

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การชุบเคลือบผิวพลาสติกด้วยโลหะ



เลขหมู่..... 2547

เลขทะเบียน..... 62008

วัน,เดือน,ปี..... 25 ก.ค. 2549

b. 14558635  
i. ....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ELECTROPLATING ON PLASSTIC



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CHEMICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง

การชุบเคลือบผิวพลาสติกด้วยโลหะ

โดย

นายปรมินทร์ ขวัญนอน

นายอนุพงศ์ สอรักษา

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ  
(รศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์)

..... กรรมการ  
(อ.บุญชัย ไชติวิริยวาณิช)

..... กรรมการ  
(อ.ศิริพันธ์ มุทธราชัญญลักษณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การชุบเคลือบผิวพลาสติกด้วยโลหะ  
โดย นายปรมินทร์ ขวัญนอน  
นายอนุพงศ์ สอรักษา  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์  
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการทดลองชุบเคลือบผิวพลาสติกชนิด อะครีโลไนไทรล์บิวทาไดอีนสไตรีน ด้วยโลหะโดยใช้ทั้งกระบวนการชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้าและกระบวนการชุบโลหะแบบใช้ไฟฟ้า การชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้าเป็นการทำให้ชิ้นงานที่เป็นอโลหะนำไฟฟ้าได้ก่อนจึงจะทำการชุบแบบ ใช้ไฟฟ้า เพื่อให้โลหะที่เกาะที่ผิวมีความหนาเพิ่มขึ้นตามต้องการและทำให้เกิดความสวยงาม จากการทดลอง การชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้าจะได้ผลดีนั้น ชิ้นงานจะต้องสะอาดปราศจากคราบ ไขมัน จึงจะสามารถกัดผิวและชุบติดอย่างทั่วถึง ส่วนการชุบทองแดงสไตรค์และการชุบทองแดง ไบรท์เป็นการเพิ่มความหนาของชั้นโลหะ ต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่อุณหภูมิห้อง จะได้ผิวโลหะ เรียบและสม่ำเสมอ สำหรับการชุบนิเกิลเพื่อปิดผิวทองแดงในขั้นสุดท้าย ก็เพื่อให้ได้ผิวโลหะมีสี เงินแวววาวและเรียบเป็นเงางาม ซึ่งในขั้นนี้จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 55 องศา เซลเซียส ด้วยเช่นกัน ผิวเงินที่ได้จะมีสีเงินอมเหลืองซึ่งเป็นสีธรรมชาติของนิเกิล หากต้องการสี เงินขาวสว่างอมฟ้าจะต้องชุบด้วยโครเมียมอีกชั้นหนึ่ง

Report Title            Electroplating on Plastic  
By                         Mr. Poramin Khwannorn  
                               Mr. Anupong Soraksa  
Advisor                 Assoc.Prof.Dr.Paisal Nakpipat  
Report for               Bachelor Degree of Chemical Engineering  
                               Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering  
                               King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

#### Abstract

This project is the experiment of metal plating on plastic. In this manner, acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) is used as the object to be plated. The plating methods used are both electroless plating and electroplating. Electroless plating will change the non-metallic material to the conduction surface, then the electroplating should be used for making the metallic layer to be more sufficient thickness. In order to make the good plating product, the surface of materials to be plated must be very well cleaned, and then etched and sensitized with palladium. After that, the copper strike plating will thicken the metal layer that it must be regulated the temperature at room temperature. For nickel plating, nickel metal will cover on the copper surface to make silver bright and hard surface, in this step, the temperature must be regulated to 55°C, if the silver-blue surface is required, the chromium plating must be done in the last step.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่ยรักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน

อนึ่งยังมีผู้ที่มีพระคุณอีกหลายท่านที่ผู้จัดทำโครงการไม่ได้กล่าวนาม หากมีสิ่งผิดพลาดประการใดในรายงานนี้ ขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

นายปรมิินทร์ ขวัญนอน

นายอนุพงศ์ สอรักษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญรูป	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของงานโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 โครงการและจุดมุ่งหมายของโครงการ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ของการชุบเคลือบผิวพลาสติกด้วยไฟฟ้า	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการชุบโลหะ	4
2.1 กระบวนการชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า	4
2.2 กระบวนการชุบผิวโลหะแบบใช้ไฟฟ้า	8
2.3 ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าและขั้วไฟฟ้า	11
2.4 สารละลายที่ใช้ในการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า	12
2.5 ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า	14
2.6 โครงสร้างของการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า	17
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะผิวของชิ้นงานและกำลังเคลือบผิว	18

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 กระบวนการชุบโลหะบนผิวพลาสติก	20
3.1 การเตรียมผิวชิ้นงานเพื่อการชุบ	20
3.2 กระบวนการชุบผิวให้นำไฟฟ้าได้	22
3.3 กระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า	22
3.4 อุปกรณ์และสารเคมี	25
3.5 ขั้นตอนการชุบ	26
3.6 สรุปขั้นตอนการชุบพลาสติกเอปียเอส	27
บทที่ 4 ผลการทดลอง	28
4.1 ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดผิว	28
4.2 ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกัดผิว	29
4.3 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นผิวเพื่อเร่งปฏิกิริยา	30
4.4 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบนิเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า	31
4.5 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบทองแดงแบบสไตรค์	32
4.6 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบทองแดงเงา	33
4.7 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบนิกเกิลเงา	34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	35
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก	38

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส	9
รูปที่ 2.2 การกระจายของกระแสไฟฟ้า	16
รูปที่ 2.3 แสดงการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบชิ้นงาน	19
รูปที่ 4.1 ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดผิว	28
รูปที่ 4.2 ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกัดผิว	29
รูปที่ 4.3 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นผิวเพื่อเร่งปฏิกิริยา	30
รูปที่ 4.4 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบนิเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า	31
รูปที่ 4.5 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบทองแดงแบบสไตรค์	32
รูปที่ 4.6 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบทองแดงเงา	33
รูปที่ 4.7 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบนิเกิลเงา	34
รูป ก เครื่องชุบผิวพลาสติกด้วยไฟฟ้าขนาดเล็ก (Mini Electroplating)	49



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$K_p$	=	ค่าคงที่ของความสามารถในการละลาย
$Q$	=	เป็นปริมาณบรรจุไฟฟ้าในหน่วยคูลอมบ์(C)
$I$	=	เป็นกระแสไฟฟ้าในหน่วยแอมแปร์ (A)
$t$	=	เป็นเวลาในหน่วยวินาที (s)
$e$	=	ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน
$q$	=	ประจุไฟฟ้า
$N_A e$	=	ค่าคงที่ฟาราเดย์ (Faraday 's constant)
$F$	=	ขนาดของปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านสารละลาย แล้วก่อให้เกิดสารไปเกาะที่ขั้วไฟฟ้าหนึ่งสมมูลเคมี
$Be$	=	ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า
$q_1$	=	ปริมาณ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลายไอออน
$E_{q_1}$	=	ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลายไอออนทั้งหมด



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

กระบวนการชุบพลาสติกด้วยโลหะเป็นจุดหลักที่จะนำมาศึกษาครั้งนี้ ได้มีการค้นคิดวิธีการชุบมาโดยเฉพาะ ซึ่งมีขั้นตอนการชุบที่ซับซ้อนกว่าการชุบโลหะบนวัสดุนำไฟฟ้าอื่นๆ มาก เพราะพลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า และบางครั้งยังไวในการทำปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์อีกด้วยแต่พลาสติกมีลักษณะเด่นพิเศษหลายประการที่โลหะไม่มี เช่น น้ำหนักเบา สามารถขึ้นรูปได้ตามต้องการ สามารถควบคุมคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็ง ความยืดหยุ่น และอายุการใช้งานได้เป็นอย่างดี แม้ว่าการทนต่อความร้อน และความแข็งของพลาสติกจะไม่ได้เท่าโลหะ แต่ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงโดยเติมสารบางอย่างลงไปในพลาสติก ซึ่งทำให้พลาสติกมีความแข็งเพิ่มขึ้น จึงนิยมนำพลาสติกมาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือและเครื่องใช้ในชีวิตประจำวันมากมาย สำหรับพลาสติกที่จะนำมาชุบได้นั้น ต้องเป็นพลาสติกที่มีผิวค่อนข้างแข็ง แต่ไม่แข็งมากเกินไป มิฉะนั้น สารละลายที่ใช้ในกระบวนการชุบจะไม่สามารถเปลี่ยนคุณสมบัติเป็นผิวพลาสติกได้ พลาสติกที่นำมาชุบได้มีหลายชนิด เช่น ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) และ PP (Polypropylene) เป็นต้น แต่ที่นิยมกันมากคือ ABS เพราะผิวของพลาสติกชนิดนี้ไม่แข็ง และไม่อ่อนเกินไป และยังสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผิวได้ง่ายอีกด้วย [1]

ABS เป็นพลาสติกที่ทนแรงกระแทกได้ดีมาก ทนความร้อนได้ประมาณ 80-85 องศาเซลเซียส ทนกรดและด่างได้ดีพอสมควร นิยมใช้ทำลูกบิดวิทยุ โทรทัศน์ ลูกบิดก๊อกน้ำของเครื่องสุขภัณฑ์ ชิ้นส่วนในรถยนต์ ชิ้นส่วนของตู้เย็นและอื่นๆ อีกมากมาย พลาสติก ABS ผลิตจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วม (copolymerization) ของ Acrylonitrile Butadiene และ Styrene โดยส่วนประกอบนี้มีหลายอัตราส่วนแล้วแต่ลักษณะการใช้งาน สำหรับ ABS เพื่อการชุบนั้นต้องมีส่วนผสมของ Butadiene อยู่ 20 – 25 % พลาสติก ABS เพื่อการชุบนี้ มีหลายเกรด แต่ละเกรดก็มีขั้นตอนการชุบแตกต่างกันไป

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกมาประยุกต์ใช้ในหลายๆ ด้าน และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในอนาคต การศึกษาโครงการครั้งนี้เป็นการทดลองชุบผิวชนิดลบขึ้นงานพลาสติก ABS โดยวิธีไม่ใช้ไฟฟ้าและวิธีชุบด้วยไฟฟ้า เพื่อให้ผิวพลาสติกมีลักษณะที่สวยงามมองดูคล้ายโลหะ มีความคงทน และทำให้พลาสติกมีสมบัติคล้ายโลหะคือนำไฟฟ้าได้ ซึ่งรายละเอียดของวิธีการศึกษาโครงการ

และผลการศึกษาโครงการจะกล่าวถึงโดยละเอียดในอันดับต่อไป [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาการชุบผิวพลาสติกด้วยโลหะ

1.2.2 เพื่อฝึกฝนการทำงานอย่างมีขั้นตอนและแบบแผน

1.2.3 เพื่อเรียนรู้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานและฝึกการแก้ไขปัญหา

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการชุบผิวพลาสติกด้วยโลหะ

1.3.2 ศึกษากระบวนการชุบผิวพลาสติกด้วยโลหะ

## 1.4 โครงการและจุดมุ่งหมายของโครงการ

เป็นที่ทราบกันดีว่า ปัจจุบันพลาสติกได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ในหลายๆ ด้าน ดังจะเห็นได้จากปริมาณการใช้พลาสติกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว พลาสติกถูกนำมาใช้งานแทนโลหะในงานหลายประเภทหลายลักษณะ นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์พลาสติกให้มีสมบัติต่างๆ ตามความต้องการได้ เช่น ความแข็ง ความเหนียว ความทนทาน ความยืดหยุ่น และที่สำคัญคือพลาสติกไม่เป็นสนิม ต้นทุนการผลิตต่ำ จึงมีราคาถูกกว่าโลหะ ซึ่งนับวันจะหายากและราคาแพง ข้อด้อยของพลาสติกคือ ไม่นำไฟฟ้า ขาดความมันแววของผิว จึงทำให้โลหะยังอยู่ในความนิยมตลอดมา ดังนั้นถ้าสามารถเคลือบโลหะลงบนพลาสติกได้ จะเป็นการเพิ่มสมบัติของโลหะให้กับพลาสติก และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวางกว่าเดิมมาก สำหรับการศึกษาค้นคว้าโครงการ เป็นการทดลองชุบผิวโลหะบนชิ้นงาน ABS ด้วยวิธี Electroless Nickel plating เพื่อให้ชิ้นงานดังกล่าวนำไฟฟ้า แล้วจึงทำการชุบด้วยวิธี Electroplating อีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้มีพื้นผิวโลหะหนาขึ้นและมีความมันแวววาว

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 ค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการชุบผิวพลาสติกด้วยโลหะจากห้องสมุด และ Internet
- 1.5.2 ทำการศึกษาข้อมูล ขั้นตอน เทคนิค และวิธีการชุบผิวพลาสติกด้วยโลหะ
- 1.5.3 เตรียมสารเคมีที่ต้องใช้ในการทดลองและเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
- 1.5.4 เตรียมพลาสติกให้พร้อมสำหรับกระบวนการชุบผิวด้วยโลหะ
- 1.5.5 ทำการชุบผิวพลาสติก
- 1.5.6 ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการชุบผิวพลาสติกด้วยโลหะ
- 1.5.7 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ได้จากการชุบผิวด้วยโลหะ
- 1.5.8 สรุปผลการดำเนินโครงการ
- 1.5.9 จัดทำรายงาน

## 1.6 ประโยชน์ของการชุบเคลือบผิวพลาสติกด้วยไฟฟ้า

- 1.6.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการชุบผิวพลาสติกด้วยโลหะ
- 1.6.2 หุ้มหรือปิดผิวชิ้นงานโลหะให้ทนต่อการสึกกร่อนอันเนื่องจากสนิมและแรงเสียดทานดียิ่งขึ้น
- 1.6.3 ได้ผลิตภัณฑ์จากการชุบผิวด้วยโลหะที่มีผิวเงางาม และเป็นการเพิ่มคุณค่าของพลาสติก
- 1.6.4 ช่วยให้ผิวของพลาสติกที่เป็นฉนวนไฟฟ้า เป็นสื่อนำไฟฟ้าได้
- 1.6.5 ได้เรียนรู้วิธีการทำงานอย่างมีแบบแผนและรู้จักวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น
- 1.6.6 เรียนรู้การทำงานร่วมกับผู้อื่น

## บทที่ 2

# ทฤษฎีการชุบโลหะ

กระบวนการชุบผิวด้วยโลหะมี 2 กระบวนการ คือ กระบวนการชุบผิวโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Electroless plating) และ กระบวนการชุบผิวโลหะแบบใช้ไฟฟ้า (Electroplating)

### 2.1 กระบวนการชุบผิวแบบไม่ใช้ไฟฟ้า [3]

พลาสติกเป็นสารที่ไม่นำไฟฟ้า ฉะนั้นการจะชุบผิวด้วยกระแสไฟฟ้านั้นจะต้องทำผิวให้นำไฟฟ้าให้ได้ก่อน โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วให้โลหะมาเกาะที่ผิวชิ้นงานซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลายที่เกิดปฏิกิริยานั้น กระบวนการนี้เรียกว่า การชุบผิวโดยไม่ใช้ไฟฟ้า (electroless plating) หลังจากทำผิวพลาสติกถูกชุบด้วยโลหะตามวิธีการนี้แล้วก็จะสามารถนำไฟฟ้าได้ จึงนำไปชุบผิวด้วยโลหะโดยใช้ไฟฟ้า (electroplating) ต่อไป

หลักการในการชุบผิวพลาสติกด้วยโลหะโดยไม่ใช้ไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

2.1.1 การเตรียมผิวชิ้นงานขั้นต้น เป็นการทำความสะอาดและทำให้ผิวชิ้นงานหยาบขึ้นซึ่งทำได้โดยการกำจัดไขมันบนผิวของชิ้นงานด้วยสารละลายต่างร้อนหรือสารอินทรีย์เคมีที่ละลายไขมันออกมาได้ จากนั้นจึงทำการกัดผิวด้วยสารละลายออกซิไดซ์ชนิดกรด เช่น กรดโครมิกผสมกับกรดซัลฟูริก เป็นต้น

2.1.2 การเตรียมผิวชิ้นงานให้มีลักษณะเป็นตัวเร่ง ในขั้นตอนนี้จะทำการเซนซิไทซิง (sensitizing) เพื่อที่จะให้โลหะเข้ามาเกาะที่ผิวพลาสติก โดยสารที่ใช้ในการเซนซิไทซิงก็จะถูกดูดซับอยู่บนผิวพลาสติกทำให้ผิวชิ้นงานมีลักษณะเป็น reducing surface พร้อมทั้งจะทำการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกับสารในขั้นต่อไป สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการเซนซิไทซิงก็ได้แก่ สแตนนัสคลอไรด์ หรือ ไททาเนียมคลอไรด์ แต่โดยปกตินิยมใช้สแตนนัสคลอไรด์ผสมกับกรดไฮโดรคลอริก จากนั้นจะทำการแอคติเวท (activating) ผิวต่อเนื่องไป ซึ่งจะทำให้ผิวของชิ้นงานมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี

2.1.3 การชุบผิวด้วยโลหะโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า หลังจากเตรียมผิวชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานที่ได้จุ่มในน้ำยาชุบผิวด้วยโลหะโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า ซึ่งไอออนของโลหะในน้ำยาจะถูกรีดิวซ์ด้วยตัวรีดิวซ์กลายเป็นอะตอมของโลหะไปเกาะเคลือบผิวพลาสติกซึ่งเป็นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำยาชุบผิวด้วยโลหะโดยไม่ใช้ไฟฟ้านี้มีอยู่หลายชนิด เช่น ทองแดง นิเกิล โคบอลต์ พัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลาเตียม ทอง เป็นต้น และโดยทั่วไปแล้ว ไม่ว่าจะป็นน้ำยาชุบชนิดไหนก็ตาม จะต้องมีสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ต่างๆกันดังนี้

**ตัวกำเนิดโลหะ (source of metal)** ในน้ำยาชุบจะมีไอออนของโลหะที่ต้องการชุบละลายอยู่ เช่น น้ำยาชุบทองแดงจะมีไอออนของทองแดง ซึ่งอาจจะได้มาจากการละลายของคอปเปอร์ซัลเฟตหรือคอปเปอร์คลอไรด์ก็ได้ หรือน้ำยาชุบนิกเกิลก็ต้องมีไอออนของนิกเกิลละลายอยู่ ซึ่งอาจได้มาจากการละลายของนิกเกิลซัลเฟตหรือนิกเกิลคลอไรด์ เป็นต้น

**ตัวรีดิวซ์ (reducing agent)** เป็นสารเคมีที่จะทำให้อิออนของโลหะเปลี่ยนสภาพไปเป็นอะตอมของโลหะไปเกาะที่ผิวชิ้นงาน น้ำยาชุบแต่ละชนิดจะมีตัวรีดิวซ์ที่แตกต่างกันไป แต่ในบางครั้งสามารถใช้แทนกันได้ ตัวอย่างของตัวรีดิวซ์ที่ใช้นั้นได้แก่ ฟอรัมาลดีไฮด์ (HCHO) โซเดียมไฮโปฟอสไฟต์ ( $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ ) ไฮดราซีน ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) เป็นต้น

**สารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Complexing agent)** สารนี้จะทำปฏิกิริยาหรือรวมตัวกับไอออนของโลหะแล้วเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายได้ดีในน้ำยาชุบ ประโยชน์ของสารเหล่านี้นอกจากจะป้องกันการตกตะกอนของเกลือโลหะแล้ว ยังทำให้น้ำยาชุบเสื่อมสภาพช้าอีกด้วย และยังช่วยให้ไอออนของโลหะเกิดปฏิกิริยาเคมีกับตัวรีดิวซ์ได้ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างสารประกอบเชิงซ้อนที่นิยมใช้ เช่น โซเดียมโบตัสเตียมทาร์เทรตหรือเกลือออคเซลล์ อิติทีเอ กลีเซอริน อลานีน เป็นต้น

**บัฟเฟอร์ (Buffer)** เป็นตัวรักษาระดับ pH ของน้ำยาชุบไม่ให้เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงช้าลง สารเคมีที่ใช้เป็นบัฟเฟอร์ เช่น โซเดียมคาร์บอเนต กรดมาลินิก กรดกลูตาริก กรดอะดิปิก ไกลซีน กรดโปรปิโอนิก เป็นต้น

**สารช่วยเพิ่มอัตราการเกาะตัวของโลหะ (Exaltants)** เป็นสารที่ช่วยเพิ่มการเกาะตัวของโลหะให้สูงขึ้น ซึ่งได้แก่ สารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ เช่น เกลือแลคเตต เกลือไฮดรอกซีอะซิเตต เกลือซัคซิเนต เกลืออะซิเตต เกลือมาลิกเนต เกลือฟลูออไรด์ เป็นต้น

**สารรักษาสภาพของสารละลาย (Stabilizers)** เป็นสารที่รักษาสภาพของน้ำยาชุบไม่ให้เสื่อมสภาพเร็ว ตัวอย่างสารเคมีเหล่านี้ เช่น โซโอยูเรีย โซโอสัลเฟต เลดอะซิเตต เลดโครเมต เป็นต้น

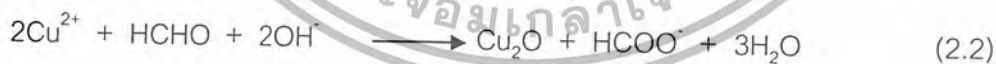
**สารเพิ่มความชื้น (Wetting agent)** สารประเภทนี้จะช่วยลดแรงตึงผิวของสารละลายหรือน้ำยาชุบ จึงทำให้น้ำยาชุบสัมผัสหรือซึบกับผิวพลาสติกได้ดี และยังช่วยขจัดฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาในขณะทำการชุบอีกด้วย ตัวอย่างสารประเภทนี้ เช่น เกลือของกรดซัลโฟนิค หรือน้ำมันที่กลั่นได้จากสารธรรมชาติ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 การชุบผิวทองแดงโดยไม่ใช้ไฟฟ้า น้ำยาชุบแบบนี้โดยปกติแล้วจะใช้ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวรีดิวซ์ และความสามารถในการรีดิวซ์จะสูงขึ้นเมื่อน้ำยาชุบมีฤทธิ์เป็นด่างมากขึ้น สำหรับ pH ของน้ำยาชุบที่ใช้ควรอยู่ในช่วง 12-13 หรืออย่างน้อยที่สุดก็ต้องมากกว่า 11 ถ้าหาก pH ต่ำเกินไป จะต้องเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือถ้าสูงเกินไปจะต้องเติมกรดซัลฟูริกลงไปเพื่อปรับให้ได้ค่าตามต้องการ แหล่งกำเนิดของอิออนของทองแดงจะได้จากเกลือของทองแดง เช่น คอปเปอร์ซัลเฟต ส่วนสารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนจะเป็นพวกทาร์เทรต อีดีทีเอ เอมีน เป็นต้น และสารเหล่านี้ยังป้องกันไม่ให้เกิดการตกตะกอนของคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์อีกด้วย ปฏิริยาที่เกิดขึ้นที่ผิวเมื่อทำการชุบผิวด้วยทองแดงแบบไม่ใช้ไฟฟ้าแสดงดังปฏิริยาที่ (2.1)



จากปฏิริยาจะเห็นว่าถ้าจะให้ทองแดงไปเกาะที่ผิวพลาสติกจำนวน 1 กรัมอะตอม จะต้องใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ 2 โมล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 โมล แต่ในทางปฏิบัติจริงๆแล้ว จะต้องใช้ฟอร์มาลดีไฮด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์มากกว่านี้เพราะมีปฏิริยาอื่นๆเกิดขึ้นด้วยเช่นกัน เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์อาจจะทำปฏิริยาเคมีกับฟอร์มาลดีไฮด์ เกิดเป็นเมทธานอลและฟอร์มेट เป็นต้น และปฏิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นได้ดีต้องอาศัยตัวเร่งปฏิริยาด้วยและตัวเร่งนี้ก็คือ ผิวของพลาสติกที่เตรียมมาอย่างถูกขั้นตอน ฉะนั้นปฏิริยาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นที่ผิวของพลาสติก แต่ก็มีปฏิริยาบางส่วนที่ไม่ได้เกิดที่ผิวพลาสติก โดยปฏิริยานี้จะทำให้เกิดตะกอนคิวปรัสออกไซด์ ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) ดังปฏิริยาที่ (2.2)

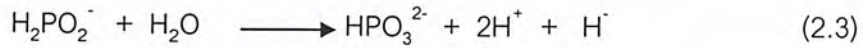


ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จะทำได้ โดยการกวนน้ำยาด้วยอากาศหรือก๊าซออกซิเจน เพื่อให้ออกซิเจนไปออกซิไดซ์คิวปรัส ( $\text{Cu}^+$ ) ไปเป็นคิวปริด ( $\text{Cu}^{2+}$ ) ซึ่งละลายได้ในน้ำยาชุบนี้

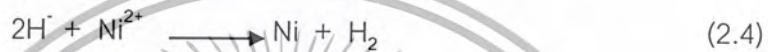
2.1.3.2 การชุบผิวด้วยนิกเกิลโดยไม่ใช้ไฟฟ้า การชุบผิวพลาสติกด้วยนิกเกิลโดยไม่ใช้ไฟฟ้า จำแนกตามลักษณะของตัวรีดิวซ์มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ตัวอย่างของตัวรีดิวซ์ที่นิยมใช้ เช่น โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์ โบโรไฮไดรด์ ไดเมทิลามีนโบเรน เป็นต้น การชุบโดยใช้โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์เป็นตัวรีดิวซ์นิยมใช้กันมานาน และได้ผลเป็นที่น่าพอใจจึงเป็นที่นิยมกันมาก สารเคมีสำคัญที่ใช้ในน้ำยาชุบเกลือนิกเกิล เกลือของไฮโปฟอสไฟท์ เกลือที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ และสารที่ทำหน้าที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเกลือของสารประกอบอินทรีย์ นอกจากสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยไม่หวังกำไร  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้แล้วยังมีสารที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติอื่นๆอีก เช่น สารรักษาสภาพน้ำยา สารเพิ่มอัตราเร็วของการเกาะเคลือบผิว เป็นต้น กลไกของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดที่ผิวของพลาสติกซึ่งมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการเตรียมผิว ทำให้ไฮโปฟอสไฟท์หลุดออกไปอยู่ในรูปของไฮไดรด์ ดูดซับอยู่ที่ผิวตัวเร่งดังปฏิกิริยาที่ (2.3)



จากนั้นไฮไดรด์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับนิเกิลไอออนเกิดเป็นอะตอมของโลหะนิเกิลเกาะติดอยู่ที่ผิวตัวเร่งซึ่งเป็นผิวของพลาสติกนั้นซึ่งแสดงได้ดังปฏิกิริยาที่ (2.4)



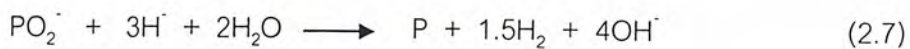
จากสมการ (2.3) และ (2.4) สามารถเขียนเป็นสมการรวมได้ดังปฏิกิริยาที่ (2.5)



แต่ประสิทธิภาพของน้ำยาชุบจะไม่เป็นไปตามสมการรวมนี้ เพราะไฮไดรด์ไอออนสามารถจะเกิดการรวมตัวกับไฮโดรเจนไอออนได้ดังปฏิกิริยาที่ (2.6)



นอกจากนี้ ในการชุบผิวพลาสติกด้วยโลหะนิเกิลโดยไม่ใช้ไฟฟ้า เมื่อใช้ไฮโปฟอสไฟท์เป็นตัวรีดิวซ์ ชั้นของนิเกิลที่ไปเกาะติดบนชิ้นงานจะมีฟอสฟอรัสผสมอยู่ประมาณ 3-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปฏิกิริยาเคมีในการเกิดฟอสฟอรัสดังปฏิกิริยาที่ (2.7)



จากปฏิกิริยาการเกิดฟอสฟอรัสนี้จะเห็นว่า ถ้าเพิ่มความเป็นด่างให้กับน้ำยาชุบ คือเพิ่มไฮดรอกซิลไอออนจะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสลดลงได้

## 2.2 กระบวนการชุบผิวโลหะแบบใช้ไฟฟ้า

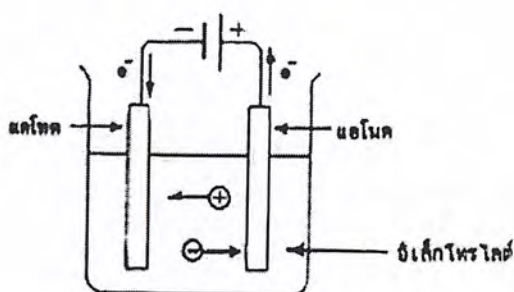
กระบวนการชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating) เป็นกระบวนการหนึ่งที่น่าสนใจประยุกต์ใช้ในการชุบผิวด้วยโลหะบนพลาสติก ทฤษฎีที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการศึกษาโครงการครั้งนี้ก็คือ กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรลิซิส การนำไฟฟ้าในสารละลาย วิธีชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

### 2.2.1 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis)

เนื่องจากการชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating) ได้พัฒนามาจากกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) ซึ่งการศึกษากระบวนการนี้เป็นสาขาหนึ่งของวิชาไฟฟ้าเคมี (Electrochemistry) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานเคมี ผลจากการศึกษาวิชานี้ทำให้เรามีแหล่งไฟฟ้าใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ถ่านไฟฉายชนิดต่างๆ แบตเตอรี่ และนอกจากนั้นยังใช้วัดสมบัติเฉพาะตัวบางประการในเชิงปริมาณของปฏิกิริยาเคมี เช่น วัดค่า pH ค่าคงที่ของสมดุลของปฏิกิริยา ค่าคงที่ของความสามารถในการละลาย ( $K_{sp}$ ) ของสารที่ละลายได้ เป็นต้น

ต่อไปนี้จะขอกล่าวถึงกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ แต่พอสังเขป ดังนี้

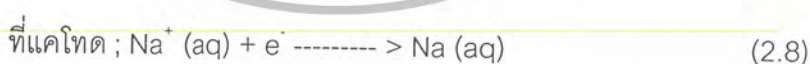
กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส คือปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานไฟฟ้าภายนอก [4] ส่วนประกอบสำคัญของกระบวนการนี้คือ แหล่งให้พลังงานไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ ขั้วไฟฟ้า (Electrodes) สองขั้วและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สารละลายอิเล็กโทรไลต์นี้ในภาวะปกติจะแตกตัวเป็นไอออนบวก และไอออนลบ ซึ่งมีการเคลื่อนที่โดยเสรี ถ้าแตกตัวเป็นไอออนได้มากจะจัดเป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ ซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าสารที่แตกตัวเป็นไอออนได้น้อย (อิเล็กโทรไลต์อ่อน) แต่สำหรับกรณีการนำไฟฟ้าของสารละลาย ที่ไม่มีอิเล็กตรอนอิสระที่จะมาช่วยนำไฟฟ้านั้น ก็จะต้องพิจารณาดูว่ากระแสไฟฟ้าไหลได้อย่างไรในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดนั้น เมื่อต่อแบตเตอรี่เข้ากับขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง ซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ดังรูปที่ 2.1 [5]



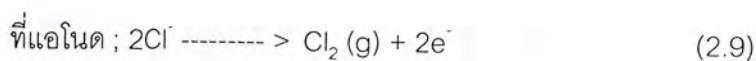
รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส

แบตเตอรี่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าผลักดันให้อิเล็กตรอนในเส้นลวด เคลื่อนที่ไปในทิศทางตามลูกศร ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ที่ขั้วทางซ้ายนั้นจะมีกระบวนการรีดักชัน (reduction process) เกิดขึ้นซึ่งเป็นกระบวนการที่ไอออนหรือโมเลกุลบางตัวรับอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าเข้าไว้ จึงถูก " รีดิวซ์ " เราเรียกขั้วไฟฟ้าที่มีการรีดักชันเกิดขึ้นว่า แคโทด (cathode) ส่วนขั้วทางขวามีไอออน หรือโมเลกุลจะถูกปล่อยอิเล็กตรอนให้กับขั้ว เรียกว่ากระบวนการออกซิเดชัน (oxidation process) ขั้วไฟฟ้าที่เกิดออกซิเดชันนี้เรียกว่า แอโนด (anode) ไอออนที่เคลื่อนที่สู่แคโทด เรียกว่า แคทไอออน (cations) และไอออนลบที่เคลื่อนที่ไปยังแอโนด เรียกว่า แอนไอออน (anions)

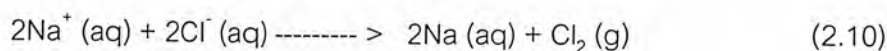
ยกตัวอย่างกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของโซเดียมคลอไรด์หลว (molten NaCl) สมมติว่าใช้ขั้วไฟฟ้าที่เฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งในที่นี้ก็คือโซเดียมคลอไรด์หลวนั่นเองโซเดียมคลอไรด์จะแตกตัวเป็น  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$   $\text{Na}^+$  จะเคลื่อนเข้าหาขั้วลบหรือแคโทดแล้วถูกรีดิวซ์ หรือรับอิเล็กตรอน ดังนี้



เรียกปฏิกิริยานี้ว่า "ปฏิกิริยาครีเซลล์" ส่วน  $\text{Cl}^-$  จะวิ่งเข้าหาขั้วบวกหรือแอโนด แล้วถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนจาก  $\text{Cl}^-$  เป็นอะตอมของคลอรีนซึ่งคลอรีนสองอะตอมรวมเป็นโมเลกุลของคลอรีน ผุดเป็นแก๊สคลอรีนที่ ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



ที่แคโทดมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำให้  $\text{Na}^+$  กลายเป็นโลหะ Na และขณะเดียวกันทำให้  $\text{Cl}^-$  ที่แอโนดกลายเป็น  $\text{Cl}_2$  ถ้ารวมครึ่งปฏิกิริยาของแคโทดและแอโนดเข้าด้วยกันจะได้ปฏิกิริยารวมเรียกว่า "ปฏิกิริยาของเซลล์" (cell reaction) ดังนี้



จะเห็นว่าการทำอิเล็กโทรลิซิสของโซเดียมคลอไรด์เหลว จะได้โลหะ Na ที่แคโทดและแก๊ส  $\text{Cl}_2$  ที่แอโนด วิธีนี้จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมเพื่อเตรียมโลหะโซเดียมและแก๊ส  $\text{Cl}_2$  แต่เนื่องจาก  $\text{NaCl}(\text{s})$  มีจุดหลอมเหลวสูงมากคือประมาณ 800 องศาเซลเซียส ดังนั้นการเตรียมโลหะ Na จึงใช้โซเดียมคาร์บอเนตผสมกับ  $\text{NaCl}$  สารผสมที่ได้มีจุดหลอมเหลวลดต่ำ คือเหลือเพียง 600 องศาเซลเซียสเท่านั้น จึงช่วยประหยัดต้นทุนการผลิตได้มาก เพราะใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสน้อย

## 2.2.2 กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรลิซิส (Faraday's Laws of electrolysis)

ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดเมื่อตอนต้นศตวรรษที่ 19 โดยพบว่าในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส ปริมาณของการเปลี่ยนแปลงทางเคมี จะมีความสัมพันธ์กับจำนวนอิเล็กตรอนที่มีการถ่ายเทในปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน เช่น การรีดักชันของไอออนของเงินและทองแดงให้เป็นโลหะตามปฏิกิริยาต่อไปนี้ [4]



จะเห็นว่าปฏิกิริยา (2.11) นั้นเงินไอออนหนึ่งตัวได้โลหะเงินหนึ่งอะตอมเกิดขึ้นที่แคโทดหรือกล่าวได้ว่า เงินไอออนหนึ่งโมลรับอิเล็กตรอนหนึ่งโมลได้โลหะเงินหนึ่งโมล (107.87 กรัม) เคลือบอยู่บนแคโทด จะเห็นว่าเงิน 1 โมลสมมูลย์กับอิเล็กตรอน 1 โมล นั่นคือสมมูลย์ของเงินเท่ากับ 1 ทำนองเดียวกัน ทองแดงไอออน 1 โมลทำปฏิกิริยากับ 2 โมล ได้โลหะทองแดง 1 โมล จะเห็นว่าทองแดง 1 โมลสมมูลย์กับอิเล็กตรอน 1 โมล นั่นคือสมมูลย์ของทองแดงเท่ากับ 2 ฟาราเดย์ได้สรุปเป็นกฎว่าปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ที่เกิดขึ้นในเซลล์ไฟฟ้าเคมีเมื่อผ่านไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์ 1 ฟาราเดย์ จะสามารถแยกสารออกได้ 1 สมมูลย์ ฉะนั้นกรณีดังกล่าว ถ้าใช้ปริมาณไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์จะแยกโลหะเงินออกมาได้ 1 สมมูลย์หรือ 1 โมล ซึ่งหนัก 107.87 กรัม หรือใช้ปริมาณไฟฟ้า 2 ฟาราเดย์ เพื่อแยกโลหะทองแดง 2 สมมูลย์หรือ 1 โมล ซึ่งหนัก 63.54 กรัม

เนื่องจากประจุไฟฟ้า ( $Q$ ) เป็น คูลอมบ์ ก็คือปริมาณประจุไฟฟ้าที่ถูกถ่ายเทขณะเมื่อมี กระแสไฟฟ้า ( $I$ ) แอมแปร์ ไหลผ่านเซลล์เป็นเวลา ( $t$ ) วินาที หาได้จากสมการดังนี้

$$Q = It \quad (2.13)$$

เมื่อ  $Q$  เป็นปริมาณบรรจุไฟฟ้าในหน่วยคูลอมบ์ (C) ,  $I$  เป็นกระแสไฟฟ้าในหน่วยแอมแปร์ (A) ส่วน  $t$  เป็นเวลาในหน่วยวินาที

และปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ เท่ากับ ประจุอิเล็กตรอน 1 ตัว คูณกับจำนวน อิเล็กตรอน 1 โมล แสดงว่า 1 ฟาราเดย์

$$\begin{aligned} F &= eN_A \quad (2.14) \\ &= (1.60210 \times 10^{-19} \text{ C}) (6.02252 \times 10^{23}) \\ &= 9.648679292 \times 10^4 \text{ C} \\ &= 96486.79292 \text{ C} \\ &= 96,500 \text{ C} \end{aligned}$$

## 2.3 ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าและขั้วไฟฟ้า

ถ้าผ่านกระแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะได้ปริมาณสารที่เกิดขึ้น ตามกฎของฟาราเดย์ แต่จากการทดลองส่วนมากจะพบว่า ปริมาณสารที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้ จากการคำนวณ ทั้งนี้เนื่องจาก กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายนั้น ไม่ได้ใช้ในการแยกสลาย ไอออนของสารที่ต้องการเพียงอย่างเดียว แต่จะนำไปในการแยกสลายไอออนของสารละลายอื่นอีกด้วย เช่น ไฮโดรเจนไอออน เป็นต้น

ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาประสิทธิภาพของปริมาณกระแสไฟฟ้าในจำนวนที่ถูกต้องขึ้น โดย ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า เป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แยกสลายไอออนที่น่าสนใจ เมื่อเทียบกับปริมาณกระแสไฟฟ้าทั้งหมด ที่ใช้ในการแยกสลายไอออนทั้งหมดในสารละลาย ซึ่งสามารถ คำนวณเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพไฟฟ้าได้ดังสมการที่ (2.15)

$$Be = (100 \times q_1) / E_{q_1} \quad (2.15)$$

เมื่อ  $Be$  = ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า

$q_1$  = ปริมาณ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลายไอออนที่น่าสนใจ

$E_{q_1}$  = ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลายไอออนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิยอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้า ทำได้โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นหรือสลายไปของขั้วไฟฟ้า กับน้ำหนักที่คำนวณได้ตามกฎของฟาราเดย์ ตัวอย่างเช่น การชุบโลหะโครเมียม ถ้าใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ไหลผ่านสารละลายตามทฤษฎีโลหะโครเมียมควรมาเกาะที่ขั้วแคโทด 8.667 กรัม แต่จากการทดลองพบว่ามีโลหะโครเมียมเกิดขึ้นเพียง 1.646 กรัม เท่านั้น

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ประสิทธิภาพของขั้วแคโทด} &= (100 \times 1.646) / 8.667 \\ &= 19 \% \end{aligned}$$

นั่นคือ ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ ที่ไหลผ่านสารละลายโครเมียมจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้า 19 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้ในการแยกสลายโครเมียมไอออนออกเป็นโลหะ ส่วนอีก 81 เปอร์เซ็นต์ จะใช้ในการแยกสลายไฮโดรเจนไอออน หรือไอออนอื่นๆ ในทำนองเดียวกันที่ขั้วแอโนด ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ไปในการสลายขั้วแอโนดเพียงอย่างเดียว แต่ต้องสูญเสียไปกับสิ่งอื่นๆ อีก เช่น ผ่านความต้านทานที่ขั้วแอโนด

ในการชุบโลหะที่ให้ประสิทธิภาพดีนั้น อัตราการเกาะที่ขั้วแคโทด กับอัตราการสลายของขั้วแอโนดในสารละลายที่ใช้ชุบ ควรมีอัตราเร็วที่เท่าๆ กัน แต่โดยปกติจะไม่เกิดลักษณะเช่นนี้ ดังนั้น จึงต้องมีการเติมสารอื่นๆ ที่ทำหน้าที่รักษาให้สารละลายมีสภาพที่เหมาะสมที่สุด หรือรักษาให้ขั้วแอโนดกับขั้วแคโทดมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด

## 2.4 สารละลายที่ใช้ในการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า

สารละลายที่ใช้ในการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า โดยปกติเป็นสารผสมตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ซึ่งสารผสมแต่ละชนิดจะทำหน้าที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้ว จะเรียกสารละลายที่ใช้ในการชุบโลหะนี้ว่า " น้ำยาชุบ " ส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำยาชุบ อาจแบ่งออกได้ดังนี้

### 2.4.1 สารที่เป็นตัวกำเนิดโลหะ

ตัวอย่างสารที่เป็นตัวกำเนิดโลหะ เช่น ในการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะนิกเกิล ตัวกำเนิดโลหะนิกเกิลที่นิยมใช้ คือ นิกเกิลซัลเฟต

### 2.4.2 สารที่ทำให้เกิดการนำไฟฟ้าดีขึ้น

สารที่ทำให้เกิดการนำไฟฟ้าดีขึ้นจะช่วยลดค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำยาชุบลงมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าผ่านสารละลายได้สะดวกขึ้น การแยกสลายของไอออนมีมากขึ้นด้วย ทำให้ อัตราการเกาะของโลหะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สารจำพวกนี้ได้แก่ กรด หรือ ด่างชนิดต่างๆ เช่น กรดซัลฟิวริก หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น

### 2.4.3 สารที่ควบคุมระดับ pH ของน้ำยาชุบ

ถ้า น้ำยาชุบมีสภาพเป็นกรด ปริมาณของไฮโดรเจนไอออนมีมาก ดังนั้นเมื่อผ่าน กระแสไฟฟ้าลงในน้ำยาชุบ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลายไอออนของโลหะน้อยลง เพราะจะใช้ ในการแยกสลายไฮโดรเจนไอออนมากขึ้น มีผลให้ประสิทธิภาพของขั้วแอโนดและขั้วแคโทด แตกต่างกันมาก หรือถ้า น้ำยาชุบมีสภาพเป็นด่างมากเกินไป คือ มีปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนมาก จะมีผลทำให้มีปริมาณของออกซิเจนในน้ำยาชุบมากขึ้น เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในน้ำยาชุบ ออกซิเจนจะทำให้ขั้วแอโนดไม่สามารถสลายตัว หรืออาจทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ไหลลงสู่น้ำยาชุบซึ่ง ปรากฏการณ์ที่ขั้วแอโนดไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เรียกว่า "โพลาไรตี"

ตัวอย่างของสารควบคุมระดับความเป็นกรดหรือด่างของน้ำยาชุบ เช่น กรดบอริกในน้ำยา ชุบโลหะนิกเกิล

### 2.4.4 สารที่ทำให้เงา

ในการชุบโลหะที่ต้องการความเงางาม ต้องเติมสารที่ทำให้เงาลงในน้ำยาชุบ เพื่อให้ผิว ของชิ้นงานมีลักษณะแวววาวมีความสวยงาม นอกจากนี้ น้ำยาเงายังเป็นตัวเพิ่มสมบัติอื่นๆ แก่ผิว ของชิ้นงาน เช่น ความแข็ง และยังคงลดความเค้นของชิ้นลงอีกด้วย

ส่วนประกอบของสารที่ทำให้เงา เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นพวก  $C=O$ ,  $C=C$ ,  $C=N$ ,  $N-C=S$ ,  $N=O$ ,  $N=N$ ,  $C-S-H$  และ  $C=COO-C-C$  เกาะอยู่ติดกับวงแหวนอะโรมาติกเป็น ส่วนใหญ่ เช่น ซัลโฟนาไมด์ ซัลโฟนิไมด์ เบนซีนซัลโฟนิกแอซิด โมโนซัลโฟนิกแอซิด ไดซัลโฟนิกแอ ซิด ไตรซัลโฟนิกแอซิด แอริลซัลเฟน และซัลโฟเนต เป็นต้น

### 2.4.5 สารรักษาระดับการเคลือบผิวให้สม่ำเสมอ (Leveler)

ปกติสารประเภทนี้เป็นสารประกอบที่ไม่มีกำมะถัน ได้แก่ "คูมาริน" โดยจะทำให้โครงสร้าง มีขนาดเล็กลงกว่าเดิม และทำให้ระดับความหนาของโลหะที่มาเกาะเท่ากัน

### 2.4.6 สารเพิ่มความชื้น (Wetting agent)

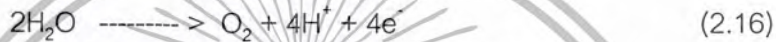
เป็นสารที่ใช้ในการชุบโลหะแบบเงา โดยลดแรงตึงผิวของสารละลายลง ทำให้ผิวของ ชิ้นงานที่ชุบไม่เกิดรอยด่างขึ้น ปริมาณในการใช้สารเพิ่มความชื้นขึ้นอยู่กับส่วนผสมของสารที่ทำให้ เงาและสารประกอบอื่นๆ ในน้ำยาชุบ การใช้สารเพิ่มความชื้นที่ไม่เหมาะสม ทำให้ความเงา สูญเสียไป หรือทำให้ระดับการเคลือบผิวของโลหะไม่เท่ากัน สารเพิ่มความชื้นเป็นสารประกอบ อินทรีย์ ซึ่งมีหมู่หลักเป็นแบบเดียวกับกับสารที่ทำให้เงา โดยปกติแล้วสารที่ทำให้เงา สารรักษา ระดับการเคลือบผิวให้สม่ำเสมอ และสารเพิ่มความชื้นจะใช้ร่วมกัน ในทางอุตสาหกรรมเรียกสาร เหล่านี้รวมกันว่า "น้ำยาเงา"

## 2.5 ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า

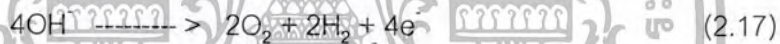
### 2.5.1 ค่า pH

ค่า pH มีอิทธิพลอย่างมากในการชุบโลหะ ถ้าค่า pH เปลี่ยนแปลงไป จะก่อให้เกิดปัญหาในการชุบ เช่น จะทำให้ชิ้นงานที่ได้จากการชุบเกิดตำหนิ ทั้งนี้เพราะค่า pH ทำหน้าที่ต่างๆ ในสารละลาย เช่น ควบคุมศักย์ไฟฟ้าของไฮโดรเจน ควบคุมสภาวะการเกิดสารเชิงซ้อนหรือควบคุมประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้า เป็นต้น

ในกรณีที่ค่า pH ทำหน้าที่ควบคุมศักย์ไฟฟ้าของไฮโดรเจนนั้น ศักย์ไฟฟ้าของไฮโดรเจนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนที่ขั้วไฟฟ้า ซึ่งมีผลให้ประสิทธิภาพของขั้วไฟฟาลดลงไปด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้า pH ของสารละลายมีค่าน้อย ปฏิกริยาในน้ำยาชุบดังสมการที่ (2.16)



จากปฏิกริยานี้ ที่ขั้วแคโทดเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ประสิทธิภาพของขั้วแคโทดลดลง หรือในกรณีที่ค่า pH ของสารละลายมีค่ามาก ปฏิกริยาเปลี่ยนไปดังสมการที่ (2.17)



แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่ขั้วแอโนดจะเพิ่มมากขึ้นซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของขั้วแอโนดลดลงด้วย

จากตัวอย่างข้างต้น แสดงให้เห็นว่าค่า pH มีผลต่อการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้าอย่างมาก ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุม pH ของน้ำยาชุบในแต่ละครั้งอย่างใกล้ชิด

### 2.5.2 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า คือ ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านต่อหน่วยพื้นที่ของขั้วไฟฟ้านั้น โดยปกติแล้วจะแสดงในหน่วยของแอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร หรือ แอมแปร์ต่อตารางฟุต และถ้าไม่ระบุว่าเป็นความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ที่ขั้วบวกหรือขั้วลบ ก็มักจะหมายถึงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ ในน้ำยาชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าแต่ละชนิด จะกำหนดสภาวะการทำงานไว้ชัดเจนว่า จะชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่าใด ฉะนั้นก่อนจะทำการชุบ จึงต้องคำนวณพื้นที่ของชิ้นงานเสียก่อน แล้วนำพื้นที่นี้ไปคำนวณดูว่า จะใช้กระแสไฟฟ้าเท่าใดจึงจะทำให้ได้ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตามที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ในการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าชนิดหนึ่ง จะต้องทำการชุบเคลือบผิวด้วยความหนาแน่นของ

กระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร และปรากฏว่า พื้นที่ผิวหน้าของชิ้นงานที่จะทำการชุบ

ทั้งหมด เท่ากับ 5 ตารางเดซิเมตร ฉะนั้น ในการชุบนี้จะต้องใช้กระแสไฟฟ้าเท่ากับ  $8 \times 5 = 40$  แอมแปร์ จึงอยู่ในสภาวะการทำงานที่ดี โดยปกติแล้ว ในการชุบชนิดเดียวกันมีสภาวะการทำงาน บางอย่างแตกต่างกัน จึงอาจใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันออกไป เช่น อุณหภูมิ สูงและมีการกวนน้ำยาอย่างแรงก็จะชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าปกติได้ ซึ่งจะทำให้มีอัตราเร็วของการชุบเคลือบผิวสูงขึ้น แต่ทางปฏิบัติทั่วๆ ไปแล้ว การชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำจะเคลือบผิวได้เป็นระเบียบและสวยงามกว่า แต่จะเสียเวลาในการชุบมากขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟาราเดย์ ซึ่งมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยทางแคโทดและแอโนด โลหะจะละลายจากแอโนดหรือมีออกซิเจนมากขึ้นที่แอโนด และจะได้โลหะเกาะจับที่แคโทดหรือมีไฮโดรเจนเกิดที่แคโทด ปฏิริยาจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลาย และระยะเวลาของการปล่อยให้กระแสไหลผ่าน ไม่เคิล ฟาราเดย์ ได้ตั้งกฎความสัมพันธ์ระหว่างปฏิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสอง ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้และระยะเวลาที่ให้กระแสไหลผ่านไว้ดังนี้

กฎข้อที่ 1 น้ำหนักของไอออนที่ถูกปล่อยให้เป็นอิสระ กระแสไฟฟ้าย่อมเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ให้

กฎข้อที่ 2 น้ำหนักของไอออนชนิดต่างๆ ที่ถูกปล่อยให้เป็นอิสระโดยปริมาณไฟฟ้าเท่าๆ กัน ย่อมเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสมมูลย์เคมีของไอออนเหล่านั้น

จากกฎข้อที่ 1 เราสามารถนำมาใช้ในการชุบโลหะได้ คือ ถ้าเราต้องการให้โลหะที่มาเกาะจับที่มีความหนาแน่นจำนวนหนึ่ง เราอาจจะทำได้ 2 วิธี คือ ใช้กระแสไฟฟ้าน้อย ๆ แล้วใช้เวลานานๆ หรืออาจใช้กระแสไฟฟ้ามากๆ แล้วใช้เวลาสั้นๆ ก็จะได้โลหะไปเกาะจับที่แคโทดในปริมาณที่เท่ากัน

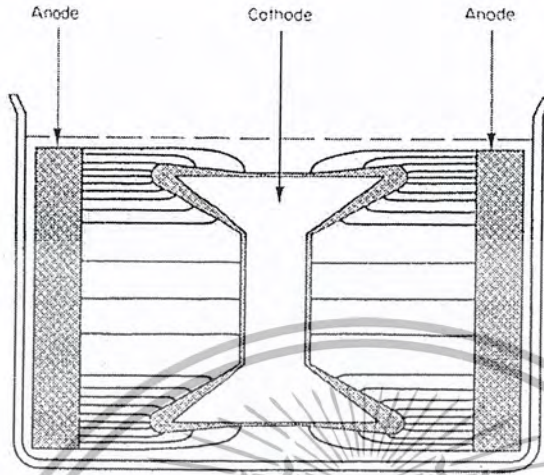
จากกฎข้อที่ 2 เราทราบได้ว่าโลหะแต่ละชนิดมีคุณสมบัติการแยกสลายไม่เหมือนกัน กล่าวคือ ในปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เท่า ๆ กัน โลหะแต่ละชนิดจะมีปริมาณการแยกสลายออกมาไม่เท่ากัน โลหะบางชนิดจะแยกสลายออกมาน้อย โลหะบางชนิดจะแยกสลายออกมามาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติประจำตัวหรือสมมูลย์เคมีของโลหะนั้น ๆ

### 2.5.3 การกระจายของกระแสไฟฟ้า

จากการศึกษาพบว่า ธรรมชาติของการกระจายของกระแสไฟฟ้ามีการกระจายอย่างหนาแน่นที่สุดที่บริเวณใกล้กับขั้วไฟฟ้า บริเวณจุดที่อยู่ห่างออกไปการกระจายกระแสไฟฟ้าจะเบาบางลง โดยการกระจายของกระแสไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลาย คือการเคลื่อนที่ของไอออนจากสารละลายไปยังขั้วไฟฟ้า ดังนั้น บริเวณใดที่ระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของไอออนใกล้ บริเวณนั้นจะมีการเกาะหนากว่าบริเวณที่ระยะทางไอออนเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าไกลกว่า



รูปที่ 2.2 การกระจายของกระแสไฟฟ้า

#### 2.5.4 ลักษณะของขั้วแอโนด

ในการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า โดยทั่วไปนิยมใช้ขั้วแอโนดที่ละลายได้ เพื่อให้ปริมาณไอออนในสารละลายมีอยู่เท่าเดิม ลักษณะของขั้วแอโนดที่ละลายน้ำได้ ตามทฤษฎีควรเป็นดังนี้

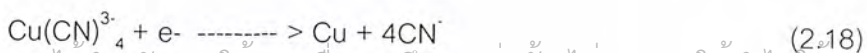
- ก. มีการละลายออกมาอย่างสม่ำเสมอและเรียบ
- ข. มีการเกิดตะกอนของสิ่งสกปรกน้อยที่สุด
- ค. มีประสิทธิภาพของขั้วแอโนดสูง
- ง. มีความบริสุทธิ์สูง

#### 2.5.5 อุณหภูมิของน้ำยาชุบ

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเคลือบผิวโลหะ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นค่าความต่างศักย์ของน้ำยาชุบจะลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดความหนืดของน้ำยาชุบ แต่อย่างไรก็ตามอาจทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นได้

#### 2.5.6 สารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน

ในการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า ถ้าน้ำยาชุบมีสารประกอบเชิงซ้อนอยู่ ทำให้การเกาะของโลหะเรียบและแน่น เช่น ในการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะทองแดงแบบต่าง มีการใช้สารประกอบที่มีไซยาไนด์อยู่ เป็นสารที่ทำให้เกิดสารเชิงซ้อน ดังสมการที่ (2.18)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.7 การกวนน้ำยาชุบ

