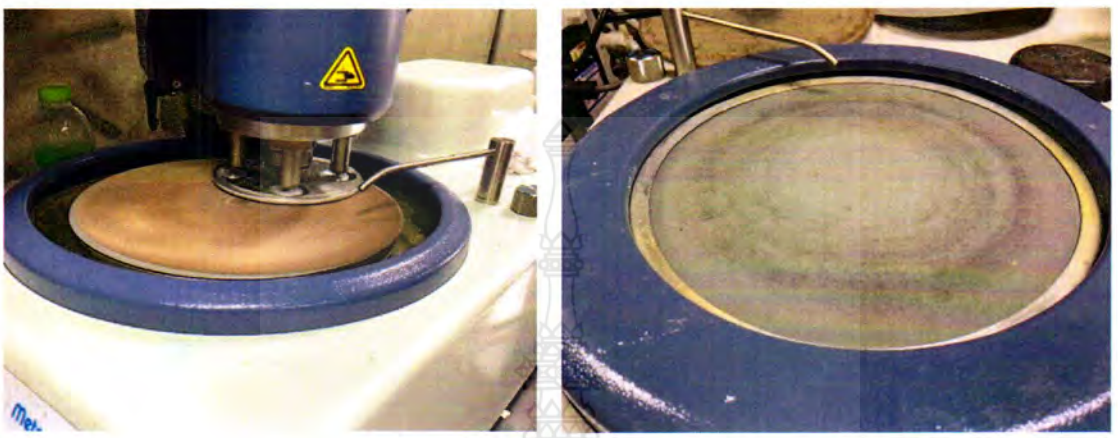
ภาพที่ 3-1 ภาพแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3 อุปกรณ์และสารเคมี

- ชิ้นงานอลูมิเนียม
- บีกเกอร์ขนาด 50, 200, 500, 800, 1800 ml
- แท่งแก้วคนสาร
- กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid, H_2SO_4) เข้มข้น 18 mol
- โซดาไฟ (Sodium Hydroxide, NaOH)
- กรดออกซาลิก (Oxalic Acid, $H_2C_2O_4$)
- สารนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ (Nano-Silicon Dioxide, Nano-SiO_2)
- น้ำยาล้างจานล้างคราบไขมัน
- เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Switching) 12 V./ 10 A.
- สายไฟปากคีบสีแดง 1 เส้น และ สีดำ 2 เส้น
- เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง
- เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า
- เครื่องอัลตราโซนิค
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การเตรียมผิวและทำความสะอาดผิวของอลูมิเนียม



(A) (B)

ภาพที่ 3-2 เครื่องขัดชิ้นงาน

จากภาพที่ 3-2 ภาพ (A) แสดงเครื่องขัดอัตโนมัติของบริษัท BUEHLER รุ่น Vector POWER HEAD 49-10056 เป็นการทำให้ผิวหน้าอลูมิเนียมเรียบขึ้น และง่ายต่อการชุบอโนไดซ์และการเกิดปฏิกิริยา เมื่อขัดอลูมิเนียมเสร็จเรียบร้อยแล้ว

ภาพ (B) แสดงเครื่องขัดด้วยมือ นำชิ้นงานอลูมิเนียมมาขัดต่อด้วยมือ ใช้กระดาษทรายเบอร์ 800 และ 1200 เพื่อให้ชิ้นงานอลูมิเนียมมีผิวที่เรียบมากยิ่งขึ้น
หลังจากนั้นนำชิ้นงานอลูมิเนียมที่ขัดเรียบร้อยแล้วไปล้างคาบไขมันด้วยน้ำยาล้างจานและล้างคราบดำด้วยโซดาไฟ โดย ผสมโซดาไฟ 50 g น้ำกลั่น 500 ml เป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงนำขึ้นมาไปล้างน้ำสะอาด เช็ดชิ้นงานให้แห้ง

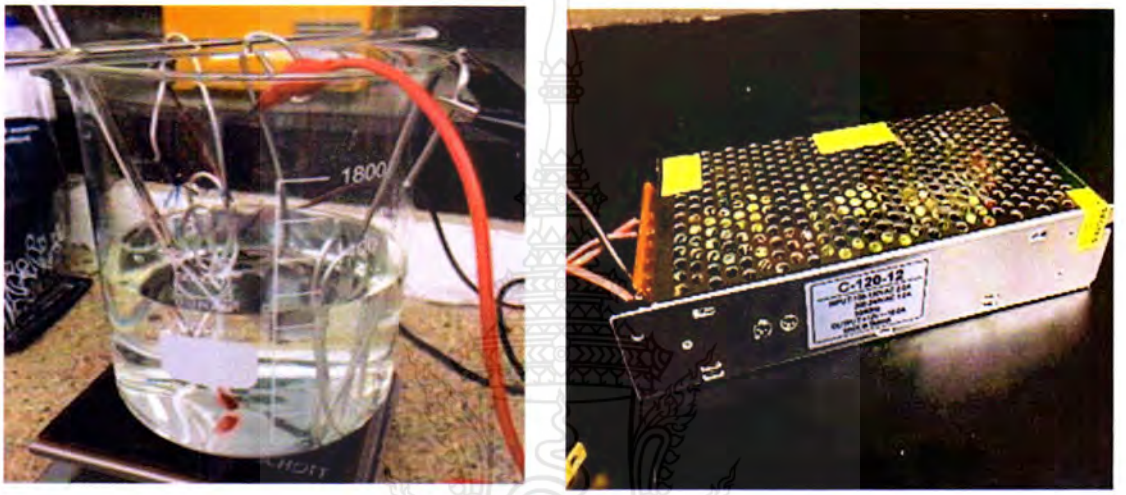
ตารางที่ 3-1 ตารางแสดงการตั้งค่าของเครื่องขัดอลูมิเนียมอัตโนมัติ

