การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารกัดผิว เวลา และอุณหภูมิของกระบวนการกัดผิว ต่อการยึดติดแน่นของชั้นเคลือบโลหะบนชิ้นงานพลาสติกเอบีเอส

นายพงษ์ศักดิ์ ฉัตรฉวีวัฒนา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0234-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

18 มิ.ย. 2546

I19862180

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF CONCENTRATION OF ETCHING SOLUTION, TIME AND TEMPERATURE OF ETCHING PROCESS ON THE ADHESION OF METALLIC FILM ON ABS PLASTIC SUBSTRATE

Mr. Pongsak Chatchaweewattana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0234-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารกัดผิว เวลา และอุณหภูมิของกระบวนการกัดผิวต่อการยึดติดแน่นของชั้นเคลือบโลหะบนชิ้นงานพลาสติกเอบีเอส
โดย	นายพงษ์ศักดิ์ ฉัตรฉวีวัฒนา
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. วรัญ แต้ไพสิฐพงษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจนัจที)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. วรัญ แต้ไพสิฐพงษ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล)

พงษ์ศักดิ์ ฉัตรฉวีวัฒนา : การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารกัดผิว เวลาและอุณหภูมิของกระบวนการกัดผิวต่อการยึดติดแน่นของชั้นเคลือบโลหะบนชิ้นงานพลาสติกเอบีเอส. (EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF CONCENTRATION OF ETCHING SOLUTION, TIME AND TEMPERATURE OF ETCHING PROCESS ON THE ADHESION OF METALLIC FILM ON ABS PLASTIC SUBSTRATE)
อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. วรัญ แต้ไพสิฐพงษ์, 179 หน้า. ISBN 974-13-0234-7

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองศึกษาผลของความเข้มข้นของสารกัดผิว ซึ่งประกอบด้วยกรดโครมิคและกรดซัลฟูริคที่ความเข้มข้นของกรดโครมิค 200, 420 และ 600 กรัมต่อลิตร (และมีความเข้มข้นโดยรวม 800 กรัมต่อลิตร) เวลาของกระบวนการกัดผิวที่ 3, 6, 9 และ 12 นาที และอุณหภูมิของกระบวนการกัดผิวที่ 55, 65 และ 75 องศาเซลเซียส ต่อการยึดติดแน่นของชั้นเคลือบโลหะบนชิ้นงานพลาสติกเอบีเอสที่ผ่านการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า โดยทดสอบกำลังความติดแน่นระหว่างชั้นเคลือบโลหะทองแดงกับพลาสติกเอบีเอสตามมาตรฐาน JIS H 8630 และได้ออกแบบและสร้างตัวยึด (fixture) ชิ้นงานทดสอบให้สอดคล้องตามมาตรฐาน และศึกษาลักษณะพื้นผิวพลาสติกเอบีเอสภายหลังการกัดผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของกรดโครมิค อุณหภูมิและระยะเวลาในการกัดผิวมีอิทธิพลร่วมกันต่อลักษณะพื้นผิวพลาสติกเอบีเอสที่ได้ สภาวะเหล่านี้ทำให้ได้กำลังความติดแน่นระหว่างชั้นเคลือบโลหะทองแดงกับพลาสติกเอบีเอสที่ต่างกันไป โดยรวมพบว่า ผลกระทบของความเข้มข้นของสารกัดผิวต่อกำลังความติดแน่นยังมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกัดผิวไปจนถึงค่าหนึ่ง ค่ากำลังความติดแน่นโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกัดผิวต่อไป ค่ากำลังความติดแน่นที่ได้มีแนวโน้มลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกัดผิว ค่ากำลังความติดแน่นโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต พงษ์ศักดิ์ ฉัตรฉวีวัฒนา
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543

4170421221 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: PLATING / ABS / ETCHING / ADHESION / CHROMIC ACID

PONGSAK CHATCHAWEEWATTANA : EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF CONCENTRATION OF ETCHING SOLUTION, TIME AND TEMPERATURE OF ETCHING PROCESS ON THE ADHESION OF METALLIC FILM ON ABS PLASTIC SUBSTRATE. THESIS ADVISOR : VARUN TAEPAISITPHONGSE, Ph.D., 179 pp. ISBN 974-13-0234-7

The experimentals were conducted to study the effects of concentration of chromic acid in etching solution at 200, 420 and 600 g/l (chromic acid and sulphuric acid in solution with total concentration 800 g/l), time of etching process at 3, 6, 9 and 12 min. and temperature of etching process at 55, 65 and 75 ^{o}C on adhesion strength between copper metallic film and ABS plastic substrate. Adhesion strength was tested following JIS H 8630 peel test method. Sample fixture was designed and built according to the standard. Surface topography of etched ABS plastics were studied by scanning electron microscope.

