

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเพิ่มการยืมติดระหว่างยางธรรมชาติและอะลูมิเนียมโดยใช้สารคู่ควม



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62435
วัน,เดือน,ปี 18 ส.ค. 2549

b. 1162703x

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ENHANCEMENT OF ADHESION BETWEEN NATURAL RUBBER
AND ALUMINUM USING SILANE COUPLING AGENT**



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2005

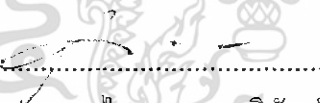
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

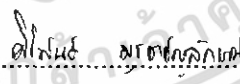
ปริญญานิพนธ์เรื่อง การเพิ่มการยึดติดระหว่างยางธรรมชาติและอะลูมิเนียมโดยใช้สารคู่ควบ
จัดทำโดย นางสาวชนรดา สุนทรวิงศ์ เลขประจำตัว 45010153
นางสาวอรทัย วงษ์ช่าง เลขประจำตัว 45010934
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อภิรักษ์ นัมภณิสรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


ประธานกรรมการ
(ดร.อภิรักษ์ นัมภณิสรณ์)


กรรมการ
(รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์)


กรรมการ
(อ.ศิริพงษ์ มุรธาชัยกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง การเพิ่มการยึดติดระหว่างยางธรรมชาติและอะลูมิเนียมโดยใช้สารคู่ควบ
โดย นางสาวชนรดา สุนทรวิงส์ รหัสนักศึกษา 45010153
นางสาวอรทัย วงษ์ช่าง รหัสนักศึกษา 45010934
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อภินันท์ นัมคณิศร
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาสภาพการยึดติดระหว่างยางพาราและอะลูมิเนียม เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติดกันระหว่างวัสดุทั้งสอง โดยวิธีการปรับสภาพผิวของโลหะ 2 แบบ ได้แก่ วิธีการเอชซีด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก วิธีการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก เปรียบเทียบกับผิวโลหะที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ ในส่วนของยางธรรมชาติทำการเติมสารคู่ควบ คือ bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT) หลังจากนั้น ทำการวิเคราะห์สภาพผิวของอะลูมิเนียม หลังการปรับสภาพและหลังจากทำการลอกแผ่นยางออกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราดและกล้องวีดีโอ และชิ้นงานที่ได้ จะถูกนำไปทดสอบ ความสามารถในการยึดติดด้วยวิธีการทดสอบ การลอกด้วยมุม 90 องศา ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่ค่าพลังงานในการลอกเท่ากัน ชิ้นงานที่ได้รับการปรับสภาพ โดยการอะโนไดเซชันด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก มีความแข็งแรงของการยึดเกาะกันสูงสุด รองลงมาคือ ชิ้นงานที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก ส่วนชิ้นงานที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ มีความแข็งแรงในการยึดเกาะกันน้อยที่สุด เนื่องจากชิ้นงานที่ผ่านการปรับสภาพโดยการอะโนไดเซชันจะเกิดชั้นของออกไซด์ขึ้นมาใหม่ ด้วยโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและพื้นที่ผิวของชั้นออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิของยางสามารถยึดติดกับชั้นออกไซด์ได้ดี เกิดจำนวนพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดสูง ความเร็วที่ใช้ในการลอกจึงน้อยลง สำหรับชิ้นงานที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกมีพื้นที่ผิวของออกไซด์น้อย เกิดจำนวนพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดลดลง ซึ่งทำให้ความเร็วในการลอกสูงเพิ่มขึ้นอีก ส่วนชิ้นงานที่ไม่ได้รับการปรับสภาพมีพื้นที่ผิวของชั้นออกไซด์น้อยที่สุด เกิดจำนวนพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดน้อยมาก ซึ่งทำให้ความเร็วในการลอกสูงกว่าแบบอื่น ในส่วนผลของการเติมสารคู่ควบในยางพบว่า พลังงานที่ใช้ในการแยกผิวสัมผัสที่อุณหภูมิห้องของ โลหะอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพด้วยวิธีการเอชซีด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกกับยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบ จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารคู่ควบและมีแนวโน้มคงที่เมื่อความเข้มข้นของสารคู่ควบเพิ่มถึงค่าหนึ่งเนื่องจากการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารคู่ควบ ทำให้การเกิดพันธะ ระหว่างยางกับสารคู่ควบและระหว่างสารคู่ควบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวอะลูมิเนียมต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้การยึดติดกันของยางธรรมชาติกับแผ่นอะลูมิเนียมมีความแข็งแรงขึ้น ความเร็วของการลอกจึงลดลง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารคู่ควบจนถึงปริมาณหนึ่ง สารคู่ควบที่เพิ่มเข้าไปจะมีผลต่อการยึดติดน้อยมาก เนื่องจากจำนวนพันธะต่อพื้นที่สูงกว่าจำนวนพันธะวิกฤต ทำให้มีจำนวนพันธะมากพอที่จะรับน้ำหนักที่เกิดจากการดึงลอกได้ และในส่วนของอุณหภูมิพบว่า ค่าพลังงานกระตุ้นของการยึดติดกันระหว่างยางธรรมชาติกับแผ่นอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการอะโนไดเซชันด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก (15.67 kcal/mol) สูงกว่าค่าพลังงานกระตุ้นของแผ่นอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก (11.67 kcal/mol) เนื่องจากลักษณะพื้นผิวของอะลูมิเนียมมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ทำให้สายโซ่ของยางสามารถยึดติดกับอะลูมิเนียมได้ดีกว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Enhancement of adhesion between Natural Rubber and Aluminum using silane coupling agent

By Miss Chonrada Soontreewong
 Miss Orathai Wongchang

Advisor Dr. Apinan Namkanisorn

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
 Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project presents a study of the adhesion between natural rubber and aluminum substrate. In order to improve the adhesion between these materials, aluminum substrate was pretreated by one of the following techniques: Chromic-sulfuric Acid Etching, Phosphoric Acid Anodizing and non-pretreated aluminum substrate. Chemical bonding between the aluminum and rubber was enhanced by addition of silane coupling agent, namely, bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TPSPT). The morphology of the oxide following these treatments was studied using a scanning electron microscope and a video camera. The adhesion strength of the joint was measured via a 90° peel test by peeling strip of rubber from the aluminum substrate using a constant load. The experimental result revealed that the joint prepared from phosphoric acid anodization yielded the highest fracture energy because of high surface area following the treatment. Peel velocity can be ranked based on the method of treatment in the order of lowest velocity to highest velocity: no treatment, chromic sulfuric acid etching and phosphoric acid anodizing, respectively. Mode of failure in all cases appeared to be an interfacial mode as indicated by clean fractured surface without remnant of rubber remained on the aluminum. The strength of the joint was proportional to silane concentration such that as the concentration was increased from 4%, 6%, 10%, 15% and 20% the fracture energy of the joint increased. The relationship between peel velocity and temperature was also investigated and we found that the peel velocity followed an Arrhenius' type behavior, from which the activation energy of fracture process could be obtained. For a joint treated by phosphoric acid anodization the activation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

energy was found to be 15.67 kcal/mol compared to 11.67 kcal/mol obtained for the case of chromic sulfuric acid etching. These two activation energies were comparable to the fracture energy reported for other polymer-metal systems and the reason for higher activation energy of the former treatment was attributed to high surface area of the aluminum which in turn provided larger number of polymer chain per area.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย คณะ
ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

รศ.ดร.ไพศาล นาคทิพัฒน์และ ดร.สุรัตน์ อาริรัตน์ สำหรับคำแนะนำเกี่ยวกับสารคู่ควบ
ดร.อภิรักษ์ นัมคณิศรณ สำหรับคำแนะนำ คำปรึกษาและแนวทางแก้ไขปรับปรุงโครงการ
อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการ
และเป็นพื้นฐานสำคัญในการนำไปใช้ในอนาคตต่อไป

บุคคลที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำงาน
ครอบครัวที่อยู่เบื้องหลังและเป็นพลังแห่งความสำเร็จ

ชนรดา สุนทรีวงศ์
อรทัย วงษ์ช่าง
20 มีนาคม 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	iii
กิตติกรรมประกาศ.....	v
สารบัญ.....	vi
สารบัญตาราง.....	ix
สารบัญรูป.....	x
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	xiii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน.....	5
2.1 พื้นผิวและการเตรียมพื้นผิว.....	5
2.1.1 ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงาน.....	5
2.1.2 การปรับสภาพพื้นผิว.....	8
2.2 แรงที่เกี่ยวข้องกับการยึดติด.....	11
2.2.1 แรงแอดฮีซีฟ.....	11
2.2.2 แรงโคฮีซีฟ.....	12
2.3 พันธะเคมี.....	12
2.3.1 พันธะโลหะ.....	13
2.3.2 พันธะโควาเลนต์.....	13
2.3.3 พันธะไอออนิก.....	13
2.3.4 พันธะทุติยภูมิ.....	14
2.4 การทดสอบด้วยวิธีมาตรฐาน.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ VI ไปถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ยางธรรมชาติ.....	15
2.6 อะลูมิเนียม.....	15
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	16
3.1 ทฤษฎีกลไกการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์กับโลหะ.....	16
3.1.1 ทฤษฎีการประสานทางกล.....	16
3.1.2 ทฤษฎีการเกิดพันธะเคมี.....	18
3.1.3 ทฤษฎีการแพร่.....	20
3.2 การปรับสภาพผิวของ โลหะ.....	21
3.2.1 การกัดด้วยสารละลายกรด.....	21
3.2.2 การอะโนไดเซชัน.....	22
3.3 การเพิ่มความสามารถในการยึดติดของยางธรรมชาติโดยใช้สารคู่ควบ.....	24
3.3.1 สารคู่ควบ.....	24
3.3.2 สารคู่ควบชนิด bis- (3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT).....	26
3.4 พลังงานในการสลายของพันธะ.....	27
3.5 พลังงานกระตุ้น.....	28
3.6 การทดสอบโดยการลอก.....	30
3.7 กลไกการแยกของผิวสัมผัส.....	32
บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลอง.....	34
4.1 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	34
4.1.1 วัสดุ.....	34
4.1.2 อุปกรณ์.....	34
4.1.3 สารเคมี.....	35
4.1.4 เครื่องมือ.....	35
4.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	36
4.3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	37
4.3.1 การเตรียมแผ่นอะลูมิเนียม ยางธรรมชาติและแม่พิมพ์.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดวีดิโอไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.2 การเตรียมสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกและสารละลายกรดฟอสฟอริก.....	37
4.3.3 การปรับสภาพผิวของแผ่นอะลูมิเนียม.....	38
4.3.4 การขึ้นรูปชิ้นงาน.....	38
4.3.5 การทดสอบสภาพการยึดติดและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	39
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	40
5.1 การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียม.....	40
5.2 ผลการจากการทดสอบ โดยวิธีดึงลอก.....	47
บทที่ 6 สรุปผลและวิเคราะห์.....	54
6.1 การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียม.....	54
6.2 ผลจากการทดสอบ โดยวิธีดึงลอก.....	55
6.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	56
บทที่ 7 ข้อเสนอแนะ.....	57
เอกสารอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก.....	61
ภาคผนวก ข.....	63
ภาคผนวก ค.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII แก่ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ประเภทของสารคู่ควบ.....	20
3.2 สมบัติของสารคู่ควบชนิด bis- (3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane.....	27
5.1 การทดสอบความเป็น hydrophobic และ hydrophilic ของผิวโลหะโดยเปรียบเทียบบนพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ปรับสภาพด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก ปรับสภาพผิวโดยการอะโนไดเซชันและไม่ได้ปรับสภาพผิว ก่อนและหลังการทดสอบ โดยการลอก.....	42
5.2 ลักษณะของน้ำบนพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ปรับสภาพด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก ก่อนและหลังการทดสอบ โดยการลอกกับยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบที่ความเข้มข้น 4%, 6%, 10%, 15% และ 20%.....	44



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพตัดขวางของชิ้นงาน โลหะ.....	5
2.2 พื้นผิวของโลหะที่ปกคลุมด้วยชั้นของ ไฮดรอกไซด์ ออกไซด์.....	6
2.3 ภาพตัดขวางของชิ้นงานพอลิเมอร์.....	8
2.4 ผลงานที่ใช้ในการยึดเกาะและการแยกออกที่ผิวสัมผัสระหว่างสารยึดติดกับผิวโลหะ สับสเตรท.....	11
2.5 โมเลกุลของยางธรรมชาติ (พอลิไอโซพรีน).....	15
3.1 ทฤษฎีการประสานทางกล.....	16
3.2 รูปร่างรูพรุนของออกไซด์ที่มีผลต่อการซึมผ่านของพอลิเมอร์.....	17
3.3 ภาพถ่ายสภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมก่อนที่จะถูกกัดกร่อนด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์.....	17
3.4 ภาพถ่ายสภาพพื้นผิวของพอลิไสตรีน หลังจากแผ่นอะลูมิเนียมถูกกัดกร่อนด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์จนหมด.....	17
3.5 ทฤษฎีการเกิดพันธะเคมี.....	18
3.6 ทฤษฎีการแพร่.....	20
3.7 ชั้นของออกไซด์ที่ได้จากการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก หรือสารละลายกรดไดโครเมตซัลฟูริก.....	21
3.8 ชั้นของออกไซด์ที่ได้จากการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก ทำปฏิกิริยาอะโนไดเซชันกับแผ่นอะลูมิเนียม.....	23
3.9 ชั้นของออกไซด์ที่ได้จากการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก ทำปฏิกิริยาอะโนไดเซชันกับแผ่นอะลูมิเนียม.....	23
3.10 ปฏิกิริยาของ R-group กับพอลิเมอร์ และ OH-group กับแก้ว (พื้นผิวของของแข็ง).....	24
3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างผลของสารคู่ควบที่เตรียมกับ Dry Material และ Wet Material กับความแข็งแรงต่อการบิดงอ.....	25
3.12 (ก) สูตรทางเคมีของ bis- (3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT) (ข) ปฏิกิริยาของ TESPT กับ OH group บนผิวของอะลูมิเนียม (ค) การเกิดพันธะทางเคมีของ TESPT กับ OH group บนผิวของอะลูมิเนียม.....	26
3.13 การเกิดปฏิกิริยาของ ethoxy group กับ OH group บนผิวของอะลูมิเนียม.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 ค่าพลังงานกับอัตราการเกิดการแตกหักของพันธะ.....	28
3.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตรากับอุณหภูมิ.....	30
3.16 การทดสอบสภาพการยึดติดด้วยการลอกโดย	
(ก) The Floating Roller Peel Test	
(ข) Climbing-drum Peel Test	
(ค) T-peel Test.....	31
3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการแยก กับความเร็วในการแตกสลายพันธะ.....	32
3.18 การจึกขาดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์และ โลหะ.....	33
3.19 การจึกขาดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นในเนื้อของพอลิเมอร์.....	33
4.1 ชุดเครื่องมือสำหรับการทดสอบสภาพการยึดติดด้วยการลอก (Peel Test).....	39
5.1 ภาพถ่ายชิ้นงาน สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมที่ปรับสภาพผิวและไม่ได้ปรับสภาพผิว	
(ก) ไม่ได้ปรับสภาพผิว	
(ข) ปรับสภาพผิวด้วยการกัดด้วยสารละลายกรด โครมิกซัลฟูริก	
(ค) ปรับสภาพผิว โดยการอะ โน ไคเซชันด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก.....	41
5.2 การเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมเนื้ยมก่อนและหลังจากการทดสอบ	
สภาพการยึดติดกับยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบ โดยการลอก ซึ่งปรับสภาพผิวโดย	
(ก) ชิ้นงานที่ไม่ได้ปรับสภาพ	
(ข) ปรับสภาพด้วยสารละลายโครมิกซัลฟูริก	
(ค) ปรับสภาพโดยวิธีอะ โน ไคเซชัน.....	43
5.3 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมของแผ่นอะลูมิเนียมที่ปรับสภาพโดยสารละลาย	
โครมิกซัลฟูริก หลังจากการทดสอบสภาพการยึดติดกับยางธรรมชาติโดยวิธีการลอก	
ซึ่งเติมสารคู่ควบความเข้มข้น (ก) 4% (ข) 6% (ค) 10 % (ง) 15 % และ (จ) 20%.....	45
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและค่าพลังงานที่ใช้ในการลอกยางธรรมชาติ	
ที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบกับพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยสารละลายกรด	
โครมิกซัลฟูริก ปรับสภาพผิว โดยการอะ โน ไคเซชันและไม่ได้ปรับสภาพผิว	
โดยวิธีการลอกที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและค่าพลังงานที่ใช้ในการลอกยางธรรมชาติที่เติม สารคู่ควบชนิด bis- (3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT) ที่ความเข้มข้น 4%, 6%, 10%, 15% และ 20% กับพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิว โดยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก โดยวิธีการลอกที่อุณหภูมิ 28 และ 60 องศาเซลเซียส.....	49
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารคู่ควบที่เติมในยางธรรมชาติกับ จำนวนพันธะของสารคู่ควบกับยางธรรมชาติและโลหะอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับ สภาพผิวโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก.....	50
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและอุณหภูมิที่ใช้ในการลอก ของการลอกยางธรรมชาติ ที่เติมสารคู่ควบความเข้มข้น 10% กับพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิว โดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกและโดยการอะโนไดเซชันด้วยสาร ละลายกรดฟอสฟอริก โดยวิธีการลอกจากน้ำหนัก 55.144 กรัม (พลังงานในการลอก $1.73 \frac{J}{m^2}$) ที่อุณหภูมิ 39, 49 และ 59 องศาเซลเซียส	52
ก.1 อัตราเร็วในการลอกโดยใช้น้ำหนัก 42.01 กรัม.....	61
ก.2 อัตราเร็วในการลอกโดยใช้น้ำหนัก 55.55 กรัม.....	61
ก.3 อัตราเร็วในการลอกโดยใช้น้ำหนัก 72.79 กรัม.....	62
ก.4 อัตราเร็วในการลอกโดยใช้น้ำหนัก 97.48 กรัม.....	62
ข.1 เครื่องมืออะโนไดเซชัน.....	63
ค.1 ชุดเครื่องมือสำหรับการทดสอบสภาพการยึดติดด้วยการลอก.....	64
ค.2 (ก) (ข) ชิ้นงานขณะทำการลอก.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

- W_d = พลังงานในการยึดติดกันของสารยึดติดกับโลหะกับสับสเตรท (จูล)
- W_c = พลังงานภายในเนื้อของสารยึดติดกับโลหะกับสับสเตรท (จูล)
- γ = พลังงานพื้นผิวอิสระของสารยึดติดกับโลหะกับสับสเตรท (จูล)
- γ_1 = พลังงานพื้นผิวอิสระของสารยึดติด (จูล)
- γ_2 = พลังงานพื้นผิวอิสระของโลหะกับสับสเตรท (จูล)
- γ_{12} = พลังงานพื้นผิวสัมผัสอิสระของสารยึดติดกับโลหะกับสับสเตรท (จูล)
- D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิเมอร์ (นาโนเมตร)
- S = ความเค้นที่ผิวสัมผัส (เมกะปาสคาล)
- G = พลังงานที่ใช้ในการแยกผิวสัมผัส (จูลต่อตารางเมตร)
- G_o = ค่าพลังงานการแตกหักของพันธะ (จูลต่อตารางเมตร)
- \bar{L} = ระยะทางเฉลี่ยระหว่างพันธะเชื่อมโยง (นาโนเมตร)
- N_b = จำนวนปฏิกิริยาถูกโซ่ต่อปริมาตร
- n_b = ค่าเฉลี่ยของจำนวนพันธะในปฏิกิริยาถูกโซ่หลักระหว่างพันธะเชื่อมโยง
- U_b = จำนวนพันธะที่แยกออก
- E_a = พลังงานกระตุ้น (J/m^2)
- K = ค่าคงที่อัตรา
- R = ค่าคงที่ของแก๊ส
- T = อุณหภูมิ (เคลวิน)
- A = แฟกเตอร์ความถี่ของการชนกันของโมเลกุล
- P = แรงที่ใช้ในการลอก (นิวตัน)
- b = ความกว้างของชิ้นงานที่ทำการลอก (มิลลิเมตร)
- θ = มุมของการลอก (องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่ทำรายได้เข้าประเทศปีละกว่าแสนล้านบาท ผลผลิตเฉลี่ย 2 ล้านตันต่อปี มีเกษตรกรผู้ปลูกประมาณ 6 ล้านคนหรือคิดเป็นร้อยละ 10 ของประชากรทั้งหมดในประเทศ โดย 90 เปอร์เซ็นต์ของยางพาราที่ผลิตได้จะส่งขายต่างประเทศ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแผ่นยางพาราดิบซึ่งมีมูลค่าการส่งออกน้อย ทำให้ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ปลูกโดยตรงในยามที่ราคาของแผ่นยางพาราดิบตกต่ำ

การพัฒนาอุตสาหกรรมการแปรรูปยางพาราเพื่อการส่งออกเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าของยางพาราซึ่งแนวทางที่จะช่วยได้คือการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางพาราและการส่งเสริมให้มีการใช้ยางพาราร่วมกับวัสดุอื่นๆ มากขึ้นในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ ก่อสร้างงานทั่วไป เป็นต้น หากเราสามารถนำยางพาราไปใช้แทนหรือใช้ร่วมกับวัสดุบางประเภทได้แล้ว จะเป็นการเปิดโอกาสให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางพาราใหม่ๆ ในภาคอุตสาหกรรมเหล่านี้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถเพิ่มมูลค่าของยางพาราและสามารถลดข้อจำกัดในการนำยางพาราไปใช้ประโยชน์ได้ ปัญหาอย่างหนึ่งที่เป็นอุปสรรคสำคัญในการใช้ยางธรรมชาติร่วมกับวัสดุอื่นๆ โดยเฉพาะวัสดุจำพวกโลหะ คือ การที่ยางธรรมชาติ เช่น ยางที่นำไปใช้เป็นกาวประสานกับโลหะ ไม่สามารถยึดติดกับผิวโลหะได้ดีนักและยังในสภาพการใช้งานที่มีความชื้นหรืออุณหภูมิสูง การยึดติดกันของวัสดุทั้งสองจะยิ่งมีประสิทธิภาพต่ำลง

โดยปกติแล้วยางธรรมชาติจะยึดติดกับพื้นผิวของโลหะได้ไม่ดีนัก ทั้งนี้เนื่องจากยางธรรมชาติและพื้นผิวของโลหะไม่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาต่อกัน หากปราศจากการใช้วิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมีเข้าไปช่วยให้วัสดุทั้งสองยึดติดกัน พันธะทางเคมีเกิดขึ้นระหว่างยางธรรมชาติและพื้นผิวโลหะจึงเป็นเพียงพันธะทุติยภูมิประเภทแรงวานเดอร์วาลส์เท่านั้น ผลที่เกิดขึ้นคือ เราสามารถลอกยางธรรมชาติออกจากผิวโลหะได้โดยง่าย สิ่งนี้เป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งในการนำยางพาราไปใช้ร่วมกับวัสดุจำพวกโลหะ

งานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาสภาพการยึดติดระหว่างยางพาราซึ่งเป็นยางธรรมชาติชนิดหนึ่งกับโลหะอะลูมิเนียมเพื่อเพิ่มโอกาสในการใช้ยางพาราร่วมกับโลหะ ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อหาวิธีเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดกันของพื้นผิวทั้งสองด้วยวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี โดยวิธีแรกจะอาศัยการปรับสภาพพื้นผิวของโลหะอะลูมิเนียมด้วยการใช้เทคนิคมาตรฐานที่ใช้อยู่ใน