ตารางแสดงการตั้งค่าของเครื่องขัดอลูมิเนียมอัตโนมัติ	
แรงกด (นิวตัน)	0.05 (N)
น้ำ (ปิด/เปิด)	เปิด
เวลา (นาที)	5 นาที/รอบ

3.4.2 การชุบอโนไดซ์

3.4.2.1 การเตรียมสารละลายอโนไดซ์

เตรียมน้ำกลั่น 1,000 ml ลงในบีกเกอร์จากนั้น ผสมกรดซัลฟิวริก 150 ml และกรดออกซาลิก 50 g คนสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นทิ้งสารละลายที่ผสมไว้ 30 นาที เพื่อให้สารละลายเย็นตัวลงเท่าอุณหภูมิห้อง เพราะกรดที่ผสมลงไปจะทำให้สารละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้น



(A) (B)

ภาพที่ 3-3 การชุบอโนไดซ์

ภาพที่ 3-3 (A) แสดงขั้นตอนทำให้เกิดปฏิกิริยาออกไซด์ของอลูมิเนียม Al_2O_3 ที่เสถียรเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าโดยหลักการใช้อิเล็กโทรลิซิส

ภาพ (B) แสดงการทำอโนไดซ์ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งตัวจ่ายไฟ (Switching Power Supply) 12 โวลต์ 10แอ๊ปในสารละลายกรดผสมระหว่าง กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และ กรดออกซาลิก ($H_2C_2O_4$) เกิดปฏิกิริยาให้ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เกิดขึ้นโดยมีลวดอลูมิเนียม 2 ฝั่ง สายไฟสีดำ คือขั้วลบ (Cathode) : เกิดรีดักชั่น และชิ้นงานอลูมิเนียมที่ต้องการเคลือบ สายไฟสีแดงเป็นขั้วบวก (Anode) เกิดออกซิเดชั่น โดยปฏิกิริยาที่ขั้นแอโนดจะถูกออกซิไดซ์เกิดเป็นออกซิเจน และออกซิเจนจะไปออกซิไดซ์อลูมิเนียมที่ต้องการเคลือบ ส่วนปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากกรดจะถูกรีดิวซ์เป็นแก๊สไฮโดรเจน ที่อลูมิเนียมทั้ง 2 ฝั่งจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง การทดลองการอโนไดซ์จะ กำหนดให้ เวลาเป็น 1, 2 และ 3 ชั่วโมง กำหนดอุณหภูมิที่ 40 °C

(A)

(B)

ภาพที่ 3-4 การทดสอบการเกิดปฏิกิริยาเบื้องต้น

จากภาพที่ 3-4 ภาพ (A) แสดงการทดสอบการเกิดปฏิกิริยาเบื้องต้นด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าชิ้นงานอลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์แล้วมีค่าความต้านทานไฟฟ้า เป็น 0

ภาพ (B) แสดงผิวของชิ้นงานอลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์แล้ว

3.4.3 การเติมสารนาโนซิลิกอนไดออกไซด์

(A)

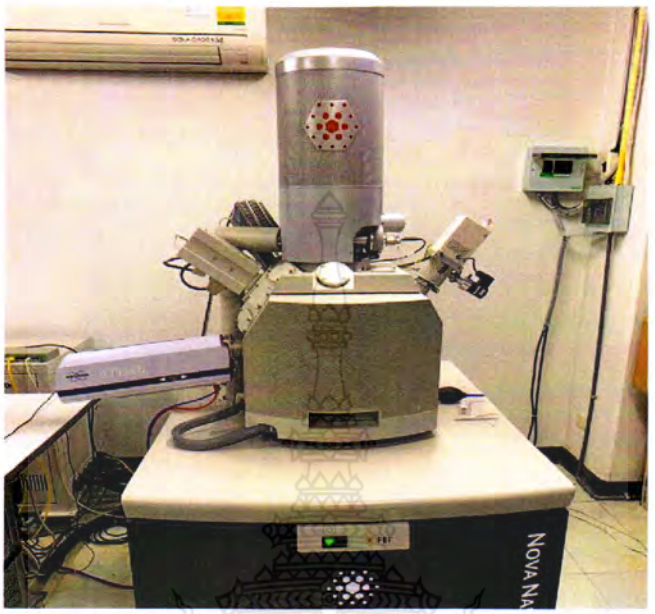
(B)

ภาพที่ 3-5 เครื่องอัลตราโซนิค

จากภาพที่ 3-5 ภาพ (A) แสดงเครื่องอัลตราโซนิครุ่น LT-05C บริษัท HUI ZHOU LONG BIAO ELECTRIC EQUIPMENT CO.LTD สำหรับใช้ผสมสารโดยใช้คลื่นการสั่น คลื่นความถี่ 35/60 Hz. โดยผสม กรดซัลฟิวริก/เอทานอล 200 ml น้ำกลั่น 50 ml. กับสาร Nano-Sio_2 14 g คนสารละลายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำชิ้นงานอลูมิเนียมลงไปชุบในอัลตราโซนิคที่มีสารละลายผสมอยู่ เป็นเวลา 15 นาที

ภาพ (B) ผิวของชิ้นงานอลูมิเนียมที่ผ่านการเติมสารนาโนซิลิกอนไดออกไซด์

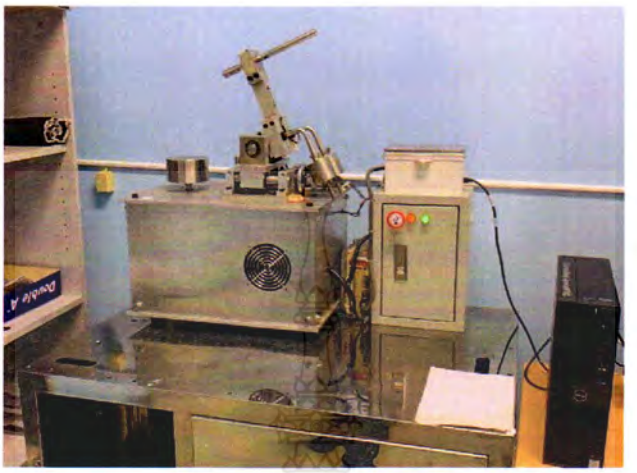
3.4.3 การทดสอบโครงสร้างจุลภาคของผิวที่อโนไดซ์ (SEM)