The results showed that the concentration of etching solution, etching temperature and etching time have the combined effects on the surface topography of the etched ABS plastics. These in turn yielded different adhesion strength between copper metallic film and ABS plastic substrate. Overall, it was found that there was no clear trend on the effect of concentration of etching solution on the adhesion strength. However, when the etching time was increased, the adhesion strength had a tendency to increase. But it dropped later once the etching time was increased beyond certain value. When the etching temperature was increased, the adhesion strength had a tendency to increase.

Department Chemical Engineering Student's signature พงษ์ศักดิ์ ฉัตรชัชวีรัตนา

Field of study Chemical Engineering Advisor's signature

Academic year 2000

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ ดร. วรัญ แต้ไพสิฐพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านอาจารย์ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางการวิจัย และให้ข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเป็นรูปเล่ม ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย สุกาญจนัจที ประธานกรรมการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล กรรมการ ที่ได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และ คุณจรูญ โทรเสร็จ และ คุณโตมร ศรีโมรา เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์การให้บริการทางเทคนิคด้านการทดสอบ peel test

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์การยืมใช้อุปกรณ์ชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

ขอขอบพระคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDiPT) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกเอบีเอส และขอขอบคุณ คุณศุภชัย ชินประดิษฐ์สุข และ คุณบัญชา วันทอง เจ้าหน้าที่ของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรมที่ให้ความรู้และข้อมูลการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเอบีเอส

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้มอบทุนอุดหนุนการศึกษา และภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่ได้ให้เงินทุนสนับสนุนวัสดุวิจัยบางส่วน

ขอขอบคุณพี่ ๆ และเพื่อน ๆ ปริญญาโทและปริญญาเอกทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดการศึกษาและการทำวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา และ มารดา ที่ได้ส่งเสริมและสนับสนุนมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำวิจัยนี้

"คนฉลาดไม่ใช่เป็นแต่พูดเท่านั้น ต้องนิ่งเป็นด้วย"

(มงคลชีวิต ฉบับธรรมทายาท เล่ม 1)

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญภาพ..... ญ

สารบัญตาราง..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 4

1.3 ขอบเขตงานวิจัย..... 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลาสติกและพอลิเมอร์..... 5

2.1.1 ความหมายและประเภทของพลาสติกและพอลิเมอร์..... 5

2.1.2 พอลิเมอร์เอบีเอสหรือพลาสติกเอบีเอส..... 7

2.1.3 สมบัติของพลาสติกเอบีเอส..... 9

2.1.4 ผลของการขึ้นรูปด้วยวิธีการฉีดขึ้นรูป (injection moulding)..... 12

2.1.5 สมบัติของพลาสติกภายหลังการชุบเคลือบผิว..... 14

2.1.6 การเลือกใช้สารเคมีในการกัดผิว..... 16

2.2 หลักการชุบเคลือบโลหะลงบนผิวพลาสติกเอบีเอส..... 17

2.3 ขั้นตอนการชุบเคลือบผิวพลาสติกเอบีเอสด้วยโลหะ..... 20

2.3.1 การปรับสภาพผิว..... 20

2.3.2 การเตรียมผิวชิ้นงานให้มีลักษณะเป็นตัวเร่ง..... 22

2.3.3 การชุบเคลือบผิวแบบไร้กระแส..... 24

2.3.4 การชุบเคลือบผิวทองแดงบนผิวพลาสติกด้วยไฟฟ้า..... 26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 กลไกการยึดติดแน่นของชั้นเคลือบโลหะ..... 26

2.5 การทดสอบความติดแน่นระหว่างชั้นเคลือบทองแดง
และพลาสติกเอบีเอสด้วยวิธี Peel test..... 34

2.6 การศึกษาลักษณะพื้นผิวพลาสติกเอบีเอสด้วยเครื่อง SEM
(Scanning Electron Microscope)..... 36

