การปรับปรุงสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอะลูมิเนียมด้วยกระบวนการอโนไดซ์เสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

IMPROVEMENT IN TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ALUMINIUM SURFACE WITH ANODIZING PROCESS ADDITION WITH NANO-TITANIUM DIOXIDE

นางสาวกริชวรรณ เกี้ยวชายสงค์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญานิพนธ์	การปรับปรุงสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอะลูมิเนียมด้วยกระบวนการอโนไดซ์เสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์
ชื่อ นามสกุล	นางสาวกริชวรรณ เกี้ยวชายสงค์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์จิระศักดิ์ ธาระจักร์

คณะกรรมการสอบได้ให้ความเห็นชอบปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ
อาจารย์ธนาพร บุญชู

..... กรรมการ
อาจารย์ธนพงศ์ สารีอินทร์

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์จิระศักดิ์ ธาระจักร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาตรบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

วันที่ ..... เดือน..... พ.ศ. .....

ชื่อปริญญานิพนธ์ การปรับปรุงสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอะลูมิเนียมด้วยกระบวนการอโนไดซ์เสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

ชื่อนักศึกษา นางสาวกริชวรรณ เกี้ยวชายสงค์

สาขาวิชา วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม

คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ อาจารย์จิระศักดิ์ ธาระจักร์

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากมีสมบัติที่ดีในหลายด้าน เช่น มีความเหนียว ความต้านทานการกัดกร่อนสูง นำไฟฟ้าได้ดี อย่างไรก็ตามความต้านทานการสึกหรอของอะลูมิเนียมยังมีค่าต่ำและมีข้อจำกัดเมื่อนำไปใช้งาน ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปับปรุงสมบัติทางด้านการสึกหรอโดยกระบวนการอโนไดซ์เสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์บริเวณผิวชิ้นงาน และทำการศึกษาผลของเวลาในการอโนไดซ์ที่ส่งผลต่อสมบัติทางไทรโบโลยีของอะลูมิเนียม จากผลการวิจัยพบว่าเวลาในการทำอโนไดซ์และปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์มีผลอย่างมากต่อการปรับปรุงสมบัติทางไทรโบโลยีของอะลูมิเนียม

คำสำคัญ : อะลูมิเนียม, ไททาเนียมไดออกไซด์, อโนไดซ์, การสึกหรอ, สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

Project title	Improvement of tribological properties of aluminium surface with anodizing process and titanium dioxide supplement
By	Miss Kritchawan Kiawchaisong
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Industrial Materials Science
Faculty	Science and Technology
Project Advision	Mr. Jirasak Tharajak
Academic Year	2018

ABSTRACT

Aluminium was used in many industrial applications due to good properties such as ductile, high corrosion resistant and high electrical conductivity. Since wear resistance of aluminium was very poor so that it was a limitation of using this material in several conditions. In this research, aluminium was improved the wear resistance properties by using anodizing process and adding some titanium dioxide particles on the surface. The effect of anodizing process duration on the wear resistence property was studied. It was found that the process duration and amount of titanium dioxide play the important role on improvement of tribological properties of aluminium.

Keywords: Aluminium, Titanium dioxide, Anodizing, Wear resistance, Friction coefficient.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดี ผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณอาจารย์จิระศักด์ ธาระจักร์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ช่วยให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาจัดทำโครงงานจนสำเร็จเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณอาจารย์สาขาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาชี้แนะนำ และมีส่วนช่วยเหลือในการจัดโครงงานของข้าพเจ้า

ขอขอบคุณแหล่งทุนวิจัยโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ขอขอบคุณพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวที่ให้คำปรึกษาและกำลังใจที่ดีในการทำโครงงานฉบับนี้มาโดยตลอดจนโครงงานนี้สำเร็จ สุดท้ายขอขอบพระคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆคอยให้กำลังใจคอยเป็นห่วงตลอดจนโครงงานนี้สำเร็จเสร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นางสาวกริชวรรณ เกี้ยวชายสงค์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
1. บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน	3
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอะลูมิเนียม	4
2.2.1 ความเป็นมาของอะลูมิเนียม	4
2.2.2 สมบัติอะลูมิเนียม	6
2.2.3 ข้อดีของอะลูมิเนียม	7
2.2.4 ชนิดของอะลูมิเนียม	8
2.2.5 ประโยชน์อะลูมิเนียม	10
2.3 ไททาเนียมไดออกไซด์	12
2.3.1 ไททาเนียมไดออกไซด์	12
2.3.2 ประโยชน์ไททาเนียมไดออกไซด์	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 ชนิดไททาเนียมไดออกไซด์	15
2.4 อโนไดซ์ (Anodizing)	16
2.4.1 การอโนไดซด์อะลูมิเนียม	16
2.4.2 ปัจจัยที่เหมาะสมในการชุบอะลูมิเนียม	17
2.4.3 คุณสมบัติเฉพาะของการชุบเคลือบผิวอะลูมิเนียมและการชุบแข็ง	18
2.4.4 โครงสร้างพื้นฐานของผิวอะลูมิเนียมที่ชุบ	19
2.4.5 ความรู้เกี่ยวกับอะลูมิเนียมอโนไดซ์	20
2.4.6 การทำอโนไดซ์ด้วยกรดต่างๆ	21
2.5 การสึกหรอ (Wear)	22
2.5.1 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบการสึกหรอ	23
2.5.2 หลักการทดสอบ Ball-on-Disk	24
2.5.3 ลักษณะการเกิดการสึกหรอ	24
3. การดำเนินงาน	27
3.1 บทนำ	27
3.2 วัสดุและชิ้นงาน	27
3.3 การเตรียมชิ้นงานอะลูมิเนียม	28
3.4 สารที่นำไปใช้	29
3.5 กระบวนการอโนไดซ์	30
3.5.1 ขั้นตอนการทำอโนไดซ์	30
3.6 การตรวจสอบและทดสอบชิ้นงาน	31
3.6.1 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	31
3.6.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	32
3.6.3 การส่องวิเคราะห์ธาตุ	32
3.6.4 การทดสอบการสึกหรอ	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 ขั้นตอนการเติมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	33
4. การทดลองและวิเคราะห์ผล	34
4.1 บทนำ	34
4.2 การตรวจสอบประสิทธิภาพอะลูมิเนียมด้วยวิธีการอโนไดซ์	34
4.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพอะลูมิเนียมด้วยวิธีการเสริม นาโนไททาเนียมไดออกไซด์	37
4.3.1 การวัดหาค่าส่วนสารประกอบของธาตุ	38
4.4 การตรวจสอบประสิทธิภาพอะลูมิเนียมด้วยวิธีการทดสอบการสึกหรอ	40
4.5 การตรวจสอบประสิทธิภาพอะลูมิเนียมด้วยวิธีการทดสอบความแข็ง	42
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	44
5.1 บทนำ	44
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	44
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน	44
5.4 สรุปผลที่ได้รับจากโครงงาน	45
5.5 ข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	48
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
ประวัติการศึกษา	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน	3
2.1 สมบัติทางไฟฟ้า	6
2.2 สมบัติทางฟิสิกส์	6
2.3 เกรดต่างๆของอะลูมิเนียม	8
2.4 ลักษณะสมบัติของไททาเนียม	13
2.5 การชุบเคลือบผิวทั่วไปและการชุบแข็ง	18
2.6 ลักษณะการแบ่งชนิดการสึกหรอตามลักษณะการสัมผัส	23
3.1 การผสมสารของแต่ละเกรด	27
3.2 สมบัติไททาเนียมไดออกไซด์	29
4.1 ปริมาณการสึกหรอ	42

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างอะตอมของอะลูมิเนียม	5
2.2 ตารางธาตุแสดงตำแหน่งธาตุอะลูมิเนียม	6
2.3 ลักษณะของอะลูมิเนียม	8
2.4 อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมยานยนต์	10
2.5 อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมการบิน	11
2.6 การใช้ประโยชน์ของโลหะอะลูมิเนียม	11
2.7 สารไททาเนียมไดออกไซด์	12
2.8 โลหะไททาเนียม	12
2.9 โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์	13
2.10 การอโนไดซ์	17
2.11 ลักษณะอะลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์	17
2.12 โครงสร้างพื้นฐานของผิวอะลูมิเนียมที่ชุบ	19
2.13 ลักษณะเครื่องทดสอบการสึกหรอ (Wear Testing Machine)	22
2.14 หลักการทำงานของไตรบอมิเตอร์ ตามมาตรฐาน ASTM G99	24
2.15 การสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear)	25
2.16 ลักษณะการเกิดการสึกหรอแบบขัดถู	25
2.17 ลักษณะการเกิดการสึกหรอแบบการกีดกร่อน	26
2.18 ลักษณะการเกิดการสึกหรอจากการกระแทก	26
3.1 อะลูมิเนียมที่ยังไม่ผ่านการขัดปรับผิวหน้า	28
3.2 อะลูมิเนียมที่ผ่านการขัดปรับผิวหน้า	28
3.3 ไททาเนียมไดออกไซด์	29
3.4 ลักษณะกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope)	31
3.5 ลักษณะกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	32
3.6 ลักษณะเครื่องทดสอบการสึกหรอ (Ball-on-disk)	33
3.7 แสดงลักษณะของการเคลือบสารนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.1 ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่อุณหภูมิ 25 30 และ 45 องศาเซลเซียส 35

4.2 ลักษณะพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 50,000 เมื่อผ่านการอโนไดซ์ที่เวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส 36

4.3 แสดงการเกาะกลุ่มของนาดนไททาเนียมไดออกไซด์ 37

4.4 กราฟแสดงส่วนสารประกอบของธาตุต่างๆในชิ้นงานที่ผ่านการชุบไททาเนียมไดออกไซด์ 38

4.5 แสดงส่วนสารประกอบของธาตุต่างๆในชิ้นงานที่ผ่านการชุบไททาเนียมไดออกไซด์ 39

4.6 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 40

4.7 แสดงรอบการสึกหรอของอะลูมิเนียม 41

4.8 กราฟแท่งแสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียม 43

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากปัจจุบันอะลูมิเนียมเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เพราะอะลูมิเนียมมีสมบัติที่ง่ายต่อการผลิตและขึ้นรูปสามารถทนต่อการต้านทานการกัดกร่อนได้ดี มีความหนาแน่นต่ำ อัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูงและมีความเหนียว ยากต่อการแตกหัก นอกจากนั้นอะลูมิเนียมเป็นตัวนำความร้อนที่ดีเยี่ยม และนำความร้อนได้ดีกว่าเหล็กถึงสามเท่า จึงทำให้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีความสำคัญทั้งงานที่ใช้ความเย็น และความร้อน เช่น ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (heat-exchangers) ด้วยสมบัติเหล่านี้อะลูมิเนียมจึงเป็นวัสดุที่มีผลต่อเศรษฐกิจอย่างสูง อย่างไรก็ตามอะลูมิเนียมที่นำมาใช้งานยังมีความทนทานต่อการสึกหรอและรอยขีดข่วนที่ต่ำ จึงได้มีการพัฒนาสมบัติทางด้านการทนทานต่อการสึกหรอให้เพิ่มขึ้น ปัจจุบันมีกระบวนการพัฒนาปรับปรุงต่างๆ เช่น การเพิ่มธาตุต่างๆลงไป เพื่อให้ความแข็งของอะลูมิเนียมเพิ่มสูงขึ้น หรือจะเป็นการปรับปรุงกระบวนการผลิตของอะลูมิเนียมให้มีเกรนที่มีขนาดเล็กลงช่วยรับและกระจายแรงมากขึ้น หรือจะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงที่ผิวด้วยการเคลือบวัสดุต่างๆ เช่น TiO_2 , SiO_2 เป็นต้น ซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป เช่น การเพิ่มธาตุต่างๆลงไปในเนื้ออะลูมิเนียมจะส่งผลให้สมบัติต่างๆของอะลูมิเนียมเปลี่ยนแปลง หรือการเคลือบผิวจะมีปัญหาเกี่ยวกับการหลุดลอกของผิวเคลือบ เนื่องการยึดติดที่ไม่ดี

ดังนั้นในงานนี้จึงปรับปรุงสมบัติการสึกหรอของผิวชิ้นงานอะลูมิเนียมให้สูงขึ้นโดยผ่านการปรับปรุงด้วยกระบวนการอโนไดซ์ (Anodizing) และการเสริม TiO_2 ซึ่งจะช่วยให้ผิวของชิ้นงานอะลูมิเนียมสามารถทนต่อการสึกหรอได้ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อพัฒนาสมบัติการต้านทานการสึกหรอของอะลูมิเนียมโดยใช้กระบวนการอโนไดซ์เสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิ ที่ส่งผลต่อขนาดของรูพรุนที่ผิวอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์เสริม TiO_2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

วัสดุ	• อะลูมิเนียม • นาโนไททาเนียมไดออกไซด์
พารามิเตอร์	**อโนไดซ์** • อุณหภูมิ (25,30,45 C°) • กระแสไฟ (10 แอมป์/A 12 V) • เวลา (30 นาที) • ความเข้มข้นของสารกรดซัลฟิวริก (4% wt)
การทดสอบ	• ขนาดรูพรุนของชิ้นงานอะลูมิเนียม • ทดสอบการสึกหรอ • ส่วนประกอบ
เครื่องมือ	• SEM (Scanning Electron Microscope) ยี่ห้อ HMV-G 21 ST • EDS (Energy Dispersive Spectromer) ยี่ห้อ HMV-G 21 ST • เครื่องทดสอบการสึกหรอ (Sliding-Wear Tester)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเพิ่มความแข็งและทนต่อการสึกหรอของอะลูมิเนียมและยืดอายุการใช้งานได้

1.4.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้สร้างชิ้นส่วนประกอบที่มีคุณภาพเพื่อนำไปใช้งานในด้านอุตสาหกรรม

1.4.3 เข้าใจหลักการทำ Anodizing

1.4.4 เผยแพร่ผลงานทางการวิจัยด้านกระบวนการอโนไดซ์ (Anodizing)

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน

กิจกรรม	เดือน			
	พ.ย. 61	ธ.ค. 61	ม.ค. 62	ก.พ. 62
1. กำหนดหัวข้อและเสนอหัวข้อโครงงาน				
2. ศึกษาและหาข้อมูล				
3. วางแผนการทำวิจัย				
4. เริ่มดำเนินการวิจัย				
5. ทดสอบการวิจัย				
6. ปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาด				
7. จัดทำปริญญานิพนธ์				
8. นำเสนอโครงงาน				

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการ และทฤษฎีที่ใช้โดยจะอธิบายความสำคัญและเกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่จะจัดทำขึ้น ประกอบด้วย ทฤษฎีเกี่ยวกับอะลูมิเนียมและการทำการอโนไดซ์ (Anodizing)

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับอะลูมิเนียม

2.2.1 ความเป็นมาของอะลูมิเนียม

อะลูมิเนียม คือแร่ทางธรรมชาติพบมากบนพื้นผิวเปลือกโลกมีลักษณะมันวาว ไม่ก่อให้เกิดประกายไฟ ขึ้นรูปได้ง่าย มีน้ำหนักเบา และเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในหลายๆ อุตสาหกรรมชั้นนำ เช่นอุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องบิน เป็นต้น อะลูมิเนียมบริสุทธิ์นั้นไม่แข็งแรงจึงจำเป็นต้องผสมโลหะชนิดอื่นเพื่อเสริมความแข็งแรงในตัว เช่น การผสมอัลลอยทองแดง สังกะสี เป็นต้น

อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีลักษณะอ่อน ไม่เป็นสนิม สามารถนำมาผสมโลหะชนิดอื่นเพื่อเสริมความแข็งแรงในตัวเอง ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ต่างๆ อะลูมิเนียม ถูกแบ่งออกเป็นหลายๆซีรีส์เพื่อกำหนดสูตรการผสมและง่ายต่อการจำแนกว่าอะลูมิเนียมชนิดไหนเหมาะกับการใช้งานในอุตสาหกรรมประเภทใด ความแข็งหรืออ่อนนั้นขึ้นอยู่กับซีรีส์นั้นๆเช่น อะลูมิเนียมสำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์ อะลูมิเนียมสำหรับการทำเครื่องกระป๋อง อะลูมิเนียมสำหรับการใช้งานทางการแพทย์ เป็นต้น

อะลูมิเนียมมีจุดหลอมละลายที่ 660 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา รับน้ำหนักได้สูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เสี่ยงต่อรอยร้าว และการแตกหัก ไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ โดยเฉพาะการนำมาผสมกับโลหะอื่นๆแล้วจะทำให้สมบัติต่างๆเพิ่มมากขึ้น เช่น จุกหลอมเหลวของอะลูมิเนียมผสมจะอยู่ที่ 1,140-1,205 องศาเซลเซียส จึงนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆ รวมถึงวัสดุหรือภาชนะที่เกี่ยวข้องกับอาหาร นอกจากนั้น ยังมีคุณสมบัติทางเคมีของอะลูมิเนียมในลักษณะต่างๆ ได้แก่ [1] [16]

1. เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางๆ เรียกว่า อะลูมิเนียมออกไซด์เคลือบบนชั้นผิวอะลูมิเนียมป้องกันการเกิดปฏิกิริยาอื่นๆได้ดี

2. การทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนจะทำให้เกิดไนไตรด์ที่อุณหภูมิสูง

3. ไม่ทำปฏิกิริยากับกำมะถัน

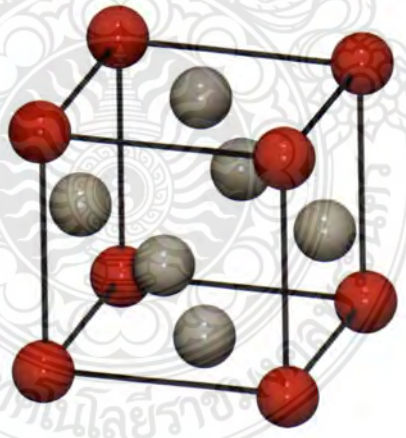
4. เมื่อทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน ไฮโดรเจนจะแทรกซึมเข้าสู่ชั้นในของอะลูมิเนียม จึงจำเป็นต้องกำจัดออก

5. สามารถทนต่อกรดอนินทรีย์เข้มข้นได้ปานกลาง

6. ทนต่อปฏิกิริยาของด่างได้เล็กน้อย สามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นด่างเข้มข้น

7. เกิดปฏิกิริยากับเกลือได้ ทำให้เกิดการกัดกร่อน

ลักษณะโครงสร้างของหน่วยเซลล์จะประกอบด้วยอะตอม อยู่ตรงมุมของหน่วนเซลล์ในลักษณะที่ใช้ร่วมกับหน่วยเซลล์อื่น และอีก 6 อะตอม จะอยู่กึ่งกลางของผิวทั้งหกด้านของหน่วยเซลล์ในลักษณะที่จะร่วมใช้กับอีก 1 หน่วยเซลล์ที่วางอยู่ติดกัน ในโครงสร้างแบบ FCC จะมีพันธะการเกิดแรงโดยรวมเท่ากับ 4 อะตอม ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างอะตอมของอะลูมิเนียม [1]

2.2.2 สมบัติอะลูมิเนียม

ลักษณะภายนอกของอะลูมิเนียมคือมีสีเงิน มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมีกำลังวัสดุต่อหน่วยน้ำหนัก (Strenght-to-Weght Ratio) สูงมีความเหนียวจุดหลอมเหลวต่ำหล่อหลอมได้ง่ายอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ เมื่อทิ้งไว้ในอากาศจะเกิดออกไซด์ของอะลูมิเนียมขึ้นเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum Oxide) เคลือบอยู่เป็นผิวบางๆทำให้อะลูเนียมนั้นทนต่อบรรยากาศ ไม่ถูกกัดกร่อน

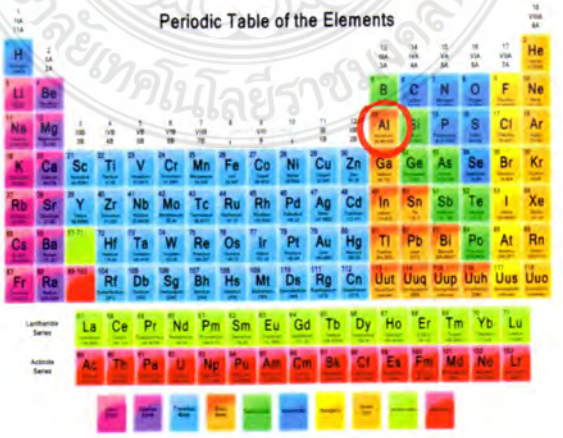
คุณสมบัติการนำไฟฟ้าประมาณ 2/3 เท่าของทองแดงแต่อะลูมิเนียมเบากว่าทองแดง สายเคเบิลแรงสูงจึงนิยมใช้อะลูมิเนียมเป็นตัวนำความร้อนได้ดีและเหมาะอย่างยิ่งกับงานขึ้นรูป และงานปาดผิวโลหะ เช่น อัด รีด ดึง ตัด เจาะ กลึง ไส กัด และนอกจากนี้อะลูมิเนียมก็ยังเป็นวัสดุประสมที่มีประโยชน์มากคือใช้อลูมิเนียมเพียงเล็กน้อยผสมลงไปในโลหะประสมที่มีทองแดงแมงกานีส และแมกนีเซียม จะให้ความแข็งและสมบัติในการกลึงให้ดีเด่นมาก [3] [11]

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางไฟฟ้า [3]

สมบัติทางไฟฟ้า	
การต้านทานไฟฟ้าที่ 20 องศาเซลเซียส	2.6548 u Ω-cm
การนำไฟฟ้า	94.94 %IACS

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางฟิสิกส์ [3]

สมบัติทางฟิสิกส์	
เลขอะตอม	13
น้ำหนักอะตอม	26.97
วาเลนซี	3
โครงสร้างผลึก	FCC
สี	ขาวเงิน



รูปที่ 2.2 ตารางธาตุแสดงตำแหน่งธาตุอะลูมิเนียม [11]

2.2.3 ข้อดีของอะลูมิเนียม

สำหรับข้อดีเด่นๆ ของอะลูมิเนียม ก็คือ มีความหนาแน่นต่ำ ง่ายต่อการผลิต สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ทั้งมีความเหนียวสูง สามารถต้านทานต่อการแตกหักได้สูงมาก จึงทำให้อะลูมิเนียมมีความสำคัญต่อการทำอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการนำมาใช้เพื่อการค้าขายและเพื่อผลิตอุปกรณ์การใช้งานทางการทหาร นอกจากนี้ก็สามารถแบ่งเป็นข้อดีย่อยๆ ได้ดังนี้

1. น้ำหนัก อะลูมิเนียมมีน้ำหนักเบามาก แค่ 1 ใน 3 เท่าของเหล็กเท่านั้น จึงทำให้เคลื่อนย้ายได้ง่าย ทั้งเหมาะกับการนำมาใช้เป็นโลหะในเชิงพาณิชย์ และด้วยสมบัติที่มีน้ำหนักเบามากจึงทำให้อะลูมิเนียมมักจะถูกนำมาใช้งานในหลายๆ ด้าน

2. การนำไฟฟ้า อะลูมิเนียม แม้ว่าจะไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ดีเหมือนกับทองแดง แต่อะลูมิเนียมก็สามารถนำไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่ง จึงนำมาใช้เป็นตัวนำไฟฟ้าได้ แต่ในบางกรณีเท่านั้น

3. การติดไฟ อะลูมิเนียมไม่สามารถติดไฟได้ จึงไม่ต้องกลัวว่าจะเป็นเชื้อเพลิงของไฟ หรือทำให้ไฟติดเมื่ออยู่ใกล้สิ่งไวไฟ

4. ความคงทนแข็งแรง อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีความคงทนแข็งแรงและสามารถทนต่อสภาพอากาศได้ดี จึงเหมาะกับการนำมาใช้งานในหลายๆ ด้าน ซึ่งสมบัติเด่นๆ ในเรื่องความคงทนของอะลูมิเนียม ก็คือ

- ไม่บวมและไม่มีปัญหาปลวกอย่างแน่นอน
- ทนต่อสภาพอากาศได้ดี จึงไม่เป็นสนิม

อะลูมิเนียมมีความแข็งแกร่งและทนทานมาก ต่มีจุดด้อยคือ ไม่สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ โดยเฉพาะไอน้ำเค็มจากทะเลที่อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ง่ายผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อะลูมิเนียม เป็นโลหะที่ได้จากธรรมชาติ จึงไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรือสภาพอากาศมากนัก ทั้งสามารถนำมารีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยไม่มีปัญหา การกันความร้อน เนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นตัวนำความร้อนที่ดีเยี่ยมจึงไม่สามารถที่จะกันความร้อนได้ แต่ในขณะเดียวกันก็ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ผลิตอุปกรณ์เครื่องครัวมาก ความสวยงาม อะลูมิเนียมมีสีสันที่หลากหลายและสวยงาม จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย และได้รับความนิยมมากพอสมควร [3]

รูปที่ 2.3 ลักษณะของอะลูมิเนียม [3]

2.2.4 ชนิดของอะลูมิเนียม

1. อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ เป็นอะลูมิเนียมที่ได้จากการถลุงแร่หรือการหลอมให้มีความบริสุทธิ์ 99.00% และมีธาตุอื่นเจือปนเพียง 1% เท่านั้น เป็นอะลูมิเนียมที่มีความเหนียวสูง สามมารถขึ้นรูปได้ดี

2. อะลูมิเนียมผสม เป็นอะลูมิเนียมที่ได้จากการหลอมร่วมกับโลหะชนิดอื่นตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป ได้แก่ ทองแดง แมกนีเซียม แมงกานีส โครเมียม ซิลิกอน นิเกิล ดีบุก สังกะสี เป็นต้น เพื่อเป็นโลหะผสมให้มีสมบัติทนต่อแรงดึงสูง [3] [13]

ตารางที่ 2.3 เกรดต่างๆของอะลูมิเนียม [9]

อะลูมิเนียมบริสุทธิ์	มากกว่า 99.00% เป็นอะลูมิเนียมทางการค้า มักพบในช่วงความบริสุทธิ์ที่ 99.30%-99.70% เหมาะสำหรับนำมาใช้งานในด้านตัวนำไฟฟ้า และแผ่นสะท้อนแสง เป็นต้น
อะลูมิเนียมผสมทองแดง (2xxx)	เป็นอะลูมิเนียมที่ผสมทองแดง โดยพบว่า ทองแดงสามารถละลายได้ในอะลูมิเนียมสูงสุดที่ 5.65% ที่อุณหภูมิ 548 องศาเซลเซียส และจะละลายได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จนเหลือประมาณ 0.5% ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านความร้อน

อะลูมิเนียมผสม แมงกานีส (3xxx)	เป็นอะลูมิเนียมที่ผสมแร่แมงกานีส โดยหากเพิ่มแร่แมงกานีสที่ 1.2% จะทำให้เป็นโลหะผสมที่มีความแข็งแรงพอควร เหมาะสำหรับใช้งานในด้านโครงสร้างต่างๆ
อะลูมิเนียมผสมซิลิกอน (4xxx)	มักพบเป็นอะลูมิเนียมที่ผสมด้วยซิลิกอนพร้อมกับแร่อื่นๆ แต่มีอัตราส่วนน้อยกว่า เช่น ซิลิกอน 11.0-13.5% ทองแดง 0.5-1.3% สังกะสี 0.5% เหล็ก 1% แมกนีเซียม 0.8-1.3% และนิเกิล 0.5-1.3% เหมาะสำหรับประยุกต์ใช้งานประเภทที่ทนความร้อน เช่น กระบอกสูบ ลูกสูบ ก้านสูบ ห้องเครื่อง เป็นต้น
อลูมิเนียมผสม แมกนีเซียม (5xxx)	เป็นอะลูมิเนียมที่ผสมแร่แมกนีเซียม แต่พบน้อยมากในอัตราส่วนผสมของแมกนีเซียมมากๆ ส่วนมากมักใช้ผสมร่วมกับแร่อื่นๆ เนื่องจากมีความสามารถในการละลาย และหลอมรวมกับอะลูมิเนียมได้ไม่ดี หากใช้เป็นส่วนผสมมากจะทำให้วัสดุแข็ง และเปราะหักง่าย
อะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมกับซิลิกอน (6xxx)	มักเป็นอะลูมิเนียมผสมที่มีสัดส่วนของแมกนีเซียม และซิลิกอนในอัตราส่วนน้อย โดยทั่วไปผสมแมกนีเซียม 0.6-1.2% ซิลิกอน 0.4-1.3% นอกจากนี้อาจมีการผสมโครเมียมหรือทองแดงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงด้วย
อะลูมิเนียมผสมสังกะสี (7xxx)	มักเป็นอะลูมิเนียมผสมที่มีสัดส่วนของสังกะสีหรืออาจผสมแร่อื่นๆร่วมด้วยเล็กน้อย เช่น แมกนีเซียม กลุ่มอะลูมิเนียมนี้มักประยุกต์ใช้ในด้านความทนทาน แข็งแรงสูง เช่น ยานอาวกาศ โครงสร้างขนาดใหญ่ เป็นต้น
อะลูมิเนียมผสมแร่อื่นๆ (8xxx)	เป็นอะลูมิเนียมผสมที่ใช้แร่ผสมชนิดอื่นนอกเหนือจากข้างต้น เช่น นิเกิล, ไททาเนียม, โครเมียม, บิสมัท และตะกั่ว

2.2.5 ประโยชน์อะลูมิเนียม

อะลูมิเนียมเหมาะกับการนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด เนื่องจากเป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีและที่สำคัญไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ดังนั้นโลหะอะลูมิเนียมจึงถูกนำไปใช้ประโยนช์อย่างกว้างขวางอันได้แก่

1. ด้านการก่อสร้าง มักใช้เป็นโครงสร้าง และวัสดุตกแต่งในงานต่างๆ โครงสร้างเสา กอบ ประตู หน้าต่าง รั้ว ราวกั้น บันได เนื่องจากมีสมบัติคงทน น้ำหนักเบา และอื่นๆ ซึ่งสามารถทดแทนไม้และเหล็กได้เป็นอย่างดี

2. ด้านการขนส่ง มักใช้เป็นวัสดุโครงสร้างในอุตสาหกรรมรถยนต์ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม มีอายุการใช้งานมากกว่าวัสดุอื่นๆ และสามารถรับแรงกด แรงกระแทกได้มาก จึงนิยมนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องบิน รถไฟ และยานพาหนะอื่นๆ ดังรูปที่ 2.4

3. ด้านบรรจุภัณฑ์ อะลูมิเนียมนิยมนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหาร และเป็นภาชนะสำหรับประกอบอาหาร เช่น ฟอยล์ครอบอาหาร กระป๋องบรรจุอาหาร จาน ชาม หม้อ กระทะ เป็นต้น เนื่องจากเป็นโลหะที่ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารหรือสารเคมีอื่นง่าย ไม่เกิดสนิม และทนต่อความร้อน การกัดกร่อนได้ดี ดังรูปที่ 2.6

4. อุตสาหกรรมไฟฟ้า อลูมิเนียมเป็นวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ดี มีความคงทน มีน้ำหนักเบาและไม่เกิดสนิม จึงถูกพิจารณานำมาใช้สำหรับทำสายไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และส่วนประกอบ
วงจรอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 2.4 อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมยานยนต์ [1]

ในอุตสาหกรรมการบิน ปัจจุบันอะลูมิเนียมเป็นโลหะสำคัญที่ใช้ทำโครงสร้างผนัง ปริมาณอะลูมิเนียมที่ใช้สำหรับเครื่องบินโดยสารคิดเป็น 60-70% ของปริมาณน้ำหนักเครื่องบิน นอกจากนี้จรวด ดาวเทียม รวมไปถึงยานอวกาศอื่นๆก็มีอะลูมิเนียมอัลลอยเป็นส่วนประกอบเช่นกัน ดังรูปที่ 2.5 [14]

รูปที่ 2.5 อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมการบิน [1]

รูปที่ 2.6 การใช้ประโยชน์ของโลหะอะลูมิเนียม [1]

2.3 ไททาเนียมไดออกไซด์

2.3.1 ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide:TiO_2) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียม ที่ถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรสูง ไม่เป็นพิษ และราคาถูก มีชื่อทางการค้า คือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titaniumdioxide) ไททานิกแอนไฮไดร (Titanic anhydride) และไททาเนีย (Titania)