รูปที่ 3-6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เมื่อทำการปรับปรุงผิวเรียบร้อยแล้วต่อมาเป็นการทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอลูมิเนียมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดรุ่น Nova Nova SEM โดยใช้โหมด secondary electron ในการวิเคราะห์ การถ่ายภาพความละเอียดสูง - ความละเอียดแรงดันต่ำ [1kV] คือ 1.8nm ในโหมดสูญญากาศต่ำและ นาโนเมตรในโหมดสูญญากาศสูงดังนั้นผู้ใช้ยังคงสามารถสัมผัสกับผลประโยชน์ทั้งหมดที่นำเสนอโดยการถ่ายภาพสูญญากาศต่ำโดยไม่ต้องเสียสละความละเอียดในภาพทั้งลำแสงกระแสสูง (จำเป็นสำหรับ EDS ที่รวดเร็ว / การวิจัยเชิงวิเคราะห์) และความละเอียดสูงที่แรงดันสูงและต่ำซึ่งจำเป็นสำหรับคุณภาพของภาพในประเภทตัวอย่างที่หลากหลายประสิทธิภาพที่แข็งแกร่งในโหมดสุญญากาศต่ำให้พลังในการวิเคราะห์มากขึ้น

3.4.4 ทดสอบสมบัติของอลูมิเนียมที่ผ่านการปรับปรุงผิวแล้ว



ภาพที่ 3-7 เครื่องทดสอบแรงเสียดทาน

เครื่องทดสอบความเสียดทานด้วยวิธี Ball On Disk เป็นวิธีการทดสอบเพื่อศึกษาการสึกหรอของผิวคู่สัมผัสที่เคลื่อนที่สัมพัทธ์กันโดยการทดสอบจะดูค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัส

ตารางที่ 3-2 ตารางแสดงการกำหนดค่าการทดสอบแรงเสียดทานของเครื่อง Ball On Disk

พารามิเตอร์ในการทดสอบ	ค่า
น้ำหนักกดในการทดสอบ (N)	0.1
ระยะทางในการทดสอบ (m)	10
ความเร็วในการทดสอบ (m/s)	0.1
ความเร็วในการทดสอบ (m/s)	0.05

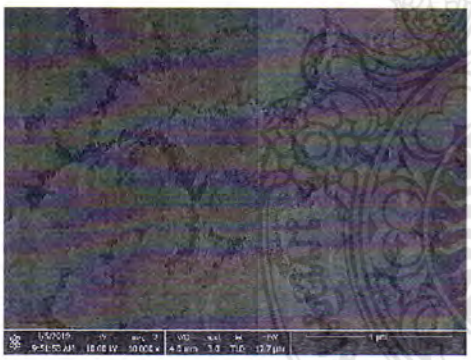
บทที่ 4
ผลการทดลอง และอภิปรายผล

การปรับปรุงสมบัติของผิวอลูมิเนียมด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมีโดยวิธีการอโนไดซ์เสริม Nano-SiO_2 เพิ่มลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของผิวอลูมิเนียม โดยทำการทดสอบวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างภายในชิ้นงานอลูมิเนียมจากเครื่อง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานด้วยวิธีการ Ball On Disk

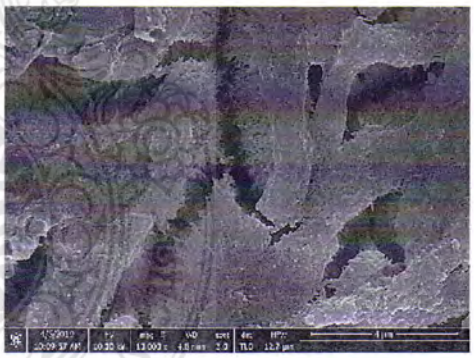
4.1 ผลการทดลองด้วยวิธีการการอโนไดซ์

เมื่ออลูมิเนียมเกิดการขยายตัวทางความร้อน เกิดรอยแตกบนผิวของอลูมิเนียมเนื่องจากอลูมิเนียม ที่ผ่านการอโนไดซ์ของเวลาที่แตกต่างกันและเมื่อเวลาในการอโนไดซ์เพิ่มขึ้นความหนาของชั้นฟิลม์อลูมิเนียมออกไซด์ก็จะเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการหดตัวของอลูมิเนียมสูงขึ้นถึงทำให้อลูมิเนียมเกิดรอยแตกมากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง ดังแสดงในภาพที่ 4-1

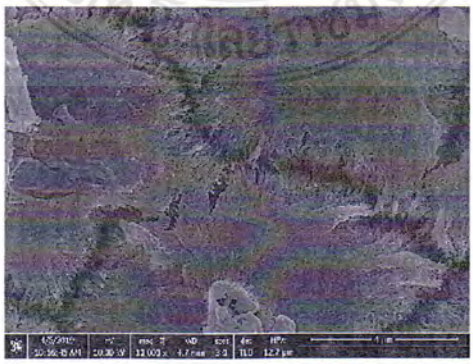
4.1.1 ผลการทดลองการทำ Anodize ที่อุณหภูมิ 40°C



(A)



(B)