บทที่ 3 บทความวิจัยที่ผ่านมา

3.1 ผลของความเข้มข้นของสารกัดผิวที่มีต่อกำลังความติดแน่น..... 37

3.2 ผลของระยะเวลาในการกัดผิวที่มีต่อกำลังความติดแน่น..... 40

3.3 ผลของอุณหภูมิในการกัดผิวที่มีต่อกำลังความติดแน่น..... 44

3.4 ผลของระยะเวลาที่ล่วงมาภายหลังการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า..... 44

3.5 ผลของการฉีดขึ้นรูป (injection moulding) ที่มีต่อความติดแน่นระหว่าง
ชั้นเคลือบโลหะและพลาสติกเอบีเอส..... 44

3.6 แนวทางการศึกษาและวิเคราะห์ผลของการกัดผิวที่มีต่อความติดแน่น..... 45

บทที่ 4 อุปกรณ์การทดลองและขั้นตอนการทดลอง

4.1 อุปกรณ์การทดลอง..... 48

4.1.1 อุปกรณ์การชุบเคลือบผิวโดยไม่ใช้ไฟฟ้า..... 48

4.1.2 อุปกรณ์การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า..... 52

4.2 ขั้นตอนการทดลอง..... 57

4.2.1 การเตรียมชิ้นงานพลาสติกเอบีเอส..... 57

4.2.2 วิธีการทดลอง..... 58

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

5.1 ผลการทดสอบความติดแน่นระหว่างชิ้นงานพลาสติกเอบีเอส
และชั้นเคลือบทองแดงด้วยวิธี Peel Test..... 63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพลาสติกเอบีเอสที่ผ่านการกัดผิวที่ความเข้มข้นของสารกัดผิว อุณหภูมิและเวลาในการกัดผิวต่าง ๆ กัน ด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด..... 66

5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการกัดผิวต่อค่ากำลังความติดแน่น..... 78

5.4 การวิเคราะห์ผล

5.4.1 ผลของความเข้มข้นของกรดโครมิคที่มีต่อกำลังความติดแน่น..... 91

5.4.2 ผลของระยะเวลาในการกัดผิวที่มีต่อกำลังความติดแน่น..... 94

5.4.3 ผลของอุณหภูมิในการกัดผิวที่มีต่อกำลังความติดแน่น..... 97

5.4.4 ผลกระทบของตัวแปรอิสระทั้งสามจากสภาวะการกัดผิวที่มีต่อค่ากำลังความติดแน่น..... 98

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป..... 99

6.2 ข้อเสนอแนะ..... 100

รายการอ้างอิง..... 101

ภาคผนวก.....

ภาคผนวก ก สูตรสารเคมี..... 106

ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.... 110

ภาคผนวก ค ตัวอย่างข้อมูลการบันทึกและกราฟจากเครื่อง universal tensile testing machine..... 112

ภาคผนวก ง ข้อมูลดิบจากการทดลองทั้ง 36 สภาวะ..... 137

ภาคผนวก จ ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด..... 146

ภาคผนวก ฉ มาตรฐาน JIS สำหรับความหนาของแต่ละชั้นเคลือบโลหะของผลิตภัณฑ์พลาสติกเอบีเอสชุบเคลือบผิวด้วยโลหะ..... 165

ภาคผนวก ช มาตรฐาน JIS สำหรับการทดสอบ peel test..... 170

ภาคผนวก ซ สมบัติของพลาสติกเอบีเอสที่ใช้ในงานวิจัย..... 174

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ฌ รายการสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย..... 175