อุตสาหกรรม ได้แก่ การกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก (Chromic-Sulfuric Acid Etching)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Anodizing) ซึ่งการปรับสภาพผิวของอะลูมิเนียมด้วยวิธีการเหล่านี้ มีจุดมุ่งหมายในการทำความสะอาดพื้นผิวและสร้างชั้นของออกไซด์ที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจง ซึ่งเหมาะสำหรับการยึดติดกับยางธรรมชาติ ส่วนวิธีทางเคมีเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของยางธรรมชาติเพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อม โยงกับพื้นผิวอะลูมิเนียม โดยการใช้นิวทริเอเจน (Silane Coupling Agent) ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันที่มีสมบัติเฉพาะเข้ากับสายโซ่หลักของยางพารา โดยที่ด้านหนึ่งของหมู่ฟังก์ชันนี้สามารถยึดติดกับโมเลกุลของยางธรรมชาติได้ดี ในขณะที่อีกด้านหนึ่งสามารถยึดติดกับพื้นผิวโลหะ ผลคือเราสามารถเพิ่มความแข็งแรงของผิวสัมผัสระหว่างยางธรรมชาติกับโลหะอะลูมิเนียม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษากลไกการยึดติดระหว่างยางธรรมชาติกับโลหะ
2. เพื่อศึกษาผลของลักษณะพื้นผิวที่มีต่อการยึดติดกันของยางธรรมชาติกับโลหะ
3. เพื่อศึกษาผลของการเติมสารนิวทริเอเจน ในยางธรรมชาติที่มีต่อการยึดติดกันของยางธรรมชาติกับโลหะอะลูมิเนียม
4. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการยึดติดกันของยางธรรมชาติกับโลหะอะลูมิเนียม
5. เพื่อเปรียบเทียบการปรับสภาพทางกายภาพและทางเคมีที่มีผลต่อการยึดติดกันของยางธรรมชาติกับโลหะอะลูมิเนียม
6. เพื่อเพิ่มโอกาสในการใช้ยางธรรมชาติร่วมกับโลหะอะลูมิเนียม ซึ่งจะส่งผลให้ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติลดลงและเพื่อส่งเสริมความต้องการในการใช้ยางธรรมชาติของภาคอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาโครงสร้าง คุณสมบัติ และกลไกในการยึดติดกันของยางธรรมชาติกับโลหะ
- 1.3.2 ศึกษาวิธีการปรับสภาพผิวของแผ่นอะลูมิเนียมโดยวิธีการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิก ซัลฟูริก และวิธีการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก
- 1.3.3 ศึกษาวิธีการเพิ่มการยึดติดของยางธรรมชาติกับอะลูมิเนียมโดยการเติมสารนิวทริเอเจน คือ bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT)
- 1.3.4 ศึกษาผลของอุณหภูมิมิมีผลต่อการยึดติดของยางธรรมชาติกับอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.5 ถ่ายภาพตัวอย่างของแผ่นอะลูมิเนียมก่อนและหลังการปรับสภาพผิวด้วยวิธีทางกายภาพ รวมทั้งที่ได้ลอกแผ่นยางที่ได้รับการปรับสภาพและไม่ได้รับการปรับสภาพทางเคมี ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) และเปรียบเทียบภาพที่ได้จากการปรับสภาพทางกายภาพ ทางเคมีและที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ

1.3.6 ทดสอบความสามารถในการยึดติดของชิ้นงานด้วยวิธีดึงลอกที่ผิว (Peel Test) ในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการปรับสภาพทางกายภาพ ทางเคมีและที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ และเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีต่อการยึดติดของผิวสัมผัส

1.3.7 คำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการแยกผิวสัมผัส (Fracture Energy; G) จากการปรับสภาพทางกายภาพ ทางเคมีและที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ

1.3.8 สรุปและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองและพัฒนาการยึดติดระหว่างยางธรรมชาติกับโลหะอะลูมิเนียม

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

งานวิจัยชิ้นนี้มีขั้นตอนในการดำเนินงาน 4 ส่วนหลักคือ

1.4.1 การศึกษาโครงสร้าง คุณสมบัติ และ กลไกในการยึดติดกันระหว่างยางพารา กับ อะลูมิเนียม

1.4.2 การทดลองเพิ่มความสามารถในการยึดติด โดยการปรับสภาพผิวสัมผัสของอะลูมิเนียม เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างอะลูมิเนียมกับยางพารา โดยใช้วิธีการปรับสภาพผิว 2 วิธี คือ

- 1) การกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก
- 2) การอะ โนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก

1.4.3 การทดลองเพิ่มความสามารถในการยึดติด โดยการเติมสารก่อกวน เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างอะลูมิเนียมกับยางพารา

1.4.4 การทดสอบชิ้นงาน โดยแบ่งออกเป็น 2 แนวทางคือ

- 1) การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวก่อนและหลังการปรับสภาพ รวมทั้งหลังจากที่ได้ลอกแผ่นยางออก ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
- 2) การทดสอบประสิทธิภาพ โดยการทดสอบคุณสมบัติทางกลด้วยการลอกที่ผิว และใช้กล้องวิดีโอจับภาพเพื่อหาอัตราเร็วในการลอกและนำไปใช้ในการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการแยกผิวสัมผัส เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิและผลที่ได้จากการเพิ่มความสามารถในการยึดติดด้วยวิธีการแบบต่างๆ เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการนำยางพาราไปใช้ร่วมกับอะลูมิเนียมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่จะได้รับ

- 1.5.1 เข้าใจกลไกในการยึดติด ระหว่างยางพารากับอะลูมิเนียม
- 1.5.2 สามารถทำให้ยางพารากับอะลูมิเนียมยึดติดกันได้อย่างมีประสิทธิภาพดีขึ้น
- 1.5.3 พัฒนองค์ความรู้ที่ได้ เพื่อนำยางพาราไปใช้ร่วมกับอะลูมิเนียม ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้ อย่างหลากหลาย สนับสนุนการเจริญเติบโตในภาคอุตสาหกรรมของไทยในขณะนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน

2.1 พื้นผิวและการเตรียมพื้นผิว

เนื่องจากการยึดติดกันจะขึ้นอยู่กับผิวสัมผัสของวัสดุที่ใช้ ดังนั้นสภาพพื้นผิวของสารยึดติดจะมีผลต่อการสร้างพันธะ และการยึดติดของชิ้นงานอย่างมาก โดยทั่วไปแล้วมีวิธีการปรับสภาพผิวอยู่ 4 วิธีที่นิยมใช้ได้แก่ วิธีการทำความสะอาด (Cleanliness) การทำให้เกิดความต่อเนื่อง (Continuity) การทำให้เกิดเสถียรภาพ (Stability) การทำให้เปียก (Wetting) โดยมีจุดประสงค์เพื่อการกำจัดเอาสิ่งสกปรก และสารที่มาสร้างพันธะแบบอ่อนๆออกจากพื้นผิว เช่น คราบน้ำมัน กราบสกปรก และสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อน เพื่อให้เกิดพื้นผิวที่สามารถจะเกิดการยึดติดกับวัสดุอื่นได้ [1]

2.1.1 ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงาน (Nature of Substrate Surface)

คำว่า “พื้นผิว” หมายถึง ทั้งพื้นที่ระหว่างชิ้นงานส่วนที่ติดกัน และส่วนของความลึกที่เกิดปฏิกิริยาของวัสดุที่ใช้ในการยึดติด เช่น สำหรับแผ่นอะลูมิเนียมที่ผ่านการปรับสภาพด้วย วิธีการอะโนไดเซชันสารยึดติดที่มีความหนืดต่ำสามารถผ่านลึกลงไปได้มากถึงหลายร้อยนาโนเมตรหรือมากกว่านั้น สำหรับพื้นผิวที่มีความเป็นรูพรุนมาก เช่น ไม้ พื้นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้จะลึกลงไปหลายมิลลิเมตร เป็นต้น

2.1.1.1 พื้นผิวของโลหะ (Metallic Surface) เช่น เหล็ก หรือ อะลูมิเนียมผสม อาจประกอบด้วยพื้นที่หลายๆส่วนเป็นชั้นๆซึ่งไม่อาจกำหนดขอบเขตของแต่ละชั้น ได้อย่างแน่ชัด ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางของชิ้นงานโลหะ

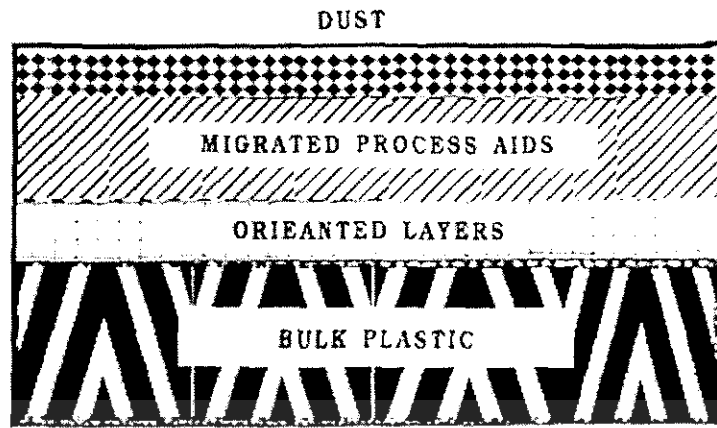
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อต้องปฏิบัติการเกี่ยวกับการยึดติดของโลหะ สิ่งที่ต้องตระหนักอยู่เสมอคือธรรมชาติของพื้นผิวจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดแม้ในโลหะชนิดเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของพื้นผิวจะขึ้นอยู่กับกระบวนการขึ้นรูป และความร้อนที่ได้รับของโลหะนั้น รวมไปถึงถึงกระบวนการต่อเนื่อง เช่น การตัดแต่ง (Machining) การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ (Forming) วิธีการในการเก็บรักษา และการจัดการกับโลหะนั้น นอกจากนี้ลักษณะของพื้นผิวยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ และสภาวะในการเตรียมพื้นผิวก่อนการเกิดพันธะ เช่น ในอะลูมิเนียมก่อนที่จะเกิดพันธะ สารเจือปนในน้ำล้าง (Rinsing Water) หรือในสารละลายที่ใช้เอชซี (Etching) และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการปรับสภาพจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของอะลูมิเนียมอย่างมาก

วิธีการและระดับความเข้มข้นในการปรับสภาพที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งบางทีอาจต้องการให้ชิ้นงานนั้นสัมผัสกับสารยึดติดโดยตรง โดยปราศจากชั้นของออกไซด์ สารปนเปื้อนหรือฟิล์มที่มาเคลือบจากปฏิกิริยาอะโนไลเซชัน แต่สำหรับวัสดุบางชนิดเช่น อะลูมิเนียมจะมีชั้นออกไซด์ที่บาง หนาแน่น และมีความแข็งแรงซึ่งจะช่วยป้องกันอะลูมิเนียมจากการถูกกัดกร่อน และการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการใช้งาน ทองแดงจะมีพันธะออกไซด์ที่ไม่แข็งแรง และควรกำจัดออกก่อนการเตรียมพื้นผิวสำหรับเกิดพันธะเป็นต้น

2.1.1.2 พื้นผิวของพอลิเมอร์ (Polymeric Surface) สารอินทรีย์จำพวกพลาสติก หรือ อีลาสโตเมอร์ มักมีความซับซ้อนมากกว่าโลหะ แต่มีพลังงานที่ผิว (Surface Energy) และความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ต่ำกว่า และที่สำคัญคือ ที่พื้นผิวของพอลิเมอร์มีความว่องไว และเปลี่ยนแปลงง่ายกว่าโลหะ ดังนั้นจึงมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเปลี่ยนแปลงกับพื้นผิวของพอลิเมอร์ได้มากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.3 พื้นผิวของพอลิเมอร์จะมีความเป็นขรุขระ ง่ายต่อการเกิดพันธะกับอนุภาคที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน พลาสติกไซเซอ์ สารเติมแต่งที่ใช้ในกระบวนการ (Processing Aid) น้ำ และ สารอินทรีย์ที่ปนเปื้อน ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถพบได้ที่ผิวของพอลิเมอร์ และจะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของพันธะ แต่จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของเนื้อสารน้อยมาก องค์ประกอบภายในเนื้อ (Bulk) ของพอลิเมอร์ จะสามารถเคลื่อนออกมาอยู่บริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์นั้นได้โดยเราสามารถพบ สารพอลิเมอร์โมเลกุลต่ำ โอลิโกเมอร์ พลาสติกไซเซอ์ ผงสี (Pigments) สารป้องกันการหดตัว (Shrink Control Agent) และ สารอื่นๆที่ใช้ในกระบวนการ ได้พอๆกับสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับไว้บนพื้นผิว ยิ่งไปกว่านั้นบริเวณผิวหน้าของพลาสติกจะเป็นบริเวณที่มีความว่องไวมาก (Dynamic Region) ตลอดจนสามารถเกิดสมดุลใหม่เป็นสมดุลภายในเนื้อสารกับสมดุลภายนอกกับสิ่งแวดล้อม เช่น ในพลาสติกอสัญฐาน (Amorphous Plastic) ชนิดที่มีความยืดหยุ่นสูง ที่อุณหภูมิสูงกว่าสถานะกลาส ทรานซิชัน (Glass Transition) องค์ประกอบที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะสามารถแพร่จากภายในเนื้อสารออกสู่พื้นผิว ในขณะที่มีธาตุบางอย่างในสิ่งแวดล้อมแพร่เข้าสู่บริเวณที่เกิดพันธะยึดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ภาพตัดขวางของชั้นงานพอลิเมอร์

ผลจากการเกิดปฏิกิริยาแบบไดนามิก ทำให้เราไม่สามารถมั่นใจได้ว่าพันธะที่เกิดขึ้นจริงเป็นไปตามที่เราคาดการณ์ไว้หรือไม่เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่พื้นผิวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากเกิดพันธะขึ้นแล้ว และหลังจากการใช้งาน ดังนั้นพันธะอ่อนๆที่ไม่ได้เกิดขึ้นระหว่างการสร้างพันธะก็จะเกิดขึ้นภายหลังการใช้งานไปแล้ว ซึ่งจะก่อให้เกิดความไม่แข็งแรงของพันธะระหว่างพื้นผิว ถึงแม้ว่าเหตุการณ์นี้จะไม่ได้เกิดขึ้นทุกครั้งก็ตาม แต่ในระหว่างการออกแบบกระบวนการ ก็ควรมีการทดสอบความเป็นไปได้ว่าจะเกิดพันธะอ่อนๆที่ไม่ต้องการหรือไม่ โดยสร้างเป็นแบบจำลองสำหรับการทดสอบ

2.1.2 การปรับสภาพพื้นผิว (Surface Treatment)

การปรับสภาพพื้นผิวสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ การปรับสภาพแบบพาสซีฟ (Passive Surface Preparation Method) และการปรับสภาพแบบแอคทีฟ (Active Surface Treatments)

2.1.2.1 การปรับสภาพแบบพาสซีฟ การปรับสภาพด้วยวิธีนี้เป็นกระบวนการเตรียมพื้นผิวโดยไม่ได้เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี แต่จะเป็นการทำความสะอาดพื้นผิว และกำจัดชั้นของสารปนเปื้อนที่มาสร้างพันธะแบบอ่อนๆกับพื้นผิวออกไป เช่นในกระบวนการล้างด้วยสารละลาย (Solvent Washing) การทำความสะอาดโดยใช้สารเคมี (Chemical Cleaning) การขัดถูพื้นผิวของชิ้นงาน (Mechanical Abrasion) อาจใช้กระบวนการปรับสภาพผิวแบบนี้แบบเดียว หรือใช้เป็นขั้นตอนแรกของการปรับสภาพก็ได้

การปรับสภาพแบบพาสซีฟ ยังแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆได้แก่

- 1) การปรับสภาพแบบพาสซีฟด้วยวิธีทางเคมี (Passive Chemical Surface Treatment)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนบนพื้นผิวที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เช่น น้ำมัน ทราย ไขมัน สั้ว รอยนิ้วมือ ฯลฯ การกำจัดโดยวิธีทางเคมีหมายถึง ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงในเนื้อสาร ตัวอย่างการปรับสภาพด้วยวิธีการแบบนี้ได้แก่วิธี Vapor Degreasing, การล้างด้วยสารละลาย (Solvent Washing), การทำความสะอาดด้วยสารละลายต่าง และผงซักฟอก (Alcaline & Detergent Cleaning) และ การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic Cleaning)

- การทำความสะอาดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Cleaning)

การปรับสภาพด้วยวิธีนี้มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ หรือผงทรายที่ปนเปื้อนออกจากชิ้นงาน ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ถ้าสารที่ปนเปื้อนเป็นสารอินทรีย์ คราบไขมัน หรือไขมัน สั้ว การปรับสภาพด้วยวิธี Solvent Cleaning เพียงอย่างเดียวจะทำให้ได้พื้นผิวที่มีพื้นระอ่อนๆ ไปถึงปานกลาง การปรับสภาพด้วยวิธีนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย และควรมีการปรับสภาพเบื้องต้นก่อนเพื่อเตรียมชิ้นงาน ด้วยวิธีการขัดถู หรือใช้สารเคมี อย่างไรก็ตามวิธีการนี้เป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพน้อยที่สุด

- การทำความสะอาดด้วยสารเคมี (Chemical Cleaning)

การปรับสภาพด้วยวิธีนี้เป็นการใช้สารละลายที่มีความเป็นด่างสูงเพื่อจับกับสิ่งสกปรกบนพื้นผิว แล้วหลุดออกไป สามารถใช้ได้กับทั้งชิ้นงานที่มีพื้นผิวเป็นโลหะ และอโลหะ โดยวิธีการนี้จะนิยมมากถ้าชิ้นงานเป็นพอลิเมอร์ เนื่องจากสารละลายที่ใช้จะย่อยสลายผิวหน้าบางส่วนของชิ้นงานที่มีสารปนเปื้อนติดอยู่ และสามารถกำจัดออกได้โดยง่ายโดยใช้ Aqueous Cleaner ส่วนใหญ่การปรับสภาพด้วยวิธีนี้มักใช้ร่วมกับวิธีอื่นๆ เนื่องจากการปรับสภาพโดย Chemical Cleaning เพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถกำจัดสารปนเปื้อนที่ติดเกาะกับชิ้นงานด้วยพันธะที่แข็งแรงได้ เช่น สนิม (Rust) หรือ ตะกรัน (Scale) โดย สารละลายที่ใช้ทำความสะอาด ที่นิยม ได้แก่ Caustics, Silicates, Amines, Phosphates, Acid Aid และ Chelates (EDTA)

2) การปรับสภาพแบบพาสซีฟด้วยวิธีทางกล (Passive Mechanical Treatment)

การปรับสภาพด้วยวิธีนี้เป็น การปรับสภาพโดยอาศัยแรงทางกล เช่น วิธีการขัดพื้นผิว Wire Brushing การขัดด้วยกระดาษทราย ผงแร่ และ Metal Wool โดยจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดใน การกำจัดสารปนเปื้อนที่หนัก คราบสกปรก ตะกรัน และ ชั้นออกไซด์ ในการปรับสภาพด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องมีการทำความสะอาดพื้นผิวของชิ้นงานทั้งก่อนและหลังการปรับสภาพ และควรกำจัดสารปนเปื้อนพวกคราบไขมันออกจากพื้นผิวก่อนการปรับสภาพ โดยการขัดที่ผิวของชิ้นงานเพื่อป้องกันการฝังตัวของคราบไขมันลงบนชิ้นงานและเศษอนุภาคของแข็งเล็กๆ ที่ตกลงอยู่บนพื้นผิว หลังจากการขัด สามารถกำจัดออกได้โดยการเป่าด้วยอากาศแห้ง หรือเช็ดออกด้วยตัวทำละลาย เป็นต้น

2.1.2.2 การปรับสภาพแบบแอคทีฟ การปรับสภาพด้วยวิธีการแอคทีฟทั้งทางเคมี และฟิสิกส์ไม่เพียงแต่จะเป็นการทำความสะอาดพื้นผิว และกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่มาเกาะอยู่กับพื้นผิวแรง พันธะอ่อนๆออกเท่านั้น แต่ยังเป็นการผลัดเปลี่ยนผิวหน้าของชิ้นงานเพื่อให้พร้อมสำหรับการเกิด พันธะต่อไปการปรับสภาพด้วยวิธีการแอคทีฟนี้ได้แก่ การเอซซิงด้วยสารละลายกรด การออกซิเดชัน การอะโนไดเซชัน เป็นต้น

1) การปรับสภาพแบบแอคทีฟด้วยวิธีการทางเคมี (Active Chemical Surface Treatment)

การปรับสภาพด้วยวิธีการทางเคมีจะเปลี่ยนคุณสมบัติทั้งทางเคมี และฟิสิกส์ของพื้นผิวของ ชิ้นงานเพื่อสร้างพื้นผิวใหม่ที่มีความพร้อมต่อการยึดติดมากขึ้น การปรับสภาพด้วยวิธีนี้ใช้ได้กับ พื้นผิวทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะ โดยสารเคมีที่ใช้จะมีทั้งกรดและเบส สารเคมีที่นิยมนำมาใช้ อย่าง แพร่หลายได้แก่ กรดซัลฟูริก-โซเดียม ไดโครเมต (Sulfuric Acid Sodium Dichromate) ฟีนอล (Phenol) โซเดียม แนฟทาเลน (Sodium Naphthalene) เฟอร์ริก คลอไรด์-กรดไนตริก (Ferric Chloride-Nitric Acid) สารละลายกรดไนตริก-ไฮโดรฟลูออริก (Nitric-Hydrofluoric Acid Solutions)

- การปรับสภาพพื้นผิวโลหะด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical Treatment of Metallic Surface)

วัตถุประสงค์ของการปรับสภาพผิวของโลหะเพื่อกำจัดออกไซด์ที่ไม่ต้องการ และกำจัดชั้น ของสารที่มายึดติดกับพื้นผิวด้วยแรงพันธะที่อ่อนๆ หรือช่วยป้องกันพื้นผิวจากการกัดกร่อน การ ปรับสภาพพื้นผิวด้วยวิธีทางเคมียังช่วยให้พื้นผิวของชิ้นงานมีความขรุขระในระดับไมโครสเกล ซึ่ง ช่วยเพิ่มการยึดติดทางกลมากขึ้นอีกด้วย การปรับสภาพผิวด้วยวิธีนี้มักจะกำจัดสารที่มีองค์ประกอบ เชิงซ้อน (Complex Element) ที่อยู่บนชิ้นงานออก และแทนที่ด้วยสารที่มีโครงสร้างที่มีความเป็น ระเบียบ หนาแน่น และแข็งแรงมากยิ่งขึ้น เช่น การเอซซิงด้วยสารละลายกรดและการอะโนไดเซชัน

- การปรับสภาพพื้นผิวพอลิเมอร์ด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical Treatment of Polymeric Surface)

การปรับสภาพพื้นผิวทางเคมีของพอลิเมอร์ที่มีพลังงานต่ำๆอาจทำได้โดยการปรับสภาพด้วย กรดโครมิก (Chromic Acid) โพแทสเซียมไอโอเดต (Potassium Iodate) กรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid) และ การฟอกขาว (Bleach) โดยสารเคมีและสภาวะที่เลือกใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ นั้นๆ

2) การปรับสภาพผิวพอลิเมอร์แบบแอคทีฟด้วยวิธีการทางเคมี (Active Chemical Surface Treatment for Polymeric Surface)

เนื่องจากการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีมีข้อเสียคือ ความอันตรายของสารเคมีที่เลือกใช้ และใช้ เวลาในการปฏิบัติการณ์าน จึงทำให้มีการใช้การปรับสภาพโดยวิธีการทางฟิสิกส์ โดยจะปรับสภาพ ผิวของพอลิเมอร์เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงให้พร้อมต่อการยึดติด เช่นการปรับสภาพโดยวิธีใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลวไฟ (Flame) รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet) พลาสมา (Plasma) อิเล็กตริก ดิสชาร์จ (Electric Discharge) และ เลเซอร์ (Laser) เป็นต้น

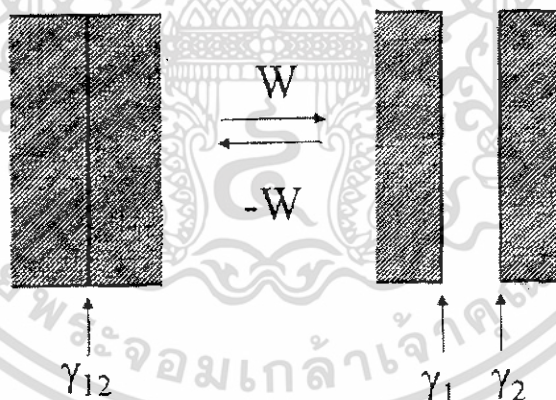
2.2 แรงที่เกี่ยวข้องกับการยึดติด

การจะทราบถึงแรงที่เกิดขึ้นในการยึดติดของสารที่นำมายึดติดกันนั้น ต้องเข้าใจเกี่ยวกับการเชื่อมต่อกันระหว่างอะตอมและโมเลกุลของสารทั้งสองก่อน โดยจะมีแรงที่เกี่ยวข้องหลายประเภท ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นแรงที่เกิดขึ้นโดยทางกายภาพและทางเคมี จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องทำความเข้าใจเพื่อนำไปพัฒนาการยึดติดต่อไป