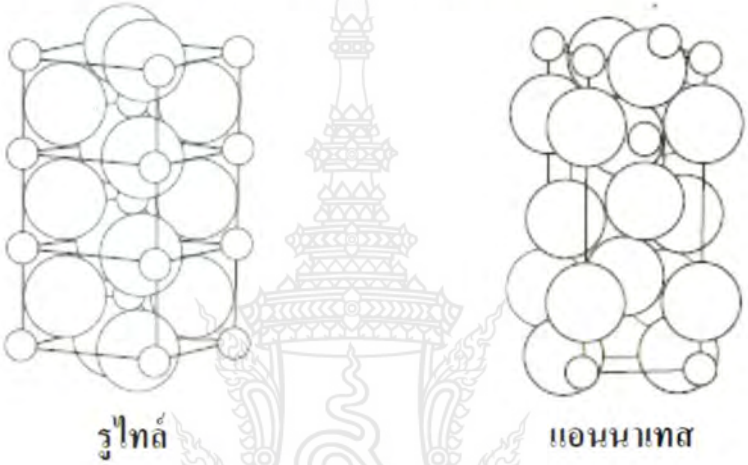
ไททาเนียมเป็นแร่ที่ถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1791 ในเหมืองแร่เหมืองคอร์นวอลล์ ประเทศอังกฤษ โดยนักธรณีวิทยาชื่อ William Gregor ใช้สัญลักษณ์แทนคือ Ti มีเลขอะตอม 22 มีคุณสมบัติแข็งแรง ทนต่อสภาพกัดกร่อนของคลอรีน น้ำทะเล และกรด-ด่าง ได้ดี ไททาเนียมไดออกไซด์โดยธรรมชาติจะพบน้อยมาก ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแร่อิลเมไนต์ (ilmenite) หรือ ลิวโซซีน (leuxocene) โดยทำให้บริสุทธิ์ได้โดยวิธี rutile beach sand

รูปที่ 2.7 สารไททาเนียมไดออกไซด์ [7]

รูปที่ 2.8 โลหะไททาเนียม [7]

ไทเทเนียมเป็นโลหะที่มีความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อนของคลอรีนและน้ำทะเล มีน้ำหนักเบา เมื่อนำมาผสมกับเหล็กและอะลูมิเนียมจะได้โลหะผสม (alloy) สีเงินที่เบาและแข็งแรง ทนต่อการผุกร่อน

สารประกอบของไทเทเนียมที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) หรือเรียกว่า ไทเทเนียม (IV) ออกไซด์ หรือ ไทเทเนีย (titania) ซึ่งสามารถอยู่ในโครงสร้างผลึกได้ 2 แบบ คือ รูไทล์ (rutile) และ แอนนาเทส (anatase) ดังรูปที่ 2.14 [5] [7]



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) [7]

ตารางที่ 2.4 ลักษณะสมบัติของไททาเนียม [7]

ลักษณะสมบัติของไททาเนียม	
ชื่อตามระบบ IUPAC	titanium dioxide, titanium(IV) oxide
CAS number	13463-67-7
สูตรโมเลกุล	TiO_2
น้ำหนักโมเลกุล	79.866 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	4.23 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	1843 °C
จุดเดือด	2972 °C
ลักษณะทั่วไป	ของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น สารไม่ลุกติดไฟ (non-flammable)

	สารไม่ละลายน้ำ (water insoluble) โครงสร้างหลัก 3 แบบ คือ anatase rutile และ brookite

2.3.2 ประโยชน์ไททาเนียมไดออกไซด์

ปัจจุบันไททาเนียมไดออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์มาก มักใช้ในรูปของผลึกแบบ รูไทล์ (rutile) ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมในด้านต่างๆ ซึ่งพบมากในธรรมชาติ ส่วนชนิดอนาเทส (anatase) นิยมใช้ในกระบวนการใช้แสงขั้นสูง การนำมาใช้ประโยชน์เกี่ยวข้องกับด้านต่างๆ ได้แก่

1. ใช้สำหรับสารให้สี อุตสาหกรรมสีที่เกี่ยวข้อง มักใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนผสมของสีทาบ้าน ด้วยคุณสมบัติให้สารสีขาว สามารถดูดกลืน และหักเหช่วงแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้สูง ขนาดอนุภาคเล็ก มีความยืดหยุ่นสูงทำให้ปกปิดรอยร้าว รอยตำหนิได้ดี และทนต่อสภาพความเป็นกรด-ด่าง ทนต่อแสง และความร้อน รวมถึงใช้เป็นส่วนผสมของสีสำหรับงานพิมพ์ งานศิลปะ เนื่องจากมีคุณสมบัติให้สีขาวสว่าง

2. ใช้เป็นสารเคลือบผลิตภัณฑ์มักใช้เป็นสารเคลือบในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมแก้ว กระจก อุตสาหกรรมผลิตกระเบื้อง การผลิตสุขภัณฑ์ การผลิตเซรามิก อุตสาหกรรมโลหะสำหรับการเคลือบผิวโลหะ อุตสาหกรรมกระดาษสำหรับการเคลือบกระดาษเพื่อลดการทะลุผ่านของแสง ด้วยคุณสมบัติที่สามารถยึดเกาะ และเคลือบติดผิวได้ง่าย มีความทนทานต่อการกัดกร่อน รวมถึงคุณสมบัติที่กล่าวในข้างต้น นอกจากนั้น การใช้ไททาเนียมไดออกไซด์สำหรับเคลือบผิวผลิตภัณฑ์สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต และลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้อีกทาง

3. เป็นสารกึ่งตัวนำผลิตกระแสไฟฟ้าการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นิยมใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

4. ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้ามักใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า ด้วยคุณสมบัติมีค่าคงที่ทางไฟฟ้า และค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง

5. ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางบางยี่ห้อมีการใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนผสมสำหรับทำหน้าที่ให้ผงละเอียดสีขาว มีคุณสมบัติทึบแสง สามารถสะท้อน และหักเหแสงได้สูง และสะท้อนรังสียูวีได้ดี ไม่เป็นอันตรายต่อผิว ผลิตภัณฑ์ที่พบใช้เป็นส่วนผสมมาก ได้แก่ ครีมบำรุงผิว ครีมกันแดด แป้งรองพื้น และทาทับ เป็นต้น

6. ใช้ในด้านการบำบัดมลพิษ

6.1 ใช้เป็นสารดูดซับ โดยใช้งานในด้านการบำบัดมลพิษทางอากาศ และมลพิษทางน้ำ ทำหน้าที่เป็นสารตัวดูดซับมลพิษ

6.2 ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง

ไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อได้รับแสง และความร้อน จะแตกตัวให้สาร และรังสีที่มีคุณสมบัติหลายประการที่สามารถกำจัดของเสียหรือมลพิษในน้ำ และอากาศ รวมถึงการกำจัด และต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยมีกลไก ดังนี้

– สำหรับการต้านเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อแผ่นนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับแสงจะปลดปล่อยไฮดรอกซิลแรดิคัล (OH^+) และซุปเปอร์ออกไซด์ไอออน (O_2^-) ออกมาสู่อากาศ และอะตอมดังกล่าวจะเข้าดึงอะตอมไฮโดรเจน และคาร์บอนจากผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดกลิ่นทำให้จุลินทรีย์ และสารมลพิษต่างๆสลายตัวไป

– สำหรับการบำบัดมลพิษทางอากาศ เช่น การกำจัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ด้วยการผ่านแสงอุลตร้าไวโอเลตในช่วงคลื่น 300-400 นาโนเมตร จะทำให้เกิดอนุภาคข้างต้นเข้าทำปฏิกิริยากับสารมลพิษดังกล่าวทำให้กลายเป็นกรดไนตริก และกรดซัลฟูริก ส่วนสารอินทรีย์ระเหยง่ายจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกลายเป็นสารอื่นที่มีความเป็นอันตรายน้อยลง

– สำหรับบำบัดมลพิษในน้ำ ด้วยการให้แสงแก่แผ่นตัวกลางนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่แขวนอยู่ในน้ำ เมื่อได้รับแสงจะเกิดการปลดปล่อยอนุภาคดังที่กล่าวข้างต้นเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ $C_nO_mH + OH^+ + O^{2-} \longrightarrow nCO_2 + (n\text{-}m\text{-}1)\ H_2O$ [8] [18]

2.3.3 ชนิดไททาเนียมไดออกไซด์

ชนิดไททาเนียมไดออกไซด์ แบ่งตามโครงสร้างของผลึก ได้แก่

1. รูไทล์ (rutile) มีโครงสร้างผลึกแบบเททระโกนัล (tetragonal) เป็นชนิดที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ มีความคงทน และเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิที่สูง

2. อนาเทส (anatase) มีโครงสร้างผลึกแบบเททระโกนัล (tetragonal) เป็นชนิดที่พบในธรรมชาติปานกลาง หากให้ความร้อนสูงกว่า 915 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์

3. บรูคไคท์ (brookkite) มีโครงสร้างผลึกแบบออร์โทรอมบิก (orthorhombic) เป็นชนิดที่พบได้น้อยในธรรมชาติ มีความเสถียรต่ออุณหภูมิต่ำ หากได้รับความร้อนมากกว่า 750 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์ [8]

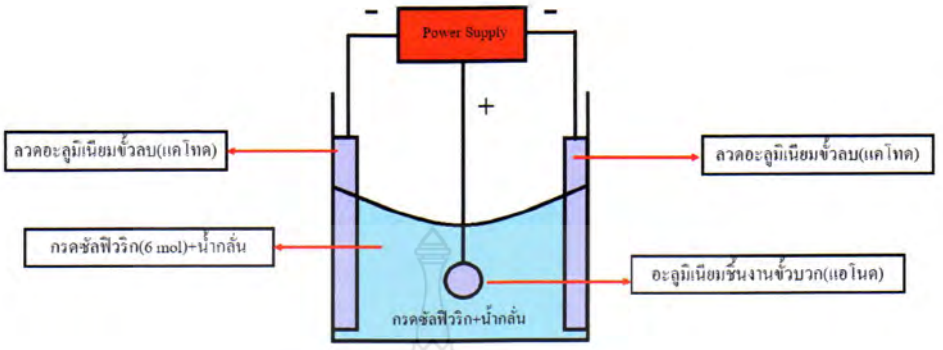
2.4 อโนไดซ์ (Anodizing)

เป็นการใช้กระแสไฟฟ้าทำให้ผิวหน้าของโลหะกลายเป็นโลหะออกไซด์แล้วโลหะออกไซด์นั้นจะเคลือบผิวของโลหะไม่เกิดการผุกร่อนต่อไป เช่นอะลูมิเนียม ทำได้โดยการผ่านไฟฟ้ากระแส ตรงไปบนแผ่นอะลูมิเนียม ซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลายที่เป็นกรด ที่แอโนดจะเกิดก๊าซ O_2 ซึ่งจะไปออกซิไดซ์อะลูมิเนียมให้เป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ ส่วนโลหะที่แคโทดจะมีก๊าซ H_2 เกิดขึ้นและขั้ว โลหะอะลูมิเนียมไม่เปลี่ยนแปลง [6]

2.4.1 การอโนไดซ์อะลูมิเนียม

การอะโนไดซ์ (Anodizing) อะลูมิเนียม คือ การทำผิวของอะลูมิเนียมให้เป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ในลักษณะเป็นฟิล์ม ซึ่งกรรมวิธีการทำคล้ายกับการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า แตกต่างกันคือการทำอะโนไดซ์ชิ้นงานจะต้องเป็นขั้วบวก แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่า และไม่มีโลหะชนิดอื่นไปเกาะจับที่ผิวอะลูมิเนียม ส่วนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าชิ้นงานจะต้องเป็นขั้วลบ ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ และจะมีโลหะชนิดหนึ่งไปเคลือบโลหะอีกชนิดหนึ่ง สามารถย้อมสีอะลูมิเนียมหลังจากการอะโนไดซ์ โดยทั่วไปมักใช้สีที่มาจากอินทรีย์สาร (organic dyes) แต่สำหรับงานที่มีความต้องการสะท้อนแสงมาก ๆ สีที่ทำมาจากอนินทรีย์สาร (inorganic dyes) จะใช้ได้ผลดีกว่า สีย้อมอะลูมิเนียมมักจะผสมได้ง่าย โดยวิธีละลายในน้ำธรรมดา การเติมกรดอะซิติคเจือจาง หรือแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ดังรูปที่ 2.10

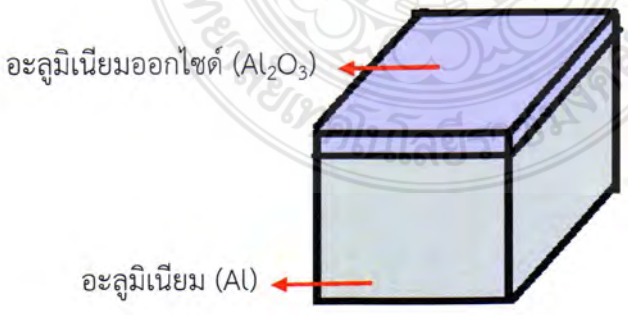
ใส่สารเคมีซึ่งมีการเจือจางกรดซัลฟิวริกหรือกรดออกซาลิกด้วยน้ำในบ่อชุบผิวไฟฟ้า (สารละลายอิเล็กโตรไลท์) จากนั้นต่อชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ชุบเข้ากับขั้วบวก จุ่มลงในสารละลายอิเล็กโตรไลท์และปล่อยกระแสไฟฟ้าซึ่งจะเกิดอนุภาคออกซิเจนบนผิวอะลูมิเนียมที่เกิดจากการแยกสารละลายของน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า และสร้างเป็นชั้นฟิล์มจากปฏิกริยาออกไซด์ของอะลูมิเนียม เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไปที่ชิ้นงานอะลูมิเนียม จะเกิดแผ่นฟิล์มซึมเข้าผิวชิ้นงาน ในขณะเดียวกันก็เกิดสารประกอบออกไซด์เพิ่มขึ้นซ้ำๆทำให้เกิดความหยาบบนผิว ก็จะกลายเป็นโครงสร้างผิวที่เรียกว่าเซลล์ [3] [6]



รูปที่ 2.10 การอโนไดซ์อะลูมิเนียม

2.4.2 ปัจจัยที่เหมาะสมในการชุบอะลูมิเนียม

การทำอะโนไดซ์อะลูมิเนียม คือ การทำผิวของอะลูมิเนียมให้เป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ที่มีลักษณะคล้ายฟิล์ม และสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ผู้ผลิตจะต้องควบคุมให้ได้ก็คือ ความหนาของผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งจะต้องเป็นไปตามที่กำหนด ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาผิว Al_2O_3 เพื่อหาความเหมาะสม ในกระบวนการทำอะโนไดซ์ วิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อความไม่สม่ำเสมอของผิว Al_2O_3 สมมุติฐานว่าโครงสร้างพื้นฐานของการชุบผิวอลูมิเนียมมีรูปร่างเหมือนดินสอหกเหลี่ยมมัดรวมกัน ซึ่งผุดขึ้นซ้ำๆบนฐานอลูมิเนียม หรือก็คือแกนกลางของดินสอในสภาพที่มัดรวมกันนั้น หากมีสีแดง การชุบผิวอลูมิเนียมก็เป็นสีแดงด้วย ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะอะลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์

กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเป็นดังนี้

1. อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีการตอบสนองไว ทำให้เกิดการหุ้มตัวโดยปฏิกริยาออกไซด์ในชั้นอากาศตามธรรมชาติ

2.เมื่ออะลูมิเนียมถูกทำให้เกิดปฏิกริยาออกไซด์ในการชุบไฟฟ้า จะมีการสร้างชั้นฟิล์มขึ้น

3. การเกิดปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าบนส่วนที่เป็นร่องผิวของแผ่นฟิล์มทำให้ไอออนของกรดซัลฟิวริกแทรกตัวเข้าไปในส่วนนั้น โดยที่แผ่นฟิล์มจะละลายกลายเป็นอะลูมิเนียมซัลเฟตที่มีรูเปิดบนผิวนับไม่ถ้วน

4. ที่ใต้พื้นรูพรุนเกิดปฏิกริยาออกไซด์และการละลายของแผ่นฟิล์มไปพร้อมๆ กันทำให้รูพรุนมีการขยายออกไปอย่างถูกต้องตามเกณฑ์ของรูพรุน

5. ความหนาของแผ่นฟิล์มเป็นสัดส่วนกับสารอิเล็กโตรไลท์ที่ใช้ทดลองปฏิกริยาเคมีไฟฟ้า

2.4.3 คุณสมบัติเฉพาะของการชุบเคลือบผิวอะลูมิเนียมและการชุบแข็ง

คุณสมบัติเฉพาะของแผ่นฟิล์มจากการชุบเคลือบผิวมีดังนี้

- ทนการสึกกร่อนได้ดี
- ทนการขัดกร่อนได้ดี
- ระดับความแข็งสูง
- เป็นฉนวนไฟฟ้า
- ผิวมีคุณสมบัติเฉพาะตัว (ความเรียบลื่น กันน้ำ กระจายผิวเคลือบได้ทั่วถึง)
- มีความสวยงาม (มีสีสัน สะท้อนเงา ผิวด้าน) [9]