การกวนน้ำยาชุบทำให้ประสิทธิภาพของการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้าดีขึ้นและยังช่วยลดความต่างศักย์ที่เกิดจากความเข้มข้นสูง นอกจากนี้การกวนน้ำยาชุบตลอดเวลาทำให้ความเข้มข้นของไอออนโลหะในน้ำยาชุบ มีความสม่ำเสมอเท่าๆ กัน

### 2.5.8 สารละลายอิเล็กโทรไลต์

เป็นสารละลายของเกลือโลหะชนิดต่างๆ กับสารเคมีชนิดอื่นๆ ที่ผสมลงไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำยาชุบให้ดีขึ้น น้ำยาชุบจะแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของโลหะที่ต้องการชุบ น้ำยาชุบจะเป็นตัวนำไฟฟ้าและจะแยกสลายตัวออกเป็นอนุภาคเล็กๆ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวก หรือเรียกอีกชื่อว่า แคทไอออนจะวิ่งไปเกาะขั้วลบ ซึ่งป็นขั้วงานที่ต้องการชุบ อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบหรือ แอนไอออนจะวิ่งไปที่ขั้วบวก ซึ่งเป็นแผ่นตัวล่อ ขณะที่เกิดการแยกสลายดังกล่าวในสารละลายนั้น จะไม่สามารถมองเห็นการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ในสารละลายนั้นเลย แต่จะเห็นปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่ขั้วลบและขั้วบวก ตัวอย่างเช่น ในสารละลายของอิเล็กโทรไลต์บางชนิดที่ใช้แผ่นพัลทินัมเป็นขั้วบวกและขั้วลบ เมื่อต่อแผ่นทั้งสองเข้ากับแบตเตอรี่ให้ครบวงจร จะปรากฏมีฟองก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นที่ขั้วบวก และมีฟองก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นที่ขั้วลบ เป็นต้น

## 2.6 โครงสร้างของการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า

โลหะที่เคลือบผิวประกอบด้วยผลึกหลายๆ ผลึก แต่ละผลึกประกอบขึ้นเป็นหน่วยแลตทิซ (Lattice units) สมบัติของโลหะที่เคลือบผิวทราบได้จาก ขนาด การจัดเรียงตัวของแต่ละผลึก หรือ ของผลึกที่เกาะรวมตัวกัน ซึ่งทำให้เกิดการเคลือบผิวขึ้น ชนิดของโครงสร้างผลึกที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะหนึ่ง ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของ

ก. อัตราการเกิดนิวเคลียสของผลึกใหม่

ข. อัตราการเติบโตของผลึกที่เกิดขึ้น

โดยทั่วไป มักกำหนดสภาวะให้มีอัตราการเกิดของนิวเคลียสของผลึกใหม่สูงกว่าอัตรา การเติบโตของผลึกที่เกิดขึ้น เพื่อให้ได้ผลึกที่มีขนาดเล็กจำนวนมาก เกรนที่ได้ละเอียด และทำให้โลหะที่เคลือบผิวอยู่มีลักษณะเรียบ [6]

## 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะผิวของชิ้นงานและกำลังเคลือบผิว

โดยปกติแล้วรูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการจะชุบเคลือบผิวนั้น มักจะมีรูปร่างที่ต่างกันออกไป เช่น กลม แบน โค้งงอ เป็นต้น รูปร่างต่างๆ เหล่านี้จะทำให้มีผิวเคลือบที่สม่ำเสมอทั่วกันตลอดทั้งแผ่นนั้นทำได้ยากมาก

จากการศึกษาพบว่า กระแสเดินทางไปยังจุดที่ไกล่เคียงที่สุดอย่างหนาแน่น และจุดที่ห่างออกไปจะมีกระแสไฟฟ้าหนาแน่นลดลงมา เนื่องจากการเดินทางของกระแสไฟฟ้าก็คือ การเดินทางของโลหะไอออนไปยังขั้วลบนั่นเอง ดังนั้นส่วนใดที่มีกระแสอยู่อย่างหนาแน่น ย่อมมีการเกาะจับหนาแน่น และส่วนที่มีกระแสอยู่ไม่หนาแน่นก็จะมีกระแสเกาะจับบางกว่าส่วนที่มีกระแสอยู่อย่างหนาแน่น และยังบริเวณใดมีลักษณะเป็นมุมแหลมด้วยแล้ว ยิ่งมีการกระจายของกระแสไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นไปอีก เนื่องจากการกระจายของกระแสไฟฟ้า ก็คือการกระจายหรือการเคลื่อนที่ของไอออนของโลหะไปเกาะที่ขั้วลบ ดังนั้น จุดใดของขั้วลบที่อยู่ใกล้ขั้วบวกหรือจุดที่เป็นมุมแหลมจะมีการเกาะเคลือบผิวของโลหะบริเวณนั้นมากกว่าบริเวณอื่นๆ จึงทำให้ผิวที่เคลือบบนชิ้นงานนั้นหนากว่าที่อื่นด้วย ซึ่งอาจจะแสดงลักษณะการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบบนชิ้นงานได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.3 แสดงการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบชิ้นงาน

จากรูปจะเห็นว่า บริเวณชิ้นงานส่วนที่เป็นมุมแหลมหรืออยู่ใกล้ขั้วบวกจะมีการกระจายของกระแสไฟฟ้าหนาแน่นมากที่สุด และมีการเกาะเคลือบผิวหนาที่สุด ซึ่งถ้าต้องการให้การชุบเคลือบออกมาในลักษณะเช่นนี้ก็ไม่ต้องแก้ไข แต่ถ้าต้องการให้มีลักษณะของการชุบเคลือบที่มีความหนาแน่นเท่าๆ กันตลอดทั้งชิ้นงาน ก็อาจแก้ไขได้โดยหาแผ่นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำยาชุบมากันระหว่างขั้วบวกกับขั้วลบ ตรงบริเวณที่อยู่ใกล้เพื่อลดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าให้

เหลือเท่าๆ กันทุกบริเวณของขั้วลบ วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น โพลีเอทิลีน พีวีซี หรือเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีโพรพิลีน เป็นต้น แต่ถ้าหากว่าการเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบไม่ทั่วหรือไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากสาเหตุที่น้ำยาการเกาะเคลือบผิวไม่ดี ก็จะต้องแก้ไขโดยวิธีออกแบบขั้วบวกให้เหมาะสม คือ ออกแบบให้มีการกระจายของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบให้เท่ากัน และทั่วถึงในส่วนที่ต้องการให้มีการเกาะเคลือบผิว สำหรับกำลังการเคลือบหมายถึง ความสามารถในการกระจายของไอออนบวกหรือไอออนของโลหะไปเคลือบบนผิวชิ้นงานได้ทั่วถึงมากหรือน้อยเพียงใด ถ้า น้ำยาที่มีการเคลือบผิวที่ไม่ดี จะสังเกตได้จากการชุบชิ้นงานที่มีลักษณะกลวง หรือโค้งงอ จะพบว่า ส่วนที่อยู่ลึกๆ ลงไป จะไม่สามารถเคลือบผิวได้ [7]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# กระบวนการชุบโลหะบนผิวพลาสติก

### 3.1 การเตรียมผิวชิ้นงานเพื่อการชุบ [8]

#### 3.1.1 กระบวนการทำความสะอาดคราบไขมันและสิ่งสกปรก (Cleaning)

ความสะอาดของชิ้นงานเป็นสิ่งจำเป็นมากในการชุบ ถ้าหากชิ้นงานไม่ได้ผ่านการทำความสะอาดที่ถูกต้องแล้ว อาจทำให้ผลการชุบออกมาไม่ได้ผลเท่าที่ควร ดังนั้นการทำความสะอาดอย่างหมدจึงนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้ไม่สามารถจะกล่าวอ้างให้มากกว่านี้ได้ เพราะประสิทธิภาพของงานชุบนั้น ขึ้นอยู่กับการติดเกาะแน่นของเนื้อโลหะกับชิ้นงานที่ทำการชุบ การทำความสะอาดชิ้นงานแต่ละกรรมวิธีที่ทำให้ผิวสะอาดเหมาะกับการชุบก็คือการกำจัดไขมัน น้ำมัน และรอยเปื้อนอื่น ๆ ที่ติดมาจากกรรมวิธีการผลิต เช่น การกลึง บี้ม เครื่องอัด หรือเครื่องขัดผิวออก การชุบเคลือบบนผิวที่สกปรก หรือมีไขมัน จะทำให้ผิวชิ้นงานที่ผ่านการชุบนั้นลอกออกง่าย หรือพอง การทำความสะอาดและกรรมวิธีการเตรียมงานก่อนการชุบนั้นมีวิธีการหลายอย่างด้วยกัน เช่น

- การกำจัดไขมัน หรือการทำความสะอาดขั้นแรก (Degreasing)
- การทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มชิ้นงานให้เป็นเงา (Pickling and Dipping)
- การล้างด้วยน้ำด่างร้อน (Soak clean)
- การล้างด้วยไฟฟ้า (Electro clean)
- การทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic clean)

#### การกำจัดไขมันด้วยไอระเหย (Vapor Degreasing)

การเอาน้ำมันหรือไขมันออกจากผิวงานที่จะทำการชุบ ด้วยการนำชิ้นงานไปจุ่มแช่ลงในไตรคลอโรเอททีลีน (Trichloroethylene) ซึ่งไตรคลอโรเอททีลีนนี้ต้องบรรจุอยู่ในถังพิเศษ ซึ่งมีเครื่องทำความร้อนอยู่ได้ถึง และมีท่อขดทำความเย็นอยู่บริเวณของปากถัง เวลาใช้งานไตรคลอโรเอททีลีนต้องให้ความร้อนซึ่งมีจุดเดือดที่ 86 องศาเซลเซียส เมื่อถึงจุดเดือดก็จะเป็นไอระเหยขึ้นมา กระแทบความเย็นก็กลั่นตัวโดยท่อที่ทำความเย็นกลับสู่ในถังอีก เมื่อจุ่มงานลงในไตรคลอโรเอททีลีน ไอระเหยจะถูกกลั่นตัวบนผิวงาน ทำการชำระล้างไขมันหรือน้ำมันลงสู่ถัง สำหรับชิ้นงานที่มี ยาขัดติดแน่นอยู่ ขอแนะนำให้จุ่มลงในน้ำมันระเหยนั่นก่อน ต่อมาจึงนำชิ้นงานขึ้นถูกกับไอระเหย เป็นการล้างทำความสะอาดขั้นสุดท้าย

### การล้างด้วยน้ำต่างร้อน (Soak Clean)

วิธีนี้เป็นการล้างขั้นแรก โดยงานที่ผ่านจากการขัดเคลือบผิวมาแล้ว ควรที่จะล้างด้วยต่างร้อนเสียขั้นหนึ่งก่อน เพื่อให้ชิ้นงานสะอาดหมดจดในการล้างขั้นต่อไป ถึงที่ใช้บรรจุนั้นทำด้วยเหล็กหรือสแตนเลส ภายในติดตั้งเครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้า และมีป่าสำหรับล้นออกของฟองและสิ่งสกปรก เวลาเอางานออกจากถังฟองสกปรกที่ลอยอยู่บนผิวของน้ำยาจะไม่เกาะที่ผิวงาน น้ำยาชนิดนี้มีทั้งของสำเร็จโดยผสมกับน้ำใช้ได้ทันที

### การล้างด้วยไฟฟ้า (Electro Clean)

น้ำต่างที่ร้อนทุกชนิดจะมีปฏิกิริยากระทำความสะอาดต่อโลหะทุกชนิด เวลาที่ใช้ทำความสะอาดนั้นประกอบด้วยส่วนผสมของดิวยา และชนิดของน้ำมันที่จะล้างออกด้วย การทำความสะอาดด้วยไฟฟ้าทำได้รวดเร็วกว่าการชุบล้างบางชนิด การทำความสะอาดด้วยไฟฟ้า คือปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านลงไปใต้น้ำยาต่างที่ร้อนประมาณ 60-90 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งชิ้นงานนั้นล้างได้ทั้งซั้วบวก และซั้วลบ การทำความสะอาดด้วยไฟฟ้านี้ไม่เหมาะสมต่อการใช้ทำความสะอาดงานครั้งละจำนวนมากๆ

#### 3.1.2 กระบวนการกัดผิวชิ้นงาน ( Etching)

กระบวนการนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้พลาสติกมีผิวที่เหมาะสมแก่การเข้าเกาะของตัวเร่งปฏิกิริยา

#### 3.1.3 กระบวนการสร้างความว่องไวให้ผิวพลาสติก (Sensitizing)

กระบวนการนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้พลาสติกมีผิวไวต่อปฏิกิริยา เป็นขั้นตอนสร้างชั้นดีบุก (Sn) บนผิวพลาสติก

#### 3.1.4 กระบวนการกระตุ้นผิวเพื่อเร่งปฏิกิริยา (Activating)

กระบวนการนี้มีวัตถุประสงค์ที่ต้องการกระตุ้นผิวพลาสติกให้เร่งต่อปฏิกิริยาของสารเคมีในขั้นต่อไป โดยใช้พัลลาเดียมคลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

### 3.2 กระบวนการชุบผิวให้นำไฟฟ้าได้ [8]

การชุบโลหะโดยไม่ใช้ไฟฟ้า เป็นขั้นตอนการเคลือบผิวหน้าชิ้นงานพลาสติกด้วยโลหะ เพื่อให้ผิวหน้าชิ้นงานเป็นตัวนำไฟฟ้า

การชุบโลหะโดยไม่ใช้ไฟฟ้า ส่วนมากนิยมใช้กระบวนการชุบนิเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Electroless Nickel) ซึ่งการชุบนิเกิลแบบนี้ใช้ความร้อนทำให้น้ำยาร้อนตามอุณหภูมิที่กำหนด แล้วนำชิ้นงานที่ผ่านการล้างผิว กัดด้วยกรด และเตรียมผิวให้ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยามาแล้ว อย่างดีลงไปจุ่มในน้ำยา ผลของการชุบจะได้ผิวเคลือบที่สม่ำเสมอ แข็ง เงามุกสว่าง ผิวที่ได้เป็นโลหะผสมนิเกิล-ฟอสฟอรัส โดยอาศัยปฏิกิริยา Reduction ในตัวของมันเอง ภายใต้สภาวะปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยใช้สาร Reducing agent เป็นตัวแยกธาตุโลหะออกจากน้ำยามาเกาะที่ชิ้นงาน น้ำยาชุบนิเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้านี้มีทั้งแบบกรดและแบบด่าง มีทั้งแบบพื้นฐานที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

การกวนน้ำยา ใช้กวนน้ำยาด้วยลม โดยใช้ปั๊มลม

อุณหภูมิ น้ำยาชุบนิเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ต้องให้ความร้อนเท่าอุณหภูมิที่กำหนด น้ำยาจะทำการเคลือบเร็วที่อุณหภูมิที่กำหนดไว้ ถ้าอุณหภูมิต่ำ ฟอสฟอรัสจะเพิ่มมากขึ้น อย่าให้ความร้อนแก่ น้ำยา หากชิ้นงานยังไม่พร้อมที่จะชุบ เพราะจะทำให้ น้ำยาทำปฏิกิริยาและอาจเคลือบตามภาชนะที่บรรจุ และไม่เป็นการประหยัด

การกรองน้ำยา ควรกรองน้ำยาตลอดเวลาที่ทำการชุบ ด้วยไส้กรองขนาด 5 ไมครอน เพื่อให้ผิวงานที่เรียบ ไส้กรองควรใส่ถุงผ้า และต้องถอดออกล้างทุกวัน การล้างควรล้างด้วยกรดดินประสิว 30 % โดยปริมาตร และล้างขั้นสุดท้ายด้วยน้ำกลั่น

### 3.3 กระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า [8]

#### 3.3.1 กระบวนการชุบทองแดงแบบสไตรค์ (Copper Strike)

มีกำลังการเคลือบผิวดีมากและการเกาะจับผิวแน่น การชุบทองแดงแบบสไตรค์ นี้เหมาะสำหรับชุบร่องพื้นชิ้นแรก ก่อนที่จะเอาไปชุบทองแดงแบบกรดและนิเกิลเงา ในเมื่อโลหะที่จะชุบทองแดงนั้นมาสามารถนำไปชุบในน้ำยาที่มีสภาพเป็นกรดได้ ดังนั้นจึงต้องนำชิ้นงานชุบในทองแดงแบบด่างก่อน แล้วจึงชุบในทองแดงแบบกรด (แบบเงา) หรือนิเกิลเงา งานประเภทนี้ คืองานที่ทำด้วยสังกะสีหล่อ (Zinc Diecasting)

#### 3.3.2 กระบวนการชุบทองแดงแบบกรด (Bright Copper)

การชุบทองแดงแบบกรดนิยมใช้กันมาก การควบคุมน้ำยากง่าย ต้นทุนวัตถุดิบต่ำ ชุบแล้วเป็นเงางามมาก ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้ชุบเคลือบผิวโลหะเพื่อเพิ่มความหนาของทองแดงร่องพื้น

ก่อนชุบนิเกิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 กระบวนการชุบนิเกิลเงา (Bright Nickel)

นิเกิลเงาใช้ชุบรองพื้นบนชิ้นงานก่อนชุบโครเมียม ก่อนชุบทองเหลือง ชุบรองพื้นก่อนชุบเงิน และก่อนชุบทอง

โลหะนิเกิลเป็นโลหะเงินซึ่งมีความหนาแน่นในสภาพเป็นแท่ง 8.5 มีวาเลนซ์ 2 หรือ 3 แต่ถ้าอยู่ในถังชุบมักมีวาเลนซ์ 2 โลหะที่ทนทานต่อการสึกกร่อนค่อนข้างแข็งแรงและทนทานมาก มีแรงต้านทานไฟฟ้าประมาณ 5 เท่าของทองแดง

นิเกิลเป็นโลหะที่สำคัญที่สุดที่ใช้ในการชุบเคลือบผิว การชุบนิเกิลทำให้เป็นมันเงางามใช้แพร่หลายมากในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโลหะ เนื่องจากการชุบนิเกิลเป็นการป้องกันรักษาเนื้อโลหะเดิมไม่ให้เกิดสนิม หรือป้องกันไม่ให้รอยต่างอันเกิดจากสารเคมีแล้วยังช่วยทำให้โลหะที่ชุบสวยงามเป็นมันเงางามอีกด้วย

การชุบนิเกิลมีหลายแบบ แบบชุบหนาใช้ในงานด้านวิศวกรรมเพื่อช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ใช้เคลือบชิ้นส่วนเครื่องจักร และใช้ในการทำแบบด้วยกรรมวิธีไฟฟ้า การชุบชนิดนี้จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิ ค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าอย่างใกล้ชิด มิฉะนั้นแล้วผิวที่ชุบจะเกิดเป็นปุ่มๆ และแตกเป็นเส้นได้ง่าย ในคราวนี้จะพูดแต่เพียงการชุบนิเกิลเพื่อความสวยงามเป็นหลักใหญ่ ซึ่งมีมากในอุตสาหกรรมของเราคือการชุบนิเกิลเงา