กลไกการยึดติดระหว่างสารยึดติดกับโลหะสับสเตรท อาศัยแรงที่ใช้ในการยึดติด 2 ประเภท ได้แก่

2.2.1 แรงแอดฮีซีฟ (Adhesive Force)

เป็นแรงระหว่างพื้นผิวของสารยึดติดกับโลหะสับสเตรท โดยค่าพลังงานในการยึดติดกันของวัสดุทั้งสองจะมีค่าเท่ากับการแยกผิวสัมผัสออกจากกันเพื่อทำให้เกิดพื้นผิวอิสระสองพื้นผิวแต่มีทิศทางการขึ้นข้ามดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 พลังงานที่ใช้ในการยึดเกาะและการแยกออกที่ผิวสัมผัสระหว่างสารยึดติดกับโลหะสับสเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาพลังงานในการยึดติดกันของสารยึดติดกับโลหะสับสเตรทได้ดังสมการ

$$W_A = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12} \quad (2.1)$$

โดยที่ W_A = พลังงานในการยึดติดกันของสารยึดติดกับ โลหะสับสเตรท (จูล)
 γ_1 = พลังงานพื้นผิวอิสระของสารยึดติด (จูล)
 γ_2 = พลังงานพื้นผิวอิสระของโลหะสับสเตรท (จูล)
 γ_{12} = พลังงานผิวสัมผัสอิสระระหว่างสารยึดติดกับโลหะสับสเตรท (จูล)

2.2.2 แรงโคฮีซีฟ (Cohesive Force)

เป็นแรงภายในเนื้อของสารยึดติดและโลหะสับสเตรท โดยพลังงานที่ใส่มาได้จาก

$$W_C = 2\gamma \quad (2.2)$$

โดยที่ W_C = พลังงานภายในเนื้อของสารยึดติดหรือโลหะสับสเตรท (จูล)
 γ = พลังงานพื้นผิวอิสระของสารยึดติดหรือโลหะสับสเตรท (จูล)

แรงแอดฮีซีฟ และแรงโคฮีซีฟ เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลหรืออะตอม ซึ่งเป็นผลของประจุไฟฟ้าที่ต่างกัน โดยโมเลกุลที่มีขั้วบวกจะดึงดูดโมเลกุลที่มีขั้วลบบริเวณใกล้เคียง ซึ่งถ้ามีจำนวนประจุมากและระยะห่างระหว่างโมเลกุลน้อยแล้ว ก็จะส่งผลให้มีแรงดึงดูดมากขึ้น การที่วัตถุทั้งสองจะหลุดออกจากกันนั้น เกิดขึ้นเนื่องจากแรงแอดฮีซีฟหรือแรงโคฮีซีฟมีค่าน้อยลง โดยสามารถสังเกตการฉีกขาดของวัสดุทั้งสอง ถ้ามีการฉีกขาดบริเวณพื้นผิวของวัสดุทั้งสองแสดงว่าแรงแอดฮีซีฟในการยึดติดนั้นมีค่าน้อย แต่ถ้ามีการฉีกขาดในเนื้อของวัสดุแสดงว่าแรงโคฮีซีฟ มีค่าน้อย

2.3 พันธะเคมี (Chemical Bonding)

การเกิดพันธะเคมีระหว่างอะตอมของธาตุ เป็นการลดพลังงานศักย์ของอะตอมลงในสภาวะที่เกิดพันธะขึ้น นั่นคืออะตอมที่เกิดพันธะจะมีสภาวะของพลังงานที่เสถียรมากขึ้นกว่าอะตอมเมื่ออยู่อย่างอิสระ โดยทั่วไปพันธะเคมีระหว่างอะตอมแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ พันธะปฐมภูมิหรือพันธะที่แข็งแรง (Primary Bonds) และพันธะทุติยภูมิหรือพันธะที่ไม่แข็งแรง (Secondary Bonds)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 พันธะโลหะ (Metallic Bonds)

พันธะโลหะเป็นพันธะปฐมภูมิชนิดหนึ่ง โดยจะเกิดกับโลหะที่เป็นของแข็งทั่วไป อะตอมจะสามารถเข้าไปรวมตัวกันใกล้มากๆ และมีโครงสร้างของผลึกที่แน่นอน มีความหนาแน่นของประจุอิเล็กตรอนต่ำ และอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ไปในผลึกโลหะได้อย่างอิสระ จึงทำให้โลหะมีสมบัตินำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี โลหะส่วนมากสามารถเปลี่ยนรูปได้โดยไม่เกิดการแตกร้าว เพราะอะตอมของโลหะสามารถเคลื่อนที่ผ่านกันได้โดยไม่ทำให้พันธะโลหะของโครงสร้างแตกออกหรือเสียหายได้ ผิวของโลหะจะเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายในอากาศ ทำให้อยู่ในรูปออกไซด์ ซัลไฟด์ และไฮดรอกไซด์ และจะเกิดพันธะยึดติดกับสารยึดติดบนชั้นนี้ ดังนั้นในการพิจารณาการยึดติดกับวัสดุอื่นจะต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของพันธะที่ยึดติดกันระหว่างชั้นออกไซด์ของโลหะ ความแข็งแรงภายในเนื้อของโลหะและพันธะที่ยึดติดกันระหว่างชั้นออกไซด์ของโลหะกับสารยึดติด โดยทั่วไปชั้นของออกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโลหะจะมีแรงยึดเหนี่ยวกันน้อยมาก แต่ในกรณีของอลูมิเนียมจะเกิดชั้นออกไซด์ที่ยึดติดกันได้ดีและมีความคงทนสูง ทำให้อลูมิเนียมเป็นโลหะที่ด้านการสึกกร่อนได้ดี โลหะทุกชนิดจะมีพลังงานที่ผิวสูง และสามารถเกิดพันธะได้ง่าย แต่ก็อาจพบปัญหาในการนำโลหะไปใช้ในการทำวัสดุผสมโลหะ ปัญหาหนึ่งก็คือความคงทนของพันธะซึ่งจะลดน้อยลงเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความชื้นหรือมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูง นอกจากนี้ถ้าไม่มีการปรับสภาพผิวของโลหะก่อนที่จะมีการยึดติด อาจมีสารอินทรีย์หรือสิ่งเจือปนอื่นๆปกคลุมบริเวณผิวของโลหะ ทำให้การยึดติดซึ่งเกิดขึ้นที่ชั้นออกไซด์ของโลหะนั้นทำได้ยากขึ้น

2.3.2 พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bonds)

พันธะโควาเลนต์เป็นพันธะปฐมภูมิอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างอะตอมที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (E_v) แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นนอกสุดร่วมกัน โดยอาจใช้อิเล็กตรอนร่วมกันเพียงตัวเดียวซึ่งจะเกิดเป็นพันธะเดี่ยวหรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกันหลายอิเล็กตรอนเช่น การเกิดพันธะคู่ เพื่อให้การจัดอิเล็กตรอนเป็นไปตามกฎออกเตต และเนื่องจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันในการสร้างพันธะทำให้พันธะมีความแข็งแรงและมีทิศทางที่แน่นอน พันธะโควาเลนต์สามารถเกิดขึ้นได้กับโมเลกุลของก๊าซหรือธาตุที่มี 2 อะตอม และโมเลกุลของสารประเภทไฮโดรคาร์บอน นอกจากนี้ยังเป็นพันธะที่ใช้เชื่อมต่อในสายโซ่ของวัสดุพอลิเมอร์

2.3.3 พันธะไอออนิก (Ionic Bonds)

พันธะไอออนิกเกิดจากธาตุที่มีประจุไฟฟ้าบวกสูง (โลหะ) กับธาตุที่มีประจุไฟฟ้าลบ (อโลหะ) โดยจะมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากอะตอมหนึ่งของธาตุที่มีประจุไฟฟ้าบวกไปยังอีก

อะตอมหนึ่งของธาตุที่มีประจุไฟฟ้าลบ ทำให้เกิดแรงแอออนและแอนไอออน และเกิดแรงดึงดูดระหว่างไอออนทั้งสองเกิดเป็นพันธะไอออนิก ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงมากและไม่มีทิศทาง

2.3.4 พันธะทุติยภูมิ (Secondary Bonds)

พันธะทุติยภูมิเป็นพันธะที่มีพลังงานพันธะค่อนข้างต่ำ อาจเรียกว่าพันธะ (แรง) มานเดอร์วาลส์ (Vander Waals Bonds (Force)) เกิดจากการดึงดูดของประจุระหว่างอะตอมหรือโมเลกุลที่มีขั้ว โดยทั่วไปพันธะทุติยภูมิที่เกิดขึ้นกับอะตอมหรือโมเลกุลมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่

- Fluctuating Dipoles เป็นแรงดึงดูดที่เกิดเนื่องจากความไม่สมมาตรของการกระจายของประจุ อิเล็กตรอนในอะตอมจึงทำให้เกิดขั้วไฟฟ้าขึ้น
- Permanent Dipoles โมเลกุลที่เกิดด้วยพันธะโควาเลนต์สามารถเกิดแรงดึงดูดที่ไม่แข็งแรงระหว่างโมเลกุลได้ ถ้าโมเลกุลมีขั้วที่ถาวร (Permanent Dipoles) เช่น โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

2.4 การทดสอบด้วยวิธีมาตรฐาน (Standard Test Method)

การทดสอบการยึดติดทางกายภาพเพื่อนำมาประเมินเปรียบเทียบกระบวนการและวัสดุที่นำมายึดติดกัน โดยเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการยึดติดของแต่ละวัสดุ และควบคุมตัวแปรต่างๆให้อยู่ในสถานะที่ไม่มีผลต่อพันธะที่เกิดขึ้น เช่น เวลาในการเตรียมสารยึดติด กระบวนการที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวของโลหะสับสเตรท (Substrate) สภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความดัน องค์ประกอบในสารยึดติด องค์ประกอบในวัสดุสับสเตรท

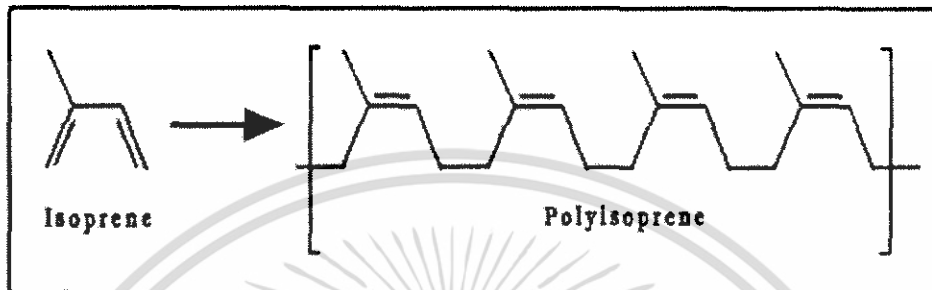
ผลที่ได้จากการทดสอบการยึดติด ทำให้สามารถอธิบายและวิเคราะห์ประเภทของการฉีกขาดสาเหตุที่เกิดขึ้น รวมถึงสามารถระบุส่วนที่พันธะมีความแข็งแรงน้อยในการยึดติดที่เกิดขึ้น การทดสอบการยึดติดด้วยวิธีมาตรฐานมีหลายวิธี เช่น

- การทดสอบโดยการลอก (Peel Test)
- การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)
- การทดสอบรอยแยก (Cleavage Test)
- การทดสอบความเค้น (Lap Shear test)
- การทดสอบความล้า (Fatigue Test)
- การทดสอบความแข็ง (Impact Test)
- การทดสอบการคืบ (Creep Test)
- การทดสอบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นวัสดุพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งเรียกว่าพอลิไอโซพรีน เกิดจากโมโนเมอร์ไอโซพรีน (2-เมทิล-1, 3-บิวตะไดอีน) [2] เชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ยาวด้วยพันธะโควาเลนต์



รูปที่ 2.5 โมเลกุลของยางธรรมชาติ (พอลิไอโซพรีน)

ยางธรรมชาติสามารถเป็นส่วนผสมที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง มีความอ่อนและเหนียวจนถึงแข็งมาก ยางธรรมชาติจะมีความยืดหยุ่นสูง เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี มีความฝืดต่ำ และต้านทานสารอินทรีย์ เช่น กรด แก๊ส และด่าง แต่ไม่คงทนต่อผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ยางธรรมชาติใช้กับงานที่ต้องการความแข็งแรงสูงได้เช่น ทำยางรถยนต์ นอกจากนี้ยังถูกใช้ทำท่อยางน้ำ สายพานเครื่องจักร ยางดัน ปุ่มยาง และถุงมือ

2.6 อะลูมิเนียม

อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่ใช้ทำสับสเตรทได้ดี เนื่องจากมีพลังงานที่ผิวสูงและมีความต้านทานต่อสถานะแวดล้อมต่างๆ ได้ดี นอกจากนี้โครงสร้างโมเลกุลของอะลูมิเนียมมีอัตราส่วนระหว่างความยาวพันธะกับน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในการนำมาใช้ในการยึดติดกับวัสดุอื่น ทำให้ถูกนำมาใช้อุตสาหกรรมอากาศยานและยานยนต์ต่างๆ นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้เป็นวัสดุสับสเตรทเพื่อเปรียบเทียบการยึดติดของสารยึดติดต่างๆ รวมถึงการเปรียบเทียบกระบวนการยึดติดที่ใช้

อะลูมิเนียมมีพื้นผิวที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย ทำให้เกิดชั้นออกไซด์ขึ้นอย่างรวดเร็วหลังการปรับสภาพผิว โดยชั้นของอะลูมิเนียมออกไซด์นี้ จะมีความคงทนแข็งแรงในการยึดติดกับอะลูมิเนียม และช่วยในการยึดติดกับสารยึดติดได้ดีมากกว่าการนำสารยึดติดมายึดติดบนเนื้อของอะลูมิเนียม

โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 ทฤษฎีกลไกการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์กับโลหะ

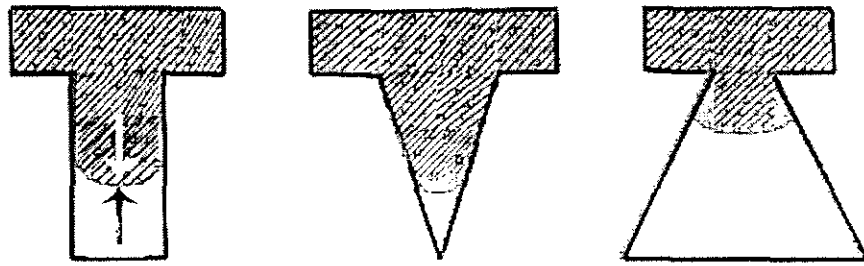
3.1.1 ทฤษฎีการประสานทางกล (Mechanical Interlocking)

ทฤษฎีการประสานทางกล ถูกเสนอโดย McBain และ Hopkins [3] เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกลไกของการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์กับโลหะ โดยอธิบายว่าพอลิเมอร์กับโลหะสามารถยึดเกาะกันได้เนื่องจากพอลิเมอร์ซึมผ่านเข้าไปในโพรง หรือรูพรุนของออกไซด์ที่อยู่บนผิวหน้าของโลหะที่มีความขรุขระดังแสดงในรูปที่ 3.1



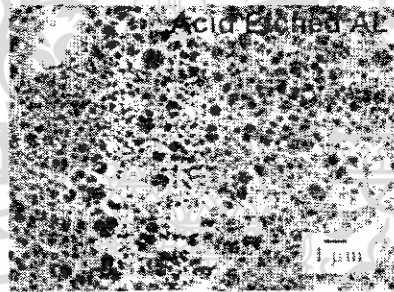
รูปที่ 3.1 ทฤษฎีการประสานทางกล

ซึ่งการซึมผ่านนี้สามารถเข้าไปได้ที่ความถี่ระดับหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากเกิดความดันย้อนกลับที่อยู่ภายในรูพรุนของออกไซด์ ทำให้เกิดการต้านการซึมผ่านของพอลิเมอร์และยังพบว่าความขรุขระที่ผิวหน้าของโลหะเป็นปัจจัยสำคัญของการยึดเกาะกัน ระหว่างพอลิเมอร์กับโลหะ เนื่องจากความขรุขระทำให้ผิวสัมผัสเพิ่มขึ้น จึงทำให้พอลิเมอร์กับโลหะยึดเกาะกันได้ดีขึ้น ซึ่งนอกจากความขรุขระแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีความสำคัญต่อการยึดเกาะกันของพอลิเมอร์กับโลหะ เช่น ความเหนียวของพอลิเมอร์ ค่าวหะบิลิตี (Wet Ability) ของโลหะ หรือรูปร่างรูพรุนของออกไซด์ เช่น ทรงกระบอก หรือทรงกรวย เป็นต้น แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 [4]

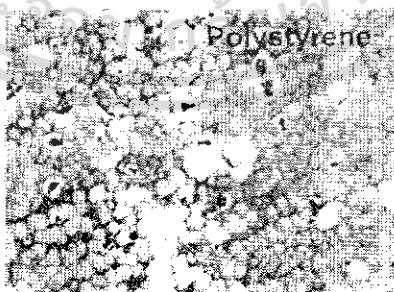


รูปที่ 3.2 รูปร่างรูปทรงของออกไซด์ที่มีผลต่อการซึมผ่านของพอลิเมอร์

การทดลองที่สนับสนุนทฤษฎีการประสานทางกลคืองานชิ้นงานของการยึดเกาะกันระหว่างพอลิสไตรีนกับแผ่นอลูมิเนียมเคลือบในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ซึ่งจะทำให้แผ่นอลูมิเนียมถูกกัดกร่อนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้งหมด คงเหลือแต่พอลิสไตรีน ที่มีผิวหน้าขรุขระดังรูปที่ 3.3 [5] และสภาพพื้นผิวของแผ่นอลูมิเนียมก่อนที่จะถูกกัดกร่อนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงได้ดังรูปที่ 3.4 [5]



รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายสภาพพื้นผิวของแผ่นอลูมิเนียมก่อนที่จะถูกกัดกร่อนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

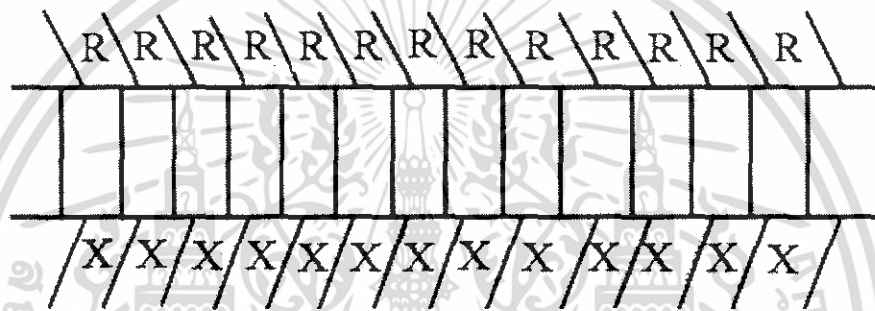


รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายสภาพพื้นผิวของพอลิสไตรีน หลังจากแผ่นอลูมิเนียมถูกกัดกร่อนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง **62435** แจ้งอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ทฤษฎีการเกิดพันธะเคมี (Chemical Bonding Theory)

ทฤษฎีการเกิดพันธะเคมีเป็นอีกทฤษฎีหนึ่ง ที่มีความเกี่ยวข้องกับกลไกการยึดเกาะกันระหว่างพอลิเมอร์กับโลหะ กล่าวว่าจะมีพันธะเคมีเกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์กับโลหะ โดยที่ปลายด้านหนึ่งจะเกิดพันธะกับพอลิเมอร์ ส่วนอีกด้านจะเกิดพันธะกับโลหะ ทำให้พอลิเมอร์กับโลหะสามารถยึดเกาะกันได้ดังแสดงในรูปที่ 3.5 พันธะที่กล่าวถึงนี้เป็นพันธะแบบปฐมภูมิ เช่น พันธะไอออนิก หรือพันธะโควาเลนต์ เป็นต้น โดยมีค่าความแข็งแรงของพันธะมีค่าตั้งแต่ 100 ถึง 1,000 กิโลจูลต่อโมล ส่วนพันธะอีกแบบหนึ่ง คือ พันธะแบบทุติยภูมิ เช่น แรงวานเดอร์วาลส์ มีค่าความแข็งแรงของพันธะไม่เกิน 50 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งพันธะที่ผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์กับโลหะจะต้องเป็นพันธะปฐมภูมิ จึงจะมีค่าความแข็งแรงเพียงพอในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง



รูปที่ 3.5 ทฤษฎีการเกิดพันธะเคมี

ค่าความแข็งแรงทางกลที่ผิวสัมผัสสามารถหาได้ โดยการวัดค่าพลังงานที่ใช้ในการแยกผิวสัมผัส (Fracture Energy, G) ออกจากกัน จากทฤษฎีการเกิดพันธะเคมี ค่าพลังงานที่ใช้ในการแยกผิวสัมผัสออกจากกันจะแปรผันโดยตรงกับกำลังสองของทั้งจำนวนพันธะที่ผิวสัมผัสต่อหน่วยพื้นที่ (Areal Density of Bonded Sites, Σ) และแรงที่ใช้ในการแยกผิวสัมผัสออกจากกัน (f) ดังสมการที่ 3.1

$$G \propto \Sigma^2 f^2 \frac{D}{S} \tag{3.1}$$

โดยที่ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิเมอร์ (นาโนเมตร)
 S = ความเค้นที่ผิวสัมผัส (เมกะปาสกาล)

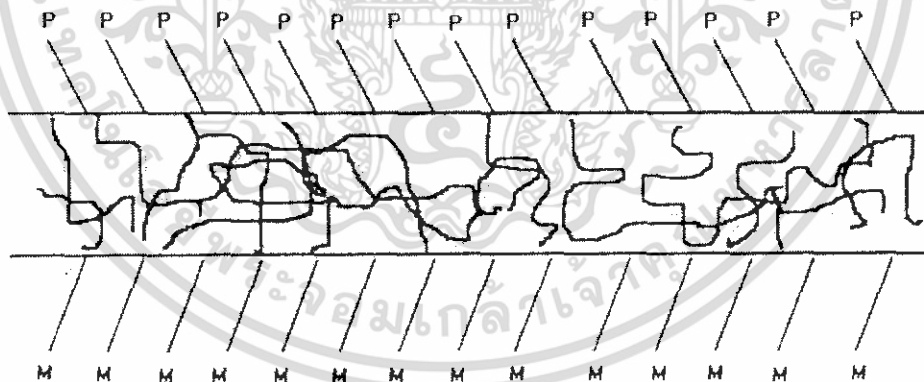
นอกจากพันธะเคมี ที่ทำให้โลหะกับพอลิเมอร์สามารถยึดเกาะกันได้แล้ว ยังมีสารอีกประเภทหนึ่ง ที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงในการยึดเกาะกันของโลหะกับพอลิเมอร์ได้ โดยเฉพาะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ประเภทของสารคู่ควบ

Organofunctional group	Chemical structure
A. Vinyl	$\text{CH}_2=\text{CHSi}(\text{OCH}_3)_3$
B. Chloropropyl	$\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$
C. Epoxy	$\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3)$
D. Methacrylate	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3)$
E. Primary amine	$\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$
F. Diamine	$\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$
G. Mercapto	$\text{HSCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$
H. Cationic styryl	$\text{CH}_2=\text{CHC}_6\text{H}_4\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OCH}_3)_3\text{HCl}$

3.1.3 ทฤษฎีการแพร่ (Diffusion Theory)