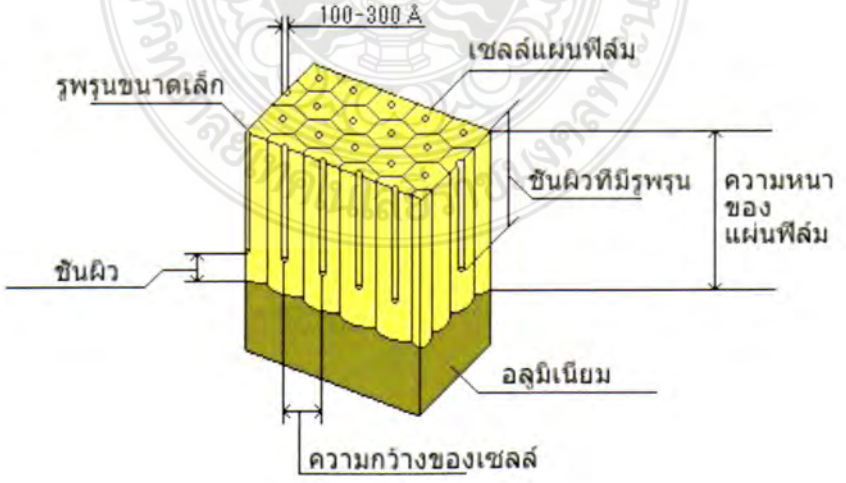
ตารางที่ 2.5 การชุบเคลือบผิวทั่วไป และการชุบแข็ง [9]

	การชุบเคลือบผิวทั่วไป (สีขาว สี)	การชุบแข็ง
สรุปขั้นตอน	ชุบเคลือบผิวธรรมดาในกรดซัลฟิวริก	ชุบด้วยวิธีเคมีไฟฟ้าในอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อที่แข็งและหนา
โทนสี	โดยทั่วไปเป็นสีขาว แต่สีจะเปลี่ยนตามสีของสารย้อม	ได้สีธรรมชาติซึ่งออกโทนสีเทา ความต่างขึ้นกับวัตถุดิบและความหนาของแผ่นฟิล์ม

ความแข็ง	มากหรือน้อยกว่า 200 HV อลูมิเนียม < การชุบอ่อน < เหล็ก	400 HV ขึ้นไป เหล็ก (กรรมวิธีไม่ใช้ความร้อน) < การชุบแข็ง
แผ่นฟิล์ม	กำหนดเงื่อนไขจำกัดการใช้งาน ทั่วไปอยู่ที่ 5~25 μ	ด้วยคุณสมบัติทนต่อการขัดสีและเป็น ฉนวนไฟฟ้า จำกัดการใช้งานอยู่ที่ 20~70 μ
ขนาด	ขนาดฟิล์มที่เกิดขึ้นบนผิว 1/2 μ	ขนาดฟิล์มที่เกิดขึ้นบนผิว 1/2 μ

2.4.4 โครงสร้างพื้นฐานของผิวอะลูมิเนียมที่ชุบ

โครงสร้างพื้นฐานของผิวอะลูมิเนียมที่ชุบ (การทำให้เกิดออกไซด์ด้วยประจุบวก) เป็นเหมือนดินสอหลายแท่งมัดรวมกันอาจทำความเข้าใจได้ง่ายกว่า หากคิดว่าโครงสร้างพื้นฐานของการชุบผิวอะลูมิเนียมมีรูปร่างเหมือนดินสอหกเหลี่ยมมัดรวมกัน ซึ่งผุดขึ้นซ้ำๆบนฐานอะลูมิเนียม หรือก็คือแกนกลางของดินสอในสภาพที่มัดรวมกันนั้น หากมีสีแดง การชุบผิวอะลูมิเนียมก็เป็นสีแดงด้วย รูปทรงหกเหลี่ยมของการชุบแข็งเมื่อเทียบกับการชุบโดยทั่วไปจะมีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งรูพรุนบนผิวน้อย ทำให้ใส่อนุภาคสีได้ยาก การชุบสีดำอาจทำได้ทั้งชุบแบบแข็งและชุบแบบอ่อน พึงระวังการชุบที่ย้อมสีชาเลียนแบบ Kashima-Coats หากเปลี่ยนสีของสารย้อม แผ่นฟิล์มจากการชุบผิวอะลูมิเนียมก็เปลี่ยนสีได้ตามนั้น แต่ก็มีวิธีเปลี่ยนสีโดยที่เนื้อผิวอะลูมิเนียมอัลลอยยังคงความเฉพาะตัวไว้ได้ หากคิดค้นให้เข้ากับองค์ประกอบหลากหลายที่เพิ่มเข้ามาในอัลลอย เช่น ประเภท ปริมาณ ประเภทของสารอิเล็กโตรไลท์ อุณหภูมิ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าได้ สีที่ปรากฏบนแผ่นฟิล์มก็จะไม่เปลี่ยน [5]



รูปที่ 2.12 โครงสร้างพื้นฐานของผิวอะลูมิเนียมที่ชุบเป็นเหมือนดินสอหลายแท่งมัดรวมกัน [5]

2.4.5 ความรู้เกี่ยวกับอะลูมิเนียมอโนไดซ์

การทำอโนไดซ์ คือ กระบวนการป้องกันการผุกร่อนของโลหะอะลูมิเนียม โดยทำให้เกิดออกไซด์ของอะลูมิเนียมคือ Al_2O_3 ที่เสถียรเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า โดยใช้การอิเล็กโทรลิซิสออกไซด์ของอะลูมิเนียมที่เกิดขึ้นจากการทำอโนไดซ์จะมีลักษณะผิวด้านและมีรูพรุนเล็กมาก ๆ โดยรูพรุนนี้จะเป็นกักเก็บสีที่เราจะย้อมไว้ การทำอโนไดซ์จะทำให้ผิวอะลูมิเนียมทนการกัดกร่อนได้มากขึ้น และเป็นฉนวนไฟฟ้าการเกิดท่อของอะลูมิเนียมออกไซด์

โดยปกติเมื่อทิ้งอะลูมิเนียมไว้ในบรรยากาศ อะลูมิเนียมจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ซึ่งมีสมบัติทนการกัดกร่อนได้ดี ในแผ่นอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ การเกิดของชั้นฟิล์มจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในอะลูมิเนียมที่มีโลหะอื่นผสม (alloys) โดยเฉพาะอะลูมิเนียมที่ผสมแมกนีเซียมมีสมบัติทนการกัดกร่อนลดลง ดังนั้นการทำอโนไดซ์จะเป็นการเพิ่มความสามารถในการทนการกัดกร่อนของอะลูมิเนียม อะลูมิเนียมที่เป็นชิ้นส่วนหลักทั้งหมดที่ใช้ในเครื่องบินจะเป็นอะลูมิเนียมอโนไดซ์ นอกจากนั้น เรายังพบอะลูมิเนียมอโนไดซ์ในเครื่องใช้ประจำวันของเราเช่น เครื่องเล่น MP3,ไฟฉาย ,เครื่องครัว, กล้อง,อุปกรณ์กีฬา เป็นต้น ซึ่งผลพลอยได้จากการทำอโนไดซ์ นอกจากจะทนการกัดกร่อนของบรรยากาศได้ดีขึ้นแล้ว ยังสามารถย้อมสีได้อีกด้วย

ผิวของอะลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์แล้ว จากมีความสามารถในการนำความร้อนได้ลดลง และมีสัมประสิทธิการขยายตัวต่ำกว่าอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ ด้วยผลกระทบนี้ผิวจะแตกร้าวเมื่อทิ้งไว้ในอุณหภูมิที่สูงกว่า 80 °C อย่างไรก็ตามผิวจะไม่กะเทาะลอกออก ผิวของอะลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์แล้วจะมีจุดหลอมเหลวที่ 2050 °C ซึ่งสูงกว่าอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ซึ่งจะหลอมเหลวที่ 658 °C ดังนั้นอะลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ จึงเชื่อมติดได้ยาก

รูปขยายท่ออะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผิวอะลูมิเนียม อะลูมิเนียมออกไซด์ที่เกิดจากการอโนไดซ์ จะเกิดงอกขึ้นที่ผิว และส่วนหนึ่งกินลงไปที่เนื้อผิวเดิม ในอัตราส่วนเท่า ๆ กัน ตัวอย่างเช่น การอโนไดซ์ความหนา 2 ไมโครเมตร ดังนั้นชิ้นงานจะมีความหนาเพิ่มขึ้นเพียง 1 ไมโครเมตร (เพราะอีก 1 ไมโครเมตรกินลงไปที่ผิวเดิม)

หากการทำอโนไดซ์ ทำขึ้นในสารละลาย (ที่อะลูมิเนียมออกไซด์สามารถละลายได้) เช่น กรดกัมมะถัน หรือกรดโครมิค ขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 10-150 นาโนเมตร ก่อตัวเป็นชั้นบางๆ ที่ผิว สามารถก่อตัวหนาขึ้น รูพรุนที่เกิดขึ้น ตอนนี้เป็นเหมือนท่อทรงหกเหลี่ยมปลายเปิด ซึ่งยังสามารถถูกกัดกร่อนได้หากไม่มีการปิดผนึกปลายทรงกระบอกนี้ โดยทรงกระบอกเล็ก ๆ นี้จะเป็นที่บรรจุสี และ/หรือสารป้องกันการกัดกร่อน ซึ่งเราต้องปิดปลายกระบอกนี้เพื่อกักเก็บสี และ/หรือสารป้องกันการกัดกร่อนไว้ภายใน

การอโนไดซ์อะลูมิเนียมมีด้วยกันสามชนิดหลัก ๆ (ตามMIL-A-862S) คือ

Type I - Chromic Acid Anodization

Type II - Sulphuric Acid Anodization

Type III - sulphuric acid hard coat anodization.

และยังมีวิธีการอโนไดซ์อื่น ๆ อีกคือ ตาม MIL-A-63576, AMS 2469, AMS 2470, AMS 2471, AMS 2472, AMS 2482, ASTM B580, ISO 10074 และ BS 5599

ก่อนการทำอโนไดซ์ เราควรทำความสะอาดชิ้นงานอะลูมิเนียมด้วยผงซักฟอก หรือน้ำยาล้างจาน หรือสบู่ หรือสารชะล้างไขมัน เพื่อขจัดคราบไขมัน ก่อนที่จะนำชิ้นงานไปกัดในโซดาไฟ ในการชุบอโนไดซ์ เราใช้กระแสไฟฟ้าตรงผ่านไปยังอะลูมิเนียมชิ้นงาน และแผ่นอะลูมิเนียมที่แช่อยู่ในสารละลายสำหรับชุบ กระแสไฟฟ้าจะปล่อยไฮโดรเจนออกที่ขั้วลบ และเริ่มสร้างอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผิว โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีดังสมการ

ขั้วบวก $2Al + 3H_2O \longrightarrow Al_2O_3 + 6H^+ + 6e^-$ (2.1)

ขั้วลบ $6H^+ + 6e^- \longrightarrow 3H2$ (2.2)

ดังนั้นปฏิกิริยาโดยรวมคือ $2Al + 3H_2O \longrightarrow Al_2O_3 + 3H_2$ (2.3)

2.4.6 การทำอโนไดซ์ด้วยกรดต่างๆ

การทำอโนไดซ์ด้วยกรดโครมิกวิธีการทำอโนไดซ์แบบนี้เป็นวิธีการแต่ดั้งเดิม รู้จักกันว่าเป็นวิธีแบบ Type I ตามมาตราฐาน MIL-A-8625 และรวมอยู่ใน Type IB ตามมาตรฐาน AMS 2470 และ MIL-A-8625 วิธีการใช้กรดโคโรมิกเป็นสารละลายหลักนี้ จะให้ความหนาของชั้นฟิล์มบางตั้งแต่ 5 ไมโครเมตรถึง18 ไมโครเมตร และผิวชิ้นงานที่ทึบแสง แผ่นฟิล์มที่ได้จะอ่อนนุ่ม ยากต่อการชุบสี เหมาะสำหรับเป็นการเตรียมพื้นผิวก่อนนำไปพ่นสี การใช้กระแสไฟจะต้องเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามขบวนการชุบ

การทำอโนไดซ์ด้วยกรดซัลฟูริคเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุดโดยใช้กรดซัลฟูริคเป็นสารละลายหลัก เราเรียกว่าเป็นวิธี Type II ซึ่งจะให้ความหนาของชั้นฟิล์มปานกลางตั้งแต่ 1.8 ไมโครเมตรถึง 25 ไมโครเมตร ตามมาตราฐาน MIL-A-8625 การชุบหนากว่า 25 ไมโครเมตร เราจะเรียกว่าเป็นการชุบแบบหนา Type III, hardcoat หรือ engineered anodizingการชุบแบบบางมาก ๆ (โดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นสารละลายหลัก) คล้าย ๆ กับวิธีการใช้กรดโคโรมิก เราเรียกวิธีนี้ว่า Type IIB การชุบแบบหนามาก ๆ ต้องการกระบวนการและเครื่องมือในการควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้เครื่องทำความเย็นหล่อสารละลายน้ำยาชุบให้ใกล้จุดเยือกแข็งของน้ำและใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่าการชุบแบบบาง การชุบแบบหนา ให้ความหนาของชั้นฟิล์มตั้งแต่ 25-150 ไมโครเมตร การชุบอโดไนซ์หนาจะ

ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพต่อการกัดกร่อน มีผิวลื่นทนต่อการเสียดสี กันความร้อน และเป็นฉนวนไฟฟ้า มาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมการชุบแบบบาง (Type IIB) และหนาปานกลาง (Types II) กำหนดโดย MIL-A-8625 คือ AMS 2471 (ไม่ชุบสี), AMS 2472 (ชุบสี) มาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมการชุบแบบหนา Type III กำหนดโดย MIL-A-8625 คือ AMS 2469

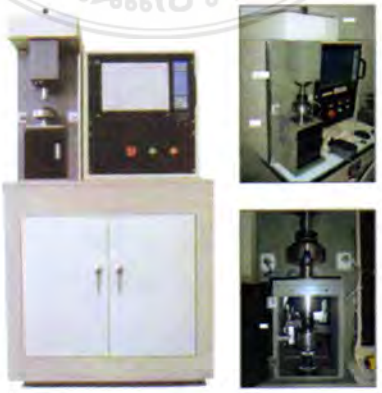
การทำอโนไดซ์ด้วยกรดอินทรีย์เคมี การใช้สารละลายกรดอินทรีย์เคมีอย่างกรดออกซาลิค จะให้สีสันภายในโดยไม่ต้องชุบสี สีที่เกิดขึ้นแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของโลหะผสม ความหนาของชั้นอโนไดซ์สามารถทำได้ถึง 50 ไมโครเมตร การชุบแบบนี้เรียกว่า Type IC กำหนดโดย MIL-A-8625

การทำอโนไดซ์ด้วยกรดฟอสฟอริก การใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารละลายตัวกลางในการชุบ โดยปกติจะใช้ในการเตรียมพื้นผิวเพื่อใช้งาน adhesives อธิบายตามมาตรฐาน ASTM D3933

การปิดผนึกท่อ กระบวนการชุบอโนไดซ์แบบ Types I, II, และ III จะสร้างรูพรุนเล็ก ๆที่ผิว ซึ่งสามารถดูดซับสีย้อมและคงความมันลื่นไว้ได้ แต่ยังไม่สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ การปิดผนึกปลายท่อสามารถทำได้โดยการจุ่มแช่ในน้ำเดือด ซึ่งเป็นวิธีการง่ายที่สุด แต่ไม่ใช่วิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุด เนื่องประสิทธิภาพในการป้องกันการขีดข่วนจะน้อยลง 20% การชุบปิดด้วย เทฟล่อน นิเกิลอาซิเตท โคบอลอาซิเตท และ โซเดียมไดโครเมท/โปรแตสเซียมไดโครเมท จะให้ได้ผลที่สมบูรณ์ [2] [10]

2.5 การสึกหรอ (Wear)

การสึกหรอ (Wear) หมายถึง การสูญเสียเนื้อวัสดุที่ผิวหน้า เมื่อมีการเสียดสีหรือมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันของวัสดุ 2 ชิ้น แม้ว่าวัสดุที่สูญเสียไปจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่อาจทำให้ชิ้นส่วนนั้นเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นส่วนที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง เช่น แม่พิมพ์ มีดกลึง หรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกลบางชนิด เช่น เฟือง ลูกสูบ กระบอกสูบ และโซ่ เป็นต้น บางครั้งการสึกหรอเกิดร่วมกับการกัดกร่อน ซึ่งถือว่าเป็นรูปแบบการกัดกร่อนที่รุนแรง ดังรูปที่ 2.13 [8]



รูปที่ 2.13 ลักษณะเครื่องทดสอบการสึกหรอ (Wear Testing Machine) [5]

2.5.1 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบการสึกหรอ (Wear Testing Machine)