### 3.3.4 กระบวนการชุบโครเมียม (Chromium)

โครเมียมเป็นโลหะที่มีสีขาววาว สุกใส ไม่ขุ่นมัว ไม่ต้องขัดถูบ่อยๆ มีความผิวดำ แข็ง มีจุดหลอมตัวสูงที่ 1615 องศาเซลเซียส เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี และไม่เป็นสนิม ประโยชน์ของโครเมียม คือนำไปผสมกับโลหะอื่นๆ ในอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะ และใช้ชุบเคลือบบนผิวโลหะอื่น เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะนั้นๆ เกิดสนิมและขุ่นมัว ฯลฯ การชุบเคลือบผิวบนโลหะชนิดอื่นด้วยโครเมียมในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การชุบโครเมียมชนิดบางหรือชุบเพื่อความสวยงาม (Decorative chromium) การชุบชนิดนี้มีจุดมุ่งหมายป้องกันไม่ให้โลหะอื่นเป็นสนิม และให้ความสวยงาม ทนต่อการเสียดสี และทนต่อการผุกร่อนการชุบเคลือบในลักษณะนี้มักจะชุบโครเมียมค่อนข้างบางมากโดยหนาประมาณ 0.00001 ถึง 0.00003 นิ้ว หรือ 0.25 ไมครอน ถึง 0.8 ไมครอน

2. การชุบโครเมียมชนิดหนาซึ่งเรียกว่า Hard chromium หรือ Hard chrome การชุบชนิดนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มความหนาในผิวของโลหะนั้นๆ เช่น ชิ้นส่วนของเครื่องมือ เครื่องจักรที่สึกหรอไปเพราะการใช้งาน ถ้านำมาชุบโครเมียมให้หนาขึ้น แล้วนำไปเจียรไนก็จะสามารถใช้งานได้เหมือนเดิม หรือมีจุดมุ่งหมายให้โลหะนั้นๆ มีความแข็งแรง ทนต่อความร้อน ทนต่อการเสียดสี มีความผิวดำ เช่น ก้านไฮดรอลิค เป็นต้น การชุบเคลือบในลักษณะนี้ต้องใช้เวลาชุปนานจนจึงได้โลหะโครเมียมหนา และแข็งแรงมาก ปกติแล้วจะชุบที่ความหนาตั้งแต่ 0.001 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในทางใดๆ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นไป และโดยมากซุบโครเมียมโดยตรงบนเหล็ก การซุบโครเมียมหนานบนโลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็กมักไม่ค่อยทำกัน

การรองพื้นก่อนซุบโครเมียมเนื่องจากโครเมียมเป็นโลหะที่แข็งมาก ดังนั้นจึงเปราะมาก และเนื่องจากแรงเค้น แรงเครียด รวมทั้งการหนีออกไปของแก๊สไฮโดรเจนที่พลอยผสมอยู่ในโลหะโครเมียมในขณะที่ไปเกาะชิ้นงาน ทำให้ผิวโลหะโครเมียมที่ได้จากซุบมีลักษณะแตกร้าว หรือเป็นรูพรุนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของโครเมียมจากการคั่นคว่ำ ปรากฏว่า ถ้าความหนาของโครเมียมหนา 0.02 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่าจะได้ผิวโครเมียมที่ไม่มีรอยแตกร้าวอยู่โดยทั่วไป ด้วยเหตุที่มีรูพรุนเมื่อเวลาซุบบางนี้เองจึงเป็นเหตุให้โครเมียมป้องกันสนิมไม่ได้เต็มที่ ถ้าเราซุบโครเมียมบางๆ โดยตรงบนเหล็กสนิมจะเริ่มเกิดในรูพรุนก่อนแล้วต่อมามันจะเริ่มแผ่ขยายกว้างออกไปได้ผิวโครเมียม และในที่สุดสนิมก็จะยกแผ่นโครเมียมทั้งแผ่นออก ทำให้โครเมียมป้องกันสนิมไม่ได้ เพื่อแก้จุดอ่อนในเรื่องนี้ในการซุบโครเมียมบาง จึงจะรองพื้นด้วยทองแดง และนิกเกิลเสียก่อน การทำดังนี้ มีส่วนดีกว่าซุบโครเมียมโดยตรงบนเหล็ก หรือโลหะอื่นๆ คือ

1. รองพื้นทองแดงก่อนการซุบนิกเกิล เพื่อให้การเกาะจับที่แน่น ยกตัวอย่าง เช่น ชิ้นงานที่เป็นเหล็ก เหล็กหล่อ โลหะผสม ทองเหลือง ฯลฯ ทองแดงจะจับได้แน่นสนิทกว่านิกเกิล
2. รองพื้นด้วยนิกเกิลก่อนซุบโครเมียม นิกเกิลจะช่วยเป็นตัวประสานยึดเหนี่ยวระหว่างทองแดงกับโครเมียมได้เป็นอย่างดี ประการสำคัญนิกเกิลจะเป็นตัวช่วยป้องกันไม่ให้สนิมซึมผ่านไปเกาะกินเหล็กได้ นิกเกิลเป็นโลหะไม่เกิดสนิมเช่นเดียวกับโครเมียม มีสีสุกใส เงางาม เช่นเดียวกับโครเมียม แต่สีสุกใสเงางามของนิกเกิลมีโอกาสขุ่นมัวได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยโครเมียมเคลือบชั้นบนนิกเกิลอีกทีหนึ่ง เพื่อว่าชิ้นงานนั้นๆจะได้มีความสุกใสอยู่ได้นาน

การรองพื้นด้วยนิกเกิลอย่างน้อยที่สุดควรจะหนาประมาณ 0.0006 นิ้ว หรือ 0.005 มิลลิเมตร สำหรับงานที่ทำด้วยเหล็กต้องใช้งานกลางแจ้งอย่างน้อยๆ นิกเกิลควรหนา 0.001 นิ้ว ถ้าเป็นน้ำยาซุบนิกเกิลชนิดด้าน ความหนาของนิกเกิลควรเผื่อไว้เป็นพิเศษอีก 20 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการสูญเสียไปเนื่องจากการขัดเงา แต่ถ้าเป็นน้ำยาซุบนิกเกิลชนิดเงาก็ไม่จำเป็นต้องเผื่อไว้

### 3.4 อุปกรณ์และสารเคมี

#### สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก (Sulphuric acid)
2. โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate)
3. คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper Sulfate)
4. นิกเกิล (Nickel Sulfate)
5. กรดบอริก (Boric acid)
6. สแตนนัสคลอไรด์ (Stannous Chloride)
7. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)
8. กรดโครมิก (Chromic acid)
9. พัลลาเดียมคลอไรด์ (Palladium chloride)
10. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide)
11. นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)
12. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate)
13. โซเดียมเมตตาซิลิเกต (Sodium metasilicate)
14. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)
15. ไตรโซเดียมฟอสเฟต (Trisodium phosphate)

#### อุปกรณ์

1. เครื่องสูบลมพลาสติกขนาดเล็ก
2. บีกเกอร์
3. ปิเปต
4. กระจกตวง
5. แท่งแก้วคน
6. ตัวจับชิ้นงาน
7. ถุงมือยาง
8. เครื่องชั่งน้ำหนัก
9. เทอร์โมมิเตอร์
10. ขวดน้ำกลั่น

### 3.5 ขั้นตอนการชุบ [8]

3.5.1 ล้างผิวพลาสติก จุ่มชิ้นงานในสารละลายต่าง ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เวลา 2-7 นาที แล้วจึงนำไปจุ่มล้างในน้ำสะอาด

3.5.2 การกัดผิว (Etching) จุ่มชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการล้างผิวในขั้นตอนแรกลงในสารละลายกรด ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที แล้วจึงนำไปจุ่มล้างในน้ำสะอาด

3.5.3 ทำให้ผิวชิ้นงานเป็นกลาง (Neutralizing) จุ่มชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกัดผิวลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เวลา 2-3 นาที แล้วจึงนำไปจุ่มล้างในน้ำสะอาด เพื่อล้างเอากรดออก

3.5.4 ทำให้ผิวไวต่อปฏิกิริยา (Sensitizing) จุ่มชิ้นงานลงในน้ำยาซึ่งมีส่วนผสมของสแตนนัสอยู่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เวลา 2-5 นาที แล้วจึงนำไปจุ่มล้างในน้ำสะอาด

3.5.5 กระตุ้นผิวเพื่อเร่งปฏิกิริยา (Activating) จุ่มชิ้นงานลงในน้ำยาซึ่งมีส่วนผสมของพัลลาเดียมอยู่ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เวลา 1-2 นาที แล้วจึงนำไปจุ่มล้างในน้ำสะอาด

3.5.6 ชุบนิเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Electroless Nickel) จุ่มชิ้นงานลงในน้ำยา ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เวลา 10-15 นาที แล้วจึงนำไปจุ่มล้างในน้ำสะอาด

3.5.7 ชุบทองแดงแบบสไตรค์ (Copper strike) จุ่มชิ้นงานลงในน้ำยา ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 5-10 นาที ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 10-30 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์ แล้วจึงนำไปจุ่มล้างในน้ำสะอาด

3.5.8 ชุบทองแดงเงา (Bright acid copper) จุ่มชิ้นงานลงในน้ำยา ที่อุณหภูมิห้อง ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 3-4 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร ใช้ เวลา 5-10 นาที กวนน้ำยาด้วยลม ขณะใช้งาน แล้วจึงนำไปจุ่มล้างในน้ำสะอาด

3.5.9 ชุบนิเกิลเงา (Bright Nickel) จุ่มชิ้นงานลงในน้ำยา ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เวลา 5-10 นาที ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ / ตารางเดซิเมตร แล้วจึงนำไปจุ่มล้างในน้ำสะอาด

3.5.10 ชุบโครเมียม จุ่มชิ้นงานลงในน้ำยา ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 100 - 140 แอมแปร์/ตารางฟุตเวลาประมาณ 2-5 นาที แล้วจึงนำไปจุ่มล้างในน้ำสะอาด

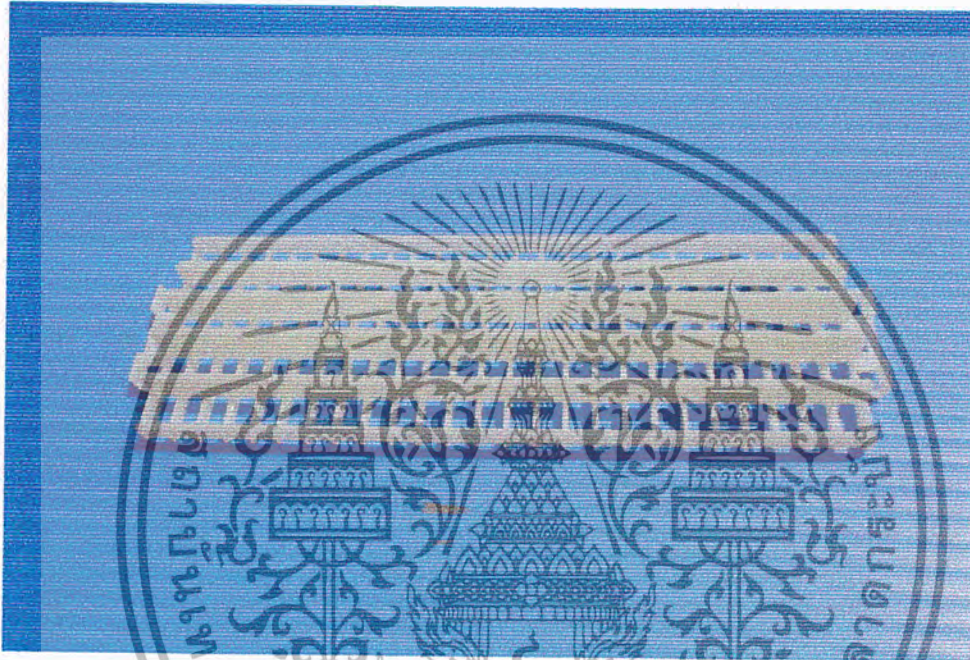
### 3.6 สรุปขั้นตอนการชุบผิวพลาสติกเอบีเอส [8]



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

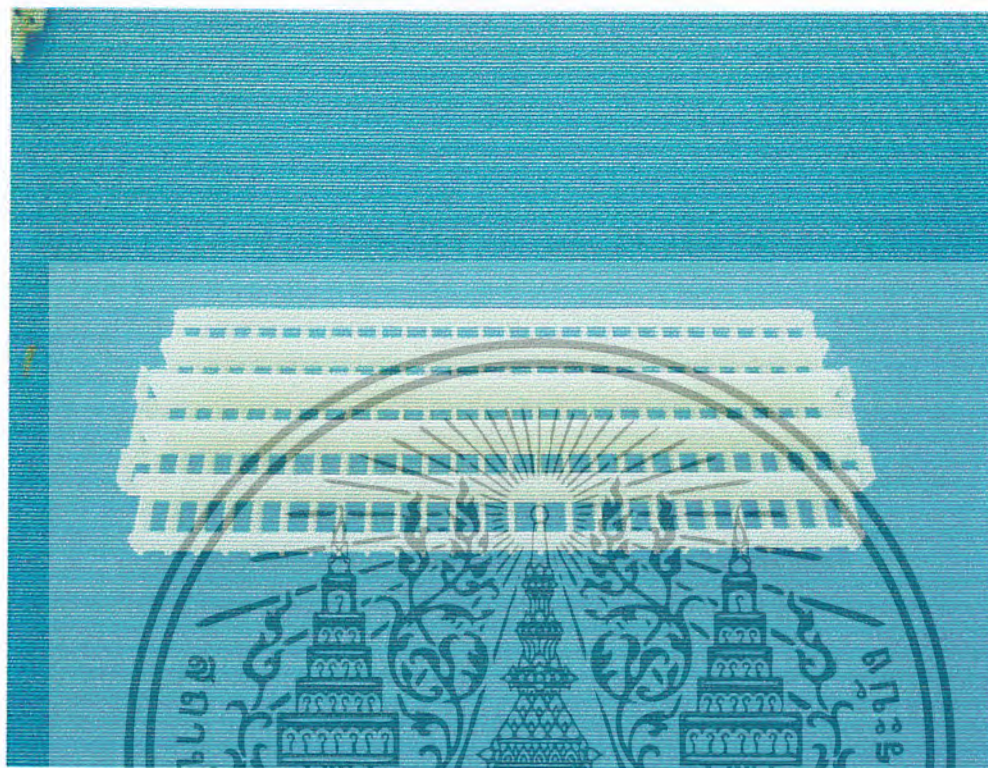
#### 4.1 ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดผิว (Cleaning)



จากผลการทดลอง ชิ้นงานผ่านกระบวนการทำความสะอาดและขจัดคราบไขมัน ตลอดจนสิ่งสกปรกต่างๆ ที่อยู่บนผิวของพลาสติกด้วยสารละลายต่าง ผิวของชิ้นงานจะสะอาดไม่มีสิ่งสกปรกเกาะอยู่ที่ผิว และผิวของชิ้นงานยังคงมีสีเหลืองใสเงาเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งวิธีดูว่าผิวของชิ้นงานสะอาดแล้วหรือยัง ให้สังเกตที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มล้างในน้ำสะอาดแล้ว หากมีหยดน้ำเกาะอยู่ที่ผิวชิ้นงาน แสดงว่าผิวของชิ้นงานล้างไม่สะอาด ยังมีคราบไขมันและสิ่งสกปรกต่างๆ เกาะอยู่บนผิวหน้าของชิ้นงาน ดังนั้นต้องทำการล้างผิวชิ้นงานใหม่ เพราะหากนำชิ้นงานที่มีผิวไม่สะอาดไปชุบโลหะจะทำให้ชุบโลหะไม่ติด เนื่องจากคราบสกปรกทั้งหลายจะเคลือบอยู่ที่ผิวของชิ้นงานแล้วก็ขัดขวางการเข้าเกาะของโลหะ

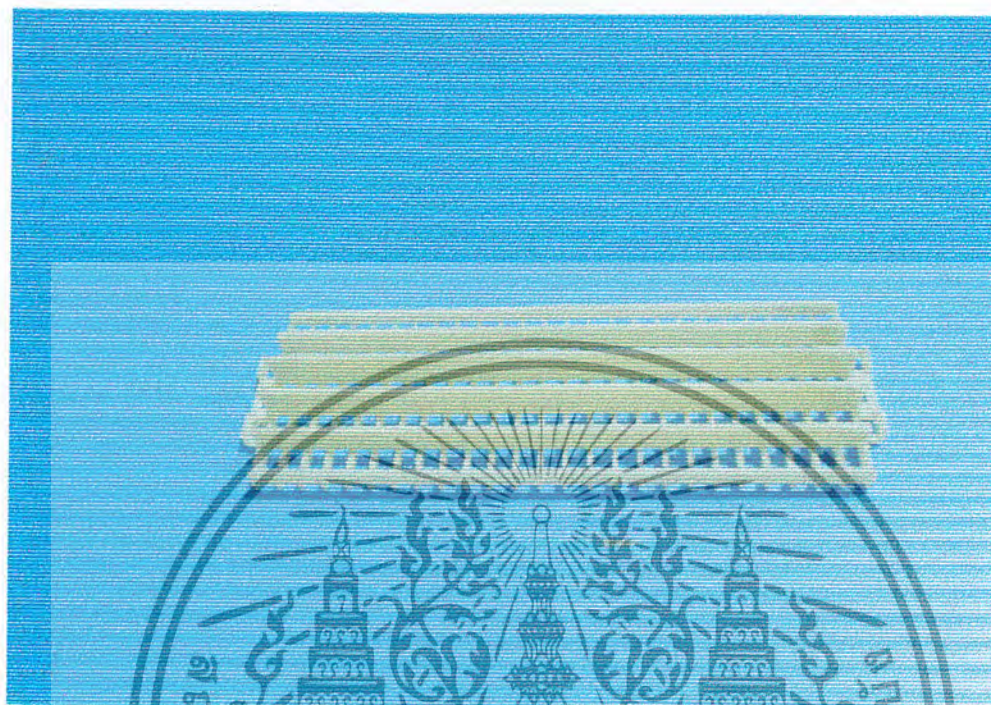
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกัดผิว (Etching)