การยึดเกาะกันระหว่างพอลิเมอร์แอคทีฟกับโลหะสับสเตรท เกิดจากการแพร่ของโมเลกุลที่ผิวสัมผัสของพอลิเมอร์แอคทีฟกับโลหะสับสเตรท ดังรูปที่ 3.6 [8] ความแข็งแรงของผิวสัมผัสขึ้นอยู่กับความสามารถในการแพร่ของพอลิเมอร์แอคทีฟเข้าไปยังโลหะสับสเตรท นอกจากนี้ ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลคือ เวลาที่ผิวหน้าของพอลิเมอร์แอคทีฟกับโลหะสับสเตรทสัมผัสกัน อุณหภูมิ และน้ำหนักของโมเลกุล เป็นต้น ซึ่งทฤษฎีการแพร่นี้ โดยปกติแล้วจะมีความสำคัญในกรณีที่ผิวสัมผัสที่เกิดจากการนำพอลิเมอร์ต่างชนิดกันมายึดเกาะกัน



รูปที่ 3.6 ทฤษฎีการแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การปรับสภาพผิวของโลหะอะลูมิเนียม

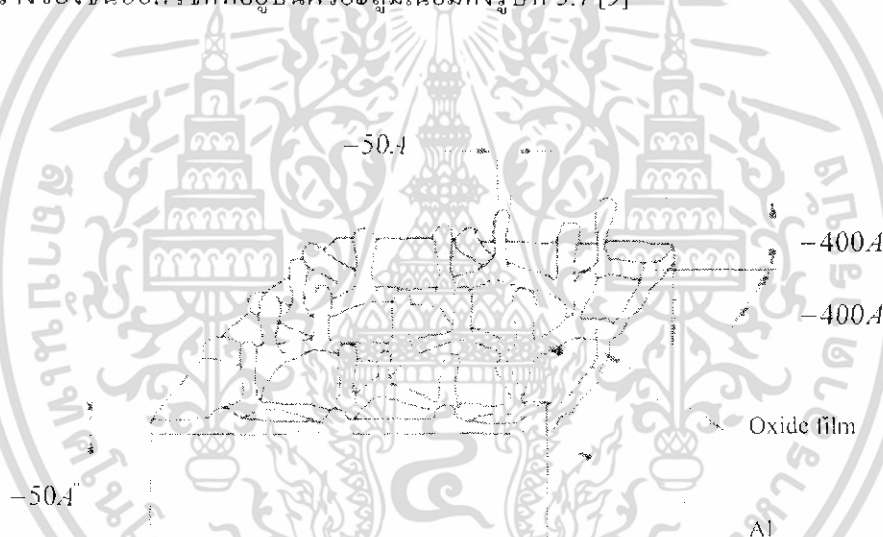
นอกจากการศึกษากลไกการยึดเกาะและการแยกออกจากกันระหว่างพอลิเมอร์กับโลหะอะลูมิเนียม ที่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับความต้องการที่จะเพิ่มความแข็งแรงของการยึดเกาะกันแล้ว การปรับสภาพพื้นผิวของโลหะอะลูมิเนียมก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะทำให้ความแข็งแรงของการยึดเกาะกันเพิ่มขึ้น โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากขึ้น จะทำให้การยึดเกาะกันดีขึ้น ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันมีอยู่ 3 วิธีดังนี้

3.2.1 การกัดด้วยสารละลายกรด (Acid Etching)

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

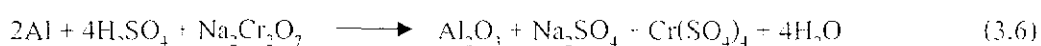
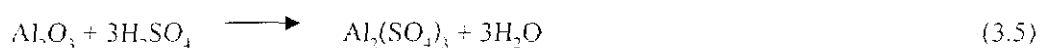
1) Cr (VI)-Based Etchants

ใช้สารละลายกรด โครมิกซัลฟูริก หรือ สารละลายกรดไดโครเมตซัลฟูริก (Dichromate Sulfuric Acid) ในการปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียม สารละลายจะปรับโครงสร้างของชั้นออกไซด์ที่อยู่บนผิวอะลูมิเนียมดังรูปที่ 3.7 [9]



รูปที่ 3.7 ชั้นของออกไซด์ที่ได้จากการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกหรือสารละลายกรดไดโครเมตซัลฟูริก

การปรับสภาพผิวด้วยวิธีการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกจะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น 2 ปฏิกิริยา [10] เช่นกันและสามารถแสดงในรูปของสมการเคมีได้ ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Non-Cr (VI) Etchants

การปรับสภาพผิววิธีนี้ใช้สารละลายกรดซึ่งไม่มีโครเมียมเป็นองค์ประกอบ เช่น สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกไนตริก (Hydrofluoric Nitric Acid) โครงสร้างของออกไซด์หลังจากการปรับสภาพผิวจะมีลักษณะที่คล้ายกับในแบบแรก

3.2.2 อะโนไดเซชัน (Anodization)

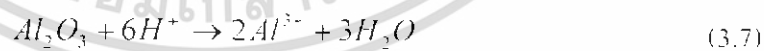
การปรับสภาพผิวของโลหะอะลูมิเนียมด้วยวิธีอะโนไดเซชันจะช่วยให้เกิดพันธะออกไซด์ชั้นที่พื้นผิวและสำหรับอะลูมิเนียม การอะโนไดซ์จะช่วยให้มีความทนทานมากที่สุดเมื่อใช้เป็นสารยึดติดใต้น้ำวิธีการปรับสภาพผิววิธีนี้ ถูกใช้มากในอุตสาหกรรมผลิตยานยนต์ และเครื่องบิน

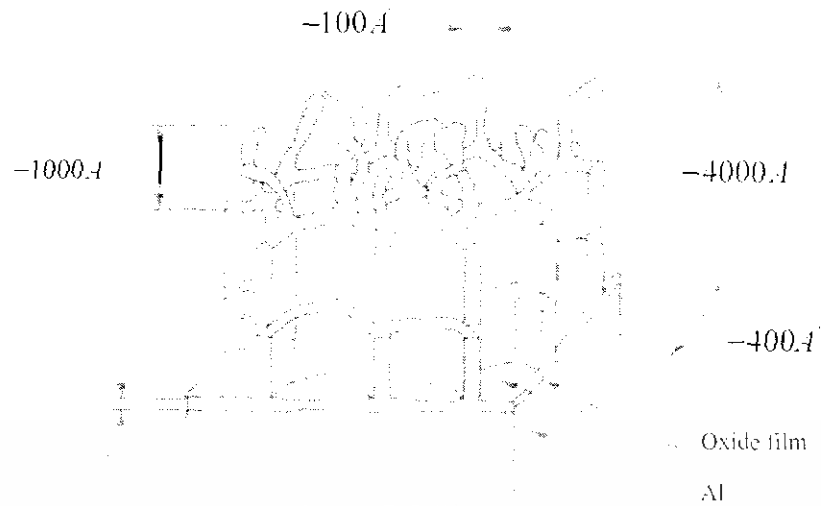
อะโนไดเซชันสามารถทำได้ทั้งในอิเล็กโทรไลต์ของกรดฟอสฟอริก และกรดโครมิก แต่จะนิยมอะโนไดเซชันในกรดฟอสฟอริกมากกว่า เนื่องจากมีความเป็นพิษต่ำ และสามารถกำจัดได้ง่าย

อะโนไดเซชันจะสร้างพันธะออกไซด์ ภายใต้สภาวะที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิ ดังนั้นการควบคุมปัจจัยดังกล่าวให้มีความแน่นอนจะส่งผลถึงความหนาของชั้นพันธะที่เกิด และประสิทธิภาพของพันธะนั้นด้วย การปรับสภาพผิวด้วยวิธีอะโนไดเซชันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) Phosphoric Acid Anodizing (PAA)

ปฏิกิริยาอะโนไดเซชัน (Anodization) ของอะลูมิเนียมในสารละลายกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid) จะทำให้เกิดโพรงหรือรูพรุนบนชั้นของออกไซด์ โดยลักษณะของออกไซด์ที่ได้นั้นจะมีลักษณะเป็นร่างแหรูปหกเหลี่ยมและมีความลึกไปจนถึงผิวของโลหะดังรูปที่ 3.8 [9] ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนจะขึ้นอยู่กับค่าของศักย์ไฟฟ้าที่ให้และชนิดของสารละลายที่ใช้ ส่วนความหนาของชั้นออกไซด์จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของกระแสและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา การปรับสภาพผิวด้วยวิธีอะโนไดเซชันด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น 2 ปฏิกิริยา [10] และสามารถแสดงในรูปของสมการเคมีได้ ดังนี้

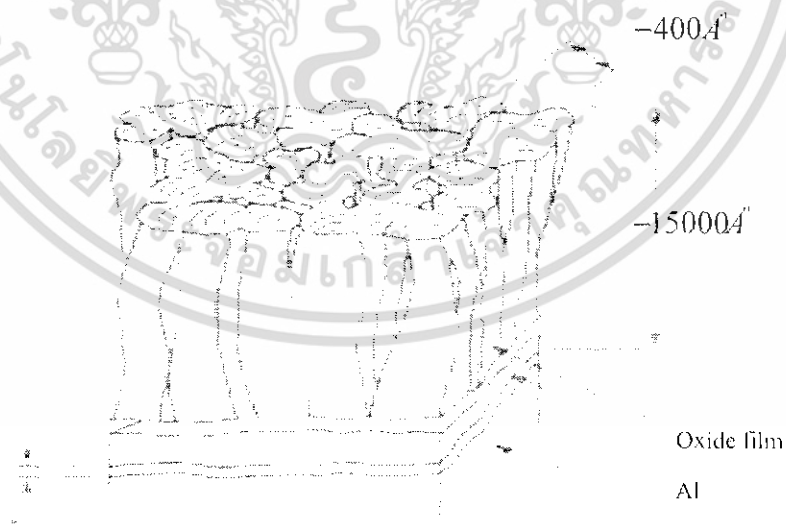




รูปที่ 3.8 ชั้นของออกไซด์ที่ได้จากการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกทำปฏิกิริยาอะโนไดเซชันกับแผ่นอลูมิเนียม

2) Chromic Acid Anodizing (CAA)

วิธีนี้จะใช้สารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกในการปรับโครงสร้างของออกไซด์ก่อน แล้วจึงใช้สารละลายกรดโครมิกในการทำปฏิกิริยาอะโนไดเซชัน ผลที่ได้คือชั้นของออกไซด์จะเกิดเป็นรูลึกลงไปจนถึงผิวของโลหะอะลูมิเนียม แต่โครงสร้างของออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะมีความเป็นระเบียบน้อยกว่าใช้วิธี PAA ดังรูปที่ 3.9 [9]



รูปที่ 3.9 ชั้นของออกไซด์ที่ได้จากการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกทำปฏิกิริยาอะโนไดเซชันกับแผ่นอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเพิ่มความสามารถในการยึดติดของยางธรรมชาติโดยใช้สารคู่ควบ

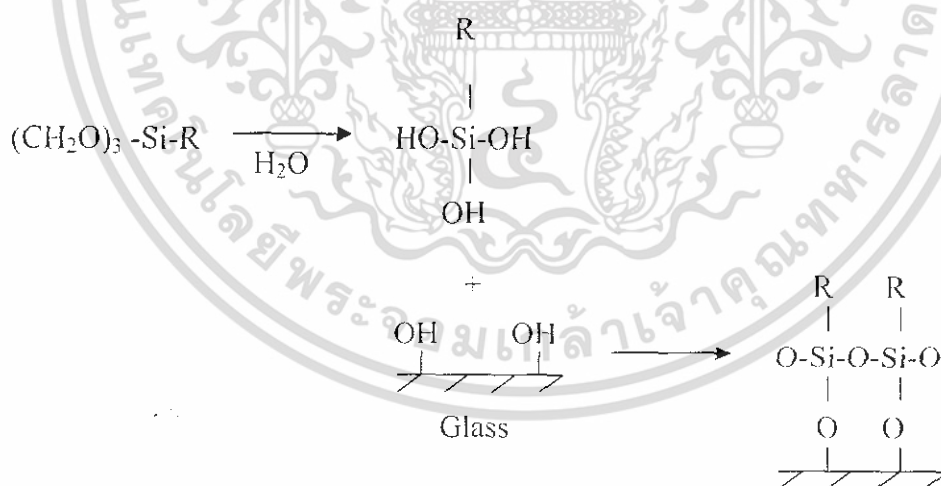
3.3.1 สารคู่ควบ (Silane Coupling Agent)

เป็นโมเลกุลที่สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีได้กับพื้นผิวของของแข็ง โดยส่วนที่เป็นส่วนประกอบหลักของโมเลกุลคือ ซิลิกา (Si) และส่วนท้ายของโมเลกุลของสารคู่ควบสามารถสร้างพันธะโควาเลนต์ต่อโมเลกุลของพอลิเมอร์ โดยสารคู่ควบนี้เองมีคุณสมบัติเป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงทางกลให้กับพลาสติกหรือ พอลิเมอร์ และยิ่งไปกว่านั้น ยังเพิ่มความต้านทานทางเคมีให้กับพลาสติกคอมโพสิตอีกด้วย

โครงสร้างของสารคู่ควบ นั้นประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

- กลางพันธะ ประกอบด้วย อะตอมของ ซิลิกา (Si)
- แขนทั้งสามที่เชื่อมกับอะตอมของซิลิกา คือ อัลคิลอีเทอร์ ซึ่งอัลคิลอีเทอร์นี้จะสร้างพันธะกับพื้นผิวของของแข็ง เช่น โลหะออกไซด์หรือ เซรามิก
- Chemical Group ในอีกด้านหนึ่งของ Si นั้นคือ $-CH_2-$

สารคู่ควบ จะทำปฏิกิริยากับแก้ว (glass), ซิลิกา (silica) และพื้นผิวอื่นๆที่สามารถเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ดังรูปที่ 3.10 จากรูป R-group จะทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ ส่วน OH-group นั้นจะทำปฏิกิริยากับแก้ว (พื้นผิวของของแข็ง)

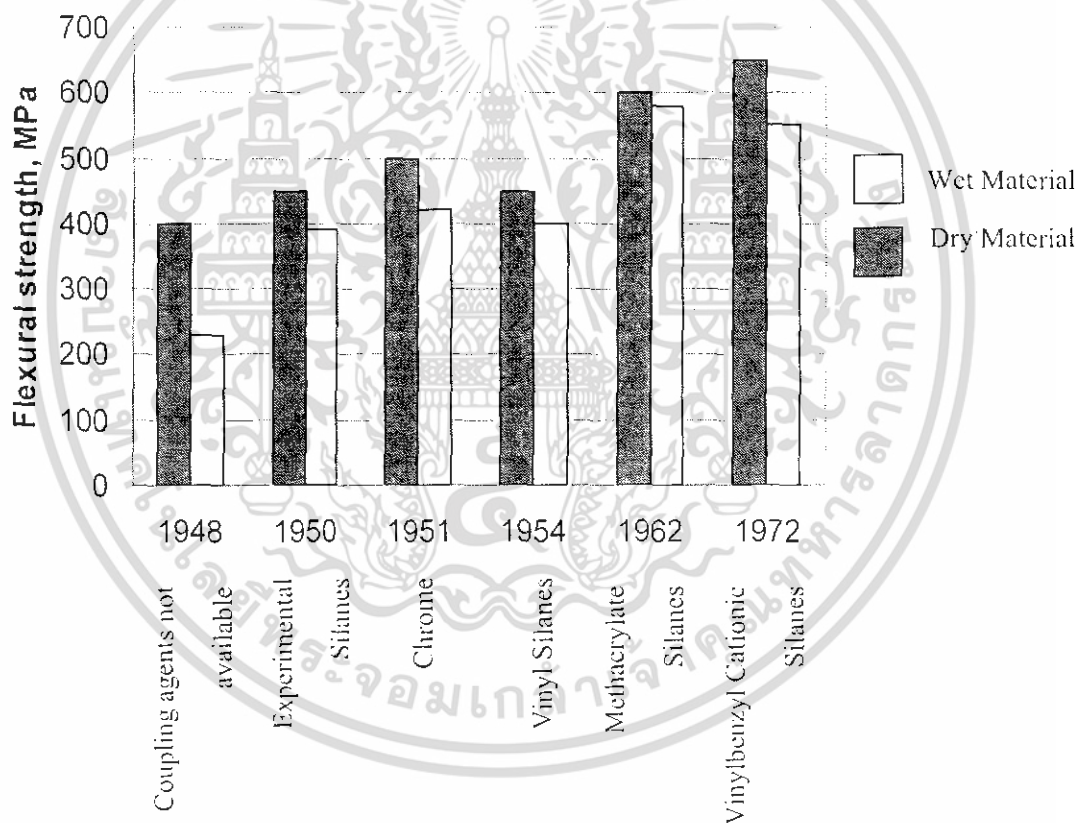


รูปที่ 3.10 ปฏิกิริยาของ R-group กับพอลิเมอร์ และ OH-group กับแก้ว (พื้นผิวของของแข็ง)

สารคู่ควบถูกคิดค้นขึ้นในปี 1948 จากรูปที่ 3.11 พบว่า สารคู่ควบที่เตรียมกับวัสดุแห้ง (Dry Material) จะให้ความแข็งแรงต่อการบิดงอ (Flexural Strength) ได้ดีกว่าที่เตรียมกับวัสดุเปียก (Wet Material)

ถึงแม้ว่าความสามารถในการยึดติดจะเป็นปัจจัยหนึ่งของสารคู่ควบ แต่ปัจจัยอื่นๆก็สำคัญเช่นกัน เช่นในทางปฏิบัติการเติมสารคู่ควบ นั้นจะต้องทำให้สารคู่ควบนั้นสามารถซึมเข้าสู่พอลิเมอร์อย่างรวดเร็ว และควรระวังรักษาไม่ให้เกิดรอยขีดข่วน รอยแตกระหว่างกระบวนการ

สารคู่ควบสามารถใช้ได้ดีทั้งพอลิเมอร์ และพื้นผิวแข็งๆ เช่น โลหะ หรือเซรามิก ซึ่งนิยมใช้ประโยชน์ในการยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ (ยาง) กับพื้นผิวของของแข็ง. ใช้ในการอุดรอยร้าว. ใช้ในการผสมในสีเพื่อสร้างความเหนียว เป็นต้น การกำหนดปริมาณของสารคู่ควบนั้นจะอยู่ที่ 0.2%ของสารคู่ควบ ขึ้นไป

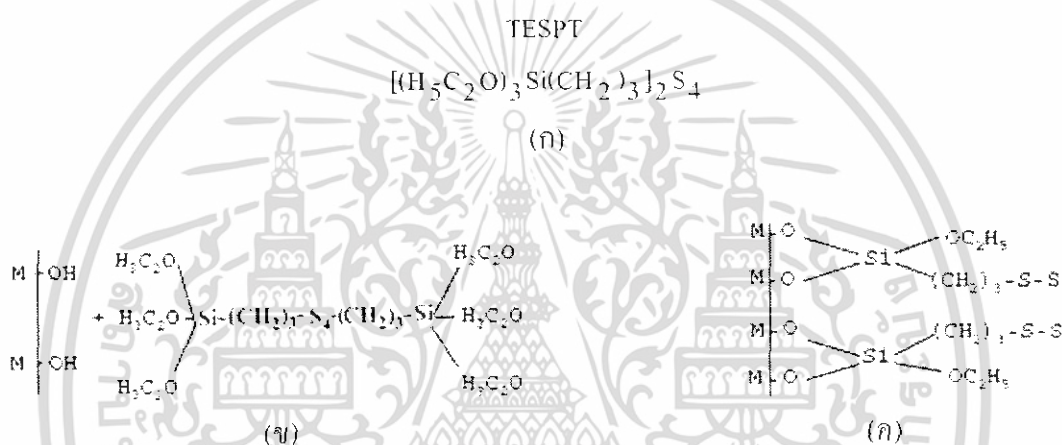


รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างผลของสารคู่ควบที่เตรียมกับ Dry Material และ Wet Material กับความแข็งแรงต่อการบิดงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

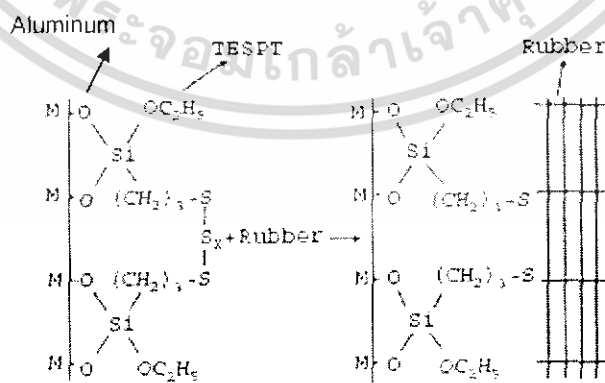
3.3.2 สารคู่ความชนิด bis- (3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT)

เป็นสารคู่ความชนิดหนึ่งที่ใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงและการเชื่อมโยงกันของอะตอมในรูปลูกโซ่ระหว่างยางธรรมชาติกับโลหะอะลูมิเนียม โดย TESPT จะมีหมู่ Tetrasulphane และ หมู่เอทอกซีที่จะทำปฏิกิริยา ซึ่งหมู่ Tetrasulphane เป็นหมู่ที่จะทำปฏิกิริยากับยางและทำปฏิกิริยาเมื่อมีตัวเร่งที่อุณหภูมิสูง เช่น 140-240 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีและไม่มีกำมะถัน ซึ่งการเชื่อมโยงกันระหว่างยางธรรมชาติกับโลหะอะลูมิเนียมจะประกอบด้วยกลุ่มของพันธะที่จะทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ในโมเลกุลของยาง ดังแสดงในรูปที่ 3.12 [11] โดยหมู่เอทอกซีจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของโลหะอะลูมิเนียม ในขณะที่เกิดการยึดติดกันของยางธรรมชาติกับโลหะอะลูมิเนียม ในรูปที่ 3.13 [11]



รูปที่ 3.12 (ก) สูตรทางเคมีของ bis- (3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT) (ข)

ปฏิกิริยาของ TESPT กับหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของอะลูมิเนียม (ค) การเกิดพันธะทางเคมีของ TESPT กับหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของอะลูมิเนียม



รูปที่ 3.13 การเกิดปฏิกิริยาของ ethoxy group กับ OH group บนผิวของอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิด bis- (3-trichthoxysilylpropyl) tetrasulphane

สมบัติ	หน่วย	TESPT
มวลโมเลกุลเฉลี่ย	กรัมต่อโมล	532
ความหนาแน่น	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	1.10
ลักษณะที่ปรากฏ	-	ของเหลวสีเหลือง

3.4 พลังงานการแตกหักของพันธะ (Fracture Energies, G_c)

การแตกหักของพันธะในเนื้อเยื่อเป็นการแยกออกจากกันระหว่างมอนอเมอร์ในสายโซ่หลักของยาง เนื่องจากแรงที่ทำให้เกิดพลังงานที่สามารถทำให้มอนอเมอร์แยกออกจากกันได้ ซึ่งพลังงานนี้เรียกว่า พลังงานการแตกหักของพันธะ (Fracture Energies, G_c) ยางธรรมชาติจะมีค่าพลังงานในการแตกหักของพันธะในเนื้อเยื่อ ซึ่งจัดเป็นคุณสมบัติเฉพาะอย่างหนึ่ง มีค่าระหว่าง 40-100 J/m²