ภาคผนวก ญ วิธีการคำนวณค่าขอบเขตความผิดพลาด (error bar) ของข้อมูล.. 176

ประวัติผู้เขียน..... 179

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
1.1	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์พลาสติกเอบีเอสที่ชุบเคลือบผิวด้วยโครเมี่ยม.....	1
2.1	โครงสร้างของพอลิเมอร์เอบีเอส.....	7
2.2	ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค polybutadiene ในเฟส SAN.....	8
2.3	การเรียงตัวของเฟส SAN ในทิศทางการฉีดพอลิเมอร์เข้าสู่แม่แบบ.....	12
2.4	อนุภาคบิวทะไดอีนเกิดการยืดตัวตามทิศทางการฉีดพอลิเมอร์เข้าสู่แม่แบบ.....	13
2.5	การเรียงตัวเป็นชั้นของพอลิเมอร์ในทิศทางการฉีดขึ้นรูป.....	13
2.6	ชนิดของชั้นเคลือบโลหะแต่ละชั้น (I – V) 1) พลาสติก 2) electroless Cu, Ni 3) dull Cu 4) bright Cu 5) dull Ni 6) semibright Ni 7) bright Ni 8) bright Cr 9) Zn,Sn,etc 10) conversion (chromate, oxide, etc.) coating.....	14
2.7	อุตสาหกรรมการชุบเคลือบผิวพลาสติกด้วยโลหะ.....	17
2.8	ขั้นตอนการชุบเคลือบโลหะบนพลาสติกเอบีเอส.....	18
2.9	กลไกการกัดผิวพลาสติกเอบีเอส.....	20
2.10	พันธะที่เกิดขึ้นบริเวณผิวพลาสติกภายหลังการกัดผิว.....	21
2.11	การเกิดกลุ่มซัลโฟนิคบนผิวชิ้นงานพลาสติกเอบีเอส.....	21
2.12	ลักษณะการวางอนุภาคโลหะพัลลาเดียมลงบนผิวพลาสติกเอบีเอส ด้วยวิธี Sensitizing/Activating Process.....	23
2.13	ลักษณะการวางอนุภาคโลหะพัลลาเดียมลงบนผิวพลาสติกเอบีเอส ด้วยวิธีCatalyzing/Accelerating Process.....	23
2.14	แผนภาพการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.....	26
2.15	ภาพรวมลักษณะการเปลี่ยนแปลงของผิวพลาสติกเอบีเอส ในกระบวนการชุบเคลือบโลหะบนพลาสติก.....	28
2.16	พื้นที่หน้าตัดพลาสติกที่ผ่านการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า 1) ชิ้นงานพลาสติก 2) ชั้น intermediate 3) ชั้นเคลือบโลหะเริ่มต้น (Cu, Ni) 4) ชั้นเคลือบโลหะต่าง ๆ กันในแต่ละชั้นเช่น ทองแดง นิเกิล โครเมี่ยม.....	29
2.17	ลักษณะรูพรุนที่ให้กำลังความติดแน่นที่สูง.....	30
2.18	แบบจำลองของชั้นเชื่อมต่อที่ไม่ดี (weaken boundary layer) : 1) โพรงอากาศ 2) และ 3) สิ่งปนเปื้อนบริเวณผิวสัมผัส 4) ถึง 7) ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดระหว่าง องค์ประกอบต่าง ๆ กับชิ้นงานพลาสติก.....	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความติดแน่นของโลหะชนิดต่าง ๆ บนพลาสติก กับระยะเวลาที่ล่วงมาหลังการชุบเคลือบผิว..... 32

2.20 Thermogram ของพลาสติกเอบีเอสก่อนและหลังการกัดผิวด้วยสารละลายกรดโครมิค (ทดสอบการขูดขีดชิ้นงานทดสอบเอบีเอสพลาสติกโดยเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้องและเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น 10 องศาเซลเซียสทุกหนึ่งนาที)..... 33

2.21 ตัวจับยึดชิ้นงานสำหรับทดสอบ Peel test..... 34

2.22 ลักษณะการจับยึดชิ้นงานในการทดสอบ Peel test..... 35

2.23 เครื่อง scanning electron microscope (SEM)..... 36

3.1 ผลของสภาวะการกัดผิวที่มีต่อกำลังความติดแน่น (d) คือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริค..... 39

3.2 ภาพภาคตัดขวางชิ้นงานพลาสติกเอบีเอสที่ผ่านการชุบเคลือบผิวแบบไร้กระแสที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริคในสารกัดผิวต่าง ๆ กัน (a) 40% (b) 50% (c) 60% (d) 70% และ (e) 80% ของกรดซัลฟูริค..... 40

3.3 ลักษณะพื้นผิวพลาสติกเอบีเอสภายหลังการกัดผิวที่ระยะเวลา (ก) 0 นาที (ข) 10 นาที และ (ค) 45 นาที..... 41

3.4 ผลของชนิดพลาสติกเอบีเอสกับสภาวะการขึ้นรูปที่มีต่อกำลังความติดแน่น..... 45

4.1 ชุดน้ำยาในการชุบเคลือบผิวโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า..... 48

4.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิในขั้นตอนการกัดผิว..... 49

4.3 ที่แขวนชิ้นงานพลาสติก..... 50

4.4 ชุดอุปกรณ์สำหรับการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า..... 52