จากผลการทดลอง ชิ้นงานผ่านกระบวนการกัดผิวจะมีผิวที่หยาบไม่เงา และผิวของชิ้นงานจะมีสีขาวขุ่นกว่าเดิม ซึ่งในขั้นตอนนี้ที่บริเวณผิวของชิ้นงานจะมีลักษณะเป็นรูพรุนเล็กๆ เนื่องจากถูกกัดด้วยกรด ทำให้พันธะคู่ ( $C=C$ ) ของพลาสติก ABS แตกออก โดยกรดเป็นตัวออกซิไดซ์ทำให้กลายเป็น unsaturated oxygen linkage ซึ่งจะยอมให้โลหะเข้ามาเกาะได้เป็นอย่างดี

#### 4.3 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นผิวเพื่อเร่งปฏิกิริยา (Activating)

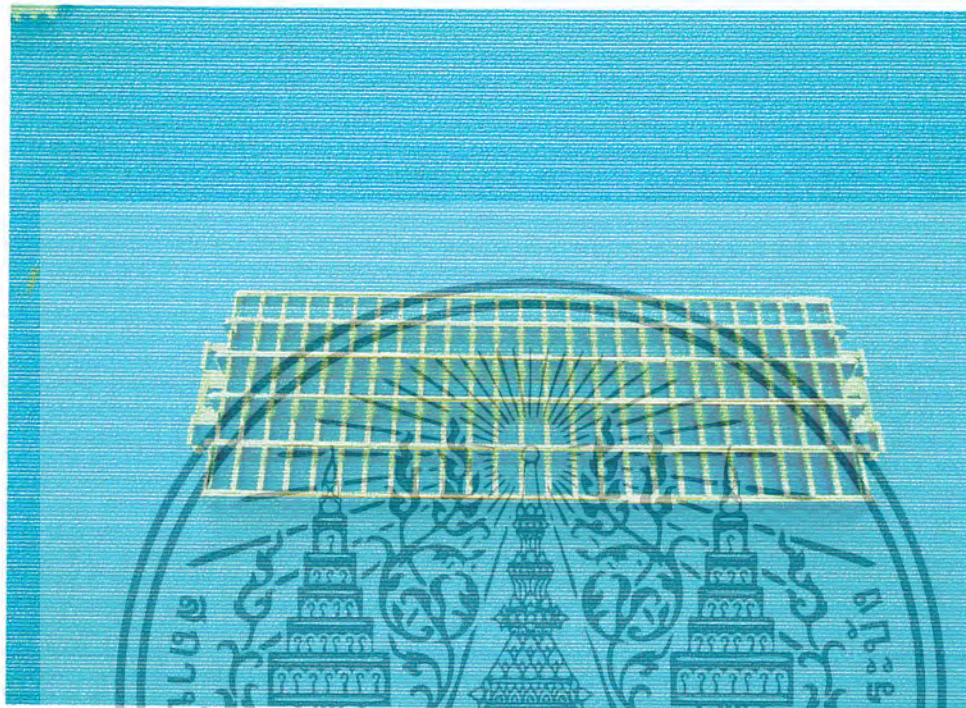


จากผลการทดลอง ชิ้นงานผ่านกระบวนการทำผิวให้มีความไวในการทำปฏิกิริยาเคมี (Sensitizing) ซึ่งในขั้นตอนนี้ สแตนนัสไอออนหรือไอออนของดีบุก ( $\text{Sn}^{2+}$ ) จะถูกดูดซับไว้บนผิวชิ้นงาน แล้วนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการ Sensitizing มาแล้ว ถูกจุ่มในน้ำยา Activating ซึ่งมีไอออนของโลหะที่จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในขั้นตอนการชุบผิวต่อไป ซึ่งตัวเร่งที่ใช้ก็คือพัลลาเดียม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน ดังสมการ



โลหะพัลลาเดียมที่เกิดขึ้นจะเป็นฟิล์มบางๆ เกาะติดแน่นอยู่บนผิวชิ้นงาน ซึ่งถ้าหากโลหะพัลลาเดียมเกาะชิ้นงานมาก ชิ้นงานก็จะมีสีเข้ม

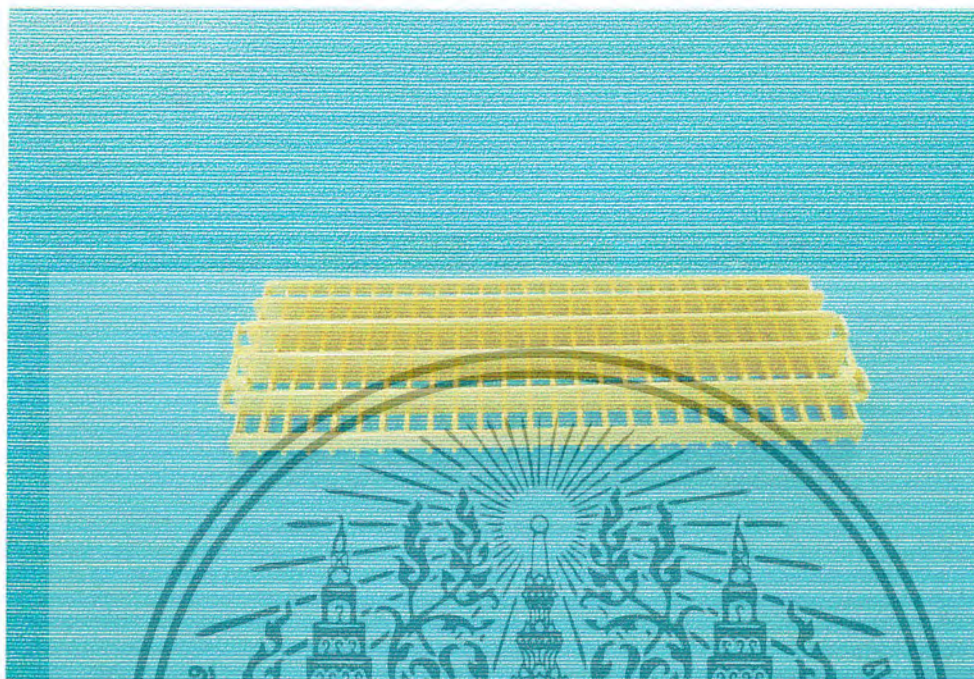
#### 4.4 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบนิเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Electroless Nickel)



จากผลการทดลอง ชิ้นงานผ่านกระบวนการชุบผิวด้วยโลหะนิเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ซึ่งไฮดรอกไซด์ของโลหะนิเกิลในน้ำยาจะถูกรีดิวซ์ด้วยตัวรีดิวซ์ กลายเป็นอะตอมของโลหะนิเกิลไปเกาะเคลือบผิวชิ้นงานซึ่งเป็นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ชิ้นงานที่ได้มีผิวสีเงินเงางาม ในขั้นตอนนี้มักจะมีปัญหาในเรื่องชุบไม่ติด ก็เนื่องจากสารละลาย Electroless Nickel จะเสียอะตอมของโลหะนิเกิลออกไปทุกครั้งที่มีการชุบ ทำให้เวลาชุบผิวชิ้นงานในครั้งต่อไปจะมีปริมาณอะตอมของโลหะนิเกิลไม่เพียงพอต่อพื้นที่ผิวชิ้นงานที่ต้องการให้เกาะ วิธีแก้ไขคือตรวจค่า pH ของน้ำยาว่าอยู่ในช่วงหรือไม่ ปกติ pH เท่ากับ 9 ถ้าหากค่า pH ที่วัดได้ไม่อยู่ในช่วงแสดงว่าน้ำยามีเสื่อมคุณภาพ ดังนั้นต้องผสมสารต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำยาชุบ ลงไปตามอัตราส่วนที่กำหนดในสูตรน้ำยา Electroless Nickel แล้วทำการวัดค่า pH อีกครั้งว่าอยู่ในช่วงหรือไม่ หากน้ำยามีค่า pH อยู่ในช่วงก็แสดงว่าน้ำยาชุบมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการชุบ

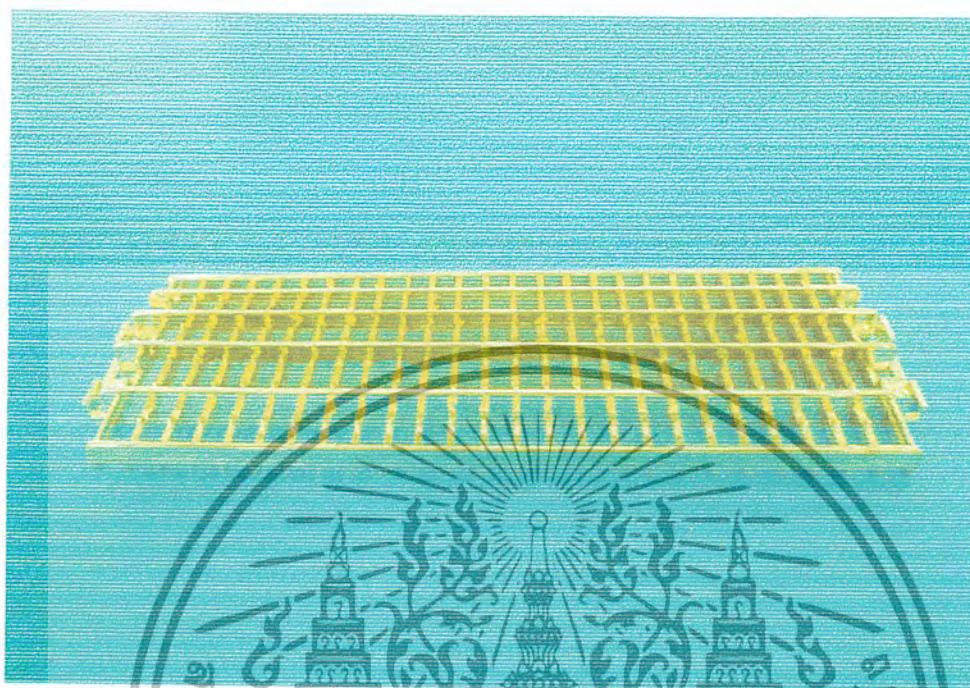
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบทองแดงแบบสไตรค์ (Copper Strike)



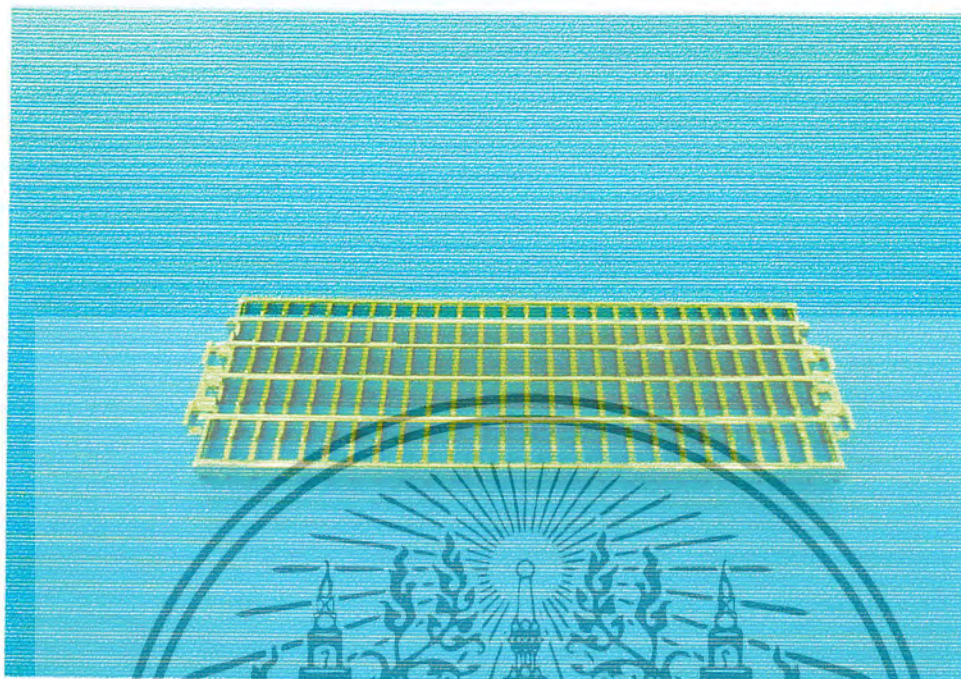
จากผลการทดลอง ชิ้นงานผ่านกระบวนการชุบทองแดงแบบสไตรค์ ผิวของชิ้นงานเป็นสีทองแดงด้าน ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นการชุบรองพื้นก่อนที่จะชุบทองแดงเงา

#### 4.6 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบทองแดงเงา (Bright Acid Copper)



จากผลการทดลอง ชิ้นงานผ่านกระบวนการชุบทองแดงเงาแบบกรด ผิวของชิ้นงานเป็นสีทองแดงเงา ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นการชุบเพื่อให้ชิ้นงานมีความเงา เพื่อช่วยให้ผิวที่จะชุบในขั้นตอนต่อไปมีความเงามากขึ้น

#### 4.7 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบนิเกิลเงา (Bright Nickel)



จากผลการทดลอง ชิ้นงานผ่านกระบวนการชุบนิเกิลเงา ผิวของชิ้นงานเป็นสีเงินอมเหลืองเนื่องจากความเงาของสีทองแดงจากกระบวนการชุบทองแดงเงาทำให้ชิ้นงานมีสีที่สว่างตามดูคล้ายโลหะ

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง ผิวชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการล้างไขมันด้วยสารละลายต่างร้อนและกัดผิวด้วยสารละลายกรดจะมีลักษณะด้าน เนื่องจากไขมันและสิ่งสกปรกที่ผิวชิ้นงานได้ถูกล้างออกและพันธะคู่ซึ่งเป็นของบิวทาไดอินที่ผิวชิ้นงานแตกออกเนื่องมาจากการกัดผิวด้วยกรดจึงทำให้ผิวชิ้นงานหยาบและมีลักษณะเป็นรูพรุนที่เล็กมากๆ เหมาะแก่การเข้าเกาะของตัวเร่งปฏิกิริยา ในกระบวนการนี้ถ้าการล้างผิวชิ้นงานล้างได้ไม่ดีพอจะทำให้การเข้ากัดผิวของกรดทำได้ไม่ดีเท่าที่ควรเพราะผิวที่เป็นมันและสิ่งสกปรกที่ผิวจะป้องกันการกัดกร่อนที่ผิวของชิ้นงาน ซึ่งผิวที่ได้นี้ จะส่งผลมาถึงกระบวนการเตรียมผิวให้ไวต่อปฏิกิริยาและกระบวนการชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้าต่อไป

ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการชุบเร่งผิวให้ไวต่อปฏิกิริยา ผิวชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะผิวสีน้ำตาลดำซึ่งเป็นสีของพัลลาเดียมที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยานี้จะเข้าเกาะอยู่ตามรูพรุนที่เกิดจากการกัดผิวชิ้นงานของกรด ซึ่งสามารถทราบได้ว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามีมากหรือน้อยโดยสังเกตจากสีของผิวชิ้นงาน ยิ่งมีตัวเร่งปฏิกิริยามากจะยิ่งมีสีเข้มมาก ซึ่งปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยานี้ จะมีผลต่อการทำปฏิกิริยากับนิเกิลในการเข้าเกาะที่ผิวชิ้นงานในกระบวนการชุบนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนต่อไป

จากกระบวนการชุบนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ขณะที่นิเกิลเข้าเกาะที่ผิวชิ้นงานจะมีฟองก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน ชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะเป็นสีเงิน ซึ่งเป็นสีของโลหะนิเกิลที่เข้าไปเกาะที่ผิวชิ้นงาน และผิวของโลหะยังมีความเงาไม่เพียงพอ ถ้าในกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานล้างผิวชิ้นงานไม่ดีพอหรือนำมาชุบนิกเกิลเสื่อมสภาพ นิเกิลจะไม่เกาะที่ผิวชิ้นงานซึ่งจะสังเกตเห็นผิวพลาสติกได้อย่างชัดเจน

จากกระบวนการชุบทองแดงแบบสไตรค์ ขณะที่ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายทองแดงจะค่อยๆเข้าเกาะที่ผิวชิ้นงาน และในขณะที่เข้าเกาะจะสังเกตเห็นฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบได้ไม่ชัดเจน เนื่องจากในกระบวนการนี้ยังไม่มีการเติมสารเพิ่มเงาให้กับน้ำยาชุบ ชิ้นงานที่ได้จึงมีสีทองแดงด้าน ซึ่งเป็นสีทั่วไปของโลหะทองแดง

กระบวนการชูปทองแดงเงาชิ้นงานที่ได้จะมีสีทองแดงเงาสว่างยิ่งขึ้น เนื่องจากสารให้ความเงาในน้ำยาชุบช่วยเพิ่มความเงาสว่างให้กับชิ้นงาน

ชูนิกเกิลเงาชิ้นงานที่ได้จะมีสีเงินอมเหลืองมีความเงางาม และมีคุณสมบัติที่ดี เช่น ความแข็งแรง การทนต่อการขีดข่วน ความเงางาม ดีพอแก่การนำไปใช้ประโยชน์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

น้ำยาที่ใช้ในกระบวนการควรมีการบำรุงรักษาที่ดีเพื่อไม่ให้น้ำยาเสื่อมคุณภาพเพราะจะมีผลในการเข้าเกาะของโลหะที่ผิวของชิ้นงาน

ของเสียที่เกิดจากการทดลองมีสารพิษและโลหะหนักละลายอยู่ต้องจัดเก็บและผ่านการบำบัดอย่างถูกวิธีหรือส่งมอบให้บริษัทที่รับกำจัดของเสียนำไปบำบัด



## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.บรรเลง ศรีนิล , เทคโนโลยีพลาสติก ,ฉบับปัจจุบัน , พิมพ์ครั้งที่ 12 , กรุงเทพฯ ฯ , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ( ไทย-ญี่ปุ่นดินแดง ) , 2540
- [2] Gerd muller and Donald W. Baudrand , plating on plastics , 2<sup>nd</sup> ed , great Britan , 1971
- [3] สาโรช พันธุ์แพ , อภิชาติ ธรรมวิทย์กุล , พิมพ์ครั้งที่ 1 , กรุงเทพฯ ฯ , 2526
- [4] มหาวิทยาลัย , ทบวง . เคมี เล่ม 2 . พิมพ์ครั้งที่ 5 . กรุงเทพฯ ฯ , อักษรเจริญทัศน์ , 2533
- [5] คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ , สำนักงาน . เคมีวิทยา เล่ม 1 , หลักทฤษฎีและสมบัติของสาร . กรุงเทพฯ ฯ , 2526
- [6] กาญจนา ปวีตรปก , จารุณี ออมรประภากรณ์ , การชุบเคลือบผิวพลาสติกด้วยโลหะโครเมียม , วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2532
- [7] ธวัชชัย เผือกวิวัฒน์ , สมธิดา แสงสุริยา , วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [8] พิชิตเลียม พิพัฒน์ , ชุบทอง , กรุงเทพฯ ฯ , 2533
- [9] อนันต์ ทองมอญ , ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า , กรุงเทพฯ ฯ , 2531