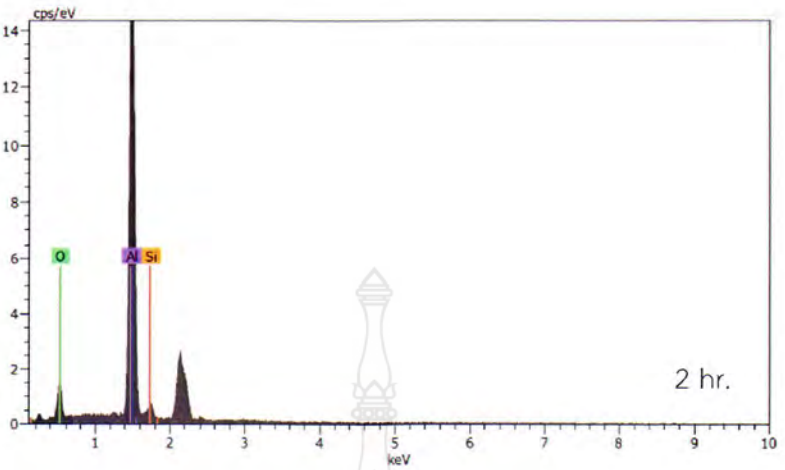
(C)

ภาพที่ 4-1 ลักษณะโครงสร้างผิวชิ้นงานอลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ที่เวลาต่างๆ
ภาพ A อโนไดซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลคือ ผิวชิ้นงานอลูมิเนียมเริ่มเกิดรอยแตกร้าว
ภาพ B อโนไดซ์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลคือ ผิวชิ้นงานอลูมิเนียมเกิดรอยแตกร้าวลึกมากขึ้นจากเดิมที่ทำการอโนไดซ์ 1 ชั่วโมง
ภาพ C อโนไดซ์เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ผลคือ รอยแตกร้าวของอลูมิเนียมมีความลึกและมีขนาดยาวเพิ่มมากขึ้น

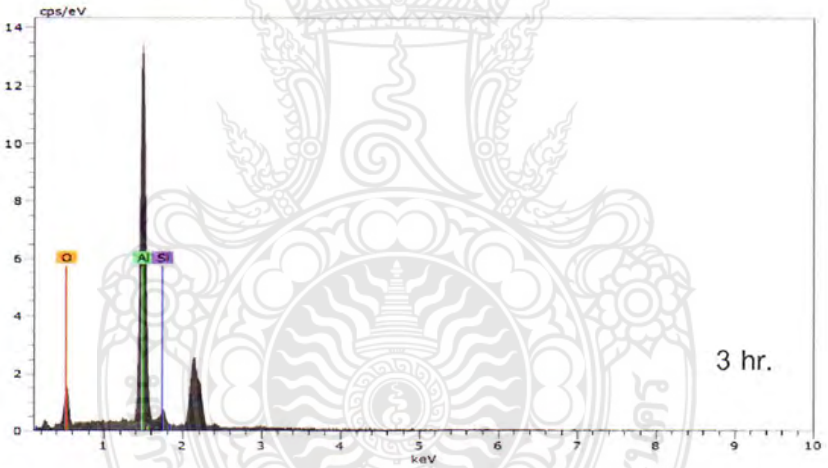
4.2 ผลการทดสอบวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ (EDS : Energy Dispersive Spectroscopy)

จากผลการทดสอบวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ แสดงให้เห็นว่าที่บริเวณผิวอลูมิเนียม มีสารอลูมิเนียมซึ่งเป็นสารประกอบหลัก รองลงมาคือสารออกซิเจน และ สารที่เติมเข้าไปเพื่อปรับปรุงสมบัติของชิ้นงานอลูมิเนียมคือสารซิลิกอนไดออกไซด์

ภาพที่ 4-2 แสดงกราฟการทดสอบธาตุที่อยู่บนผิวหน้าชิ้นงานอลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ 1 ชั่วโมง พบว่า มีธาตุอลูมิเนียมซึ่งเธอธาตุประกอบหลักเท่ากับ 94.88% ธาตุซิลิกอนเท่ากับ 1.37% และ ธาตุออกซิเจนเท่ากับ 3.74%



ภาพที่ 4-3 แสดงกราฟการทดสอบธาตุที่อยู่บนผิวหน้าชิ้นงานอลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ 2 ชั่วโมง พบว่า มีธาตุอลูมิเนียมซึ่งเธอธาตุประกอบหลักเท่ากับ 94.88% ธาตุซิลิกอนเท่ากับ 1.37% และ ธาตุออกซิเจนเท่ากับ 3.74%