ความแข็งเป็นคุณสมบัติที่ไม่ดีสำหรับยางธรรมชาติ เพราะปกติแล้ว ยางธรรมชาติควรมีคุณสมบัติอ่อนนุ่ม มีความยืดหยุ่นสูง โดยความแข็งนี้จะทำให้ พลังงานการแตกหักของพันธะในเนื้อเยื่อไม่สัมพันธ์กับสมบัติความเหนียวของยาง ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการแตกหัก ของพันธะประกอบด้วย พลังงานที่ใช้สำหรับการทำลายพันธะ และพลังงานที่ทำให้เกิดการผิดรูปในยาง ซึ่งพลังงานที่ทำให้ผิดรูป จะมีค่าสูงกว่าพลังงานสำหรับการทำลายพันธะ ในส่วนของการเกิดการแยกกันระหว่างมอนอเมอร์ ของสายโซ่หลักในยาง จะเกิดการส่งผ่านพลังงานที่ใช้ในการแยก ต่อเนื่องกันไประหว่างมอนอเมอร์ในสายโซ่หลักที่อยู่ติดกัน การแตกหักของพันธะ จะเริ่มจากมอนอเมอร์ต้นกำเนิดที่ได้รับพลังงาน ดำเนินต่อไปจนถึงปลายสุดของมอนอเมอร์ ที่เชื่อมโยงกันค่า พลังงานการแตกหักของพันธะ หาได้จากสมการ [12]

$$G_c = \frac{1}{2} \bar{L} N_b n_b U_b \quad (3.7)$$

โดยที่ \bar{L} = ระยะทางเฉลี่ยระหว่างพันธะเชื่อมโยง

N_b = จำนวนสายโซ่หลักต่อปริมาตร

n_b = ค่าเฉลี่ยของจำนวนพันธะในสายโซ่หลักระหว่างพันธะเชื่อมโยง

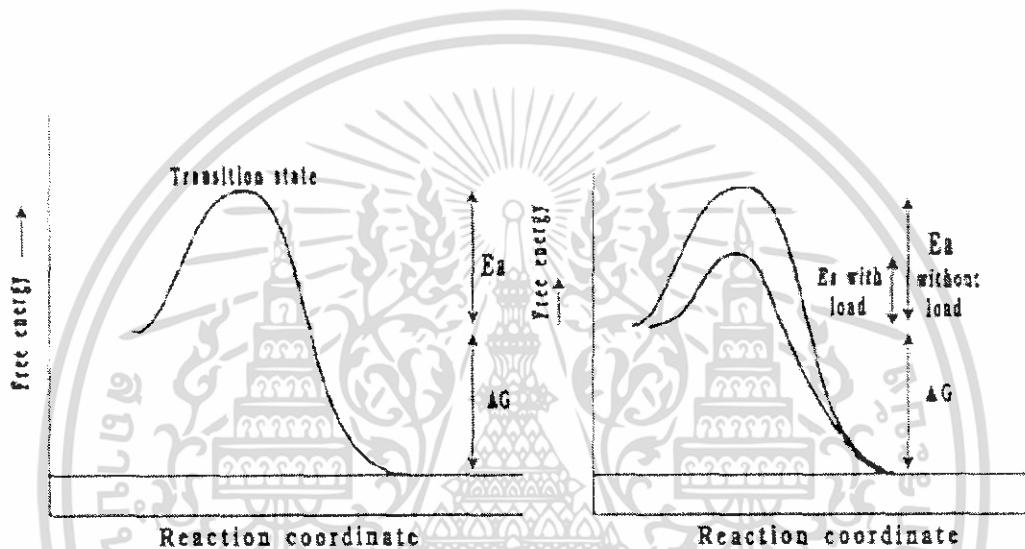
U_b = จำนวนพันธะที่แยกออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางทฤษฎี ค่าพลังงานการแตกหักของพันธะที่หาได้จากสมการข้างต้น จะมีค่าอยู่ในช่วง 20-40 J/m^2

3.5 พลังงานกระตุ้น (Activation energy)

พลังงานกระตุ้น (Activation energy, E_a) หมายถึง ปริมาณพลังงานที่น้อยที่สุดที่ให้กับอนุภาคของสาร เพื่อให้อนุภาคของสารมีแรงมากเพียงพอที่จะเกิดการชนกันและเกิดการทำลายพันธะของสารตั้งต้น ซึ่งมีผลทำให้พันธะเคมีของสารตั้งต้นไม่เสถียร เพราะ ง่ายต่อการแตกหัก ดังรูปที่ 3.14 [13]



รูปที่ 3.14 ค่าพลังงานกับ Reaction Coordinate

พลังงานกระตุ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง 4 ประการ คือ

1. ทำให้อนุภาคของสารเคลื่อนที่เร็วขึ้นกว่าปกติ
2. เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่เร็วขึ้น โอกาสที่จะชนกันย่อมมีมากขึ้น
3. อนุภาคเคลื่อนที่เร็วขึ้น โอกาสที่จะชนกันมากขึ้น ตำแหน่งที่ไวต่อการกระทำย่อมมีโอกาสถูกชนมากขึ้นตามไปด้วย
4. เมื่อชนกันแรงมากขึ้น โอกาสที่จะเกิดการแตกหักของพันธะย่อมมากขึ้นด้วย

อัตราเร็วของการเกิดการแตกหักของพันธะขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคที่ชนกันแล้วสามารถเกิดการแตกหัก (อนุภาคมีพลังงานสูงกว่าพลังงานกระตุ้น) และการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เพิ่มจำนวนอนุภาคที่มีพลังงานสูงกว่าพลังงานกระตุ้นมีมากขึ้น

จากการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดการแตกหักของพันธะพบว่า ถ้าเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดการแตกหักของพันธะจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2-3 เท่า และทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ค่าคงที่ของอัตรา (Specific Rate Constant) เพิ่มขึ้นด้วย อาร์เรเนียส (Arrhenius) ได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรากับอุณหภูมิ เรียกว่า สมการอาร์เรเนียส ดังนี้ [13]

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (3.8)$$

เมื่อ k = ค่าคงที่อัตรา (Specific Rate Constant)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส (Gas Law Constant) มีค่าเท่ากับ 1.9872 kcal/g.mol.K

c = 2.72828

E_a = พลังงานกระตุ้น (J/m³)

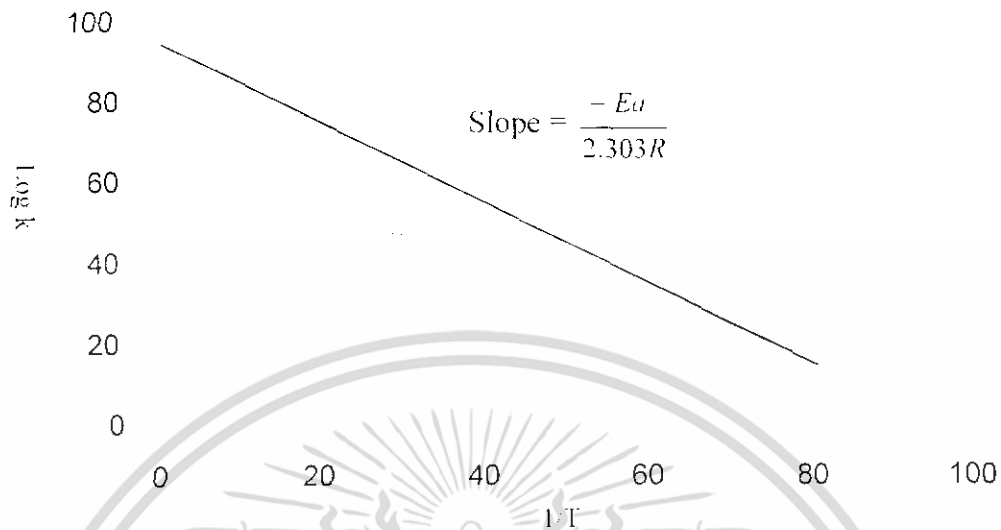
T = อุณหภูมิ (เคลวิน)

A = แฟกเตอร์ความถี่ของการชนกันของโมเลกุล

เราสามารถเขียนสมการของอาร์เรเนียสใหม่ในรูปของลอการิทึมดังนี้ [13]

$$\log k = \frac{-E_a}{2.303R} \frac{1}{T} + \log A \quad (3.9)$$

จากสมการ 3.9 สามารถพล็อตกราฟระหว่าง $\log k$ กับ $\frac{1}{T}$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-\frac{E_a}{2.303R}$ และมีจุดตัดแกน $\log k$ เท่ากันกับ $\log A$ และจากค่าความชันทำให้สามารถหาพลังงานกระตุ้น ได้ดังรูปที่ 3.15 [13]



รูปที่ 3.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตรากับอุณหภูมิ

3.6 การทดสอบโดยการลอก (Peel Test)

เป็นวิธีมาตรฐานในการทดสอบการยึดติดวิธีหนึ่ง เพื่อหาค่าพลังงานที่ใช้ในการแยกผิวสัมผัสออกจากกันของสารยึดติดและสับสเตรท โดยใช้สารยึดติดที่สามารถยืดหยุ่นได้และสับสเตรทจะสามารถยืดหยุ่นหรือไม่ก็ได้ ผลที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับประเภทของสารยึดติด และสภาวะแวดล้อมขณะทำการทดสอบ

ในการทดสอบโดยทั่วไปจะทำการลอกออกที่มุม 90 หรือ 180 องศา และสามารถแบ่งวิธีการทดสอบได้เป็น 3 วิธี [1] ได้แก่

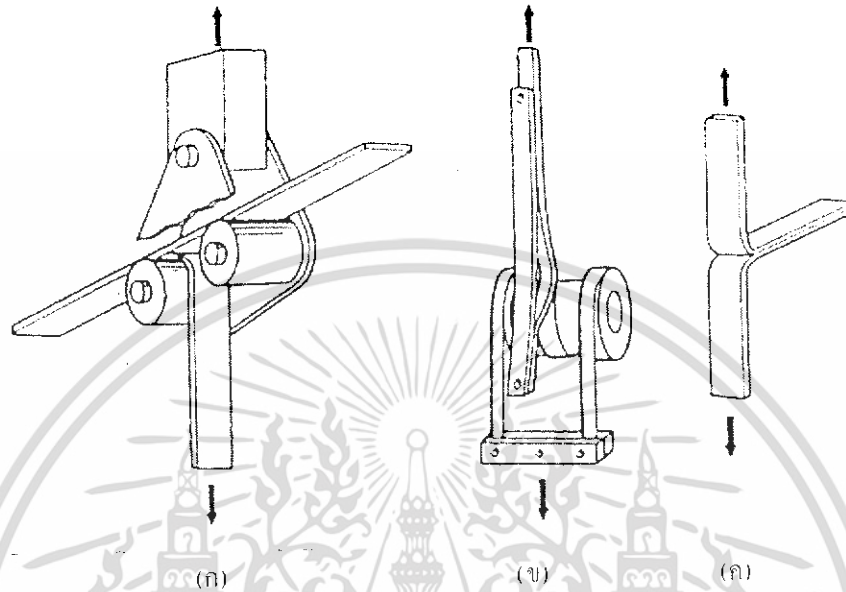
1) การลอกในลักษณะรูปตัวที (T-peel Test) เป็นวิธีการทดสอบที่นิยมที่สุด โดยสารยึดติดและสับสเตรทเป็นวัสดุที่สามารถยืดหยุ่นได้ เนื่องจากมุมในการลอกไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้ค่าที่ได้จากการวัดนั้นมีความแน่นอนน้อยกว่าวิธีอื่นๆ

2) The Floating Roller Peel Test เป็นวิธีการทดสอบโดยใช้สารยึดติดที่สามารถยืดหยุ่นได้และใช้สับสเตรทเป็นของแข็งที่ไม่สามารถยืดหยุ่นได้ ทำให้สามารถกำหนดมุมในการลอกด้วยลูกกลิ้ง และค่าที่ได้จากการวัดจะมีความแน่นอนมากกว่าการลอกในลักษณะรูปตัวที (T-peel Test)

3) Climbing-drum Peel Test โดยทั่วไปจะถูกใช้ในการทดสอบการยึดติดระหว่างโลหะกับวัสดุที่มีรูพรุน แต่ก็สามารถนำมาทดสอบกับการยึดติดของสารยึดติดกับสับสเตรทได้อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งที่สามารถยึดหยุ่นได้ หรือสามารถยึดหยุ่นได้ทั้งสองชนิด โดยจะได้ผลที่มีค่าก่อนข้างแน่นอน
เนื่องจากมีลูกกลิ้งที่ควบคุมมุมที่ใช้ในการลอก



รูปที่ 3.16 การทดสอบสภาพการยึดติดด้วยการลอก โดย (ก) The Floating Roller Peel Test (ข)
Climbing-drum Peel Test (ค) T-peel Test

ค่าความแข็งแรงทางกลที่ผิวสัมผัสสามารถหาได้ โดยการวัดค่าพลังงานที่ใช้ในการแยก
ผิวสัมผัส (Fracture Energy: G) ออกจากกัน จากทฤษฎีการเกิดพันธะเคมี ค่าพลังงานที่ใช้ในการ
แยกผิวสัมผัสออกจากกัน หาได้จากสมการที่ 3.10 [1]

$$G = P (1 - \cos \theta) \frac{1}{b} = \frac{P}{b} \quad (3.10)$$

โดยที่ P = แรงที่ใช้ในการลอก (นิวตัน)

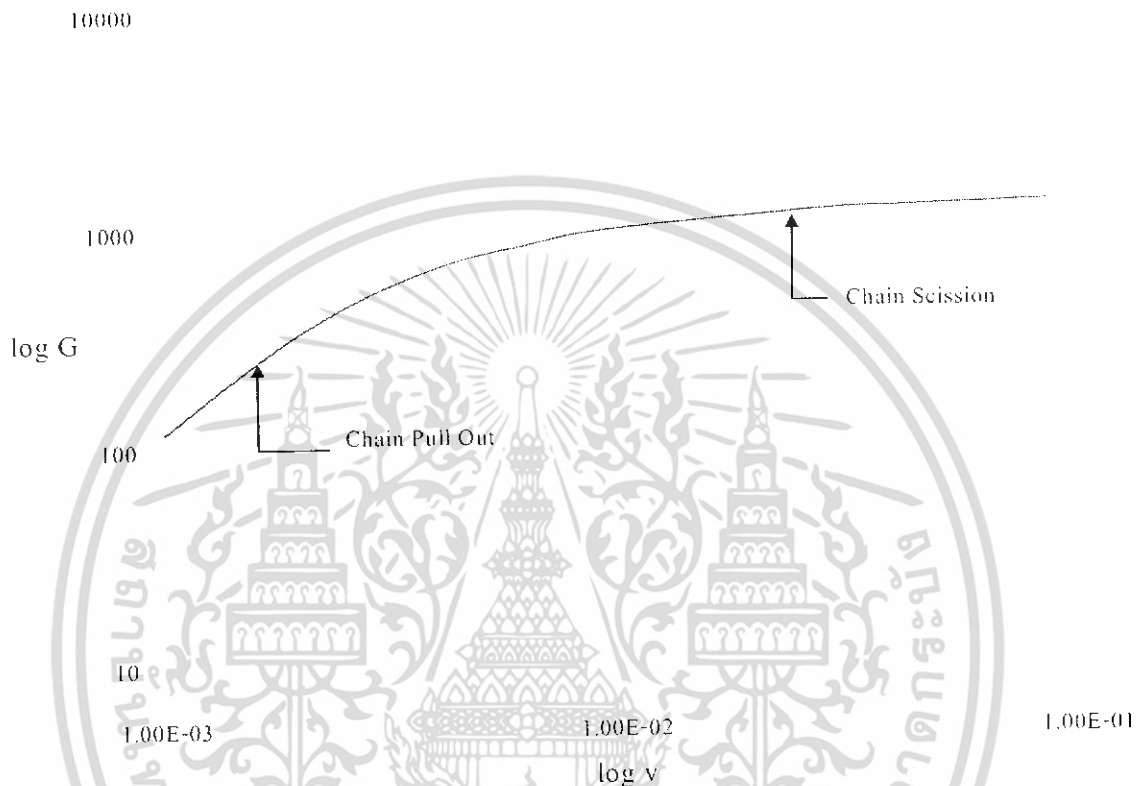
b = ความกว้างของชิ้นงานที่ทำการลอก (มิลลิเมตร)

θ = มุมที่ใช้ในการลอก (องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 กลไกของการแยกผิวสัมผัส

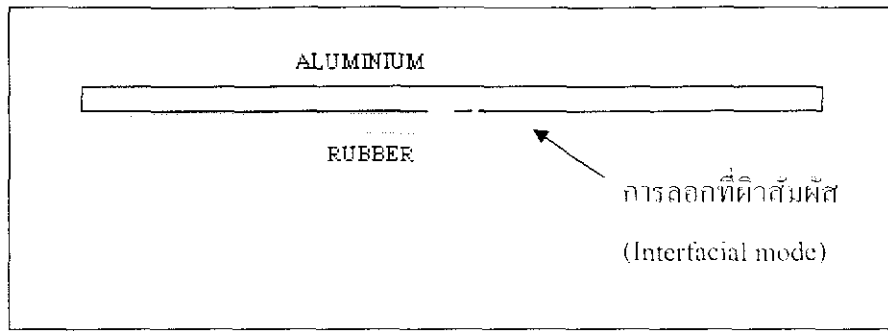
จากการทดสอบโดยการลอกสามารถนำความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการแยกกับความเร็วนำใช้ในการสลายพันธะได้ดังรูปที่ 3.17 [14]



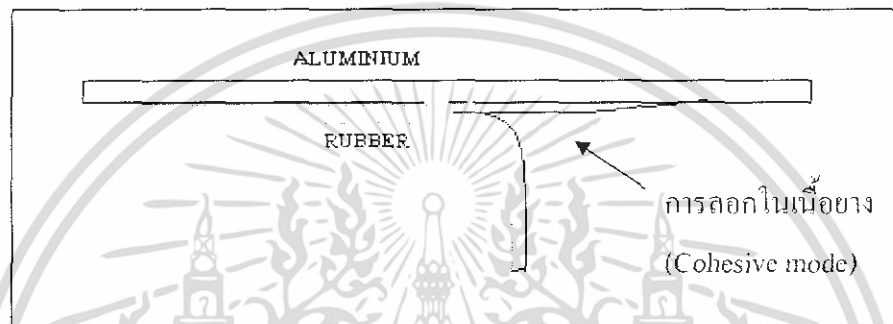
รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการแยก กับความเร็วในการแตกสลายพันธะ

จากรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการแยก กับความเร็วในการแตกสลายพันธะ จะเห็นว่าเมื่อความเร็วในการแตกสลายพันธะสูงขึ้น พลังงานที่ใช้ในการแยกจะมีค่าสูงขึ้นด้วย และในช่วงที่ที่ความเร็วในการแตกสลายพันธะต่ำๆ การเพิ่มขึ้นของความเร็วจะมีผลต่อค่าของพลังงานที่ใช้ในการลอก ในช่วงนี้เรียกว่า Chain Pull Out โดยการฉีกขาดของชิ้นงานจะเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์และโลหะ (Interfacial Failure Mode) ดังรูปที่ 3.18 [14] สำหรับในช่วงความเร็วในการสลายพันธะสูงๆ การเพิ่มขึ้นของความเร็วจะมีผลต่อค่าของพลังงานที่ใช้ในการลอกน้อยมาก ถึงแม้ว่าจะใช้ความเร็วมากขึ้นแต่พลังงานที่ใช้ในการลอกจะยังคงมีค่าเท่าเดิม ดังนั้นการฉีกขาดของชิ้นงานจึงเกิดขึ้นในเนื้อของพอลิเมอร์ (Cohesive Failure Mode) ดังรูปที่ 3.19 [14] และเรียกช่วงนี้ว่า Chain Scission

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 การฉีกขาดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์และโลหะ



รูปที่ 3.19 การฉีกขาดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นในเนื้อของพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การทดลองเพื่อวิเคราะห์สภาพผิวของอะลูมิเนียมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของชิ้นงานที่ปรับสภาพผิวโดยวิธีการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก วิธีการอะโนไดเซชันด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก และชิ้นงานที่ไม่ได้ปรับสภาพผิว ใน 2 ขั้นตอน คือ

- 1.1 วิเคราะห์สภาพผิวของอะลูมิเนียมหลังการปรับสภาพผิวด้วยวิธีการต่างๆ
- 1.2 วิเคราะห์สภาพผิวของอะลูมิเนียมหลังการทดสอบความสามารถในการยึดติดกับยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบและไม่ได้เติมสารคู่ควบโดยการดึงลอก

ส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการยึดติดโดยวิธีการลอก ใน 3 ขั้นตอนคือ

- 2.1 การทดสอบความสามารถในการยึดติดของชิ้นงานที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยวิธีการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก วิธีการอะโนไดเซชันด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกและชิ้นงานที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวกับยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบ
- 2.2 การทดสอบความสามารถในการยึดติดของชิ้นงานที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยวิธีการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก กับยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบ
- 2.3 การทดสอบความสามารถในการยึดติดของชิ้นงานที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยวิธีการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกกับยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบ 10 เปอร์เซ็นต์โดยใช้อุณหภูมิในการลอกต่างกัน

4.1 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 วัสดุ

- 1) ยางธรรมชาติ
- 2) แผ่นอะลูมิเนียมความหนา 1 มิลลิเมตร
- 3) แผ่นเหล็กความหนา 1 มิลลิเมตร

4.1.2 อุปกรณ์

- 1) บีกเกอร์ปริมาตร 100, 250, 500, 2000 มิลลิลิตร
- 2) กระจกบดวงขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร
- 3) ขวดวัดปริมาตรขนาด 500, 1000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ชุดเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate)
- 5) ถาดสแตนเลสสตีล ขนาด 18.5x28.5x4.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 6) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- 7) Magnetic Stirrer
- 8) ลูกตุ้มน้ำหนักขนาด ต่างๆกัน

4.1.3 สารเคมี

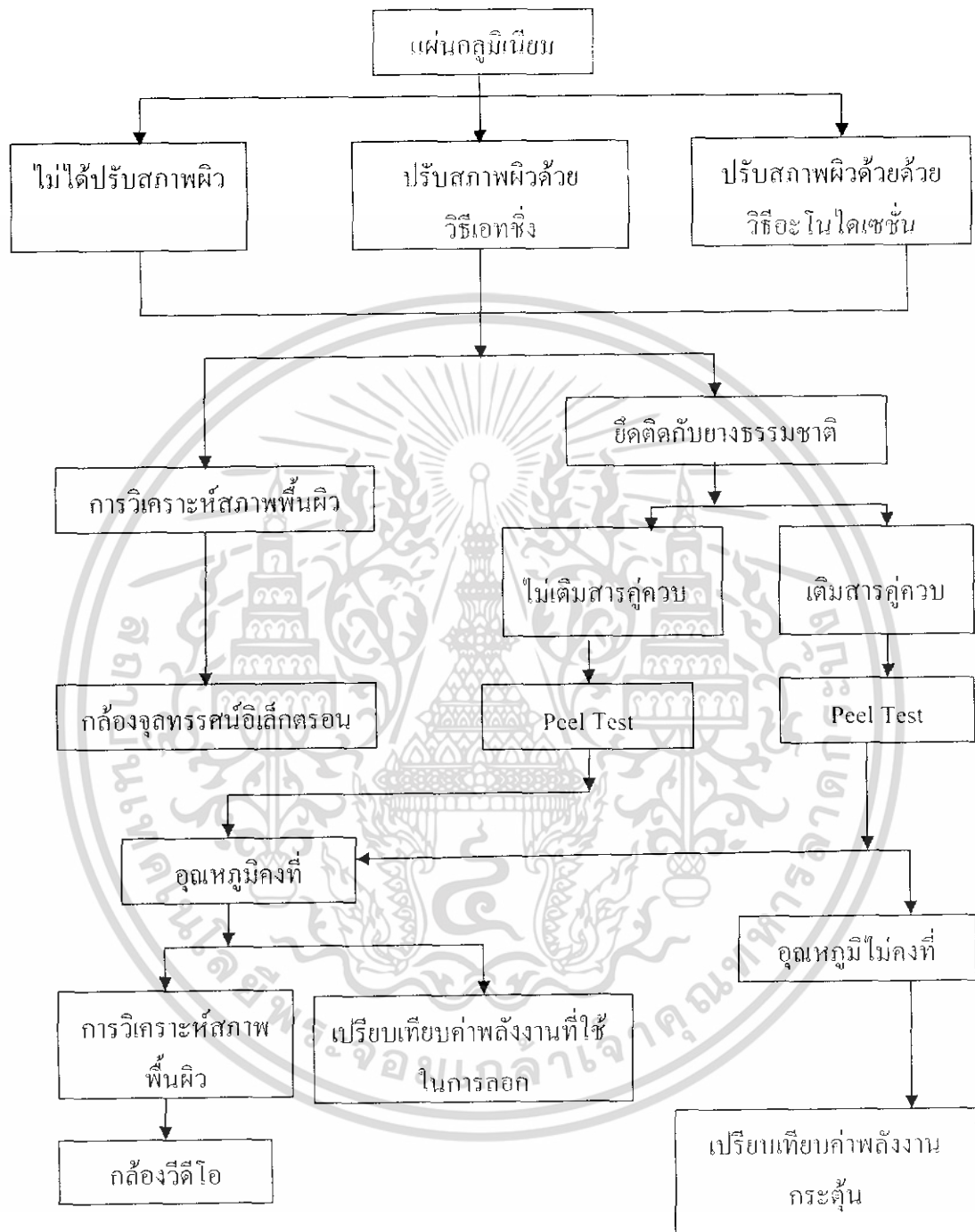
- 1) สารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 96% ผู้ผลิต Merck
 - 2) สารละลายกรดฟอสฟอริก เข้มข้น 85% ผู้ผลิต Mallinckrodt
 - 3) โซเดียมไดโครเมต (Sodium Dichromate) ผู้ผลิต Asia Pacific Specialty Chemical Limited.
 - 4) Silane Coupling Agent ชนิด bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT)
 - 5) น้ำสบู่
 - 6) สารเติมแต่งสำหรับน้ำยาง (ตามสูตร กองการยางแห่งชาติ)
- สารเติมแต่งส่วนที่ 1
- 50% Sulfur Dispersion
 - 50% Zinc Diethyl Dithiocarbamate (ZDEC)
 - 50% Zinc-2-mercaptobenzothiazole (ZMBT)
 - 50% Wingstay L
- สารเติมแต่งส่วนที่ 2
- 33% Diphenyl Guanidine (DPG)
 - 50% Zinc Oxide (ZnO)