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สูตรน้ำยาชุบ

### 1. สูตรน้ำยาล้างผิวชิ้นงานด้วยน้ำด่างร้อน (Soak Clean)

โซเดียมไฮดรอกไซด์	15	กรัม/ลิตร
ไตรโซเดียมฟอสเฟต	25	กรัม/ลิตร
โซเดียมคาร์บอเนต	25	กรัม/ลิตร
โซเดียมเมตาซิลิเกต	8	กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	60-70	องศาเซลเซียส

ล้างนานประมาณ 8 นาที แล้วล้างน้ำ

### 2. สูตรน้ำยากัดผิวชิ้นงาน (Etching )

ส่วนผสมของน้ำยาประกอบด้วย

กรดโครมิก	420	กรัม/ลิตร
กรดกำมะถัน	380	กรัม/ลิตร
น้ำเติมให้ครบ	1	ลิตร

กัดผิวที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที แล้วล้างน้ำ

### 3. สูตรน้ำยาทำให้ผิวชิ้นงานเป็นกลาง (Neutralizing)

ส่วนผสมของน้ำยาประกอบด้วย

กรดเกลือ (HCl)	50	ลูกบาศก์เซนติเมตร/ลิตร
เติมน้ำให้ครบ	1	ลิตร

จุ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เวลา 3 นาที แล้วล้างน้ำ

### 4. สูตรน้ำยาเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

ส่วนผสมของน้ำยาประกอบด้วย

พัลลาเดียมคลอไรด์ ( $PdCl_2$ )	2	กรัม/ลิตร
สแตนนัสคลอไรด์ ( $SnCl_2$ )	0.2	กรัม/ลิตร
กรดเกลือ (HCl)	10	ลูกบาศก์เซนติเมตร/ลิตร
เติมน้ำให้ครบ	1	ลิตร

จุ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เวลา 6 นาที แล้วล้างน้ำ

5. สูตรร่น้ำยาชุบนิเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้าชนิดใช้โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์เป็น Reducing agent  
สูตรที่ 1

นิเกิลคลอไรด์( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	30	กรัม/ลิตร
โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์( $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	10	กรัม/ลิตร
โซเดียมไฮดรอกซีอะซิเตท( $\text{HOCH}_2\text{COONa}$ )	50	กรัม/ลิตร
ค่า pH	4-6	
อุณหภูมิ	90	องศาเซลเซียส
อัตราการเคลือบ	15	ไมครอน/ชั่วโมง

การผสมน้ำยา

1. ใส่น้ำกลั่นประมาณ 2 ใน 3 ของความจุของถัง ให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส
2. ใส่นิเกิลคลอไรด์ พร้อมกวนน้ำยา
3. ใส่โซเดียมไฮดรอกซีอะซิเตท พร้อมกวนน้ำยา
4. กรองน้ำยาให้สะอาด
5. ใส่โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์ พร้อมกวนน้ำยา

สูตรที่ 2

นิเกิลซัลเฟต ( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	22	กรัม/ลิตร
โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์( $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	24	กรัม/ลิตร
แล็คติก แอซิด ( $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ )	27	กรัม/ลิตร
โพรพิโอนิก แอซิด( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ )	22	กรัม/ลิตร
ค่า pH	4-6	
อุณหภูมิ	95	องศาเซลเซียส
อัตราการเคลือบ	20	ไมครอน/ชั่วโมง
ถัง ใช้ แก้ว หรือ P.P		

การผสมน้ำยา

1. ใส่น้ำกลั่น 2 ใน 3 ของความจุของถัง ให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส
2. ใส่นิเกิล ซัลเฟต พร้อมกวนน้ำยา
3. ใส่แล็คติก แอซิด พร้อมกวนน้ำยา
4. ใส่โพรพิโอนิก แอซิด พร้อมกวนน้ำยา
5. กรองน้ำยาให้สะอาด
6. ใส่โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์ พร้อมกวนน้ำยา
7. เติมน้ำจนครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สูตรที่3

นิเกิลซัลเฟต ( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	12	กรัม/ลิตร
โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์( $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	22	กรัม/ลิตร
อะซิติก แอซิด ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )	9.4	กรัม/ลิตร
โมลิบ ดิค ออกไซด์ ( $\text{MoO}_3$ )	0.009	กรัม/ลิตร
ไดไฮโซโปรพิล ไทโอยูเรีย( $\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$ ) $_2\text{CS}$	0.004	กรัม/ลิตร
ค่า pH	5.5	
อุณหภูมิ	82	องศาเซลเซียส

## การผสมน้ำยา

1. ใส่น้ำกลั่น 2 ใน 3 ของความจุของถังให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส
2. ใส่นิเกิล ซัลเฟต พร้อมกวนน้ำยา
3. ใส่อะซิติก แอซิด พร้อมกวนน้ำยา
4. ใส่โมลิบ ดิค ออกไซด์ พร้อมกวนน้ำยา
5. ใส่ไทโอยูเรีย พร้อมกวนน้ำยา
6. กรองน้ำยาให้สะอาด
7. ใส่โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์ พร้อมกวนน้ำยา
8. เติมน้ำจนครบ

## สูตรที่4

นิเกิลคลอไรด์( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	30	กรัม/ลิตร
โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์( $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )	10	กรัม/ลิตร
โซเดียมซีเตรท( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	84	กรัม/ลิตร
แอมโมเนียมคลอไรด์( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )	50	กรัม/ลิตร
ค่า pH	8-10	
อุณหภูมิ	90	องศาเซลเซียส
อัตราการเคลือบ	6	ไมครอน/ชั่วโมง

## การผสมน้ำยา

1. ใส่ น้ำกลั่น 2 ใน 3 ของความจุของถังให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส
2. ใส่ โซเดียมซัลเฟต พร้อมกวนน้ำยา
3. ใส่ แอมโมเนียมคลอไรด์ พร้อมกวนน้ำยา
4. กรองน้ำยาให้สะอาด
5. ใส่ โซเดียมไฮโปฟอสไฟท์ พร้อมกวนน้ำยา
6. เติมน้ำจนครบ

## 6. สูตรน้ำยาชุบทองแดงแบบต่าง แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

### 6.1 แบบสไตรค์ (Strike Bath)

ส่วนผสมของน้ำยา

คอปเปอร์ไซยาไนด์	30	กรัม/ลิตร
โซเดียมไซยาไนด์	48	กรัม/ลิตร
โซเดียมคาร์บอนเนต	15	กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	40-60	องศาเซลเซียส
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	10-30	แอมแปร์/ ตารางฟุต
อัตราส่วนของขั้วบวกต่อขั้วลบ	3 : 1	
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	6	โวลต์

### 6.2 แบบร็อคเชล (Rochelle Bath)

ส่วนผสมของน้ำยา

คอปเปอร์ไซยาไนด์	25	กรัม/ลิตร
โซเดียมไซยาไนด์	35	กรัม/ลิตร
ร็อคเชล ซีล	45	กรัม/ลิตร
โซเดียมคาร์บอนเนต	30	กรัม/ลิตร
ค่า pH	12.5	
อุณหภูมิ	50-60	องศาเซลเซียส
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	2-5	แอมแปร์/ ตารางฟุต

### 6.3 แบบมีประสิทธิภาพสูง (High efficiency Bath)

ส่วนผสมของน้ำยา

คอปเปอร์ไธยาไนต์	75	กรัม/ลิตร
โซเดียมไธยาไนต์	93	กรัม/ลิตร
หรือโปตัสเซียมไธยาไนต์	115	กรัม/ลิตร
โซเดียมไฮดรอกไซด์	30	กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	10-60	แอมแปร์/ตารางฟุต
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	0.75-4	โวลต์

### 7. สูตรชุบทองแดงแบบกรด

ส่วนผสมของน้ำยา

คอปเปอร์ซัลเฟต	200	กรัม/ลิตร
กรดกำมะถัน ถ.พ. 1.84	60	กรัม/ลิตร
น้ำยาเงา ใช้ตามคู่มือของผู้ผลิต		
อุณหภูมิ	20-30	องศาเซลเซียส
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	3-4	แอมแปร์/ตารางฟุต
กวนน้ำยาด้วยลม ขณะใช้งาน		
การผสมน้ำยาชุบทองแดงแบบกรด		

1. ใส่น้ำลงไป 2/3 ของถัง ให้ความร้อนพออุ่นประมาณ 50 องศาเซลเซียส
2. ใส่คอปเปอร์ซัลเฟตทีละน้อยกวนน้ำยาตลอดเวลาเพื่อให้คอปเปอร์ซัลเฟตละลาย
3. ใส่ Activated Carbon 2 กรัม / ลิตร กวนให้เข้ากันตลอดเวลา ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมงหรือทิ้งค้างคืน
4. กรองน้ำยาให้สะอาด อย่าให้มีคาร์บอนเหลืออยู่เลย
5. เติมกรดกำมะถัน
6. เติมน้ำยาเงา
7. ปรับระดับน้ำยาเท่าปริมาตรที่ต้องการ

## 8. การชุบนิเกิลเงา(Bright Nickel)

ส่วนผสมของน้ำยาประกอบด้วย

นิเกิลซัลเฟต	300	กรัม
นิเกิลคลอไรด์	60	กรัม
กรดบอริก	40	กรัม
น้ำยาเงา		
เติมน้ำให้ครบ	1	ลิตร

จุ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 25 นาที ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์/ ตารางเดซิเมตร แล้วล้างด้วยน้ำ

## 9. สูตรน้ำยาชุบโครเมียม

มีหลักอยู่ว่าอัตราส่วนระหว่าง กรดโครมิก ( $\text{CrO}_3$ ) กับกรด กำมะถันจะต้องเป็น 100 : 1 เสมอ โดยทั่วไปใช้

กรดโครมิก	250	กรัม/ลิตร
กรดกำมะถัน	2.5	กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	40	องศาเซลเซียส
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	100-140	แอมแปร์/ตารางฟุต
เวลาประมาณ	2-5	นาที
ได้ความหนาแน่นประมาณ 0.00001 นิ้ว		

## วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในงานชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้ามีหลายชนิด แตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของน้ำยาชุบ หรือสูตรน้ำยาชุบลักษณะต่างๆ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวัสดุที่จำเป็น รายชื่อวัสดุอื่นๆ ให้ศึกษาจากสูตรน้ำยาชุบที่เขียนกำกับไว้แล้ว วัสดุที่จำเป็นสำหรับงานชุบมีดังนี้

### โซเดียมไซยาไนด์ (SODIUM CYANIDE)

มีลักษณะเป็นก้อนสีเหลี่ยมสีขาวคล้ายลูกเหม็นใช้กันแมลงสาป ขนาดก้อนประมาณ  $3.5 \times 2.8 \times 1.5$  ซม.<sup>3</sup> มีหลายขนาดขึ้นอยู่กับริษัทผู้ผลิต ใช้ผสมในน้ำยาชุบบางชนิด และใช้ละลายเป็นน้ำยาสกัดล้างผิวชิ้นงานโลหะให้สะอาด

โซเดียมไซยาไนด์ มีอันตรายมาก ห้ามใช้มือสัมผัสโดยตรงโดยเฉพาะผู้ที่มึบอดแผลพิษของมันจะซึมเข้าไป มีอันตรายถึงชีวิต

หลังการทำงานทุกครั้งต้องล้างมือด้วยสบู่ให้สะอาด ระหว่างการปฏิบัติงานไม่ควรใช้มือจับแก้วน้ำหรืออาหารโดยเด็ดขาด

### คอปเปอร์ซัลเฟต (COPPER SULPHATE)

เป็นเกลือทองแดง ใช้ผสมทำเป็นน้ำยาชุบทองแดงกรด ชาวบ้านเรียกจุนลี มีลักษณะเป็นก้อนเกล็ดเล็กๆ สีฟ้า

### กรดกำมะถัน 96 % (ถ.พ. 1.84) (SULPHURIC ACID)

เป็นของเหลวใส อันตรายมากมีฤทธิ์กัดทำลายสูง การใช้ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ กรดกำมะถันใช้เป็นส่วนผสมในน้ำยาชุบทองแดงกรดและน้ำยาชุบชนิดอื่นๆ น้ำยาเงา (ทองแดง)

เป็นของเหลวสีม่วง ใส่ในน้ำยาชุบทองแดงเพื่อช่วยให้ผิวชิ้นงานที่ชุบเป็นเงา

### นิกเกิลซัลเฟต (NICKEL SULPHATE)

เป็นเกลือนิกเกิลชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นก้อนเล็กๆ สีเขียวใช้ผสมน้ำยาชุบนิกเกิล น้ำยาพื้น (นิกเกิล)

มีลักษณะเป็นของเหลวใสเหมือนน้ำ ใช้ใส่ผสมในน้ำยาชุบนิกเกิลช่วยให้ชิ้นงานเงา

### นิกเกิลคลอไรด์ (NICKEL CHLORIDE)

เป็นเกลือนิกเกิลชนิดหนึ่งมีลักษณะเป็นเกล็ดเล็กๆ สีเขียวตองอ่อน ใช้ผสมน้ำยาชุบนิกเกิล กรดเกลือ (HYDROCHLORIC ACID)

ขนาดความเข้มข้นประมาณ 35% เป็นของเหลวใส ใช้เป็นกรดกัดแผ่นทองเพื่อเตรียมทำน้ำยาชุบทองร่วมกับกรดดินประสิว

## น้ำกลั่น

ใช้เป็นส่วนผสมน้ำในยาชุปชนิดต่างๆ (ใช้น้ำฝนแทนได้)

## แผ่นตัวล่อ

การชุปโลหะแต่ละชนิดต้องใช้แผ่นตัวล่อแตกต่างกันไป เช่น

- ชุปทองแดง ต้องใช้แผ่นทองแดงเป็นตัวล่อ
- ชุปนิกเกิล ต้องใช้แผ่นนิกเกิลเป็นตัวล่อ
- ชุปทอง ต้องใช้แท่งทองจริง หรือแผ่นแพลททินัม หรือสแตนเลสเป็นตัวล่อ ฯลฯ

## หน้าที่ของส่วนผสมในน้ำยาชุป

ไซยาไนด์ มีความสำคัญต่อน้ำยาชุปทองแดงมาก เป็นตัวช่วยในการนำกระแสไฟฟ้า ถ้าไซยาไนด์ในถังชุปน้อยกว่าที่กำหนด ผิวของขั้วบวกจะค่อยๆ เป็นสีดำ และมีเยื่อบางๆ เป็นฉนวนจับอยู่ ทำให้ขั้วบวกไม่ทำงาน กรณีเช่นนี้จะต้องค่อยๆ เติมไซยาไนด์ลงไป จนสังเกตเห็นขั้วบวกเป็นสีทองแดง

โซเดียมหรือโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ เติมลงในถังที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อช่วยทำให้การนำไฟฟ้าสูงขึ้น และเพื่อปรับค่าการเคลือบผิวให้ดีขึ้นพร้อมกันนี้ช่วยให้ขั้วบวกละลายได้ดี

คาร์บอนेट ช่วยควบคุมค่า pH ของน้ำยาไม่ให้เปลี่ยนแปลงได้ง่ายนอกจากน้ำยาชุปทองแดงต่างแบบนี้แล้ว ยังมีน้ำยาทองแดงอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถชุบให้เงาได้เหมือนทองแดงแบบกรด คือ ทองแดงต่างแบบไฟโครฟอสเฟส

นิกเกิล เป็นเกลือที่มีราคาถูกที่สุดในจำพวกเกลือนิกเกิลด้วยกัน ไอออนเป็นตัวให้โลหะนิกเกิลไปจับเคลือบผิวบนชิ้นงานที่ชุบ

นิกเกิลคลอไรด์ หน้าที่สำคัญของนิกเกิลคลอไรด์คือให้นิกเกิลไอออนคลอไรด์ไอออนเป็นตัวทำให้การละลายของขั้วบวกดีขึ้น โดยการลดโพลาไรเซชันลงช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำยาชุป นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มกำลังการชุบเคลือบผิวอันเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มประสิทธิภาพของขั้วลบ

กรดบอริก ทำหน้าที่เป็นตัวปะทะในน้ำยาชุปนิกเกิล คือเป็นตัวควบคุมค่าพีเอช ของน้ำยาชุปให้คงที่ ถ้าไม่มีกรดบอริกค่าพีเอช ของน้ำยาจะเปลี่ยนแปลงไปได้ง่าย ซึ่งค่าพีเอชนี้มีความสำคัญต่อการชุบนิกเกิลมาก ซึ่งกล่าวในตอนต่อไป

น้ำยาเงา เป็นตัวเพิ่มความเงาให้กับผิวงานที่ชุบ โดยการช่วยทำให้การเคลือบผิวของนิกเกิลเรียงตัวกันอยู่เป็นชั้นบางๆ ในระดับขนานกับผิวของงาน

น้ำยาเงาควรเติมในขณะที่กำลังทำงานมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้ำยาชุบเงามีส่วนสัมพันธ์กับค่าพีเอช ของน้ำยาชุบและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามาก การชุบไม่ขึ้นเงาเนื่องมาจากน้ำยามีค่าพีเอชต่ำ การเติมน้ำยาเงามากเกินไปนอกจากจะทำให้การชุบเปลวแล้วยังทำให้เป็นเงา น้อยลงก็ได้ ถ้ามีความหนาแน่นไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นไม่ควรเติมน้ำยาเงาทันทีเมื่อการชุบไม่ขึ้นเงา เพราะอาจจะเนื่องจากเหตุอื่น ควรจะมีการวัดค่าพีเอช ก่อนสิ่งสกปรก เช่น โลหะต่างๆ ก็เป็นเหตุหนึ่งที่ทำให้ไม่ขึ้นเงา

ในน้ำยาชุบที่มีน้ำยาเงาอย่างเพียงพอ แต่ถ้าเราใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าไม่ถูกต้องก็อาจจะได้ผลงานที่มีความเงางามไม่ดีเท่าที่ควร เครื่องมือทดลองที่มีชื่อว่า " ฮัลเซลล์" (Hull Cell) เป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้ทราบว่าน้ำยาชุบแต่ละอย่างนั้น ควรใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่าใด และใช้น้ำยาเคลือบเงามีปริมาณมากน้อยเท่าใด

### ความสำคัญของสภาวะการทำงานของน้ำยาชุบ

ค่าพีเอช (pH) มีความสำคัญที่สุดในการชุบนิเกิล ถ้ารักษาค่าพีเอชไม่ถูกต้องแล้วจะทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ในการชุบจึงควรตรวจสอบค่าพีเอชทุกวันเมื่อมีการชุบ ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่าพีเอช เปลี่ยนแปลงไปก็คือจะทำให้เกิดก้างการชุบเคลือบผิวไม่ดี ประสิทธิภาพของ ขั้วลบตก การเกาะเคลือบผิวขรุขระ เปลว หรือเป็นหลุม ถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 3.5 การชุบจะไม่ขึ้นเงาและไม่เรียบ ถ้าค่าพีเอชสูงเกิน 4.5 นิเกิลที่ชุบจะเปลว