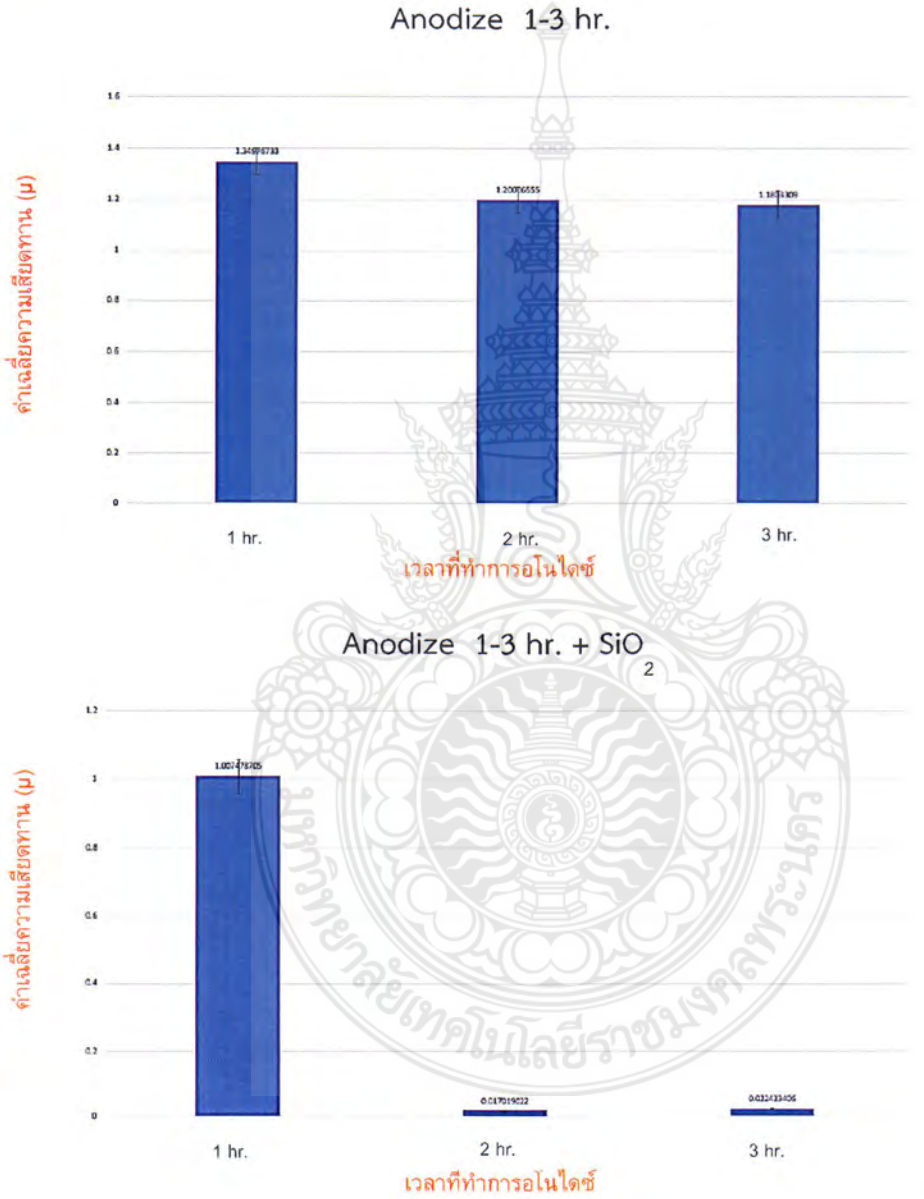
ภาพที่ 4-4 แสดงกราฟการทดสอบธาตุที่อยู่บนผิวหน้าชิ้นงานอลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ 3 ชั่วโมง พบว่า มีธาตุอลูมิเนียมซึ่งเธอธาตุประกอบหลักเท่ากับ 77.46% ธาตุซิลิกอนเท่ากับ 7.10% และ ธาตุออกซิเจนเท่ากับ 15.43%

ตารางที่ 4-1 แสดงค่าธาตุประกอบเชิงปริมาณ

เวลา (hr.)	ธาตุประกอบ (wt.%)		
	Al	Si	O
1	94.88	1.37	3.74
2	94.88	1.37	3.74
3	77.46	7.10	15.43

4.3 ผลการทดสอบความเสียดทาน (Ball On Disk)

เมื่อเวลาในการทำอโนไดซ์เพิ่มขึ้นทำให้รอยแตกของผิวอลูมิเนียมมีขนาดใหญ่ สารนาโนซิลิกอนไดออกไซด์จึงแทรกเข้าสู่ทั่วผิวอลูมิเนียมเกิดการแพร่กระจายของสารมากขึ้น คู่สัมผัสมีพื้นที่การสัมผัสกันต่ำลงจึงส่งผลการทนต่อแรงเสียดทาน



ภาพที่ 4-5 กราฟการเปรียบเทียบค่าความเสียดทาน (μ) ของอลูมิเนียมที่เติมสาร SiO_2 และไม่เติมสาร SiO_2

ตารางที่ 4-2 แสดงค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) ระหว่างอลูมิเนียมที่เติมสาร SiO_2 และไม่เติมสาร SiO_2 กรณีชิ้นงานอลูมิเนียมที่ไม่เติมสารเสริมแรง Nano-SiO_2 ผลคือทนต่อการสึกหรอและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้น้อยกว่าชิ้นงานอลูมิเนียมที่เติมสารเสริมแรง Nano-SiO_2 การเติมสารเสริมแรง Nano-Sio_2 ช่วยลดปริมาณการสึกหรอและช่วยลด ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่เติมสารเสริมแรง Nano-SiO_2

ตารางแสดงค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ)
ระหว่างอลูมิเนียมที่เติมสาร SiO_2 และไม่เติมสาร SiO_2

เวลา (ชั่วโมง)	ผลการทดสอบแรงเสียดทาน ของอลูมิเนียมที่ไม่เติมสาร SiO_2 มีหน่วยเป็น (μ)	ผลการทดสอบแรงเสียดทาน ของอลูมิเนียมที่เติมสาร SiO_2 มีหน่วยเป็น (μ)
1	1.35	1.01
2	1.20	0.02
3	1.09	0.02

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาทดลองงานวิจัยการเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอลูมิเนียมด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้ากับนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ในครั้งนี้ ผู้จัดทำได้ศึกษาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในชิ้นงานและปัญหาการใช้งานของอลูมิเนียมในปัจจุบัน เพราะอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่สำคัญในอุตสาหกรรมในด้านต่างๆ ผู้จัดทำจึงได้ศึกษาทดลองการเพิ่มสมบัติและวิธีที่ยืดอายุการใช้งานของอลูมิเนียมให้ทนต่อสภาะแวดล้อมให้ได้ได้นานที่สุด จากผลการทดลองงานวิจัยการเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีด้านแรงเสียดทานของผิวอลูมิเนียมด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้ากับนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ในครั้งนี้ สามารถสรุปผลการดำเนินงานได้คือ

5.1.1 การปรับปรุงสมบัติของชิ้นงานอลูมิเนียมด้วยวิธีการอโนไดซ์ช่วยทำให้ชิ้นงานเกินรอยแตกเพื่อให้สารนาโนซิลิกอนไดออกไซด์แทรกเข้าไปได้