4.1.4 เครื่องมือ

- 1) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
- 2) กล้องวีดีโอ ผู้ผลิต GANZ รุ่น ZC-Y11PH3
- 3) ชุดเครื่องมือทดสอบการลอก
- 4) เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Power Supply) Instek รุ่น GPS-3030DD
- 5) เครื่องเป่าอากาศร้อน
- 6) คู่มือควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขั้นตอนการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

4.3.1 การเตรียมแผ่นอะลูมิเนียม ยางธรรมชาติ และแม่พิมพ์

การเตรียมแผ่นอะลูมิเนียม

- 1) ตัดแผ่นอะลูมิเนียม ขนาดความกว้าง 3 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร
 - 2) ล้างด้วยน้ำเพื่อทำความสะอาด และทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศ
- การเตรียมยางธรรมชาติ (ตามสูตร กองยางแห่งชาติ)
- 3) เทน้ำยางลงในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วคนสารกวนน้ำยางประมาณ 5 นาทีเพื่อกำจัดแอมโมเนีย
 - 4) ชั่งน้ำยางให้มีน้ำหนัก 167 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
 - 5) ผสมสารเติมแต่งส่วนแรก ได้แก่ ซัลเฟอร์, ZDEC, ZMBT และ WINGSTAY L ในอัตราส่วน 4:2:2:2 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
 - 6) เทสารเติมแต่งที่เข้ากันดีแล้วผสมกับน้ำยาง และคนให้เข้ากัน
 - 7) ผสมสารเติมแต่งส่วนที่ 2 ได้แก่ DPG และ ZnO ในอัตราส่วน 2:10 ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
 - 8) เทสารเติมแต่งส่วนที่ 2 ผสมกับน้ำยางและคนให้เข้ากัน (ระวังอย่าให้เกิดฟองหากเกิดฟองให้ใช้ช้อนอลูมิเนียมตักออก)
 - 9) กรณียางที่เติมสารคู่ควบ (silane coupling agent) คือ bis- (3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT) ให้ผสมสารคู่ควบ TESPT ตามปริมาณความเข้มข้นที่ต้องการทดสอบคือ 4%, 6%, 10%, 15% และ 20% กับน้ำสบู่ 15 กรัม คนให้เข้ากันแล้วเทลงในยางที่ผสมสารเติมแต่ง

4.3.2 การเตรียมสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกและสารละลายกรดฟอสฟอริก

การเตรียมสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก

- 1) ชั่งสาร โซเดียมไดโครเมต จำนวน 60 กรัม
- 2) ตวงสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 96% ปริมาตร 336 มิลลิลิตร
- 3) ตวงน้ำปริมาตร 1580 มิลลิลิตร
- 4) เทสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 96% ลงในน้ำแล้วจึงเทสาร โซเดียม ไดโครเมตผสมในบีกเกอร์
- 5) นำไปวางลงในเครื่องให้ความร้อน โดยมีแม่เหล็กปั่นกวน เพื่อให้สารทั้งหมดละลายเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมสารละลายกรดฟอสฟอริก

- 1) ตวงสารละลายกรดฟอสฟอริก เข้มข้น 85% โดยปริมาตร ปริมาตร 777 มิลลิลิตร
- 2) ตวงน้ำปริมาตร 5.821.5 มิลลิลิตร
- 3) สารละลายกรด เข้มข้นฟอสฟอริก 85% ลงในน้ำ แล้วคนให้เข้ากัน
- 4) ได้สารละลายกรดฟอสฟอริก เข้มข้น 10% โดยมวล ปริมาตร 6.598.5 มิลลิลิตร

4.3.3 การปรับสภาพผิวของแผ่นอลูมิเนียม

การปรับสภาพผิวด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก

- 1) นำสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกเทใส่บีกเกอร์ ขนาด 2000 มิลลิลิตรแล้วนำไปให้ความร้อนบนเครื่องให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 58 องศาเซลเซียส
- 2) ใส่แผ่นอลูมิเนียมลงในสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก ทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที
- 3) นำแผ่นอลูมิเนียมออกจากสารละลาย นำไปล้างด้วยน้ำสะอาด
- 4) เป่าให้แห้งด้วยเครื่องเป่าอากาศร้อน

การอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก

- 1) เตรียมอุปกรณ์ โดยกำหนด
 - เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า โดยใช้กระแสไฟฟ้า 100 มิลลิแอมแปร์
 - แผ่นอะลูมิเนียม เป็นขั้วแอโนด (ขั้วบวก)
 - แผ่นเหล็ก เป็นขั้วแคโทด (ขั้วลบ)
- 2) เทสารละลายกรดฟอสฟอริก ลงในภาชนะทดสอบ
- 3) เปิดเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Power Supply) และควบคุมกระแสให้ผ่านชิ้นงานแต่ละชิ้น 100 มิลลิแอมแปร์ โดยปรับที่อุปกรณ์ปรับความต้านทาน แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที
- 4) นำแผ่นอลูมิเนียมออกจากที่จับ แล้วล้างด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (Deionized Water)
- 5) เป่าให้แห้งด้วยเครื่องเป่าอากาศร้อน

4.3.4 การจึนรูปชิ้นงาน

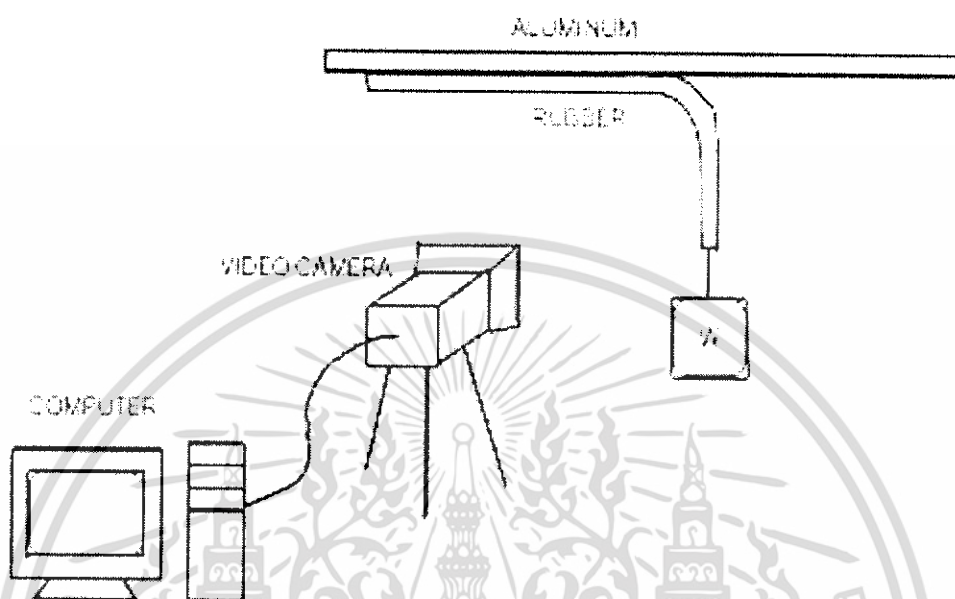
- 1) เทน้ำยางที่เตรียมไว้ลงในแผ่นอลูมิเนียมให้เป็นแผ่นบาง แล้วนำไปเรียงในถาดสแตนเลส
- 3) นำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
- 4) ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 5) ใช้ใบมีดกรีดแผ่นยางให้มีความกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 การทดสอบสภาพการยึดติดและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบการยึดติดโดยวิธีการลอกที่ผิว ที่อุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ

1) เตรียมอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ชุดเครื่องมือสำหรับการทดสอบสภาพการยึดติดด้วยการลอก (Pcel Test)

- 2) นำฟิล์มที่ถ่วงด้วยค้อนน้ำหนักหีบบริเวณส่วนปลายของแผ่นยางพาราที่ยึดติดอยู่กับอะลูมิเนียม
- 3) นำชิ้นงานที่ถ่วงด้วยค้อนน้ำหนักแล้วนำไปพาดบนชุดทดสอบ ก่อนที่จะปล่อยค้อนน้ำหนักโดยใช้กล้องวิดีโอจับภาพการลอกออกของแผ่นยาง
- 4) นำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ผลด้วยกล้องวิดีโอ
การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียม ทั้งที่ปรับและไม่ได้ปรับสภาพผิว
 - 1) ถ่ายภาพแผ่นอะลูมิเนียมที่ปรับสภาพผิวด้วยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก การอะโนไดเซชันและที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวหลังการทดสอบการยึดติด
 - 2) วิเคราะห์สภาพผิวของแผ่นอะลูมิเนียม ที่ได้จากภาพถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

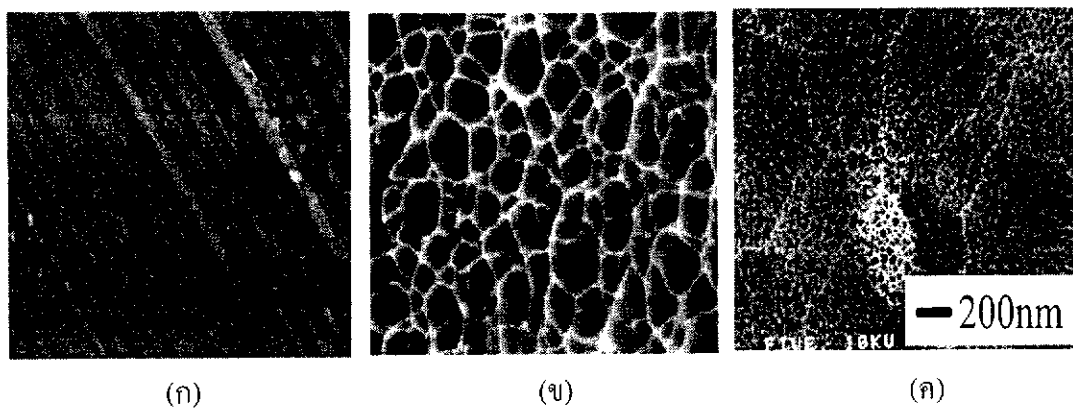
ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมหลังการปรับสภาพผิวและหลังการทดสอบสภาพการยึดติดด้วยวิธีดึงลอก อีกส่วนหนึ่งเป็นผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน โดยวัดแรงที่ใช้ในการดึงลอกชิ้นงาน คือ

1. ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการยึดติดของยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบกับพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิว โดยการกัดด้วยสารละลายกรด โครมิกซัลฟูริก การอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริกและชิ้นงานที่ไม่ได้ปรับสภาพผิว
2. ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการยึดติดของยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบที่ความเข้มข้นต่างกันกับพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิว โดยการกัดด้วยสารละลายกรด โครมิกซัลฟูริก
3. ผลการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการยึดติดกัน ของยางธรรมชาติกับพื้นผิวอะลูมิเนียม

5.1 การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียม

5.1.1 ผลการทดลองในส่วนของการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมหลังการปรับสภาพผิว

ภาพถ่ายสภาพพื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นอะลูมิเนียมที่ไม่ได้ปรับสภาพผิว ปรับสภาพผิวโดยการกัดด้วยสารละลายกรด โครมิกซัลฟูริก และการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ภาพถ่ายชิ้นงาน สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมที่ปรับสภาพผิวและไม่ได้ปรับสภาพผิว (ก) ไม่ได้ปรับสภาพผิว (ข) ปรับสภาพผิวโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก และ (ค) ปรับสภาพผิวโดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก

จากรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่า

1. พื้นผิวที่ไม่ได้ปรับสภาพ

พื้นผิวไม่ราบเรียบ ปรากฏเป็นลายเส้น ซึ่งเป็นรอยที่เกิดจากการเตรียมชิ้นงาน โดยการขัดด้วยกระดาษทรายแต่ไม่ปรากฏโครงสร้างออกไซด์ชั้น

2. พื้นผิวที่ปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายโครมิกซัลฟูริก

พื้นผิวมีความขรุขระปรากฏให้เห็นเนื่องจากเกิดโครงสร้างของออกไซด์บนผิวหน้าของอะลูมิเนียม โดยสามารถสังเกตเห็นเป็นรูพรุนและเห็นเป็นโครงสร้างคล้ายรูปทรงหกเหลี่ยมทับซ้อนกันอยู่ โดยจะมีพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้ปรับสภาพผิว

4. พื้นผิวที่ปรับสภาพโดยวิธีอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก

พื้นผิวมีลักษณะคล้ายกับพื้นผิวที่ปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายโครมิกซัลฟูริกโดยมีความขรุขระ เนื่องจากเกิดโครงสร้างของออกไซด์บนผิวหน้าแต่มีความเป็นรูพรุนของทรงกลมที่ทับซ้อนกันมากกว่าชิ้นงานที่ปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายโครมิกซัลฟูริก และเกิดเป็นลักษณะคล้ายรูปทรงหกเหลี่ยมหลายรูปทับซ้อนกันรวมเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ทำให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายจากชิ้นงานที่ปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายโครมิกซัลฟูริก และชิ้นงานที่ไม่ได้ปรับสภาพ

5.1.2 ผลการทดลองในส่วนของการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมหลังการ

ทดสอบโดยการลอก

1) การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมที่ปรับสภาพ โดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก โดยวิธีอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริกและชิ้นงานที่ไม่ได้ปรับสภาพ หลังจากการทดสอบสภาพการยึดติดกับยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมสารก่อกวน โดยการลอก ผลดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.2

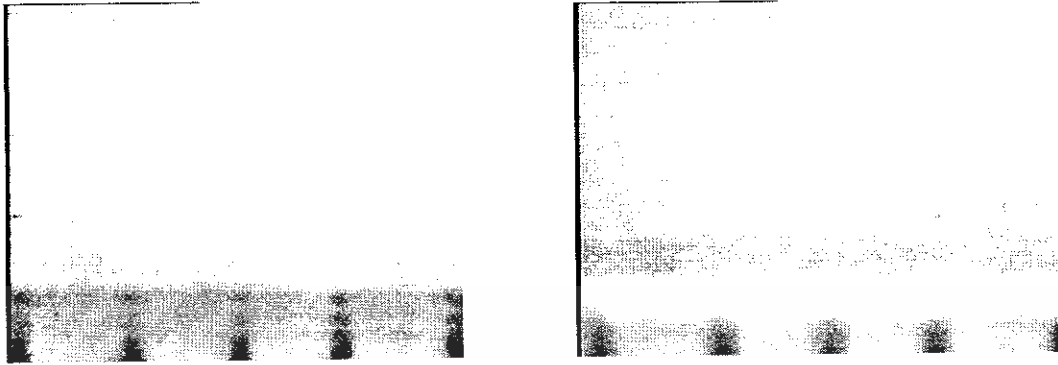
ตารางที่ 5.1 ลักษณะของน้ำบนพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก โดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริกและไม่ได้ปรับสภาพผิว ก่อนและหลังการทดสอบ โดยการลอก

วิธีการปรับสภาพ	ลักษณะของน้ำบนพื้นผิวอะลูมิเนียม ก่อนการทดสอบโดยการลอก	ลักษณะของน้ำบนพื้นผิวอะลูมิเนียม หลังการทดสอบโดยการลอก
ไม่ได้ปรับสภาพ	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว
การกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว
การอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนลอก

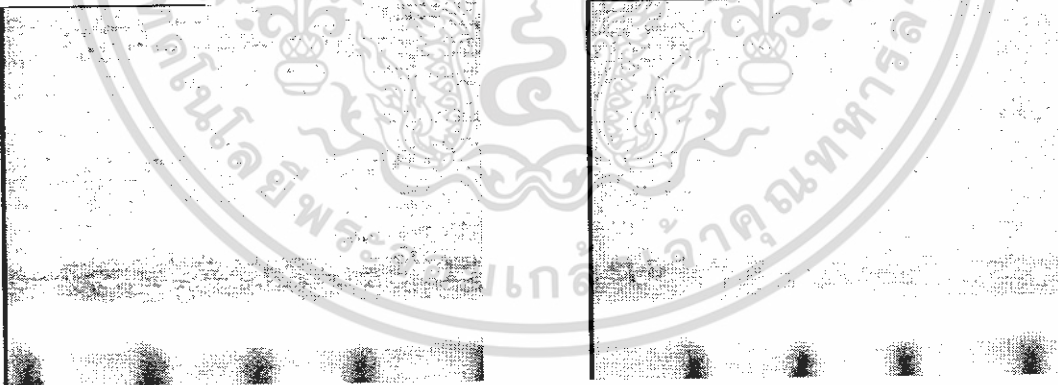
หลังลอก



(ก)



(ข)



(ค)

1 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมก่อนและหลังจากการทดสอบสภาพการยึดติดกับยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบโดยการลอก ซึ่งปรับสภาพผิวโดย (ก) ชิ้นงานที่ไม่ได้ปรับสภาพ (ข) ปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายโครมิกซัลฟูริก (ค)

ปรับสภาพโดยวิธีอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.2 และตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่า พื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก การอะโนไดเซชันในสารละลายกรดเพอซฟอริกและพื้นผิวที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ ทั้งก่อนและหลังการทดสอบสภาพการยึดติดโดยวิธีดึงลอกกับยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบ ไม่สังเกตเห็นความแตกต่างของพื้นผิว เนื่องจากพื้นผิวที่ผ่านการลอกไม่พบเศษแผ่นยางบนพื้นผิว พื้นผิวมีความสะอาดเช่นเดียวกันกับก่อนทำการยึดติดกับยางธรรมชาติ ดังรูปที่ 5.2 และเมื่อทำการทดสอบการเป็ยกน้ำของแผ่นอะลูมิเนียมหลังการทดสอบการยึดติดพบว่า มีน้ำแผ่กระจายเป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิวเช่นเดียวกันกับก่อนการยึดติดที่ไม่มีแผ่นยัดติด ดังตารางที่ 5.1 ซึ่งสอดคล้องกับผลจากภาพถ่าย และแสดงว่ากลไกการลอกของยางออกจากผิวโลหะเป็นการลอกที่ผิวสัมผัส (Interfacial Mode) เนื่องจากไม่มีเศษแผ่นยัดติดบนพื้นผิวอะลูมิเนียม

2) การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมของแผ่นอะลูมิเนียมที่ปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายโครมิกซัลฟูริก หลังทำการทดสอบสภาพการยึดติดกับยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบโดยการลอก ผลดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.3

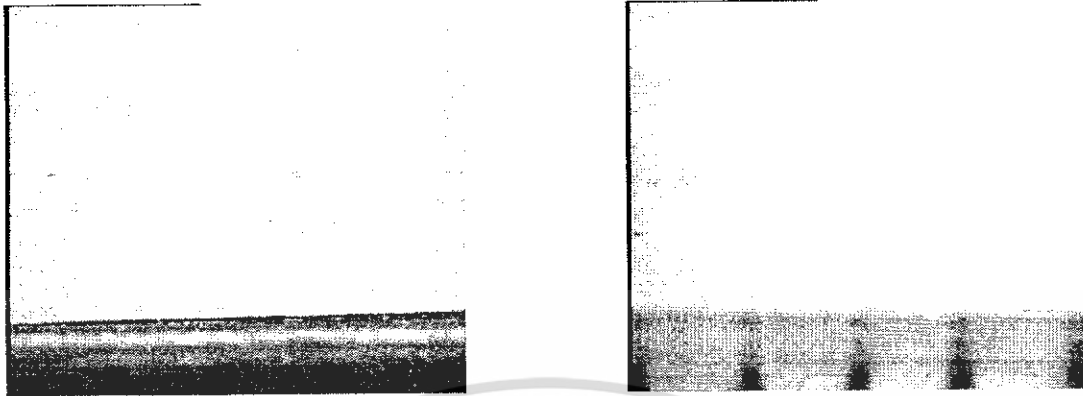
ตารางที่ 5.2 ลักษณะของน้ำบนพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก ก่อนและหลังการทดสอบโดยการลอกกับยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบที่ความเข้มข้น 4%, 6%, 10%, 15% และ 20%

ความเข้มข้นของสารคู่ควบ	ลักษณะของน้ำบนพื้นผิวอะลูมิเนียมก่อนการทดสอบโดยการลอก	ลักษณะของน้ำบนพื้นผิวอะลูมิเนียมหลังการทดสอบโดยการลอก
4 %	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว
6 %	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว
10 %	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว
15 %	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว
20 %	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว	น้ำแผ่กระจาย เป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนลอก

หลังลอก



(ง)



(จ)

1 มิลลิเมตร

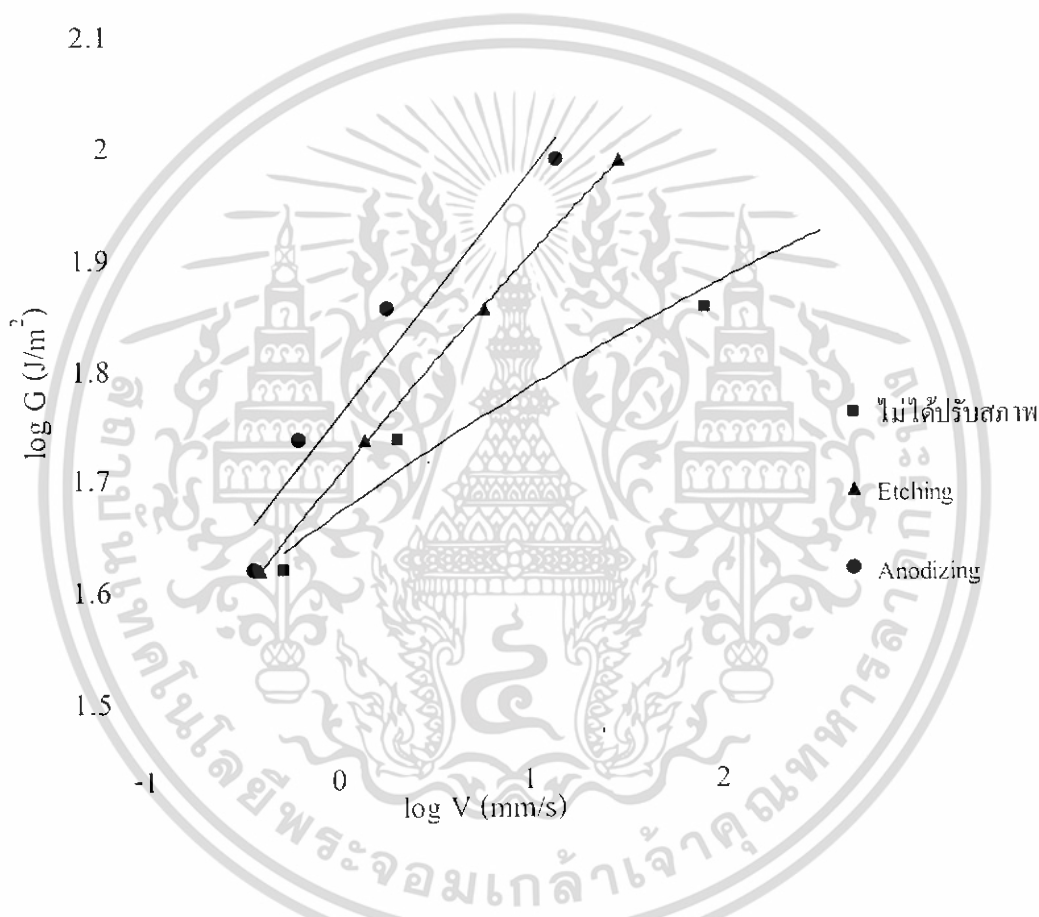
รูปที่ 5.3 (ต่อ)

จากตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่า พื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก ทั้งก่อนและหลังการทดสอบสภาพการยึดติดโดยวิธีดึงลอกกับยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ไม่สังเกตเห็นความแตกต่างของพื้นผิว เนื่องจากพื้นผิวที่ผ่านการลอกไม่พบเศษแผ่นยางบนพื้นผิว พื้นผิวมีความสะอาดเช่นเดียวกันกับก่อนทำการยึดติดกับยางธรรมชาติ ดังรูปที่ 5.3 และเมื่อทำการทดสอบการเป็ยกน้ำของแผ่นอะลูมิเนียมหลังการทดสอบการยึดติดพบว่า มีน้ำแผ่กระจายเป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิวเช่นเดียวกันกับก่อนการยึดติดที่ไม่มีแผ่นยางติด ดังตารางที่ 5.2 ซึ่งสอดคล้องกับผลจากภาพถ่าย และแสดงว่ากลไกการลอกของยางออกจากผิวโลหะเป็นการลอกที่ผิวสัมผัส (Interfacial Mode) เนื่องจากไม่มีเศษแผ่นยางติดบนพื้นผิวอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลจากการทดสอบโดยวิธีดึงลอก

5.2.1 การเปรียบเทียบความสามารถในการยึดติดของยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมสารก่อกวนกับพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก การอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริกและไม่ได้ปรับสภาพผิวโดยวิธีการลอกที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ผลดังรูปที่ 5.4



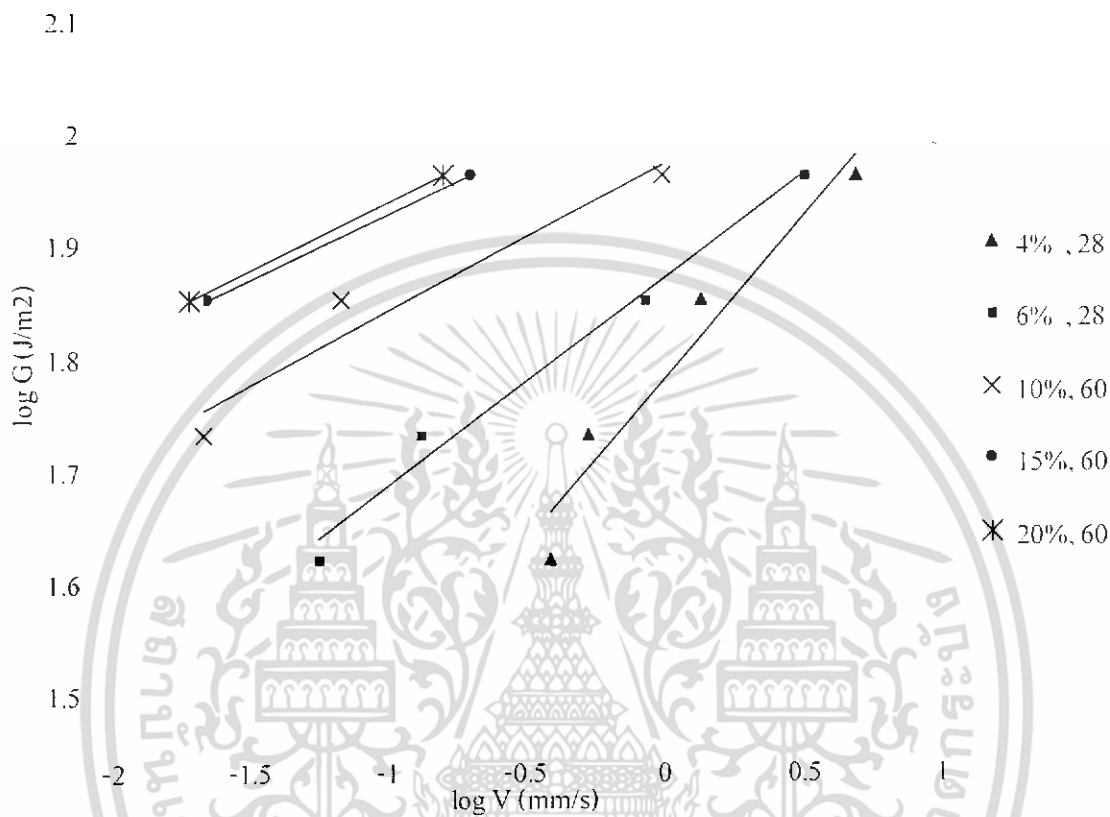
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและค่าพลังงานที่ใช้ในการลอกยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมสารก่อกวนกับพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก การอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริกและไม่ได้ปรับสภาพผิวโดยวิธีการลอกที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่าที่ค่าพลังงานในการลอกเท่ากัน ความเร็วในการลอกของแผ่นอะลูมิเนียม ที่ไม่ได้รับการปรับสภาพมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือการปรับสภาพโดยการกัด ด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกและการปรับสภาพโดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

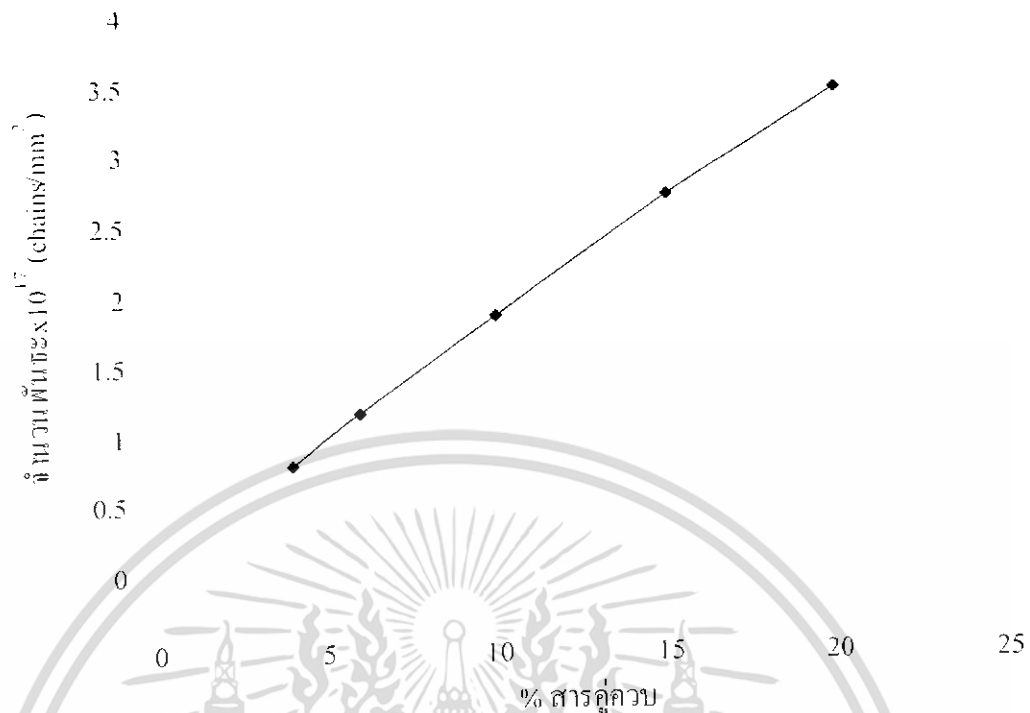
ฟอสฟอริกมีความเร็วในการลอกต่ำที่สุดนั่นคือชิ้นงานที่ได้รับการปรับสภาพ โดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริกมีความแข็งแรงของการยึดเกาะกันสูงที่สุด รองลงมาคือ ชิ้นงานที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก ส่วนชิ้นงานที่ไม่ได้รับการปรับสภาพมีความแข็งแรงในการยึดเกาะกันน้อยที่สุด เนื่องจากชิ้นงานที่ผ่านการปรับสภาพโดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริกจะเกิดชั้นของออกไซด์ขึ้นมาใหม่ ด้วยโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและพื้นที่ผิวของชั้นออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้น เกิดจำนวนพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดมาก ทำให้การยึดติดกันระหว่างผิวสัมผัสมีความแข็งแรงสูง ความเร็วที่ใช้ในการลอกจึงน้อยที่สุด ชิ้นงานที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกมีพื้นที่ผิวของออกไซด์น้อยกว่า เกิดจำนวนพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดน้อยลง ความแข็งแรงระหว่างผิวสัมผัสจึงลดลงด้วย ซึ่งทำให้ความเร็วในการลอกสูงเพิ่มขึ้นอีก ส่วนชิ้นงานที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ มีพื้นที่ผิวของชั้นออกไซด์น้อยที่สุด เกิดจำนวนพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดลดลงมาก ความแข็งแรงระหว่างผิวสัมผัสจึงต่ำที่สุด ซึ่งทำให้ความเร็วในการลอกสูงกว่าแบบอื่น

ในส่วนของค่าพลังงานที่ใช้ในการลอกยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบออกจากแผ่นอะลูมิเนียมที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ ปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกและปรับสภาพโดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก พบว่าแปรผันโดยตรงกับความเร็วในการลอก เมื่อเปรียบเทียบลักษณะกราฟที่ได้จากการทดลองกับงานวิจัยของ A.Namkanisorn และคณะ [15] พบว่ากลไกการลอกของยางออกจากผิวโลหะเป็นการลอกที่ผิวสัมผัส (Interfacial Mode) นั่นคือการลอกของสายโซ่ยางจะเกิดขึ้นโดยกลไกที่เรียกว่า Chain Pull Out ซึ่งจะใช้พลังงานในการดึงลอกสูงขึ้น เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดของการทดสอบที่ไม่สามารถวัดค่าความเร็วที่ค่าความเร็วสูงๆ ได้ จึงไม่สามารถบอกได้ว่าเมื่อค่าความเร็วเพิ่มขึ้น กลไกของการลอกจะเปลี่ยนเป็นการลอกโดย Chain scission หรือไม่ และผลของภาพถ่ายจากกล้องถ่ายรูป ไม่พบเนื้อยางบนผิวอะลูมิเนียม จึงเป็นการยืนยันว่าการลอกของยางออกจากผิวโลหะเป็นการลอกที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัส

5.2.2 การเปรียบเทียบความสามารถในการยึดติดของยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบที่ความเข้มข้นต่างกันกับพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก ผลดังรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและค่าพลังงานที่ใช้ในการลอกยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบชนิด bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT) ที่ความเข้มข้น 4%, 6%, 10%, 15% และ 20% กับพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก โดยวิธีการลอกที่อุณหภูมิ 28 และ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารเชื่อมขวางที่เติมในยางธรรมชาติกับจำนวนพันธะของสารเชื่อมขวางกับยางธรรมชาติและโลหะอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก

จากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าที่ค่าพลังงานในการลอกเท่ากันเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารเชื่อมขวาง bis- (3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT) ที่เติมลงในยางธรรมชาติที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการยึดติดกับแผ่นอะลูมิเนียมที่ปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก โดยทำการลอกที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) พบว่าความเร็วของการลอกที่ความเข้มข้นของสารเชื่อมขวาง 4% มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ 6% สำหรับที่ความเข้มข้นของสารเชื่อมขวาง 10%, 15% และ 20% ไม่สามารถทำการลอกที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ได้ที่ค่าพลังงานในการลอกที่ต่ำสุดที่ทำการทดสอบ ($1.62 \frac{J}{m^2}$) ดังนั้นจึงเพิ่มพลังงานที่ใช้ในการลอกโดยทำการลอกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าที่ความเข้มข้นของสารเชื่อมขวาง 10% ความเร็วของการลอกมากที่สุด รองลงมาคือ 15% และความเร็วของการลอกน้อยที่สุดคือ 20% สำหรับที่ความเข้มข้นของสารเชื่อมขวาง 10% ที่ค่าพลังงานในการลอก $1.62 \frac{J}{m^2}$ และที่ความเข้มข้นของสารเชื่อมขวาง 15% และ 20% ที่ค่าพลังงานในการลอก 1.62 และ $1.73 \frac{J}{m^2}$ ไม่สามารถวัดค่าความเร็วของการลอกที่อุณหภูมิ

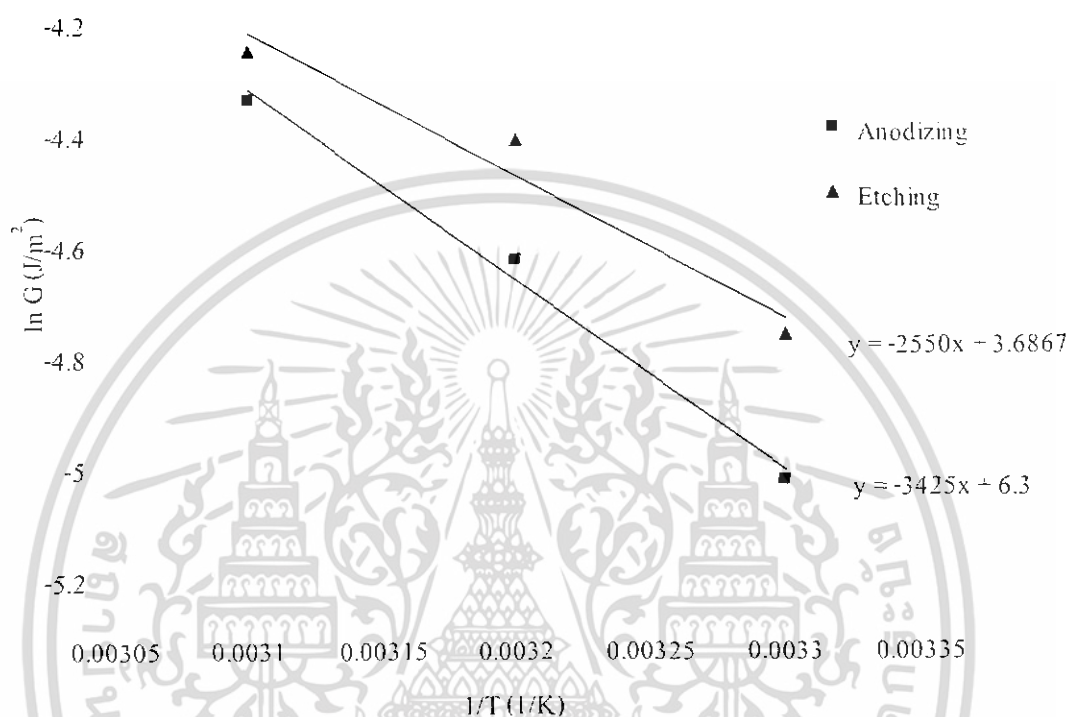
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

60 องศาเซลเซียสได้ เนื่องจากไม่เกิดการลอกในช่วงระยะเวลาที่กำหนด และจากรูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารคู่ควบที่เติมลงในยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดของสารคู่ควบกับยางธรรมชาติและสารคู่ควบกับโลหะอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ความแข็งแรงระหว่างผิวสัมผัสเพิ่มสูงขึ้น ความเร็วของการลอกจึงลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับรูปที่ 5.5

ผลของการเพิ่มความเข้มข้นของสารคู่ควบที่เติมลงในยางธรรมชาติที่ทำให้ความเร็วของการลอกลดลง จากงานวิจัยของ A. Ansarifar , H.P. Lim, R. Nijhawan [11] อธิบายได้ว่า bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT) จะมีหมู่ Tetrasulphane และหมู่เอชทอกซี ซึ่งหมู่ Tetrasulphane เป็นหมู่ที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับยางธรรมชาติและหมู่เอชทอกซีจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวอะลูมิเนียม ในขณะที่เกิดการยึดติดกันของยางธรรมชาติกับโลหะอะลูมิเนียม ดังนั้นการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารคู่ควบทำให้เกิดพันธะระหว่างยางธรรมชาติกับสารคู่ควบและระหว่างสารคู่ควบกับพื้นผิวอะลูมิเนียมต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความแข็งแรงของการยึดติดกันระหว่างยางธรรมชาติกับแผ่นอะลูมิเนียมสูงขึ้น ความเร็วของการลอกจึงลดลง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารคู่ควบจนถึงปริมาณหนึ่ง ความเร็วที่ใช้ในการลอกจะมีแนวโน้มคงที่ เพราะสารคู่ควบที่เพิ่มเข้าไปจะมีผลต่อการยึดติดน้อยมาก เนื่องจากจำนวนพันธะต่อพื้นที่สูงกว่าจำนวนพันธะวิกฤต ทำให้มีจำนวนพันธะมากพอที่จะรับน้ำหนักที่เกิดจากการดึงลอกได้ เห็นได้จากที่ความเข้มข้น 15% และ 20% ความเร็วของการลอกแตกต่างกันน้อยมาก

รูปที่ 5.4 และ 5.5 ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง เนื่องจากรูปที่ 5.4 ไม่มีส่วนผสมของน้ำสบู่ เพราะเมื่อเติมน้ำสบู่จะทำให้เกิดการลอกที่เร็วทำให้ไม่สามารถบันทึกภาพการลอกได้ สำหรับรูปที่ 5.5 มีการเติมน้ำสบู่เพื่อให้สารคู่ควบสามารถละลายได้ในยางธรรมชาติ

5.2.3 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการยึดติดกัน ของยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบ 10% กับพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก ผลดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและอุณหภูมิที่ใช้ในการลอก ของการลอกยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบความเข้มข้น 10% กับพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกและการอะโนไดเซชันด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก โดยวิธีการลอกด้วยน้ำหนัก 55.144 กรัม(พลังงานในการลอก $1.73 \frac{J}{m^2}$) ที่อุณหภูมิ 39, 49 และ 59 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 5.7 สามารถหาค่าพลังงานกระตุ้นของการยึดติดกันระหว่างยางธรรมชาติที่เติมสารคู่ควบ 10% กับแผ่นอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกได้เท่ากับ 15.67 kcal/mol และโดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก ค่าพลังงานกระตุ้นได้เท่ากับ 11.67 kcal/mol

จะเห็นว่าค่าพลังงานกระตุ้นของการยึดติดกันระหว่างยางธรรมชาติกับแผ่นอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก จะมากกว่าพลังงานกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแผ่นอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก เนื่องจาก
 ชิ้นงานที่ผ่านการปรับสภาพโดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก จะเกิดชั้นของ
 ออกไซด์ขึ้นมาใหม่ ด้วยโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและพื้นที่ผิวของชั้นออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิด
 จำนวนพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดมากกว่า ความแข็งแรงระหว่างผิวสัมผัสเพิ่มขึ้นทำให้ค่าพลังงาน
 กระตุ้นสูงตามไปด้วย ส่วนชิ้นงานที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัล
 ฟูริกมีพื้นที่ผิวของออกไซด์ที่น้อยกว่า จำนวนการเกิดพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดลดลงความ
 แข็งแรงระหว่างผิวสัมผัสต่ำ จึงทำให้ค่าพลังงานกระตุ้นน้อยกว่าด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลและวิเคราะห์

6.1 การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียม

6.1.1 การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมภายหลังการปรับสภาพโดยวิธีการต่างๆ

การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมที่ไม่ได้รับการปรับสภาพผิว การปรับสภาพผิวโดยการกัดด้วยด่างสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก และการอโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีความขรุขระเกิดขึ้นบนผิวหน้าของแผ่นอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยการอโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริกมากที่สุด เนื่องจากเกิดขึ้นออกไซด์ที่มีรูพรุนและมีพื้นผิวมากที่สุด รองลงมาคือแผ่นอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก ส่วนสภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมที่ไม่ได้รับการปรับสภาพผิว ไม่สังเกตเห็นความขรุขระบนผิวหน้าของแผ่นอะลูมิเนียม

6.1.2 การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมหลังการทดสอบโดยวิธีการลอก

การวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก การอโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริกและพื้นผิวที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ ทั้งก่อนและหลังการทดสอบสภาพการยึดติดโดยวิธีดึงลอกกับยางธรรมชาติที่ไม่ได้เค็มสารคู่ควบ และการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกทั้งก่อนและหลังการทดสอบสภาพการยึดติดโดยวิธีดึงลอกกับยางธรรมชาติที่ได้เค็มสารคู่ควบที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ไม่สังเกตเห็นความแตกต่างของพื้นผิวเนื่องจากพื้นผิวที่ผ่านการลอกไม่พบเศษแผ่นยางบนพื้นผิว พื้นผิวมีความสะอาดเช่นเดียวกันกับก่อนทำการยึดติดกับยางธรรมชาติ และเมื่อทำการทดสอบการเป็ยกน้ำของแผ่นอะลูมิเนียมหลังการทดสอบการยึดติดพบว่า มีน้ำแผ่กระจายเป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิวเช่นเดียวกันกับก่อนการยึดติดที่ไม่มีแผ่นยางติด ซึ่งสอดคล้องกับผลจากภาพถ่าย และแสดงว่ากลไกการลอกของยางออกจากผิวโลหะเป็นการลอกที่ผิวสัมผัส (Interfacial Mode) เนื่องจากไม่มีเศษแผ่นยางติดบนพื้นผิวอะลูมิเนียม

6.2 ผลจากการทดสอบโดยวิธีดึงลอก

6.2.1 ผลของการปรับสภาพพื้นผิวอะลูมิเนียม

การทดสอบความสามารถในการยึดติดกันของยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบกับพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพผิวโดยการกัดด้วยสารละลายสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก การอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริกและชั้นงานที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวโดยวิธีการทดสอบการดึงลอก พบว่าที่ค่าพลังงานในการลอกเท่ากัน ชั้นงานที่ได้รับการปรับสภาพโดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก มีความแข็งแรงของการยึดเกาะกันสูงที่สุด รองลงมาคือชั้นงานที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก ส่วนชั้นงานที่ไม่ได้รับการปรับสภาพมีความแข็งแรงในการยึดเกาะกันน้อยที่สุด เนื่องจากชั้นงานที่ผ่านการปรับสภาพโดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริกจะเกิดชั้นของออกไซด์ขึ้นมาใหม่ ด้วยโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและพื้นที่ผิวของชั้นออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้น เกิดจำนวนพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดมาก ความแข็งแรงระหว่างผิวสัมผัสเพิ่มขึ้น ความเร็วที่ใช้ในการลอกจึงน้อยลง สำหรับชั้นงานที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกมีพื้นที่ผิวของออกไซด์น้อย จำนวนพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดลดลง ความแข็งแรงระหว่างผิวสัมผัสต่ำ ซึ่งทำให้ความเร็วในการลอกสูงเพิ่มขึ้นอีก ส่วนชั้นงานที่ไม่ได้รับการปรับสภาพ มีพื้นที่ผิวของชั้นออกไซด์น้อยที่สุด ทำให้พันธะในการยึดติดมีความแข็งแรงต่ำมาก ซึ่งทำให้ความเร็วในการลอกสูงกว่าแบบอื่น

6.2.2 ผลของการเติมสารคู่ควบ

การเพิ่มความเข้มข้นของสารคู่ควบทำให้ความเร็วในการลอกลดลง เนื่องจาก bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphane (TESPT) จะมีหมู่ Tetrasulphane และหมู่เอธอกซี ซึ่งหมู่ Tetrasulphane เป็นหมู่ที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับยางธรรมชาติและหมู่เอธอกซีจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวอะลูมิเนียม ในขณะที่เกิดการยึดติดกันของยางธรรมชาติกับโลหะอะลูมิเนียม ดังนั้นการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารคู่ควบทำให้การเกิดพันธะระหว่างยางธรรมชาติกับสารคู่ควบและระหว่างสารคู่ควบกับพื้นผิวอะลูมิเนียมต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความแข็งแรงของการยึดติดกันระหว่างยางธรรมชาติกับแผ่นอะลูมิเนียมสูงขึ้น ความเร็วของการลอกจึงลดลง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารคู่ควบจนถึงปริมาณหนึ่ง ความเร็วที่ใช้ในการลอกจะมีแนวโน้มคงที่ เพราะสารคู่ควบที่เพิ่มเข้าไปจะมีผลต่อการยึดติดน้อยมาก เนื่องจากจำนวนพันธะต่อพื้นที่สูงกว่าจำนวนพันธะวิกฤต ทำให้มีจำนวนพันธะมากพอที่จะรับน้ำหนักที่เกิดจากการดึงลอกได้