ทดสอบโดยเน้นการสึกหรอของชิ้นทดสอบแบบหมุดเป็นหลัก โดยให้ชิ้นทดสอบแบบหมุดกับแบบจานสัมผัสกัน ซึ่งชิ้นทดสอบแบบหมุดอยู่กับที่และจะถูกกดด้วยน้ำหนักตามชนิดของชิ้นทดสอบ ส่วนชิ้นทดสอบแบบจานจะหมุนตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้ ในระหว่างทดสอบจะบันทึกจำนอนรอบที่ชิ้นทดสอบหมุนไป แล้วนำมาคำนวณหาความสึกหรอที่เกิดขึ้น

ลักษณะของผลที่ได้ : จะได้ชิ้นงานที่เกิดการสึกหรอ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาอัตราการสึกหรอจำเพาะได้

การประยุกต์ใช้งาน : สามารถประยุกต์ใช้การคำนวณในการหา ระยะสึกหรอ ความต้านทานการสึกหรอ อุณหภูมิพื้นผิวของการไถล และสามารถวิเคราะห์รอยสึกหรอที่เกิดขึ้น

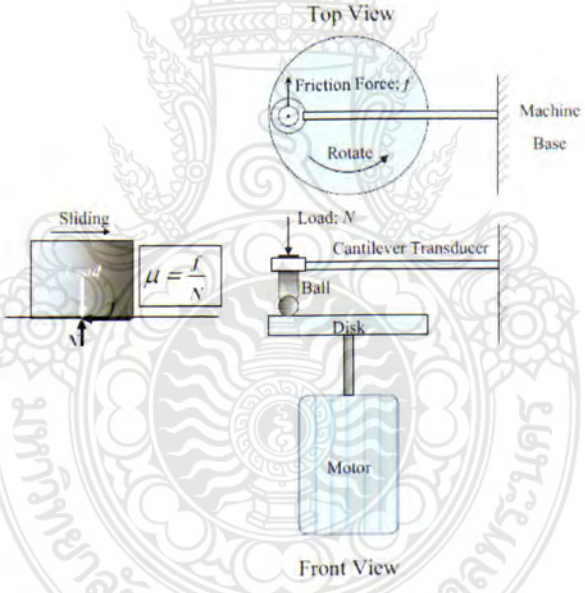
ลักษณะตัวอย่างที่ทำการทดสอบ : ตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์จะต้องอยู่ในรูปแบบของของแข็ง โดยชิ้นงานทดสอบแบบหมุดมีขนาดความกว้างและยาว 8 mm. สูง 20 mm มีค่าความหยาบเฉลี่ยไม่เกิน 1.4 Ra และชิ้นงานทดสอบแบบจานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 mm หนา 10 mm มีค่าความหยาบเฉลี่ยไม่เกิน 0.2 Ra อ้างอิงตาม ASTM G99-90 [16]

ตารางที่ 2.6 ลักษณะการแบ่งชนิดการสึกหรอตามลักษณะการสัมผัส [16]

Classification by Nature of Contacting Substance	Classification by Applies Stress	Typical Machinery Parts
1. Wear by metal-to-metal contact	a) Adhesive wear	Gear, Shafts and bearing
	b) Rolling wear	Ball bearing's and shafts
	c) Impact wear	Forging hammer heads and anvils
	d) Thermal Impact wear	Hotrolls, Continuous castingrolls
2. Wear by sand ,oil and stones	a) Scratching abrasion	Chutes, Plows, Screw convenyer
	b) Grinding abrasion	Bulldozer blades, Bulldozer shoes
	c) Gouging abrasion	Bulldozer ripper tips, Crushers
3. Wear by high – speed fluids	a) Erosion	Mud pumps, pipelines
	b) Cavitations erosion	Hydraulic power turbines, Ship's propellers, Regulating valves

2.5.2 หลักการทดสอบ Ball-on-Disk

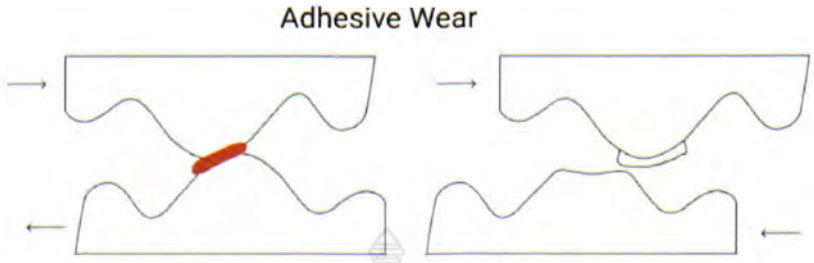
Ball-on-Disk เป็นวิธีการทดสอบเพื่อศึกษาการสึกหรอของผิวคู่สัมผัสที่เคลื่อนที่สัมพัทธ์กันโดยการทดสอบจะดูลักษณะของการสึกหรอ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผัวคู่สัมผัส โดยหน่วยวัดที่ใช้กำหนดอยู่ในระบบมาตรฐาน SI การทดสอบแต่ละครั้งต้องใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 2 ชิ้นที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสเพื่อเตรียมเป็นบอลกับแผ่นจาน วัสดุชิ้นทดสอบที่ถูกเตรียมเป็นบอลจะถูกจับยึดด้วยด้ามจับที่มีความแกร่งเพียงพอ ในการทดสอบด้ามจับบอลจะถูกยึดติดกับก้านทดสอบของเครื่องไตรบอมิเตอร์โดยมีแรงกด (Load; *N*) จากตุ้มน้ำหนักกดบอลลงบนชิ้นงานที่เตรียมเป็นแผ่นจาน ดังรูปที่ 2.14 ในการทดสอบจานหมุนด้วยต้นกำลังจากมอเตอร์ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ สามารถหาได้โดยตรงจากอัตราส่วนของแรงเสียดทาน f ซึ่งเป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ระหว่างผิวคู่สัมผัสของชิ้นทดสอบ กับแรงกด N [14]



รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของไตรบอมิเตอร์ ตามมาตรฐาน ASTM G99[14]

2.5.3 ลักษณะการเกิดการสึกหรอ

การสึกหรอแบบขัดสี (Adhesive Wear) เกิดจากผิวสัมผัสที่เรียบสม่ำเสมอของโลหะทั้งสองชิ้นถูกทำให้สัมผัสกันโดยมีแรงกดที่เพียงพอต่อการทำให้ผิวหน้าสัมผัสกันและมีการเคลื่อนที่ขนานกันกับทิสทางที่ผิวหน้าสัมผัสกันภายใต้แรงกดนั้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการสึกหรอ บริเวณผิวหน้าของชิ้นงานที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าจะเกิดการหลุดออกแล้วเคลื่อนที่ไปกับชิ้นงานที่มีความแข็งแรงมากกว่าดังรูปที่ 2.15 [15]



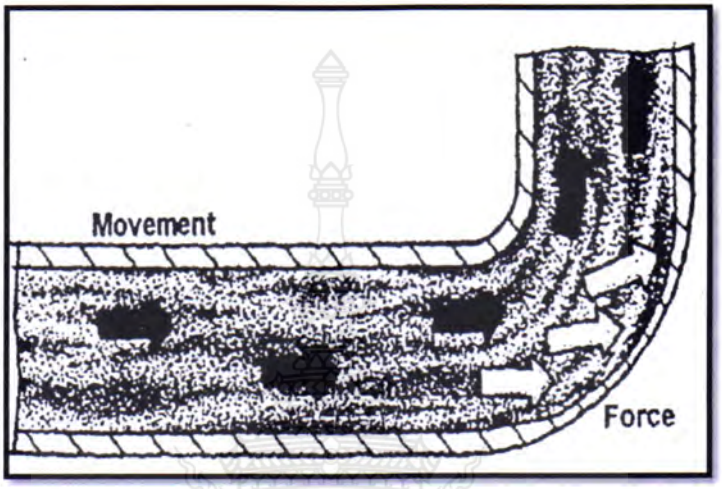
รูปที่ 2.15 การสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear) [17]

การสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear) เกิดจากที่ของแข็งที่มีขนาดเล็กๆปะทะกับผิวหน้าของชิ้นงานทำให้ผิวหน้าชิ้นงานเกิดเป็นรอยข่วนทีละน้อยจนเกิดเป็นร่องรอยขนาดใหญ่ การสึกหรอแบบขัดถูสามารถถูกแบ่งประเภทเป็นการสึกหรอ (Abrasion) และการกัดกร่อน (Erosion) แต่สำหรับการสึกหรอสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของความเค้นที่เกิดขึ้นที่ผิวจากการที่มีของแข็งที่มีขนาดเล็กๆปะทะกับผิวหน้าของชิ้นงาน คือ 1. การสึกหรอจากการขีดข่วน (Scratching Abrasion) 2. การสึกหรอจากการเจียรไน (Grinding Abrasion) 3. การสึกหรอจากการเซาะร่อง (Gouging Abrasion) ดังรูปที่ 2.16 [15]

รูปที่ 2.16 ลักษณะการเกิดการสึกหรอแบบขัดถู [17]

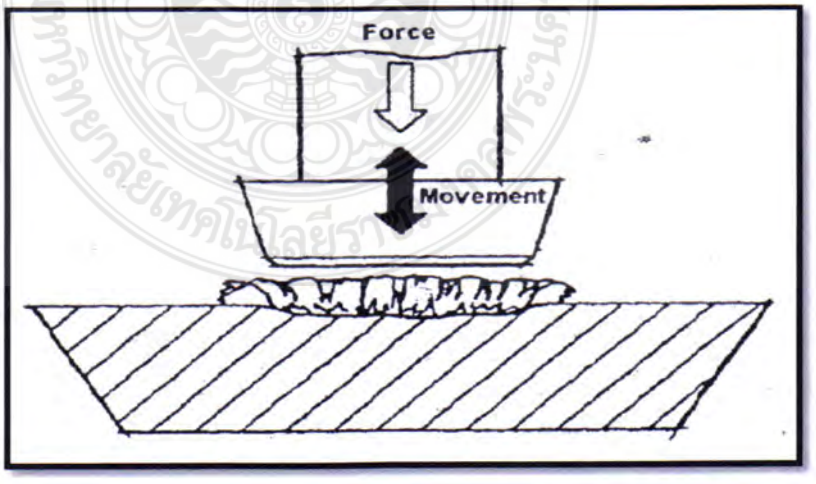
การสึกหรอจากการกัดกร่อน (Erosion) การสึกหรอแบบขัดถูประเภทการกัดกร่อนเกิดจากกลไกการสึกหรอของโลหะ สาเหตุโดยจากการปะทะของของไหล เช่น การกระแทก ในแต่ละกรณีนี้

เป็นการกระแทกจากของเหลวซึ่งมีทั้งทีอุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิสูง ณ บริเวณที่ปะทะ จากการกระแทกขแงขแงเหลวส่งผลทำให้บริเวณผิวหน้ามีการสึกหรอทำให้ความหนาบริเวณที่ปะทะลดน้อยลงดังรูปที่ 2.17 [15]



รูปที่ 2.17 ลักษณะการเกิดการสึกหรอแบบการกัดกร่อน [8]

การสึกหรอแบบการกระแทก (Impact Wear) การสึกหรอแบบการกระแทกเกิดจากการกระทำที่เกิดขึ้นซ้ำๆจากแรงกระแทกที่บริเวณผิวของของแข็งทำให้เกิดความเสียหาย โดยบริเวณดังกล่าวจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างจากความล้าจนเกิดเป็นหลุมหรือรูที่บริเวณผิวหน้าดังรูปที่ 2.18 [15]



รูปที่ 2.18 ลักษณะการเกิดการสึกหรอจากการกระแทก [15]

บทที่ 3

การดำเนินงาน

3.1 บทนำ

การเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอะลูมิเนียมด้วยกระบวนการปรับปรุงผิวด้วยอโนไดซ์เสริมด้วยนาโนไททาเนียม (Nano – Titanium Dioxide) มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาสมบัติทางด้านการทนทานต่อการสึกหรอให้เพิ่มขึ้น ซึ่งปัจจุบันมีกระบวนการพัฒนาปรุงปรุงต่างๆมากมาย เช่น การเพิ่มธาตุต่างๆลงไป เพื่อให้ความแข็งของอะลูมิเนียมเพิ่มสูงขึ้น

3.2 วัสดุและชิ้นงาน

อะลูมิเนียมเป็นเกรด 6061 เหมาะสำหรับงานชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ แม่พิมพ์ อุปกรณ์จับยึดและชิ้นส่วนอุตสาหกรรมโดยสมบัติอะลูมิเนียม 6061 ผสมแมกนีเซียม (0.8-1.2%) และ ซิลิกอน (0.4-0.8%) ในอะลูมิเนียม 6061 การนำไปใช้งานของอะลูมิเนียม 6061 ผสมแมกนีเซียมและซิลิกอน จะใช้ในชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ต้องการความแข็งแรง เพราะสามารถทำการเอจจิ่งได้ นอกจากนี้แล้วยังใช้กับ ชิ้นส่วนที่ต้องการทนการกัดกร่อนทนทานต่อการเกิดเป็นสนิมและการผุกร่อนในบรรยากาศที่ใช้งานโดยทั่วไปได้ดี

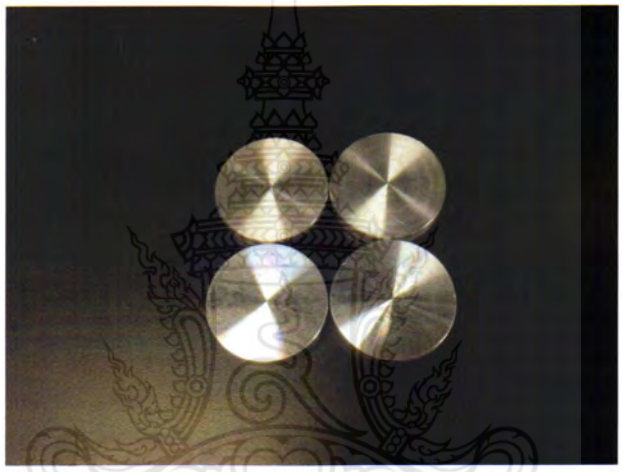
ตารางที่ 3.1 การผสมสารของแต่ละเกรด

Aluminium Chemical Composition										
	%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
AA1100	Min	Si+Fe		0.05	0.05	-	-	0.10	-	Remainder
	Max	0.95		0.20						
AA2024	Min	0.50	0.50	3.80	0.30	1.20	0.10	0.25	0.15	Remainder
	Max			4.90	0.90	1.80				
AA3105	Min	0.60	0.70	0.30	0.30	0.20	0.20	0.40	0.10	Remainder
	Max				0.80	0.80				
AA5052	Min	0.25	0.40	0.10	0.10	2.20	0.15	0.10	-	Remainder
	Max					2.80	0.35			
AA5083	Min	0.40	0.40	0.10	0.40	0.50	0.05	0.25	0.15	Remainder
	Max	0.47		0.15	1.00	0.25	0.25			
AA6061	Min	0.40	0.70	0.40	0.15	0.80	0.04	0.25	0.15	Remainder
	Max	0.80		1.20		1.20	0.35			
AA7075	Min	0.40	0.50	2.00	0.30	2.10	0.18	5.10	0.20	Remainder
	Max					2.90	0.28	6.10		

3.3 การเตรียมชิ้นงานอะลูมิเนียม

ใช้อะลูมิเนียมเกรด 6061 ขึ้นรูปให้เป็นลักษณะเป็นแผ่นวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.1

นำชิ้นงานที่ขึ้นรูปเป็นแผ่นวงกลมมาทำการปรับหน้าผิวให้เรียบและระนาบให้มีความหยามต่ำ โดยขัดด้วยประดาษทรายเบอร์ 240-1,200 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 อะลูมิเนียมที่ยังไม่ผ่านการขัดปรับผิวหน้า

รูปที่ 3.2 อะลูมิเนียมที่ผ่านการขัดปรับผิวหน้า

3.4 สารที่นำไปใช้

ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide:TiO_2) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียม ที่ถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรสูง ไม่เป็นพิษ และราคาถูก มีชื่อทางการค้า คือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titaniumdioxide) ไททานิกแอนไฮไดร (Titanic anhydride) และไททาเนีย (Titania) โดยประโยชน์ของไททาเนียมไดออกไซด์ปัจจุบันไททาเนียมไดออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์มาก มักใช้ในรูปของผลึกแบบ รูไทล์ (rutile) ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมในด้านต่างๆ และสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับอะลูมิเนียม ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สมบัติไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)

สมบัติไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	
มวลโมเลกุล	79.9 กรัม/โมล
ความหนาแน่น	3.84-4.26 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดเดือด	2,500 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	1,850 องศาเซลเซีย
การละลายน้ำ	ไม่ละลายน้ำ