5.1.2 สามารถทำให้ชิ้นงานอลูมิเนียมมีผิวหน้าที่เรียบขึ้นและมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าเติมในส่วนการสาร Nano-SiO_2 ช่วยทำให้ชิ้นงานอลูมิเนียมมีผิวหน้าที่ลื่นขึ้น ทำให้เพิ่มสมบัติทนต่อแรงเสียดทานสูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 สารสริมแรงชนิดอื่นๆเพื่อพัฒนาปรับปรุงสมบัติของอลูมิเนียมเพื่อให้เหมาะสมต่อลักษณะการใช้งานแต่ละประเภท เช่น ทองแดง สังกะสี แมกนีเซียม แมงกานีส เป็นต้น

5.3.2 เพิ่มการปรับปรุงสมบัติทางไทรโบโลยีในด้านอื่นๆ เช่น ด้านการสึกหรอ ด้านการผุกร่อน

เอกสารอ้างอิง

1 อลูมิเนียม (Aluminium) ชนิด และประโยชน์อลูมิเนียม (บทความออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มกราคม 2562 จาก : www.siamchemi.com/อลูมิเนียม

2 ซิลิกา (silica/SiO2) และประโยชน์ซิลิกา (บทความออนไลน์). สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มกราคม 2562 จาก : www.siamchemi.com/ซิลิกา

3 ปริญญา ศรีสัตยกุล, 2553, เครื่องเคลือบสีอะลูมิเนียมโดยวิธีการอะโนไดซ์, โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, หน้า 1-48.

4 Luanxia Chen,Zhanqiang Liu,Qi Shen "Enhancing tribological performance by anodizing micro-textured surfaces with nano-MoS2 coatings prepared on aluminum-silicon alloys" Tribology International, Volume 122, June 2018, Pages 84-95

5 ไทรโบโลยี (tribology), Gothenberg, 2013, (บทความออนไลน์), สืบค้นเมื่อวันที่ 9 มกราคม 2562

6 เจษฎาภรณ์ ปริยดำกล, 2560, แรงเสียดทาน,ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล,หน้าที่ 1-25

7 แรงและการเคลื่อนที่,แรงเสียดทาน, 2557, (บทความออนไลน์), สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มกราคม 2562 จาก : http://cms575.bps.in.th/group13/on-friction

8 ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเริง และ ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี, 2559, การจำลองการทำงานบนเครื่อง Ball-on-Disk เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางไตรบอโลยีในงานขึ้นรูปโลหะแผ่น, การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1, หน้าที่ 96-103

9 Jung-Hoon Lee, Young Kyu Jeong, Jung Hwan Park, Min-Ae Oak, Hyun Myung Jang, Jong Yeog Son,James F. Scott "Fabrication of Anodic Porous Alumina" Encyclopedia of Interfacial Chemistry, Vol. 108, Issue. 21 — 25 May 2012

10 TimAerts, Jean-Baptiste Jorcin, Iris De Graeve, Herman Terryn "Comparison between the influence of applied electrode and electrolyte temperatures on porous anodizing of aluminium" Electrochimica Acta,Volume 55, Issue 12, 30 April 2010, Pages 3957-3965

11 Tim Aerts, Els Tourwé, Rik Pintelon, Iris De Graeve, Herman Terryn "Modelling of the porous anodizing of aluminium: Generation of experimental input data and optimization of the considered model" Surface and Coatings Technology Volume 205, Issue 19, 25 June 2011, Pages 4388-4396

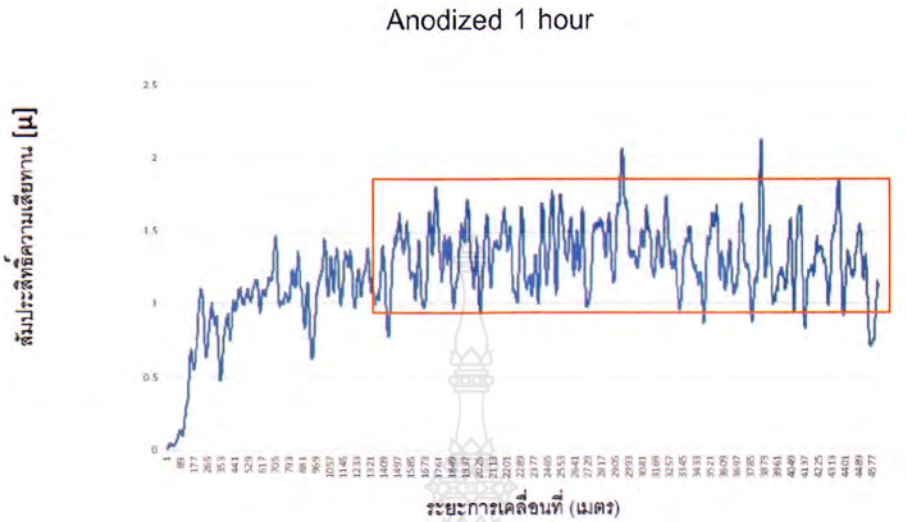
12 Gwang-Jae Jeon, Woo Young Kim, Hee Chul Lee "New selective two-step anodization of porous anodic alumina for thin-film encapsulation" Microelectronic Engineering,Volume 103, March 2013, Pages 99-105

13 Wenqiang Huang, Mengshi Yu, Shikai Cao, Lizhen Wu, Xiaoping Shen, Ye Song "Fabrication of highly ordered porous anodic alumina films in 0.75 M oxalic acid solution without using nanoimprinting" Materials Research Bulletin,Volume 111, March 2019, Pages 24-33