### การควบคุมน้ำยาชุบโครเมียม

เนื่องจากตัวล่อเราไม่ได้ใช้โลหะโครเมียม ดังนั้นจำนวนโลหะโครเมียมในน้ำยาชุบจึงลดลงเรื่อยๆ การควบคุมน้ำยาชุบโครเมียมอย่างง่าย ๆ กระทำได้โดยการเติมกรดโครมิกลงไป 70 กรัม / การทำงาน 1000 แอมป์-ชั่วโมง ถ้าไม่เติมกรดโครมิกลงไป จำนวนซัลเฟตในน้ำยาจะลดน้อยลง ทำให้เกิดจุดต่างๆ สีน้ำตาลบนชิ้นงาน ถ้าเกิดปฏิกิริยานี้ขึ้น จะต้องเติมกรดซัลฟูริกลงไป แต่ถ้าเติมมากเกินไปกำลังการเคลือบผิวจะลดลง ซึ่งแก้ไขได้โดยเพิ่มโวลต์ให้สูงขึ้น หรืออาจแก้ไขโดยการเติมแบเรียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1.5 กรัม/ลิตร ลงไปในน้ำยาโดยการละลายจำนวนแบเรียมดังกล่าวในน้ำร้อนเสียก่อน เมื่อเติมแล้วต้องกวนให้เข้ากันดี หลังจากนั้นประมาณ 2 ชั่วโมง แบเรียมไฮดรอกไซด์จะรวมตัวกับกรดซัลฟูริก กลายเป็นแบเรียมซัลเฟตตกตะกอนอยู่ก้นถัง และเริ่มทำการชุบต่อไปได้ ถ้าผลการชุบยังไม่ดีพอ ต้องเติมแบเรียมไฮดรอกไซด์และทำเหมือนเติมอีกจนผลการชุบเป็นที่น่าพอใจ

## การตรวจรักษาขั้วบวก

ที่ผิวของน้ำยาชุบน้ำยาจะกัดแผ่นขั้วบวกอย่างรวดเร็ว เราจะเห็นได้จากแผ่นของตะกั่ว ขั้วบวกจะหนาเฉพาะส่วนที่อยู่เหนือน้ำยา ดังนั้นจึงควรรักษาระดับน้ำยาให้ได้อยู่ระดับอยู่เสมอ การชุบโครเมียมผิวหน้าของขั้วบวกที่เริ่มใช้ใหม่ควรชุบโดยใช้ไฟฟ้าที่โวลต์สูงๆ กระทำเช่นนี้ ประมาณหนึ่งชั่วโมงเพื่อให้ขั้วบวกเป็นสีน้ำตาลและใช้งานได้ดี ถ้าขั้วบวกไม่ดีเนื่องมาจาก กระแสไฟฟ้าเดินไม่สะดวกขั้วบวกจะไม่ทำงาน สังเกตได้โดยผิวจะเป็นสีเหลือง ซึ่งเป็นสีของตะกั่ว โครเมต จะต้องแก้ไขโดยใช้แปรงถูผิวสีเหลืองๆ นั้นออก แล้วทำการเตรียมผิวหน้าของแผ่นบวก ใหม่ จนกว่าจะได้สีเป็นสีน้ำตาลดังกล่าวมาแล้ว [9]

## อุปกรณ์

### แบตเตอรี่ (BATTERY)

ขนาด 12 โวลต์ เป็นแหล่งสร้างกระแสไฟฟ้าตรง (D.C.) ส่งผ่านตัวล่อขั้วบวก (+) และ ขั้วงานขั้วลบ (-) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีแยกน้ำยาชุบให้เป็นอนุภาคเล็ก ๆ

แบตเตอรี่เหมาะสำหรับการชุบทองแบบสมัครเล่นเพราะราคาถูกหาซื้อง่าย แต่มีข้อเสียคือ ต้องชาร์ตไฟเข้าให้เต็มบ่อย ๆ

### เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (RECTIFIER)

เป็นเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C.) ที่ใช้ตามบ้านให้เป็นกระแสไฟฟ้าตรง (D.C.) เหมือนกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์มากเพราะสามารถปรับปริมาณของ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์) ให้มากหรือน้อยได้ตามต้องการโดยเพียงหมุนปุ่มบังคับเท่านั้น แต่เนื่อง ด้วยเครื่องดังกล่าวราคาแพงยังไม่เหมาะสำหรับผู้เริ่มทำ หรือผู้มีทุนน้อย

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีหลายขนาด เช่น 10 , 25 , 50 และ 100 แอมแปร์ ซึ่งขนาด ต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณชิ้นงานที่จะชุบ ชิ้นงานมากควรใช้ขนาดที่มีแอมป์สูงขึ้น การคำนวณขนาด แอมป์และวิธีใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

### ภาชนะบรรจุ

ภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำยาชุบในโรงงานนิยมใช้ภาชนะเป็นเหล็กสเตนเลส พี.วี.ซี. ฯลฯ แต่ สำหรับงานชุบขนาดเล็กอาจใช้ถังพลาสติกชนิดธรรมดา ถ้วยแก้ว หรือบีกเกอร์

### ลวดทองแดงเปลือยและสายไฟหุ้มพลาสติก

ลวดทองแดงเปลือยใช้ผูกมัดชิ้นงาน นิยมใช้ลวดทองแดงจากสายโทรศัพท์ หรือชนิดที่มีขายเป็นม้วน ทองแดงที่ใช้พันมอเตอร์ ก่อนใช้ควรต้องขัดผิวที่เคลือบแลคเกอร์ออกเสียก่อน เพื่อให้ไฟฟ้าเดินได้สะดวก

สายไฟฟ้าหุ้มพลาสติกใช้ต่อระหว่างขั้วแบตเตอรี่กับแผ่นตัวล่อและชิ้นงาน ขั้วบวก (+) ใช้สีแดง ขั้วลบ (-) ใช้สีดำหรือสีเขียว

### เตาไฟฟ้าหรือฮีทเตอร์

ใช้สำหรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำยาชุบให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ [8]

### เครื่องชุบผิวพลาสติกด้วยไฟฟ้าขนาดเล็ก (Mini Electroplating)



รูป ก เครื่องชุบผิวพลาสติกด้วยไฟฟ้าขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การปฐมพยาบาลเบื้องต้น [9]

### 1. กรดหรือด่างเข้าตา

ใช้เกลือแกง 58 กรัม ผสมน้ำ 1 ลิตร ล้างตาหลายๆ ครั้ง โดยให้ผู้ป่วยนอนหงายหลังจากนั้นล้างด้วยน้ำยาล้างตาอีกครั้ง แล้วเอาผ้าปิดตาพาไปหาแพทย์

### 2. แผลไหม้จากสารเคมี

ไม่ว่าจะเป็นกรดหรือด่าง ควรล้างด้วยน้ำสะอาดจนสะอาดเสียครั้งหนึ่งก่อนแล้วจึงล้างด้วยน้ำยา "บัพเฟอร์ฟอสเฟต" ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้ โมโนเบสิก โปตัสเซียมฟอสเฟต (Monobasic Potassium Phosphate) 70 กรัม ไดเบสิก โซเดียม ฟอสเฟต (Diabasic Sodium Phosphate) 180 กรัม น้ำกลั่น (Distilled Water) 880 กรัม เวลาจะใช้น้ำยาบัพเฟอร์ ฟอสเฟต นี้ให้ผสมกับน้ำสะอาดอีกหนึ่งเท่าตัว โดยอัตราส่วน 1 : 1 หลังจากนั้นปล่อยให้แห้งพันแผลด้วยผ้าพันแผลที่แห้งและสะอาดแล้วนำส่งโรงพยาบาล ห้ามใช้ขี้ผึ้งหรือน้ำมันต่าง ๆ ทาแผลโดยเด็ดขาด

ถ้าไม่มีน้ำยาบัพเฟอร์ฟอสเฟตนี้ให้ล้างด้วยน้ำสะอาดโซเดียมไบคาร์บอเนต ชนิดเจือจาง 5 % เมื่อถูกกรดและล้างด้วยน้ำสะอาดกรดอะซิติกชนิดเจือจาง 5 % เมื่อถูกด่างแล้วจึงปฏิบัติเช่นเดียวกัน

### 3. ถูกสารพิษไซยาไนด์

ไซยาไนด์สามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง เช่น หายใจเข้าไป กระเด็นหรือติดของกินหรือแก้วน้ำเข้าทางปาก และซึมเข้าทางผิวหนังหรือแผล

#### อาการ

อาการแพ้พิษไซยาไนด์ จะสังเกตได้ คือ

- แสบคันในลำคอ
- หัวใจเต้นถี่
- หายใจไม่สะดวก ถี่และหอบจนถึงหมดสติ

#### การปฐมพยาบาล

การปฐมพยาบาลผู้ป่วยเพราะพิษไซยาไนด์ ปฏิบัติดังนี้

- หากผู้ป่วยยังมีสติอยู่ให้นำผู้ป่วยไปนอนกลางแจ้ง ใช้ออมิลไนไตรต์ (Amylnitrite) เทลงในผ้าเช็ดหน้าหนาให้ดม เปลี่ยนใหม่บ่อยๆ ทุก 3 นาที
- ให้ผ้าเช็ดบริเวณที่ถูกไซยาไนด์ให้หมดแล้วล้างน้ำ และล้างน้ำยาบัพเฟอร์ฟอสเฟต หรือโซเดียมไบคาร์บอเนตหลายๆครั้ง

ห้ามผ้าให้ผู้ป่วยให้ร่างกายอบอุ่น

- ช่วยการหายใจโดยการเป่าลมเข้าปาก หรือให้ออกซิเจน

### ข้อควรระวัง

อมิลไนไตรต์เป็นสารไวไฟไม่ควรนำเข้าไปใกล้บุหรี่หรือไฟ

### ข้อแนะนำสำหรับแพทย์

ในกรณีผู้ป่วยหมดสติ ควรฉีดยาให้ผู้ป่วยดังนี้

ก. ละลายไซเดียมไนไตรต์ 0.3 กรัม ในน้ำบริสุทธิ์ 10 -15 ซี.ซี. ฉีดเข้าไปในอัตรา 2.5 - 5 ซี.ซี./นาที

ข. ละลายไซเดียมไตรอซิลเฟต 2.5 กรัม ในน้ำบริสุทธิ์ 50 ซี.ซี. ฉีดเข้าไปในอัตราเดียวกัน

หากผู้ป่วยกินยาไนไตรต์เข้าไป วิธีปฐมพยาบาลต้องพยายามให้ผู้ป่วยอาเจียนออกมาโดยใช้อมิลไนไตรต์ หรือจะใช้สารละลายผสมระหว่าง "ยาแก้พิษไซยาไนด์ ก." (ซึ่งมีไอออนซิลเฟต 50 กรัม ผสมน้ำ 350 กรัม) กับ "ยาแก้พิษไซยาไนด์ ข." (ซึ่งไซเดียมคาร์บอเนต 16 กรัม ผสมน้ำ 350 กรัม) ในอัตราส่วน 30 กรัม ต่อ 30 กรัม แล้วให้ผู้ป่วยดื่มถ้าหากยังรู้สึกตัวอยู่ หรือจัดให้ผู้ป่วยนอนหงาย อุดจมูก แล้วค่อยๆ เหนี่ยาย่างกล่าวเข้าปาก และพยายามทำให้ผู้ป่วยอาเจียน

## การป้องกันอุบัติเหตุในงานชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า [9]

### การป้องกันอุบัติเหตุภายในห้องทดลอง

การทำงานภายในห้องปฏิบัติการ และทดลองชุบโลหะนี้ ส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของน้ำยาเคมีที่ใช้สำหรับชุบ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกรดและด่าง เช่น ไซยาไนด์ กรดซัลฟูริก กรดโครมิก ซึ่งจะเป็นอันตรายมากถ้ากระเด็นถูกร่างกาย ดังนั้นในทางปฏิบัติผู้ปฏิบัติการทดลองควรมีผ้ากันกรดหรือด่างหรือไม่ก็เป็นที่คลุมแขนยาว สวมถุงมือและแว่นตา เพื่อป้องกันกรดกระเด็นถูกผิวหนัง

ข้อควรระวังในการปฏิบัติการทั่วไป เมื่อจะทำให้กรดเจือจาง จะต้องเทกรดลงน้ำไม่ใช่เทน้ำลงในกรด และไซยาไนด์เป็นสารเคมีที่มีพิษเป็นอันตรายถึงตาย ดังนั้น ภาชนะเก็บไซยาไนด์ควรมีฝาปิดให้มิดชิด ไม่ควรให้ไซยาไนด์หกลงพื้น หากมีการหกเกิดขึ้นควรใช้ถุงมืออย่างแล้วล้างมือหลังทำความสะอาดทุกครั้ง

### การป้องกันอุบัติเหตุภายในห้องชุบ

อันตรายที่สำคัญที่สุดภายในห้องชุบโลหะ น่าจะได้แก่การถูกไฟดูด เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานจะต้องทำงานอยู่กับกระบวนการที่มีกระแสไฟฟ้าเกี่ยวข้อง และส่วนมากพื้นของห้องชุบก็จะเปียกอยู่ตลอดเวลา ทำให้กระแสไฟฟ้ารั่วได้ง่าย หรือบางครั้งก็อาจถูกน้ำยาเคมีกระเด็นเข้าใส่ วิธีการป้องกันที่ควรปฏิบัติคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พื้นห้องควรจัดทำแผ่นไม้ยกให้สูงจากพื้นประมาณ 3 นิ้ว เพื่อไม่ให้พื้นเปียกชื้น ป้องกันกระแสไฟรั่ว และการลื่นหกล้มของผู้ปฏิบัติงาน
2. เมื่อทำงานเกี่ยวกับการผสมหรือต้องยกเคลื่อนย้ายน้ำยา สารเคมีต่างๆ ควรใส่รองเท้านิรภัย สวมถุงมือและแว่นตาป้องกัน
3. เมื่อผสมกรดโครมิก ผู้ปฏิบัติงานควรมีถุงมือและแว่นตาป้องกัน

### การป้องกันอุบัติเหตุภายในห้องเก็บวัสดุ

ห้องเก็บวัสดุเป็นห้องที่มีอันตราย เนื่องจากสารละลายน้ำยาเคมีต่างๆ ล้วนต้องเก็บไว้ในห้องเก็บวัสดุทั้งสิ้น วิธีปฏิบัติ

1. แยกส่วนที่เก็บเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ออกจากส่วนที่ใช้เก็บสารเคมี หรือน้ำยาต่างๆ ไม่ให้ปนกัน
2. ห้องเก็บควรปราศจากความชื้นและพื้นห้องควรเป็นพื้นที่ทนต่อกรดและด่าง



## ปัญหา สาเหตุ และการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดลอง [8]

ปัญหา	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
1. ชีงงานชุบแบบไม่ใช้ไฟฟ้าแล้วไม่ติด	ก. ล้างผิวชีงงานไม่สะอาด ข. สารที่ใช้ในการชุบเสื่อมคุณภาพ	ก. ทำการล้างผิวชีงงานใหม่ ข. เตรียมสารใหม่
2. ชีงงานชุบแบบใช้ไฟฟ้าแล้วไม่ติด	ก. การต่อขั้วไฟฟ้าบกพร่อง ข. ชีงงานมีดลวดทองแดงหลวมเกินไป ค. มีกรดโครมิกตกกลงไปในน้ำยาชุบ	ก. ตรวจสอบเช็คสายไฟฟ้าดูว่าต่อขั้วถูกต้องไหมหรือการยึดกับขั้วแน่นหรือไม่ หรือให้ดูที่ชีงงานขณะจุ่มในน้ำยาชุบหรือเส้นทองแดงเปลือยในถังลวดแรงเคลื่อนไฟฟ้า หากมีฟองอากาศเกิดขึ้นแสดงว่าการต่อขั้วถูกต้องแล้ว ข. นำชีงงานไปขัดล้างใหม่ แล้วมัดลวดทองแดงให้แน่นกว่าเก่าแต่อย่าให้แน่นเกินไป แล้วนำไปชุบทองแดงถังใหม่ ค. ยากแก่การแก้ไขต้องผสมน้ำยาใหม่
3. ชีงงานชุบติด แต่ไม่ทั่ว	ก. ชีงงานสกปรก ทำความสะอาดผิวยังไม่ดีพอหรือใช้มือจับชีงงานภายหลังล้างทำความสะอาดแล้ว ข. น้ำยาไม่ได้สัดส่วน	ก. นำชีงงานไปล้างในสารละลายต่างร้อนใหม่ ล้างน้ำให้สะอาดแล้วนำไปชุบใหม่ ข. วิเคราะห์น้ำยาแล้วเติมส่วนที่ขาด
4. ชีงงานมีโลหะเกาะบางผิวละเอียดและแข็งมาก	ก. ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำเกินไป	ก. เพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ข. เติมสารละลายโลหะลงไปอีก

ปัญหา	สาเหตุ	วิธีการแก้ไข
5. ชีงงานมีรอยต่างตาม รอยมัดลวดทองแดง	ก. มัดลวดทองแดงบน ชีงงานแน่นเกินไป	ก. แก้มลวดทองแดงออก นำชีงงานไปล้างทำความสะอาดใหม่ ผูกลวดทองแดงใหม่ให้ กระชับพอควร อย่าให้แน่นหรือหลวมเกินไป
6. ผิวที่เคลือบหยาบ	ก. มีสิ่งสกปรกลอยปะปน อยู่ในน้ำยา	ก. กรองน้ำยาให้สะอาด ถ้าไม่ได้ใช้งานควร ปิดฝาให้มิดชิด
7. ผิวที่ชุบแลดูหยาบ	ก. กรดน้อยไป ข. กระแสไฟสูงเกินไป ค. อุณหภูมิต่ำ	ก. ตรวจสอบค่าของความเป็นกรดและเติม กรดกำมะถันเข้มข้น ข. ลดโวลต์ ค. อุ่นน้ำยาให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนด
8. ผิวที่ชุบแข็งมากและ เปราะ	ก. กรดมากไป ข. น้ำยาเย็นผิดปกติ	ก. วิเคราะห์น้ำยาและลดกรดในน้ำยาโดยเติม คอปเปอร์คาร์บอเนต ข. ให้ความร้อนแก่น้ำยาอย่างน้อย $15^{\circ}\text{C}$
9. กำลังการเคลือบต่ำ	ก. กรดน้อยเกินไป	ก. เติมกรดกำมะถันเข้มข้นลงไป
10. การนำไฟฟ้าต่ำ	ก. อุณหภูมิต่ำ ข. ขาดกรดและขาดคอปเปอร์ซัลเฟตหรือทั้งสอง อย่าง	ก. อุ่นน้ำยา ข. วิเคราะห์น้ำยาแล้วเติมส่วนที่ขาดลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้