รูปที่ 3.3 ไททาเนียมไดออกไซด์

3.5 กระบวนการอโนไดซ์

การทำอโนไดซ์ คือ กระบวนการป้องกันการผุกร่อนของโลหะอะลูมิเนียม โดยทำให้เกิดออกไซด์ของอะลูมิเนียมคือ Al_2O_3 ที่เสถียรเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า โดยใช้การอิเล็กโทรลิซิส ออกไซด์ของอะลูมิเนียมที่เกิดขึ้นจากการทำอโนไดซ์จะมีลักษณะผิวด้านและมีรูพรุนเล็กมาก ๆ การทำอโนไดซ์ จะทำให้ผิวอะลูมิเนียมทนการกัดกร่อนได้มากขึ้น และเป็นฉนวนไฟฟ้า

3.5.1 ขั้นตอนการทำอโนไดซ์

การเพิ่มสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอะลูมิเนียมด้วยกระบวนการปรับปรุงผิวด้วย Anodizing เสริม TiO_2 เพื่อพัฒนาสมบัติทางด้านการทนทานต่อการสึกหรอให้เพิ่มขึ้นหรือการเพิ่มธาตุต่างๆลงไป เพื่อให้ความแข็งของอะลูมิเนียมเพิ่มสูงขึ้น โดยขั้นตอนการปฏิบัติมีดังต่อไปนี้

1. นำชิ้นงานไปทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างจานเพื่อขจัดคราบไขมัน
2. นำชิ้นงานไปล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ประมาณ 2 นาที (โซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 กรัมต่อน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร)
3. นำชิ้นงานไปล้างออกด้วยน้ำสะอาด
4. นำชิ้นงานไปขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 240, 260, 800, 1,000 และ 1,200
5. ทำการตวงกรดซัลฟิวริกโดยใช้กรดซัลฟิวริกที่ 100 มิลลิลิตรต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร
6. กรดออกซาลิก 50 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร (ใส่หลังจากใส่กรดซัลฟิวริกลงไปในน้ำกลั่น)
7. ทำการอโนไดซ์โดยชิ้นงานจะอยู่ในขั้วแอโนดหรือขั้วบวกและอะลูมิเนียมที่อยู่ด้านข้างทั้งสองข้างจะอยู่ในขั้วแคโทดหรือขั้วลบ เพื่อทำหน้าที่จ่ายไฮโดรเจนให้กับขั้วแอโนดเกิดเป็นออกไซด์ฟิล์ม
8. ทำการอโนไดซ์ 20–40 นาที
9. หลังจากอโนไดซ์เรียบร้อยแล้วนำชิ้นงานไปล้างด้วยน้ำสะอาด
10. วัดการนำไฟฟ้า (ถ้าชิ้นงานไม่นำไฟฟ้าแสดงว่าชิ้นงานนั้นได้ผ่านการทำอโนไดซ์เรียบร้อยแล้ว)
11. นำชิ้นงานไปชุบสารเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 15 นาที
12. นำชิ้นงานไปส่อง SEM,EDS
13. ทดสอบเครื่องทดสอบการสึกหรอ (Sliding-Wear Tester)

3.6 การตรวจสอบและทดสอบชิ้นงาน

การทดสอบการทำอโนไดซ์นั้นจะมีหลายขั้นตอน เพื่อทดสอบว่าชิ้นงานนั้นตรงกับวัตถุประสงค์ของการทำอโนไดซ์ โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

3.6.1 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง OM (Optical Microscope)

กล้องจุลทรรศน์จะช่วยขยายภาพได้ถึงระดับ 5 เท่า - 100 เท่า ด้วยแสง incident reflected หรือ transmitted สามารถใช้เทคนิค differential interference contrast หรือ polarized light ศึกษาโครงสร้างจุลภาค รูปร่าง ขนาด การจายตัวของผลึกตำหนิในแก้วเซรามิก เป็นต้น

หลักการทำงาน: เป็นกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงรูปแบบหนึ่งที่ใช้แสงเป็นตัวช่วยในการทำให้มองเห็นภาพ โดยแสงจะวิ่งผ่านระบบเลนส์ต่างๆ และมีการส่องไปที่วัตถุ ก่อนที่แสงจะส่องผ่านเข้าสู่สายตาเรา ซึ่งแสงที่อยู่ภายในระบบที่สะท้อนกลับเข้าสู่สายตาเราจะทำให้เราเห็นภาพได้ โดยการมองผ่านเลนส์ Eyepiece ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 ลักษณะกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง Optical microscope (OM)

การประยุกต์ใช้งาน: ใช้ดูลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานในรูปแบบสองมิติโดยสามารถกำหนดกำลังขยายตามความต้องการได้

ลักษณะตัวอย่างที่ทำการทดสอบ: ชิ้นงานมีขนาดเล็กพอที่จะวางลงบนแท่นวางวัตถุได้ โดยชิ้นงานจะผ่านการเจียรนัย (Grinding), การขัดเงา (Polishing) และการกัดกร่อน (Etching)

3.6.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) SEM

การส่อง SEM นิยมนำมาตรวจสอบลักษณะผิวภายนอกของชิ้นงาน ตรวจสอบการเรียงตัวของผลึกด้วยระบบการรับสัญญาณเลี้ยวเบนของอิเล็คตรอน กระเจิงกลับ (Back Scattered Electron) ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง ชิ้นงานที่ผ่านการดึงมา หรือเกิดความเสียหายมา ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 ลักษณะกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น Nova nanoSEM450

3.6.3 การวิเคราะห์ธาตุ (Energy Dispersive Spectrometer) EDS

หลักการของเครื่อง EDS คือ รังสีเอกซ์จากแหล่งกำเนิดเข้าไปชนสารที่ใส่ในชิ้นงาน ทำให้อิเล็กตรอนในวงในสุดของอะตอมของธาตุหลุดออกไปและอิเล็กตรอนในวงถัดไปจะเข้ามาแทนที่เกิดการคายพลังงานส่วนเกินออกมาในลักษณะของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่มีค่าพลังงานเป็นค่าเฉพาะตัวของธาตุนั้นๆ เป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และความเข้มข้นของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่เกิดขึ้นจะเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

3.6.4 การทดสอบการสึกหรอ (Wear test)

Ball-on-Disk เป็นวิธีการทดสอบเพื่อศึกษาการสึกหรอของผิวคู่สัมผัสที่เคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน โดยการทดสอบจะดูลักษณะของการสึกหรอ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัส โดยหน่วยวัดที่ใช้กำหนดอยู่ในระบบมาตรฐาน SI การทดสอบแต่ละครั้งต้องใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 2 ชิ้นที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสเพื่อเตรียมเป็นบอลกับแผ่นจาน วัสดุชิ้นทดสอบที่ถูกเตรียมเป็นบอลจะถูกจับยึดด้วยด้ามจับที่มีความแกร่งเพียงพอ ในการทดสอบด้ามจับบอลจะถูกยึดติดกับก้านทดสอบของเครื่องไตรบอมิเตอร์โดยมีแรงกด (Load; N) จากตุ้มน้ำหนักกดบอลลงบนชิ้นงานที่เตรียมเป็นแผ่นจาน ในการทดสอบจานหมุนด้วยต้นกำลังจากมอเตอร์ค่า

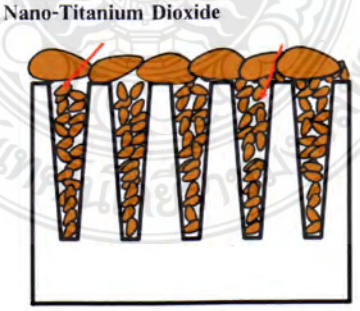
สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ สามารถหาได้โดยตรงจากอัตราส่วนของแรงเสียดทานfซึ่งเป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ระหว่างผิวคู่สัมผัสของชิ้นทดสอบ กับแรงกด N

รูปที่ 3.6 ลักษณะเครื่องทดสอบการสึกหรอ (Ball-on-disk)

3.7 ขั้นตอนการเติมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (Nano-Titanium Dioxide)

ใช้ผงนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ผสมกับกรดซัลฟิวริกแล้วนำไปทำการอัลตราโซนิก (Ultrasonic) โดยส่วนผสมคือนาโนไททาเนียม 14 กรัม/ลิตร เอสทานอล 50 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในบีกเกอร์ที่มีชิ้นงานอะลูมิเนียมแล้วทำการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้เวลา 60 นาทีเพื่อให้สารละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

หลังจากนั้นนำชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ลงไปชุบนาโนไททาเนียมไปอบแห้งในเตาอบ 10 ชั่วโมง ที่ 120 องศาเซลเซียส เพื่อปรับปรุงการยึดเกาะของอนุภาคนาโนไททาเนียมกับสารตั้งต้น ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของการเคลือบสารนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ [ดัดแปลงจาก 20]

บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 บทนำ

จากการดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของโครงงาน ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านการปรับปรุงสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอะลูมิเนียมด้วยกระบวนการอโนไดซ์โดยเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์โดยการส่องกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด SEM เพื่อหาโครงสร้างของอะลูมิเนียมหลังจากผ่านกระบวนการอโนไดซ์และทดสอบการสึกหรอด้วยกระบวนการ Ball-on-Disk เพื่อหาความแข็งของฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์หลังจากเคลือบนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

4.2 การตรวจสอบประสิทธิภาพอะลูมิเนียมด้วยวิธีการอโนไดซ์

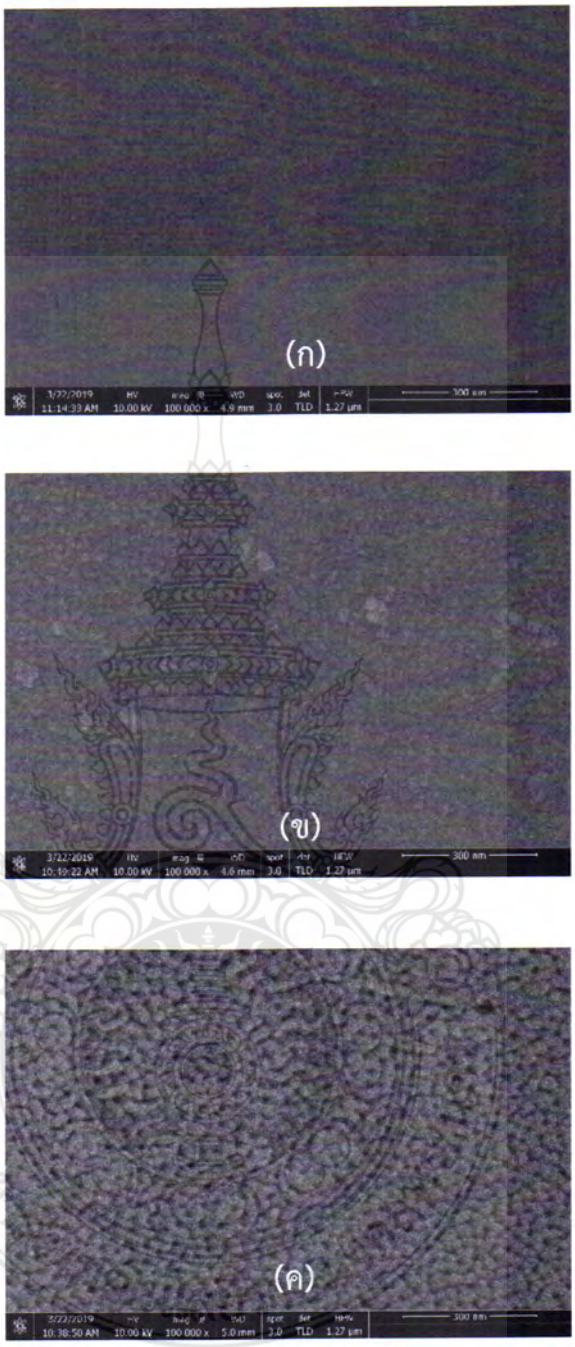
ในการทดสอบประสิทธิภาพวัสดุอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์โดยอะลูมิเนียมที่นำมาทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ความหนาชิ้นงานที่ 5 มิลลิเมตร โดยนำชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย ตั้งแต่ 10,000 เท่าถึง 100,000 เท่า โดยอโนไดซ์ที่เวลา 30 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นรูพรุนเกิดขยายมากขึ้น เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิ พบว่า

4.2.1 อะลูมิเนียมชิ้นที่ 1 ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามีลักษณะโครงสร้างของพื้นผิวอะลูมิเนียมที่เรียบ

4.2.2 อะลูมิเนียมชิ้นที่ 2 ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ 30 องศาเซลเซียส พบว่ามีลักษณะโครงสร้างของพื้นผิวอะลูมิเนียมที่กำลังเกิดความขรุขระที่ผิวหน้า

4.2.3 อะลูมิเนียมชิ้นที่ 3 ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ 45 องศาเซลเซียส พบว่ามีลักษณะโครงสร้างของพื้นผิวอะลูมิเนียมเกิดความขรุขระได้อย่างชัดเจน

ดังนั้นอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส สามารถเห็นโครงสร้างของอะลูมิเนียมหลังการผ่านกระบวนการอโนไดซ์ที่เวลา 30 นาที ดังรูป 4.1

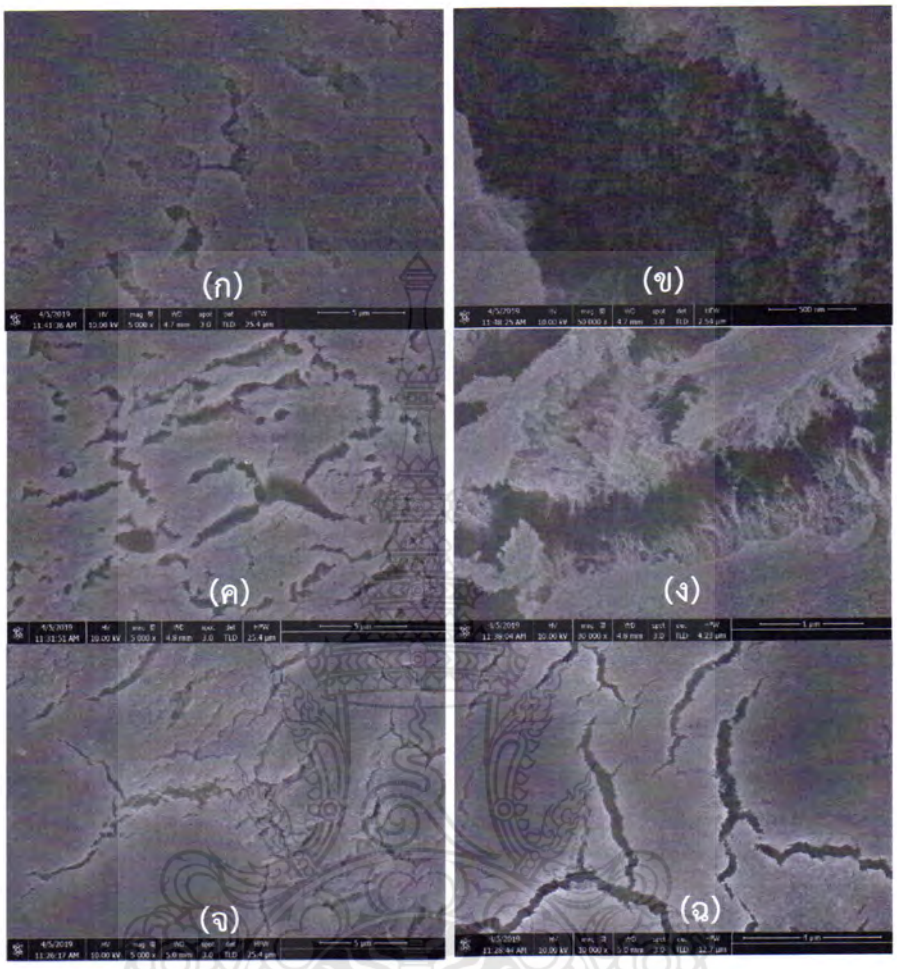


รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่อุณหภูมิ 25 30 และ 45 องศาเซลเซียส

(ก) ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ 25 องศาเซลเซียส

(ข) ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ 30 องศาเซลเซียส

(ค) ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ 45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 50,000 เมื่อผ่านการอโนไดซ์ที่เวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

(ก) อโนไดซ์ 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 5,000 เท่า (ข) อโนไดซ์ 1 ชั่วโมง กำลังขยาย 10,000 เท่า

(ค) อโนไดซ์ 2 ชั่วโมง กำลังขยาย 5,000 เท่า (ง) อโนไดซ์ 2 ชั่วโมง กำลังขยาย 10,000 เท่า