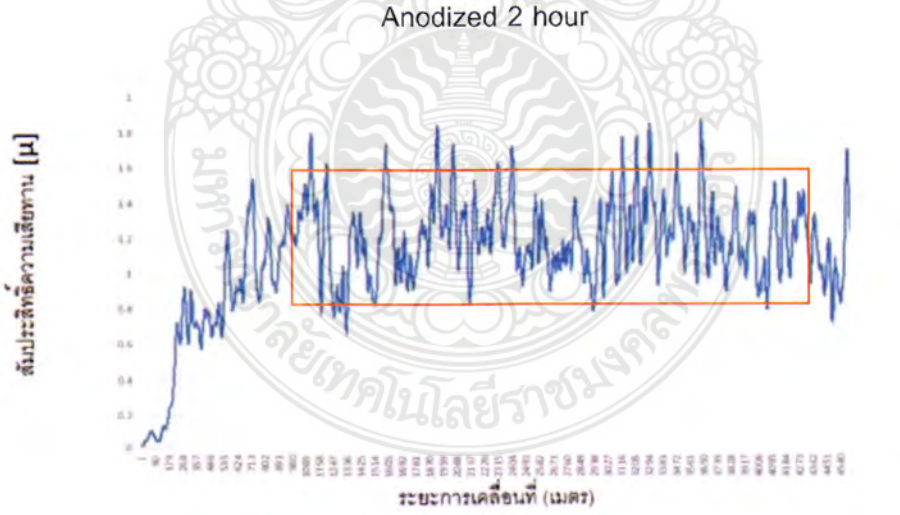
14 M. Morales, J.J. Roa, J. Tartaj, M. Segarra "A review of doped lanthanum gallates as electrolytes for intermediate temperature solid oxides fuel cells: From materials processing to electrical and thermo-mechanical properties" Journal of the European Ceramic Society,Volume 36, Issue 1, January 2016, Pages 1-16

ภาคผนวก ก

กราฟแสดงผลเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

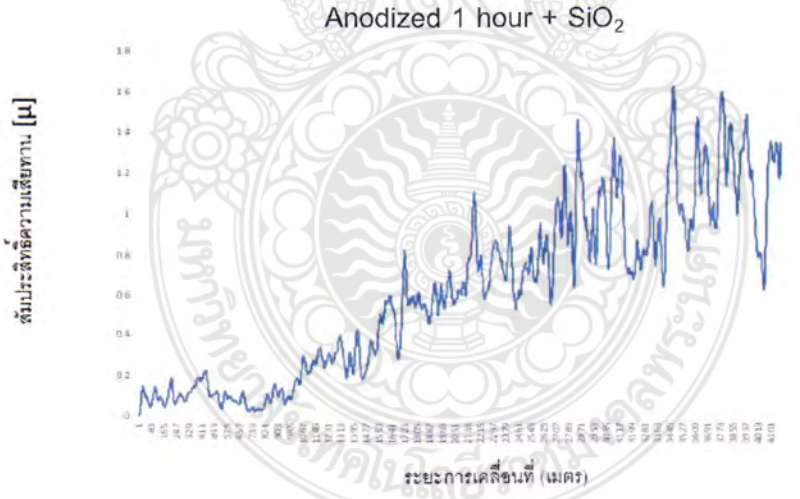


ภาพที่ 1 กราฟแสดงผลค่าคงที่ของแรงเสียดทานของชิ้นงาน
ที่ทำการอโนไดซ์ 1 ชั่วโมง

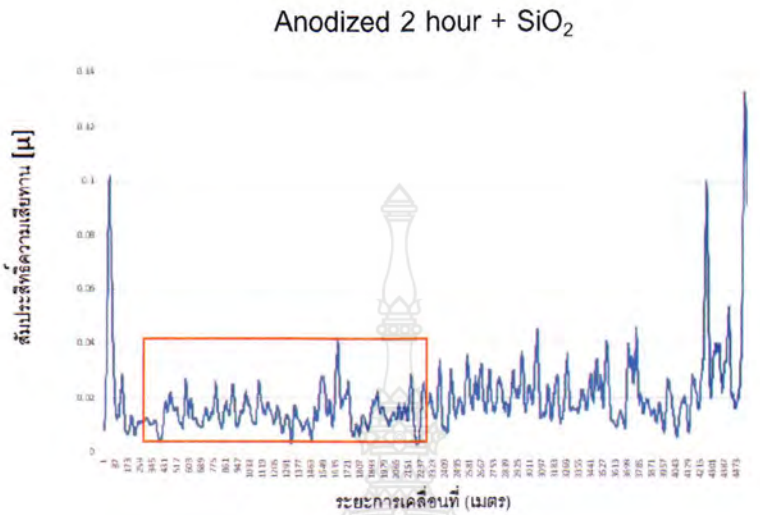


ภาพที่ 2 กราฟแสดงผลค่าคงที่ของแรงเสียดทานของชิ้นงาน
ที่ทำการอโนไดซ์ 2 ชั่วโมง

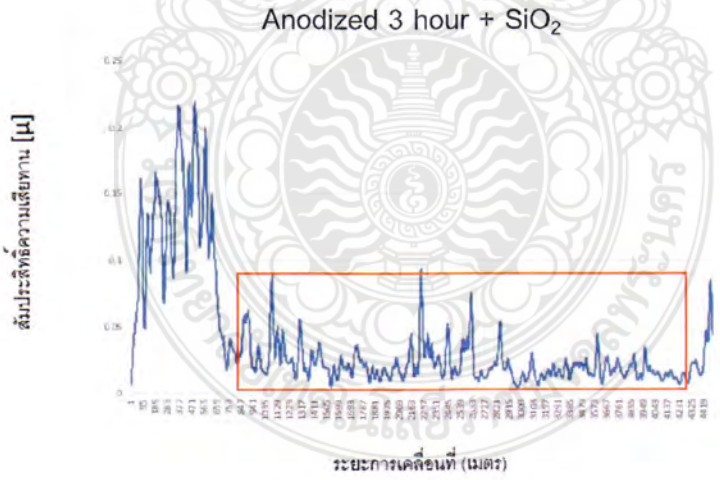
ภาพที่ 3 กราฟแสดงผลค่าคงที่ของแรงเสียดทานของชิ้นงาน
ที่ทำการอโนไดซ์ 3 ชั่วโมง