4.5 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (rectifier)..... 54

4.6 แอมมิเตอร์ (ampmeter)..... 55

4.7 การเตรียมชิ้นงานพลาสติกเอบีเอส..... 57

4.8 การพันลวดทองแดงรอบชิ้นงานพลาสติกเอบีเอสก่อนชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า..... 60

4.9 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบกำลังความติดแน่น..... 60

4.10 แผนภาพการชุบเคลือบผิวโลหะลงบนพลาสติกเอบีเอส..... 62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

5.1 ชุดภาพถ่ายแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวพลาสติกเอบีเอส ที่ความเข้มข้นของกรดโครมิคและระยะเวลาในการกัดผิวต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิในการกัดผิวคงที่ที่ (ก) 55 (ข) 65 และ (ค) 75 องศาเซลเซียส..... 68

5.2 ชุดภาพถ่ายแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวพลาสติกเอบีเอส ที่อุณหภูมิในการกัดผิวและระยะเวลาในการกัดผิวต่าง ๆ กัน ที่ความเข้มข้นของกรดโครมิคคงที่ที่ (ก) 200 (ข) 420 และ (ค) 600 กรัมต่อลิตร..... 71

5.3 ชุดภาพถ่ายแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวพลาสติกเอบีเอส ที่ความเข้มข้นของกรดโครมิคและอุณหภูมิในการกัดผิวต่าง ๆ กัน ที่ระยะเวลาในการกัดผิวคงที่ที่ (ก) 3 (ข) 6 (ค) 9 และ (ง) 12 นาที..... 74

5.4 กราฟ contour แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังความติดแน่น (N/cm) กับ ความเข้มข้นของกรดโครมิคและระยะเวลาในการกัดผิว ที่อุณหภูมิในการกัดผิว คงที่ที่ (ก) 55 (ข) 65 และ (ค) 75 องศาเซลเซียส..... 79

5.5 กราฟ contour แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังความติดแน่น (N/cm) กับ อุณหภูมิในการกัดผิวและความเข้มข้นของกรดโครมิค ที่ระยะเวลาในการกัดผิว คงที่ที่ (ก) 3 (ข) 6 (ค) 9 และ (ง) 12 นาที..... 81

5.6 กราฟ contour แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังความติดแน่น (N/cm) กับ ระยะเวลาในการกัดผิวและอุณหภูมิในการกัดผิว ที่ความเข้มข้นของกรดโครมิค คงที่ที่ (ก) 200 (ข) 420 และ (ค) 600 กรัมต่อลิตร..... 83

5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังความติดแน่นกับความเข้มข้นของกรดโครมิค และระยะเวลาในการกัดผิว ที่อุณหภูมิในการกัดผิวคงที่ที่ (ก) 55 (ข) 65 และ (ค) 75 องศาเซลเซียส..... 85

5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังความติดแน่นกับระยะเวลาในการกัดผิว และอุณหภูมิในการกัดผิว ที่ความเข้มข้นของกรดโครมิคคงที่ที่ (ก) 200 (ข) 420 และ (ค) 600 กรัมต่อลิตร..... 87

5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังความติดแน่นกับอุณหภูมิในการกัดผิว และความเข้มข้นของกรดโครมิค ที่ระยะเวลาในการกัดผิวคงที่ที่ (ก) 3 (ข) 6 (ค) 9 และ (ง) 12 นาที..... 89

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

5.10 ตัวอย่างภาพถ่ายพื้นผิวพลาสติกเอบีเอสที่ถูกกัดผิวด้วยชุดการทดลองที่ 33..... 95

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	คุณสมบัติของพอลิเมอร์เอบีเอสเกรดต่าง ๆ.....	10
2.2	ความทนต่อสารเคมีภายใต้ความเค้นของพอลิเมอร์เอบีเอส.....	11
2.3	ผลของตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีต่อพลาสติกเอบีเอส.....	16
3.1	สูตรสารกัดผิวต่างกัน 8 สูตร.....	37
3.2	ผลของระยะเวลาในการกัดผิวด้วยสารละลายกรดโครมิค 60 กรัมต่อลิตรและกรดซัลฟูริค 500 กรัมต่อลิตรในน้ำ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสต่อความติดแน่นระหว่างชั้นเคลือบทองแดงและพลาสติกเอบีเอส.....	43
4.1	หมายเลขแสดงสภาวะการกัดผิวที่ใช้ในการทดลอง 36 สภาวะ.....	58