6.2.2 ผลของอุณหภูมิ

ค่าพลังงานกระตุ้นของการยึดติดกันระหว่างยางธรรมชาติกับแผ่นอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการอะโนไดเซชันในสารละลายกรดฟอสฟอริก (15.67 kcal/mol) จะมากกว่าพลังงานกระตุ้นของแผ่นอะลูมิเนียมที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริก (11.67 kcal/mol) เนื่องจากชิ้นงานที่ผ่านการปรับสภาพโดยการอะโนไดเซชันจะเกิดชั้นของออกไซด์ขึ้นมาใหม่ ด้วยโครงสร้างที่เป็นรูพรุนและพื้นที่ผิวของชั้นออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดจำนวนพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดมากกว่า ความแข็งแรงระหว่างผิวสัมผัสเพิ่มขึ้นทำให้ค่าพลังงานกระตุ้นสูงตามไปด้วย ส่วนชิ้นงานที่ได้รับการปรับสภาพโดยการกัดด้วยสารละลายกรดโครมิกซัลฟูริกมีพื้นที่ผิวของออกไซด์ที่น้อยกว่า จำนวนการเกิดพันธะต่อพื้นที่ในการยึดติดลดลง ความแข็งแรงระหว่างผิวสัมผัสต่ำ จึงทำให้ค่าพลังงานกระตุ้นน้อยกว่าด้วย

6.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

6.3.1 หลังการปรับสภาพผิวโลหะด้วยวิธีต่างๆแล้ว ผิวของอะลูมิเนียมจะประกอบด้วยชั้นออกไซด์มีความว่องไวสูง อาจสร้างพันธะกับสิ่งเจือปนได้ หากไม่ขึ้นรูปทันที

6.3.2 ในการทดลองมีการใช้สารเคมีหลายชนิดที่สามารถระเหยได้ และไม่ได้ทำการทดลองในระบบปิดทำให้สารเคมีดังกล่าวมีค่าความเข้มข้นคลาดเคลื่อนไป

6.3.3 ในการทดสอบสภาพการยึดติดด้วยวิธีการลอก เมื่อปล่อยค้อน้ำหนัก ผลของแรงเหวี่ยงในช่วงแรกอาจทำให้อัตราเร็วในการลอกคลาดเคลื่อนไปบ้าง

บทที่ 7

ข้อเสนอแนะ

7.1 การเก็บรักษาข่างพาราควรเก็บในอุณหภูมิที่เหมาะสม เช่น อยู่ที่อุณหภูมิที่ไม่แปรปรวน บริเวณที่ไม่มี ความชื้นของอากาศมาก และเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพและการ แข็งตัวของข่างพารา เนื่องจากการระเหยของแอมโมเนีย

7.2 ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ขณะการอบข่าง เพื่อป้องกันข่างไหม้และหลุดออกจากแม่พิมพ์

7.3 ควรขึ้นรูปข่างพาราทันทีหลังการปรับสภาพผิวโลหะเนื่องจากชั้นของออกไซด์บนโลหะ อะลูมิเนียมไวต่อการเกิดปฏิกิริยาต่ออากาศ

7.4 ควรทำการทดสอบสภาพการยึดติดด้วยการลอกผิวในสภาวะที่มีน้ำ หรือ ความชื้น ที่ อุณหภูมิต่างๆ เพราะในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง การแยกออกจากกันระหว่างข่างพารา กับ โลหะจะมีน้ำ ความชื้นและความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

7.5 ในการทดสอบสภาพการยึดติดด้วยวิธีการลอกควรปล่อยตุ้มน้ำหนัก โดยไม่ให้เกิดการแกว่ง เพื่อให้มีผลของน้ำหนักและแรงโน้มถ่วงเท่านั้น

7.6 ใช้กล้องวิดีโอที่สามารถบันทึกภาพการลอกที่ความเร็วสูงได้

7.7 สำหรับการปรับสภาพพื้นผิวของ โลหะอะลูมิเนียมด้วยวิธีอะโนไดเซชัน ควรเพิ่ม กระแสไฟฟ้าให้มากขึ้น

7.8 ทดลองใช้สารคู่ควบชนิดอื่น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Edward M. Petrie, **Handbook of adhesive and sealant**. McGraw-Hill Companies. inc, 2000.
- [2] Rob D.F.M. Taalman, **Isoprene: Background and Issues**. Toxicology 113. p.242. 1996.
- [3] J.W. McBain and D.G. Hopkins, **J Phys Chem**. p. 29-88, 1925.
- [4] K.L. Mittal and A. Pizzi, **Adhesion Promotion Techniques**. Marcel Dekker, New York, 1999.
- [5] A. Namkanisorn, **An Arrhenius Method to Study the Hydrolytic Stability of Polymer-Metal Adhesion**. Ph.D. Thesis Lehigh University, 2001.
- [6] E.P. Plueddemann. et. al, **Silane coupling agent**. Plenum, Newyork, 1982.
- [7] W. Brockmann, O.D. Hennemann, H. Kollek and C. Matz, **Int. J. Adhesion Adhesives**. p. 115 -143, 1996.
- [8] Y. Bunsanong, **Effect of Fibre Surface Treatment on the Interfacial Adhesion between Aramid Fibre and Thermoplastic Elastomer**. M.D. Thesis Mahidol University, 2001.
- [9] G.A.Nitowski, **Topographic and Surface Chemical Aspect of the Adhesion of Structural Epoxy Resin to Phosphorus Oxoacid Treated Aluminum Adherends**. Ph.D. Thesis Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998.
- [10] H.M. Clearfield, D.K. McNamara and G.D. Davis, **Adhesive Bonding**. Plenum Press, New York, 1982.
- [11] Ansarifar, H.P. Lim, R. Nijihawan, **Assessment of the effect of a bifunctional organosilane on the bound rubber and properties of some natural rubber compounds**. Institute of Technology and Materials Engineering, Loughborough University, 2003.
- [12] A. J. Kinloch and R. J. Young, **Fracture Behavior of Polymer**. London, 1983.
- [13] MacCabe Smith Harriot, **Unit Operations of Chemical Engineering**. 6th edition, London, p.885, 2001.
- [14] Brockmann, O.-D. Hennemann, H. Kollek and C. Matz, **Int. J. Adhesion Adhesives**. p. 115 -143, 1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] Namkanisorn, et. al. **A kinetic approach to study the hydrolytic stability of polymer-metal adhesion.** J. Adhesion Sci. Tech., 15, 14, 1725-1745 (2001).
- [16] K.L. Mittal, **Silane and Other Coupling Agents.** Utrecht, 1992.
- [17] Cook, S. Edge and D.E. Packham, **The adhesion of natural rubber to steel and the use of the peel test to study its nature.** School of Materials Science, University of Bath, Claverton Down, Bath, BA2 7AY, UK, 2004.
- [18] Vinod Roy, Mithu Das, Rintu Banerjee and Anil K, **Comparative Studies on rubber biodegradation through solid-state and submerged fermentation.** Indian Institute of Technology, 2005.



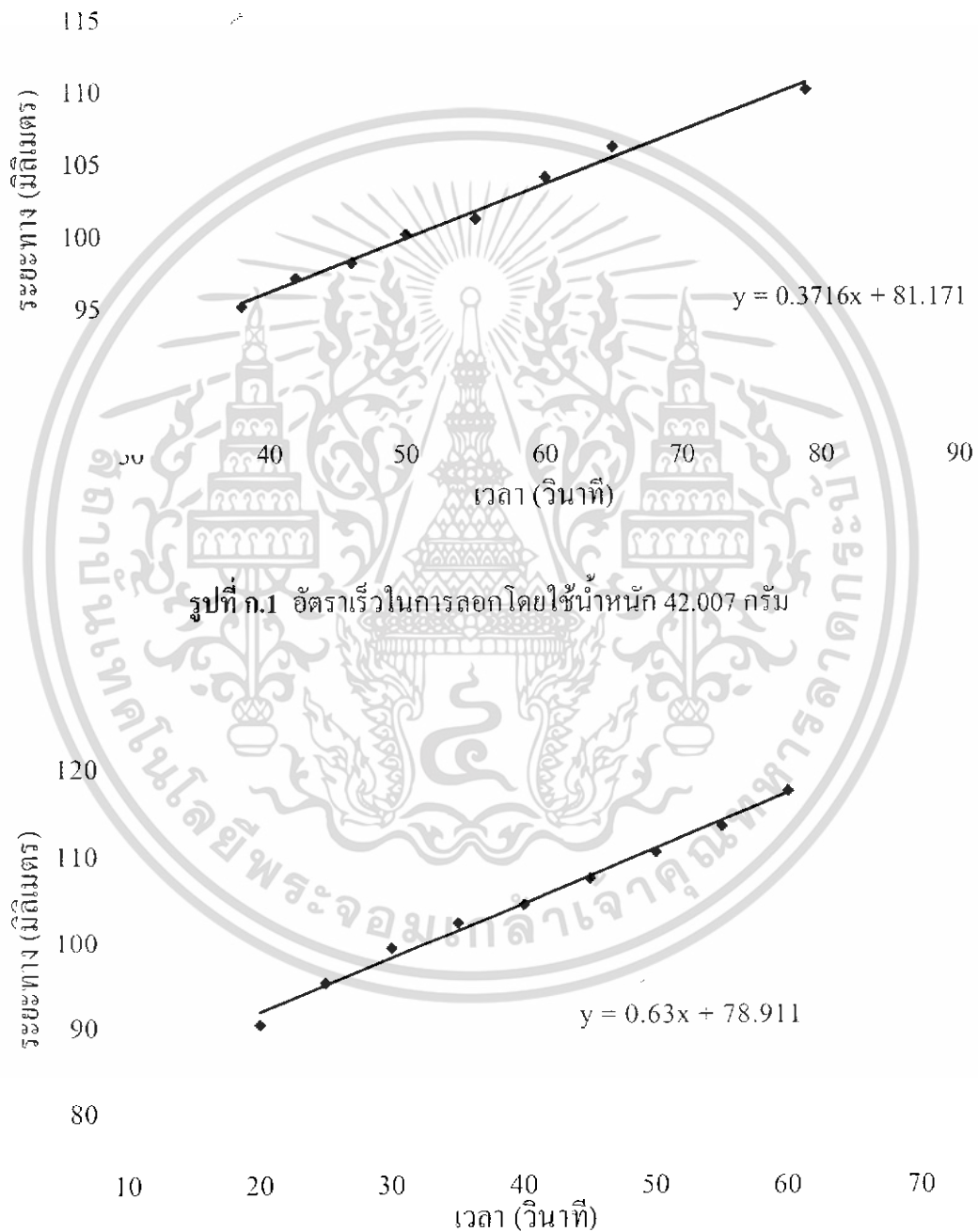
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

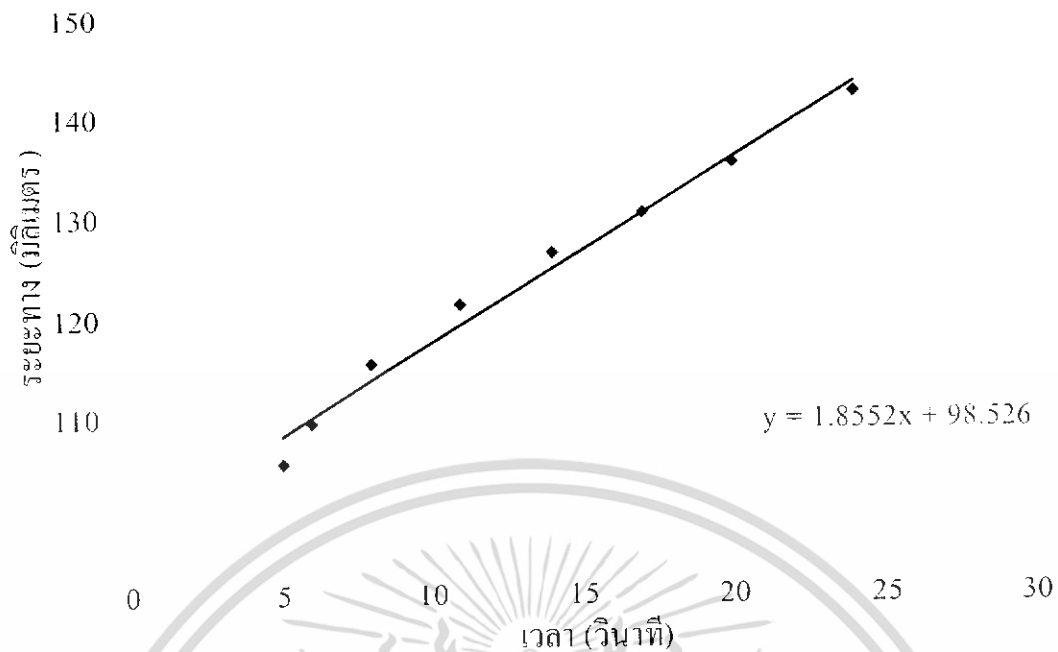
ภาคผนวก ก

แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา ในการทดสอบการยี่ดติดด้วยการลอบนโลหะที่ปรับสภาพด้วยวิธีอะโนไดเซชัน โดยใช้ตุ้มน้ำหนักที่น้ำหนักต่างๆ

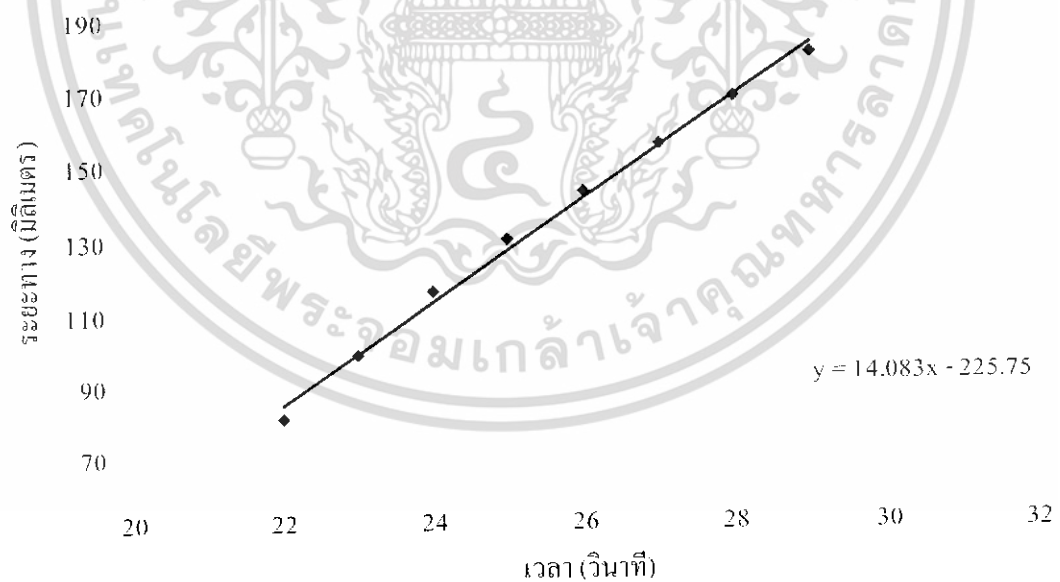


รูปที่ ก.2 อัตราเร็วในการลอบโดยใช้น้ำหนัก 55.55 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 อัตราเร็วในการลอกโดยใช้น้ำหนัก 72.79 กรัม



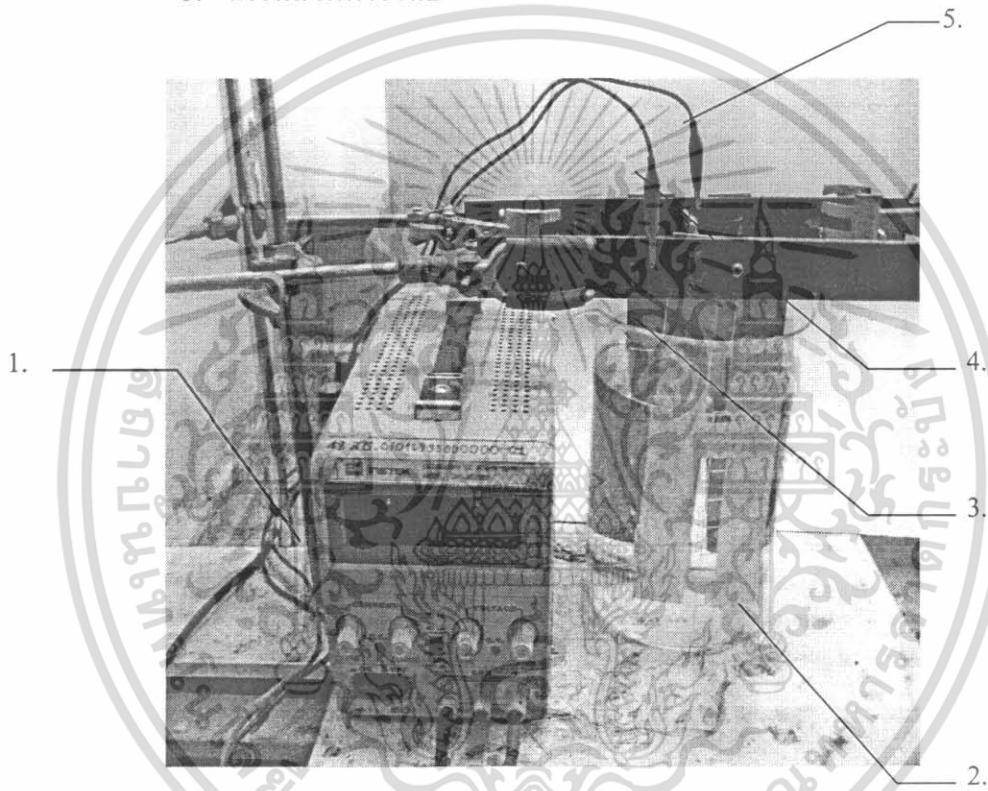
รูปที่ ก.4 อัตราเร็วในการลอกโดยใช้น้ำหนัก 97.478 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ชุดเครื่องมือสำหรับปรับสภาพผิวโลหะด้วยวิธีการอะโนไดเซชัน

1. เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า
2. แผ่นอะลูมิเนียม
3. แผ่นเหล็ก
4. กระแสไฟฟ้าขั้วบวก
5. กระแสไฟฟ้าขั้วลบ



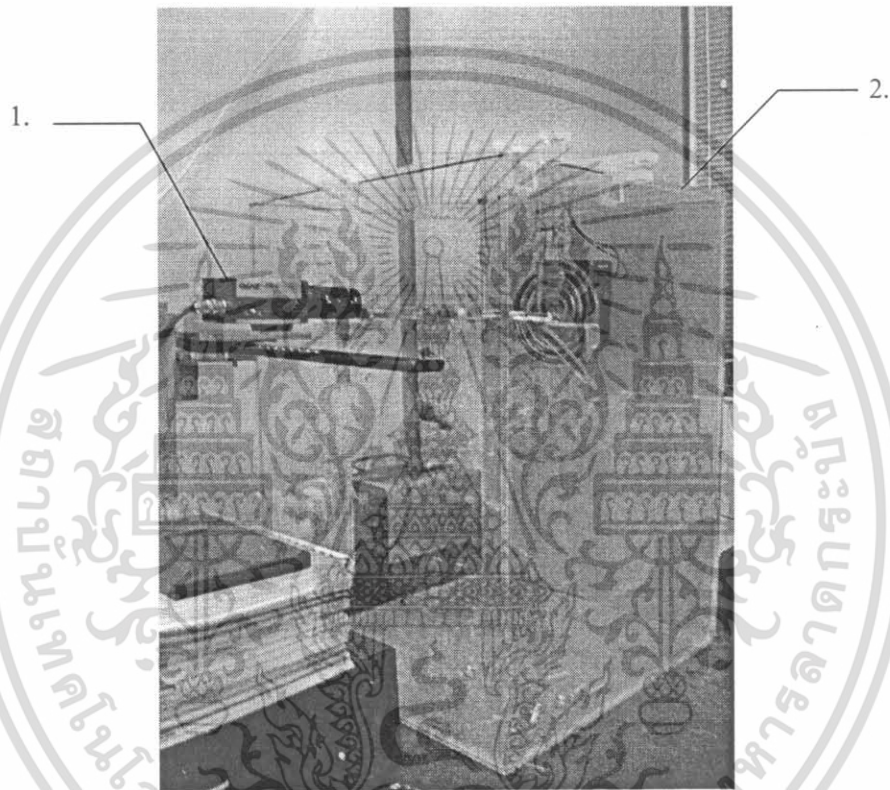
รูปที่ ข.1 เครื่องมืออะโนไดเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ชุดเครื่องมือสำหรับการทดสอบสภาพการยึดติดด้วยการลอกและขณะทำการลอก

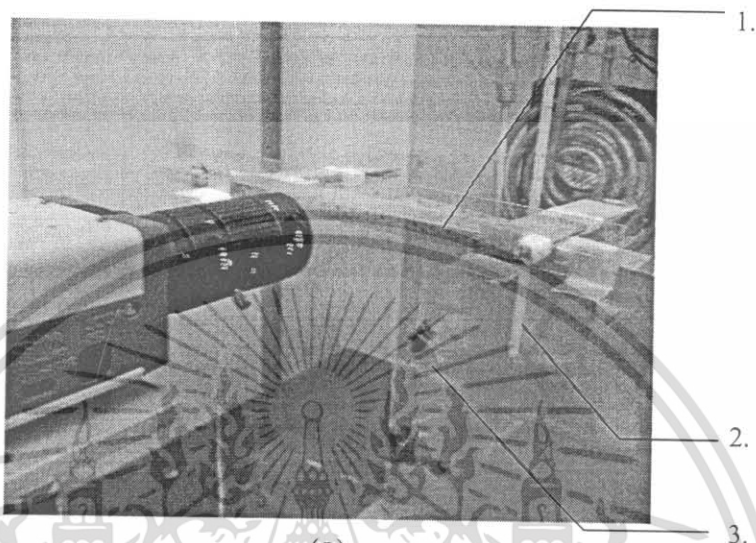
1. กล้องวีดีโอ
2. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ ก.1 ชุดเครื่องมือสำหรับการทดสอบสภาพการยึดติดด้วยการลอก

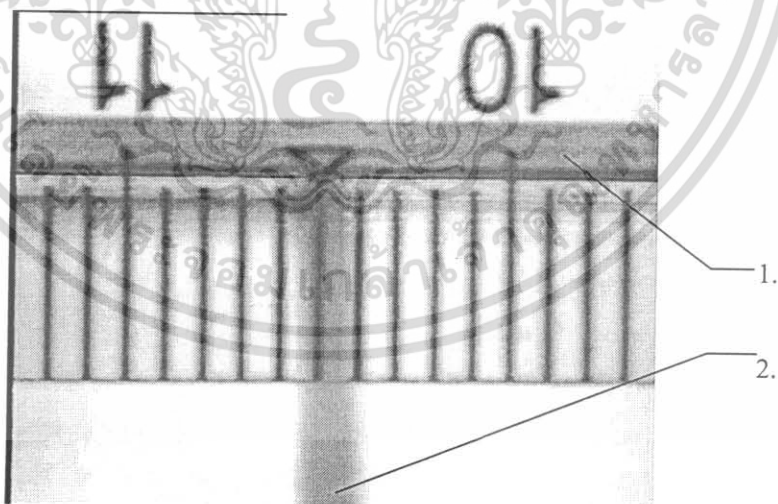
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แผ่นอะลูมิเนียม
2. ยางธรรมชาติ
3. ค้อนน้ำหนัก



(ก)

1. แผ่นอะลูมิเนียม
2. ยางธรรมชาติ



(ข)

รูปที่ ค.2 (ก) (ข) ชิ้นงานขณะทำการลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้