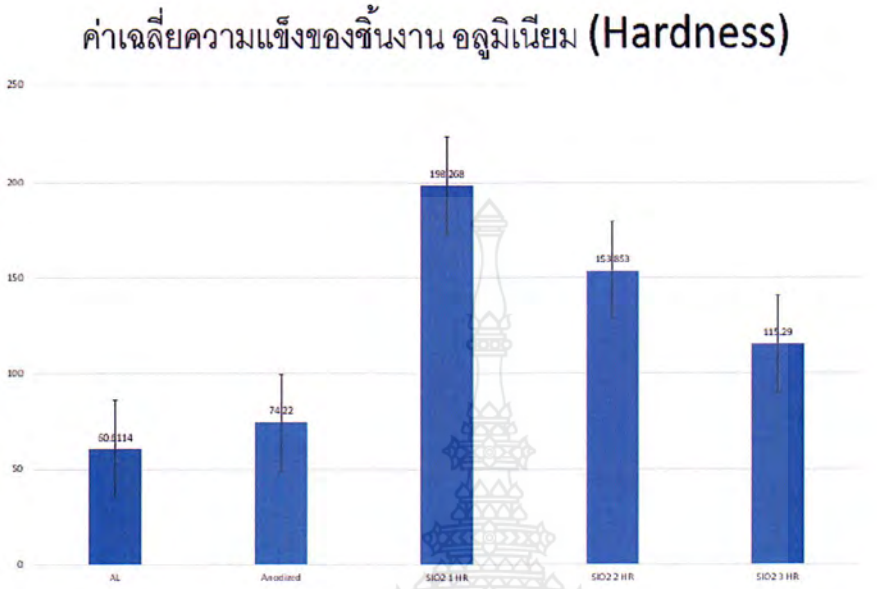
ภาพที่ 4 กราฟแสดงผลค่าคงที่ของแรงเสียดทานของชิ้นงาน
ที่ทำการอโนไดซ์ 1 ชั่วโมง พร้อมกับเติมสาร Nano-Sio_2



ภาพที่ 5 กราฟแสดงผลค่าคงที่ของแรงเสียดทานของชิ้นงาน
ที่ทำการอโนไดซ์ 2 ชั่วโมง พร้อมกับเติมสาร Nano-Sio_2



ภาพที่ 6 กราฟแสดงผลค่าคงที่ของแรงเสียดทานของชิ้นงาน
ที่ทำการอโนไดซ์ 3 ชั่วโมง พร้อมกับเติมสาร Nano-Sio_2



ภาพที่ 7 กราฟค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงานอลูมิเนียม

The 10th RMUTP International Conference
Science, Technology and Innovation for Sustainable Development : Turning Digital Disruptions into Opportunities
The Sukosol, Bangkok, Thailand, 4-5 June 2019
ICON-SCI

THE DECREASING OF FRICTION PROPERTIES OF ALUMINIUM FROM ANODIZING PROCESS AND SILICON DIOXIDE SUPPLEMENT

Nuttawan Promchada and Jirasak Tharajak*

Division of Industrial Materials Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok 10800, Thailand

** Corresponding author : jirasak.t@rmutp.ac.th*

Abstract

Aluminum is a lightweight material which are popularly used in various parts of the industry. However, there are some limitations on the tribological properties such as abrasive wear and friction when it was compared to other metals. Tribological properties of aluminium was improved with anodizing process and silicon dioxide supplement. the effect of time on surface structure and friction coefficient were studied with with scanning electron microscope and sliding wear tester. It was found that friction coefficient of aluminium was decreased after improvement process was applied.

Keywords: Aluminium, Silicon dioxide, Anodizing, Friction coefficient.

Experiments

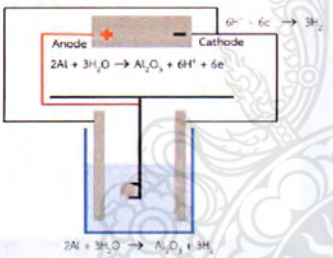


Figure1 anodizing process

Result and discussion

30 minute 40 minute 50 minute

Figure2 surface of aluminium from anodizing process and silicon dioxide supplement at various duration time of anodizing

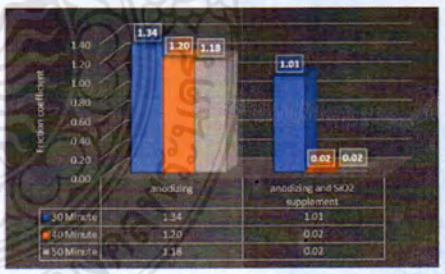


Figure3 Friction coefficient of aluminium improvement

Conclusion

The friction coefficient of aluminium was decreased after improvement process with anodizing process and silicon dioxide supplement

Acknowledgment

Authors wish to thank Rajamangala University of Technology Phra Nakhon (RMUTP), Bangkok, Thailand for research funding

Reference

Wenqiang Huang, Mengshi Yu, Shikai Cao, Lizhen Wu, Xiaoping Shen, Ye Song "Fabrication of highly ordered porous anodic alumina films in 0.75 M oxalic acid solution without using nanoimprinting" Materials Research Bulletin,Volume 111, March 2019, Pages 24-33

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อโครงงาน	การเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอลูมิเนียมด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้ากับนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ THE DECREASING OF FRICTION PROPERTIES OF ALUMINIUM FROM ANODIZING PROCESS AND SILICON DIOXIDE SUPPLEMENT
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวณัฐวรรณ พรมชาดา
รหัสประจำตัวนักศึกษา	055850203015.5
วันเดือนปีเกิด	11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2539
ประวัติการศึกษา	ศึกษาต่อระดับปริญญาตรี ในปี พ.ศ. 2558 สาขาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ในปี พ.ศ. 2557 จากโรงเรียนวิสุทธิกษัตรี
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	1 หมู่ที่ 9 เขตราษฎร์บูรณะ แขวงราษฎร์บูรณะ จังหวัดกรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10140
เบอร์โทรศัพท์มือถือ	095-2827597
ที่อยู่อิเล็กทรอนิกส์	ploynuttawan11@gmail.com