(จ) อโนไดซ์ 3 ชั่วโมง กำลังขยาย 5,000 เท่า (ฉ) อโนไดซ์ 3 ชั่วโมง กำลังขยาย 10,000 เท่า

จากตาราง 4.2 ผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) พบว่าอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ที่ 1 ชั่วโมง มีลักษณะรอยแตกเล็กน้อยซึ่งชั้นที่แตกนั้นเป็นชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำอโนไดซ์และภายในรอยแตกนั้นมีรูพรุนเกิดขึ้นที่บริเวณข้างในรอยแตกของชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ 2 ชั่วโมง จะมีลักษณะรอยแตกยาวข้างในชั้น

ฟิล์มมีรูพรุนแต่รูพรุนมีขนาดเล็กจนกลายเป็นเส้นใย 3 ชั่วโมง มีลักษณะรอยแตกยาวกว่าชั่วโมงที่2 และไม่มีรูพรุนเกิดขึ้น

4.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพอะลูมิเนียมด้วยวิธีการเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์(Nano-Titanium Dioxide)

ในการทดสอบประสิทธิภาพวัสดุอะลูมิเนียมที่เสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ โดยนำชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่านการชุบนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มาส่อง Energy Dispersive Spectromer (EDS) โดยสรุปผลได้ดังนี้

รูปที่ 4.3 แสดงการเกาะกลุ่มของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

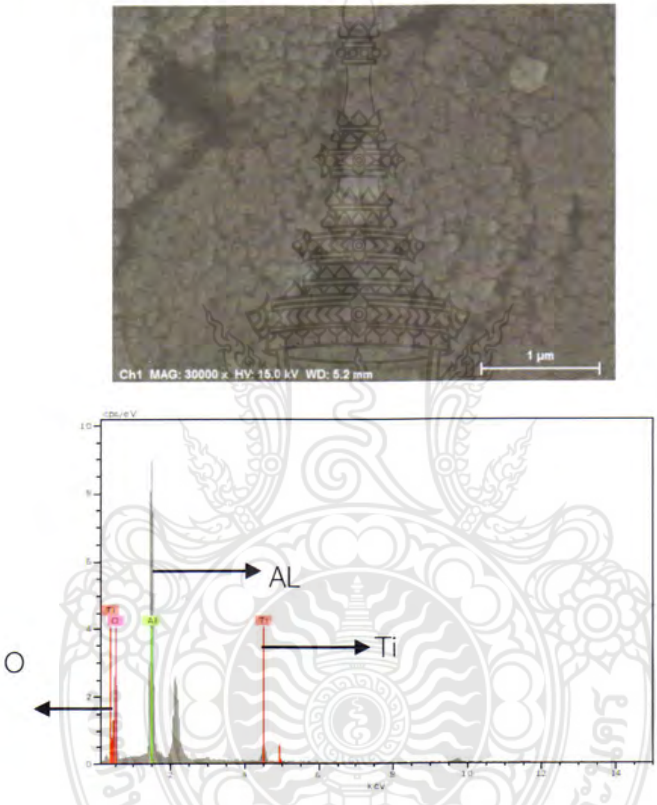
(ก) อโนไดซ์ 1 ชั่วโมงเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

(ข) อโนไดซ์ 1.30 ชั่วโมงเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

(ค) อโนไดซ์ 2 ชั่วโมงเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

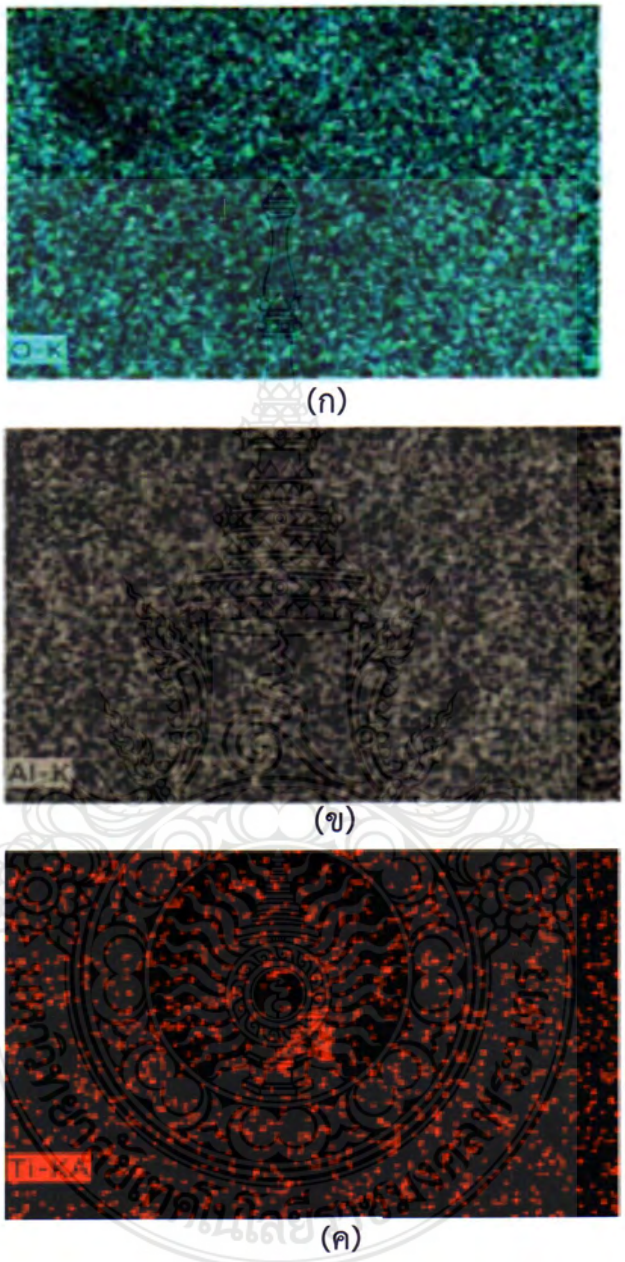
จากรูปที่ 4.3 อะลูมิเนียมที่อโนไดซ์ 1 ชั่วโมงเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 15 นาที พบว่านาโนไททาเนียมไดออกไซด์จับตัวเป็นกลุ่มกันโดยอยู่บนรอยแตกของชิ้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์มีลักษณะที่ขรุขระไม่เรียบส่วนอะลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ 1.30 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมงเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์จะมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบกว่าอย่างเห็นได้ชัด

4.3.1 การวัดหาค่าส่วนสารประกอบธาตุต่างๆ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงส่วนสารประกอบของธาตุต่างๆในชิ้นงานที่ผ่านการชุบไททาเนียมไดออกไซด์

จากกราฟจะเห็นได้ว่าหลังจากที่ทำการเคลือบนาโนไททาเนียมไดออกไซด์แล้วพบว่ามีส่วนสารประกอบของธาตุเพิ่มขึ้นมาคือ ออกซิเจน (O), อะลูมิเนียม(Al) และไททาเนียม (Ti)



รูปที่ 4.5 แสดงส่วนสารประกอบของธาตุต่างๆในชิ้นงานที่ผ่านการชุบไททาเนียมไดออกไซด์

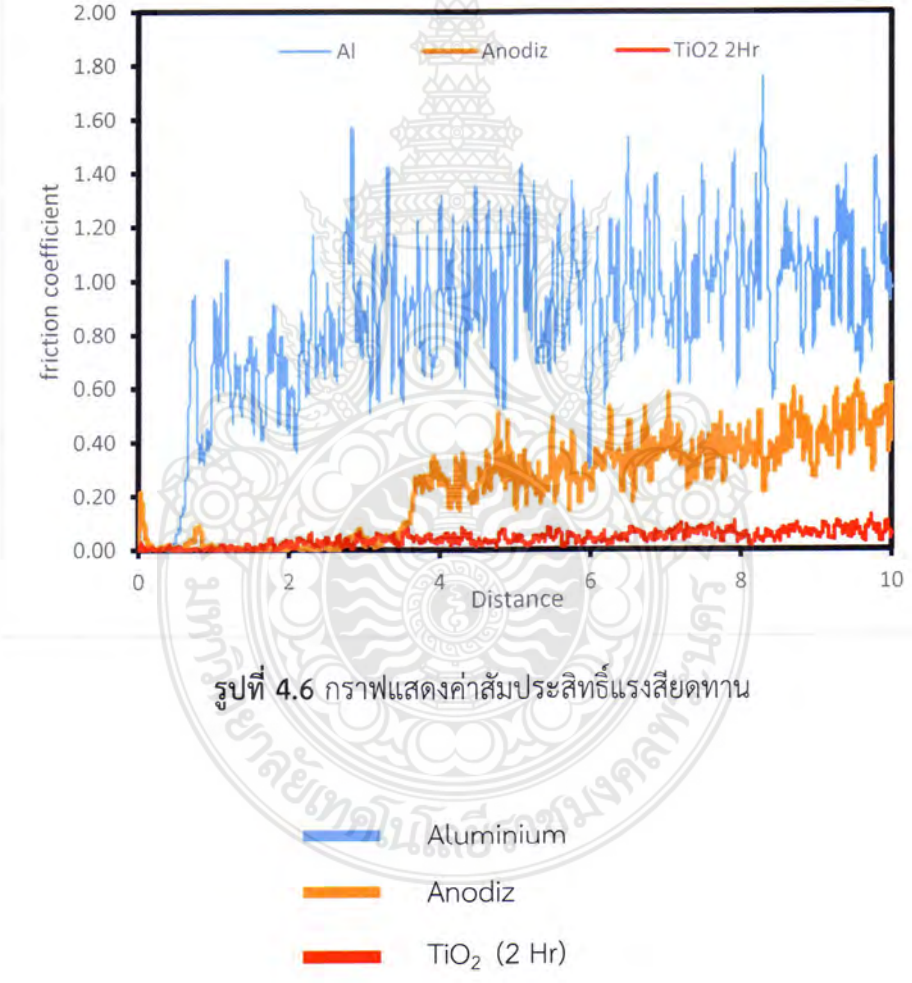
(ก) Oxygen

(ข) Aluminium

(ค) Titanium

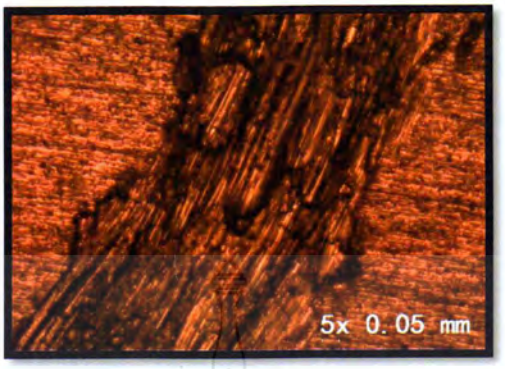
4.4 การตรวจสอบประสิทธิภาพอะลูมิเนียมด้วยวิธีการทดสอบการสึกหรอ (Ball-on-Disk)

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบการสึกหรอด้วยหลักการไถลของพื้นผิววัสดุที่ต้องการทดสอบสัมผัสกับพื้นผิววัดสุคู่สัมผัสที่ต้องการศึกษา ซึ่งเป็นหลักการของวิธีการทดสอบแบบ Block-on-Ring ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTYM.G77.โดยกำหนดความเร็มรอบของการทดสอบได้ที่ 31-32 รอบต่อวินาที น้ำหนักที่ใช้ถ่วงสำหรับการทดสอบ 100 กิโลกรัม โดยทดสอบอะลูมิเนียม 3 ชิ้น

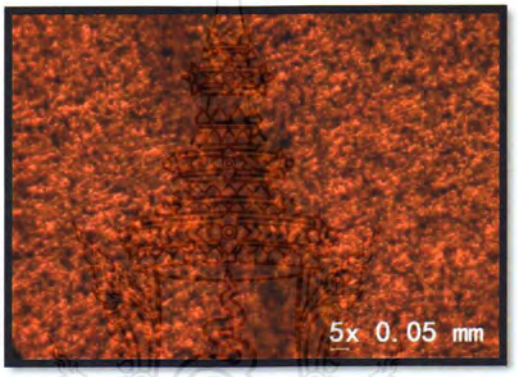


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงสียดทาน

พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่อโนไดซ์ 2 ชั่วโมงเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ให้ค่าความต้านทานการสึกหรอและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำที่สุด



(ก)



(ข)

(ค)

รูปที่ 4.7 แสดงรอยการสึกหรอของอะลูมิเนียม

(ก) อะลูมิเนียมธรรมดา

(ข) อะลูมิเนียมผ่านการอโนไดซ์

(ค) อะลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ 2 ชั่วโมงเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

จากรูปที่ 4.5 เป็นรูปจากการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง Optical microscope (OM) ส่องหารอยขูดขีดของอะลูมิเนียมหลังจากนำไปทดสอบการสึกหรอพบว่าอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ 2 ชั่วโมงเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์สามารถทนการสึกหรอได้ดีที่สุด

ตารางที่ 4.1 ปริมาณการสึกหรอ

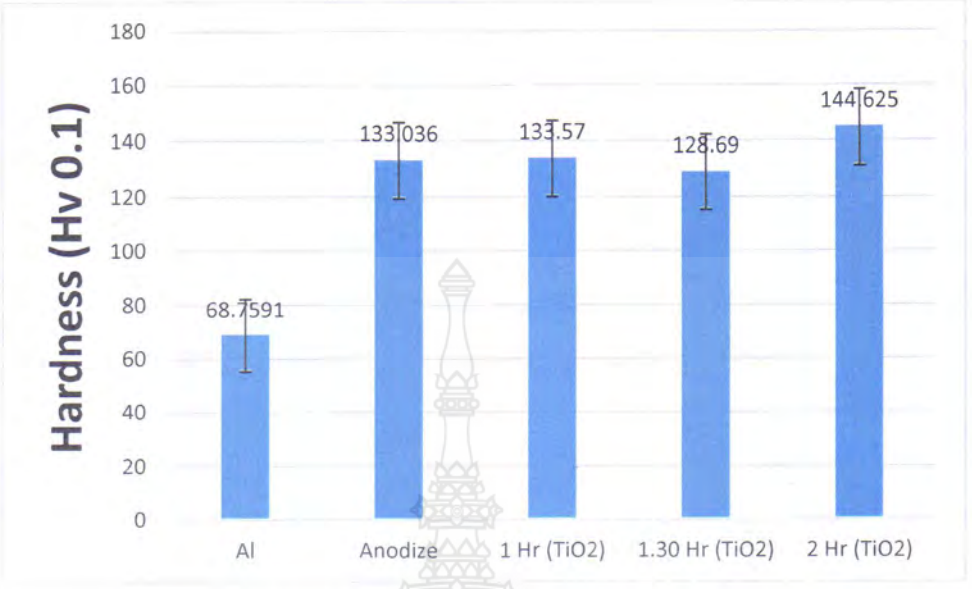
วัสดุ	ก่อนทดสอบกาสึกหรอ (กรัม)	หลังทดสอบการสึกหรอ (กรัม)	น้ำหนักที่หายไป (กรัม)
Al	6.7674	6.6862	0.0812
Anodize	6.7865	6.7275	0.0590
1 Hr เสริม TiO_2	6.7040	6.7036	0.0004
1.30 Hr เสริม TiO_2	6.6414	6.6409	0.0005
2 Hr เสริม TiO_2	6.5930	6.5927	0.0003

จากตารางที่ 4.3 เป็นตารางที่เอาชิ้นงานอะลูมิเนียมก่อนทดสอบการสึกหรอและหลังทดสอบการสึกหรอมาเปรียบเทียบหาน้ำหนักที่หายไป โดยชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ 2 ชั่วโมงเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นชิ้นงานที่สามารถทนการสึกหรอและการเสียดสีได้ดี

4.5 การตรวจสอบประสิทธิภาพอะลูมิเนียมด้วยวิธีการทดสอบความแข็ง (Hardness) แบบวิกเกอร์

วิธีทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ประกอบด้วยการกดวัสดุทดสอบด้วยหัวกดเพชรรูปปิระมิดฐาน สี่เหลี่ยม และมุม 136 องศาระหว่างผิวหน้าตรงกันข้าม ภายใต้ภาระ 1 – 100 กรัม แรงเป็นระยะเวลา 10 – 15 วินาที เส้นทแยงที่หลงเหลือบนผิวหน้าของวัสดุภายหลังจากนำภาระออก จะถูกวัดโดยกล้อง จุลทรรศน์ และคำนวณค่าเฉลี่ยของเส้นทแยง พื้นที่ผิวเอียงของรอยกดจะถูกคำนวณ ค่าความแข็งคำนวณ จากผลหารภาระต่อพื้นที่สี่เหลี่ยมของรอยกด [4]

ผลการประเมินการทดสอบอะลูมิเนียมด้วยวิธีการทดสอบความแข็ง (Hardness) ทางผู้วิจัยได้นำชิ้นงานทั้งหมด 5 ชิ้นไปทำการทดสอบเพื่อหาความแข็งของอะลูมิเนียมที่ปรับปรุงสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอะลูมิเนียมด้วยกระบวนการโนไดซ์เสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.8 กราฟแท่งแสดงค่าความแข็งของอะลูมิเนียม

การทดสอบความแข็งของอะลูมิเนียมโดยจะเห็นได้ว่าอะลูมิเนียมธรรมดาไม่สามารถทนแรงกดได้ดีเท่าอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ 2 ชั่วโมงเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ เนื่องจากนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มีแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อน และการผุกร่อน

บทที่5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

จากการดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของโครงงาน ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านการปรับปรุงสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอะลูมิเนียมด้วยกระบวนการอโนไดซ์โดยเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมพบว่าในช่วงอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สามารถทำการอโนไดซ์ได้ดีที่สุด และช่วงเวลาที่มองเห็นโครงสร้างของอะลูมิเนียมคือช่วงเวลาที่ 30 นาที นอกจากนี้ทางผู้วิจัยจึงได้เพิ่มเวลาทำการอโนไดซ์ขึ้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง

พบว่าในเวลา 1 ชั่วโมงสามารถเกิดรูพรุนที่บริเวณแผ่นฟิล์มอะลูมิเนียมไดออกไซด์ในการทดสอบการสึกหรอเวลา 2 ชั่วโมงสามารถต้านทานการสึกหรอได้ดีที่สุด ในกรณีเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์การทดสอบความแข็งของอะลูมิเนียมผลที่ได้คือชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ 2 ชั่วโมงเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มีความแข็งมากที่สุด เนื่องจากอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์มีรูพรุนเกิดขึ้นแล้วสามารถกักเก็บนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ได้ดีจึงเป็นตัวช่วยทนแรงกดทำให้ชิ้นงานสามารถทนแรงกดได้ดีเมื่อเทียบกับอะลูมิเนียมธรรมดา

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 อุณหภูมิที่ให้ไม่คงที่เนื่องจากใช้ Hotplate เป็นตัวให้อุณหภูมิ

5.2.2 กระแสไฟที่จ่ายไปยังชิ้นงานไม่พอเลยทำให้อะลูมิเนียมบางชิ้นไม่เกิดการอโนไดซ์

5.2.3 ความเข้มข้นของสารน้อยไปเลยต้องใช้เวลาอโนไดซ์นาน

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

5.3.1 สามารถเพิ่มความแข็งและทนต่อการสึกหรอของอะลูมิเนียมและยืดอายุการใช้งานได้

5.3.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้สร้างชิ้นส่วนประกอบที่มีคุณภาพเพื่อนำไปใช้งานในด้านอุตสาหกรรม

5.3.3 เข้าใจหลักการทำ Anodizing

5.3.4 เผยแพร่ผลงานทางการวิจัยด้านกระบวนการอโนไดซ์ (Anodizing)

5.4 สรุปผลที่ได้รับจากโครงงาน

การปรับปรุงสมบัติทางไทรโบโลยีของผิวอะลูมิเนียมด้วยกระบวนการอโนไดซ์โดยเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์โดยการทดสอบประสิทธิภาพของอะลูมิเนียมพบว่าในช่วงอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สามารถทำการอโนไดซ์ได้ดีที่สุด และช่วงเวลาที่มองเห็นโครงสร้างของอะลูมิเนียมคือช่วงเวลาที่ 30 นาที นอกจากนี้ทางผู้วิจัยจึงได้เพิ่มเวลาทำการอโนไดซ์ขึ้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง พบว่าในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงสามารถเกิดรูพรุนที่บริเวณแผ่นฟิล์มอะลูมิเนียมไดออกไซด์และในการทดสอบการสึกหรอเวลา 2 ชั่วโมงสามารถต้านทานการสึกหรอได้ดีที่สุดในกรณีเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์และการทดสอบความแข็งของอะลูมิเนียมผลที่ได้คือชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ 2 ชั่วโมงเสริมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มีความแข็งมากที่สุด

จากนั้นนำอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ผลที่ได้คือชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์เกิดแผ่นฟิล์มอะลูมิเนียมออกซ์บางๆเคลือบอยู่และอเกิดรูพรุนขึ้นตามวัตถุประสงค์ของโครงงานและได้ทดสอบการสึกหรอด้วย Ball-on-disk เพื่อหาความต้านทานการสึกหรอทำให้เห็นประสิทธิภาพการต้านทานการสึกหรออย่างมีประสิทธิภาพสามารถทนการสึกหรอได้ดี

5.5 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้พบว่ามีปัญหาในการทำวิจัย 2 ประการ ซึ่งหากมีการวิจัยในครั้งต่อไปควรจะได้มีการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ เพื่อให้งานสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ได้แก่

5.5.1 ในการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของสาร อาจมีปัจจัยอื่นๆอีกหลายปัจจัยที่ผู้วิจัยยังไม่ได้ทำการศึกษา ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อให้ครอบคลุมและนำไปสู่งานวิจัยที่ดีขึ้นต่อไป

5.5.2 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้นควรสัมภาษณ์หรือสอบถามอาจารย์หรือผู้ที่มีความรู้เกี่ยวกับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] การประยุกต์ใช้ของอลูมิเนียม. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://sites.google.com/site/aluminium9999/how-its-made-steel-forgings

[2] กรดซัลฟูริก/กรดกำมะถัน. (2016.). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://www.siamchemi.com/กรดซัลฟูริก/

[3] ความรู้เกี่ยวกับอลูมิเนียม อโนไดซ์. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.tcmetal2549.com/webboards/243234/ความรู้เกี่ยวกับอลูมิเนียม-อโนไดซ์-.html

[4] วีระชัย ลามอ. โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม ความแข็ง (Hardness) ,2007 , หน้า 4-5

[5] เคมีภัณฑ์ทั่วไป. (2016.). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.worldchemical.co.th/th/product-detail-169-ไททาเนียมไดออกไซด์.html

[6] เจาะลึกสูตรการชุบอโนไดซ์. (2014). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: www.rc-plus.net/board/index.php/topic,9883.0.html

[7] ไททาเนียมไดออกไซด์/TiO2 และประโยชน์ไททาเนียมไดออกไซด์. (ม.ป.ป.). [ออนไลน์] เข้าถึงได้ จาก: https://www.siamchemi.com/ไททาเนียมไดออกไซด์/

[8] ไททาเนียม ไดออกไซด์ ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: www.worldchemical.co.th/th/product-detail-169-C.html

[9] ธนิต อาภรณ์รัตน์. เทคนิคงานอะลูมิเนียม, พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สกายบุ๊กส์, 2006, หน้า 16-23.

[10] ประกิจ มารารัมย์. ม.ป.ป. การแบ่งประเภทของวัสดุ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://sites.google.com/site/sutinsorattaworn/wasdu-laea-kar-baeng-prapheth.

[11] ปริญญา ศรีสัตยกุล, 2010, เครื่องเคลือบสีอะลูมิเนียมโดยวิธีการอะโนไดซ์, โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพ, หน้า 1-48.

[12] บรรเลง ศรนิล และประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. ตารางโลหะ. กรุเทพมหานคร :สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 1979.

[13] พวงรัตน์ ขจิตวิชยานุกูล, จิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย, อภิชน วัชเรนทร์วงศ์, สุธาทิพย์ สินยัง, คู่มือความ ปลอดภัยในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุนาโน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2012.

[14] ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเริง และ ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี, การจำลองการทำงานบนเครื่อง Ball-on-Disk เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางไตรบอโลยีในงานขึ้นรูปโลหะแผ่น. พิมพ์ครั้งที่ 1. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. 2016. หน้า 96-103

[15] มณฑล ฉายอรุณ. วัสดุอุสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร :เจริญธรรม. 2004.

[16] สมชาย พวงเพิกศึก และชูศักดิ์ แช่มเกษม. อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 1975.

[17] สุรัตน์ วรรณศรี สุรเชษฐและคณะ, เครื่องทดสอบการสึกหรอ, 2015, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, หน้า 1-6.

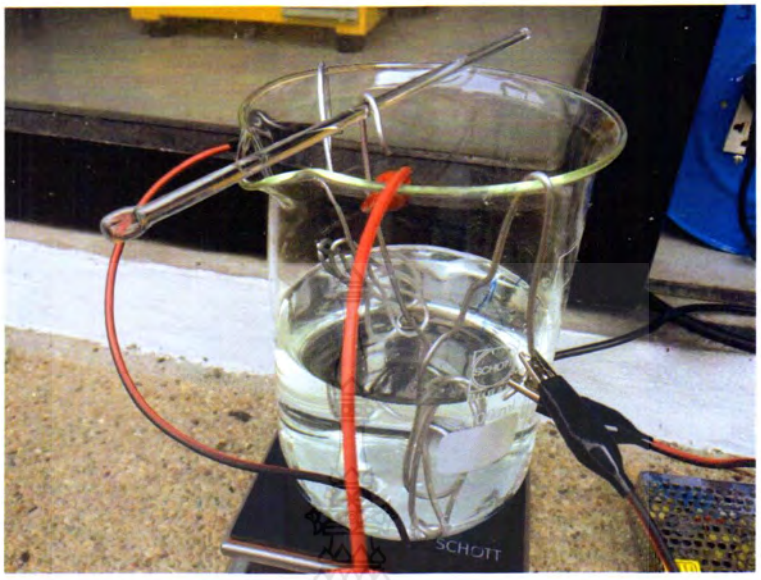
[18] คมสัน สูญยี่ขันธ์, ผลของการเติมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในเส้นใยพอลิเอทิลีนเทเลฟทาเลตรีไซเคิลเพื่อใช้ทำพรมต้านแบคทีเรีย, 2018, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, หน้า 28

[19] L. Chan,Zhangiang Liu,Qi Shen "Enhancing tribological performance by anodizing microtextured surfaces with nano-MoS_2 coatings prepared on aluminum-silicon alloys" Tribology International, vol 122, June 2018, pages 84-95.

[20] S.P. Rodrigues, C.F. Almeida Alves, A. Cavaleiro, S. Carvalho "Water and oil wettability of anodized 6016 alumunum alloy surface" Applied Surface Science, vol 422, 15 November 2017, Pages 430-442.

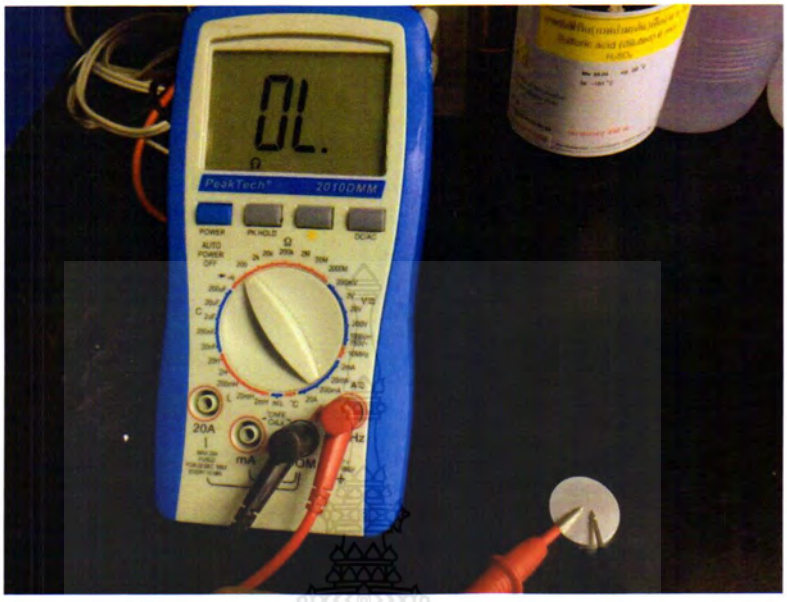
[21] V. Andreas "Industry Articles" Material Wear – Mechanical, Corrosive and Adhesive,15 January 2019

ภาคผนวก



รูปที่ 1 การอโนไดซ์อะลูมิเนียม

รูปที่ 2 อะลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร หน้า 5 มิลลิเมตร ก่อนอโนไดซ์



รูปที่ 3 อะลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร หน้า 5 มิลลิเมตร หลังอโนไดซ์

รูปที่ 4 การเติมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เวลา 15 นาที ด้วยวิธีการอัลต้าโซนิก

IMPROVEMENT OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ALUMINIUM SURFACE WITH ANODIZING PROCESS AND TITANIUM DIOXIDE SUPPLEMENT

Kritchawan Kiawchaisong 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

Aluminium was used in many industrial applications due to good properties such as ductile, high corrosion resistant and high electrical conductivity. Since wear resistance of aluminium was very poor so that it was a limitation of using this material in several conditions. In this research, aluminium was improved the wear resistance properties by using anodizing process and adding some titanium dioxide particles on the surface. The effect of anodizing process duration on the wear resistence property was studied. It was found that the process duration and amount of titanium dioxide play the important role on improvement of tribological properties of aluminium.

Keywords: Aluminium, Titanium dioxide, Anodizing, Wear resistance, Friction coefficient.

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

IMPROVEMENT OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ALUMINIUM SURFACE WITH ANODIZING PROCESS AND TITANIUM DIOXIDE SUPPLEMENT

Kritchawan Kiawchaisong 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

Aluminium was used in many industrial applications due to good properties such as ductile, high corrosion resistant and high electrical conductivity. Since wear resistance of aluminium was very poor so that it was a limitation of using this material in several conditions. In this research, aluminium was improved the wear resistance properties by using anodizing process and adding some titanium dioxide particles on the surface. The effect of duration of titanium dioxide supplement on the wear resistance property was studied. It was found that the process duration and amount of titanium dioxide play the important role on improvement of tribological properties of aluminium.

Keywords: Aluminium, Titanium dioxide, Anodizing, Wear resistance, Friction coefficient.

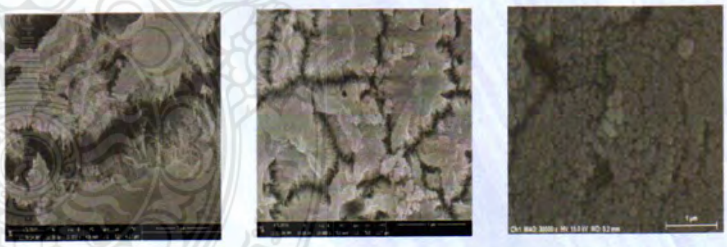
Experiments

Aluminium was anodized

As-anodized sample was added titanium dioxide (1, 1.5 and 2 hour)

Microstructure, specific wear rate and friction coefficient were studied with optical microscope, SEM and sliding wear test

Result and discussion



Anodizing process | Anodizing process and titanium dioxide supplement 1 hour | Anodizing process and titanium dioxide supplement 2 hour

Figure1 surface of sample was anodized and titanium dioxide supplement

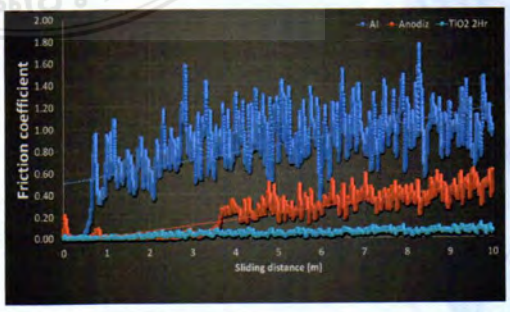


Figure3 Friction coefficient of various sample

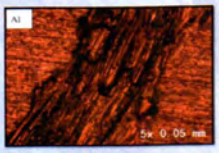


Figure1 wear track of Anodized sample

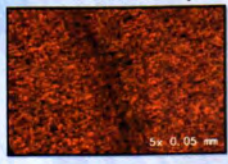


Figure1 wear track of Anodized and titanium dioxide supplement 1 hou sample

Conclusion

The friction coefficient and specific wear rate of aluminium was decreased with an anodizing process and titanium dioxide supplement

Acknowledgment

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

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวกริชวรรณ เกี้ยวชายสงค์

วัน/เดือน/ปีเกิด 12 มิถุนายน 2539

ที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 76 หมู่ 7 ตำบลโพนสูง อำเภอปทุมรัตต์ จังหวัดร้อยเอ็ด 45190

เบอร์โทรศัพท์ 096-4675759

ประวัติการศึกษา

- มัธยมศึกษาตอนต้น (ม.ต้น)

  โรงเรียนปทุมรัตต์พิทยาคม พ.ศ. 2554

- มัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.ปลาย)

  โรงเรียนมัธยมวัดดุสิตาราม พ.ศ. 2558

- ระดับปริญญาตรี (ป.ตรี)

  มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2562