

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาวิธีแยกโลหะหนักออกจากผิววัสดุชุบโลหะ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY OF SEPARATION METHOD FOR HEAVY METAL ON
ELECTROPLATING PLASTIC**



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

2006


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

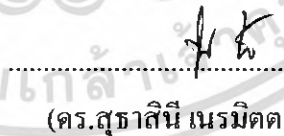
ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาวิธีแยกโลหะหนักออกจากผิววัสดุชุบโลหะ
จัดทำโดย นางสาว คณิงนุช ชะรัมย์ เลขประจำตัว 47015526
นางสาว วราภรณ์ เสมอโกลก เลขประจำตัว 47015547
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์

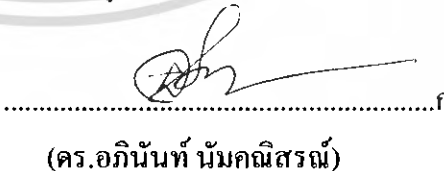
ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


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


.....กรรมการ
(อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์)


.....กรรมการ
(ดร.สุธาสินี เนรมิตตกพงศ์)


.....กรรมการ
(ดร.อกินันท์ นัมคณิสสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาวิธีแยกโลหะหนักออกจากผิววัสดุชุบโลหะ
จัดทำโดย นางสาว คณิงนุช ชะรัมย์ เลขประจำตัว 47015526
นางสาว วราภรณ์ เสมอโกศ เลขประจำตัว 47015547
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์
ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาวิธีแยกโลหะหนักออกจากผิววัสดุชุบโลหะ เพื่อลดการปนเปื้อนของวัสดุที่จะนำไปรีไซเคิลด้วยวิธีไม่ใช้ไฟฟ้าและวิธีใช้ไฟฟ้า จากการทดลองใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 6 โวลต์ ตัวต้านทานขนาด 5 โอห์ม และสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ เป็นอิเล็กโทรไลต์ จะเห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมในการลอกผิววัสดุชุบนิเกิล คือ ปริมาณไฟฟ้า 120 คูลอมป์ เนื่องจากเป็นปริมาณไฟฟ้าที่ทำให้เกิดในสารละลายมีปริมาณคงที่และนิเกิลที่เคลือบผิววัสดุถูกลอกออกหมด เช่นเดียวกันสภาวะที่เหมาะสมในการลอกผิววัสดุชุบโครเมียม คือ ปริมาณไฟฟ้า 100 คูลอมป์ เนื่องจากเป็นปริมาณไฟฟ้าที่ทำให้ปริมาณโครเมียมในสารละลายเริ่มคงที่ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ใช้เครื่องอะตอมมิกแอมป์ชอร์พชั่น สเปกโทรมิเตอร์ วิเคราะห์ปริมาณของโลหะที่ถูกลอกออกจากผิววัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Study of separation method for heavy metal on electroplating plastic

By Miss Kanungnoot Charum ID.NO. 47015526
Miss Waraporn Samerphok ID.NO. 47015547

Advisor Assoc. Prof. Dr. Paisal Nakpipat

Co-adviser Boonchai Chotiviriyavanich

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

Abstract

This project studied the separation of heavy metal from surface coating of plastic using a metal de-plating technique. This technique leads to reduction of contamination on the materials that will be later recycled. The de-plating was carried out with and without electricity being applied. The condition suitable for de-plating was found to be at 6 volts, 5 ohm resistance and 0.5 M sulfuric acid solution as electrolyte, yielding 120 coulombs of electricity. At this condition, the amount of nickel in solution was constant since the nickel was entirely de-plated. In comparison, 100 coulombs was the suitable amount of electricity for de-plating of chromium as evident from the chromium being de-plated reached a constant level. The amount of metal de-plating from substrate was analyzed using atomic absorption spectrometer.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และอาจารย์บุญชัย โชติวิริยวานิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม ผู้ซึ่งให้ความรู้คำแนะนำระหว่างการดำเนินโครงการจนทำให้ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ ดร.สุชาตินี เนรมิตตคพงษ์ และ ดร.อภิรักษ์ นัมคณิศรณ กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างปริญญาโทที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดข้อชี้แนะเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยทำให้แก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง

ขอขอบคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เอื้อเฟื้อเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่คอยให้กำลังใจและคำปรึกษามาโดยตลอด ทั้งนี้หากรายงานนี้มีข้อผิดพลาดประการใดคณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ โอกาสนี้

นางสาวคณิงนุช ชะรัมย์

นางสาววราภรณ์ เสมอภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	4
2.1 การชุบผิววัสดุด้วยโลหะ.....	4
2.2 การลอกผิววัสดุชุบโลหะ.....	4
2.3 โลหะหนัก.....	11
2.4 การตกตะกอนทางเคมี.....	15
2.5 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการละลาย.....	18
บทที่ 3 การทดลอง.....	20
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	20
3.2 วิธีการทดลอง.....	21
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	25
4.1 การลอกผิวโลหะนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า.....	25
4.2 การลอกผิวโลหะนิกเกิลแบบใช้ไฟฟ้า.....	25
4.3 การลอกผิวชิ้นงานชุบนิกเกิลและโครเมียมด้วยไฟฟ้า.....	26
4.4 การตกตะกอนนิกเกิลและโครเมียมจากสารละลาย ที่ได้จากการลอกผิวชิ้นงาน.....	31
4.5 ประสิทธิภาพการลอกผิวโลหะด้วยไฟฟ้า.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 ปริมาณร้อยละการละลายของโลหะในชิ้นงาน.....	34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	36
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	36
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	37
เอกสารอ้างอิง.....	38
ภาคผนวก	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการตกตะกอนแบบต่างๆ.....	18
ตารางที่ 4.1 ปริมาณนิกเกิลจากการลอกผิวแบบไม่ใช้ไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ.....	25
ตารางที่ 4.2 ปริมาณนิกเกิลได้จากการลอกผิวโลหะนิกเกิล และชั้นงานชุบนิกเกิลที่ผ่านการตกตะกอน.....	32
ตารางที่ 4.3 ปริมาณโลหะที่ได้จากการลอกผิวชั้นงาน ชุบโครเมียมที่ผ่านการตกตะกอน.....	32
ตารางที่ ก.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	40
ตารางที่ ข.1 ค่า K_{sp} และ pK_{sp} ของโลหะไฮดรอกไซด์ โลหะคาร์บอเนตและโลหะซัลไฟด์.....	42
ตารางที่ ค.1 ปริมาณนิกเกิลเมื่อลอกผิวโลหะนิกเกิลด้วยไฟฟ้า.....	43
ตารางที่ ค.2 ความเข้มข้นของโลหะที่ลอกผิวชั้นงานชุบนิกเกิลด้วยไฟฟ้า.....	44
ตารางที่ ค.3 ความเข้มข้นของโลหะที่ลอกผิวชั้นงานชุบโครเมียมด้วยไฟฟ้า.....	45
ตารางที่ ง.1 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	46
ตารางที่ จ.1 ประสิทธิภาพการลอกผิวโลหะนิกเกิลด้วยไฟฟ้า.....	51
ตารางที่ จ.2 ประสิทธิภาพการลอกผิวชั้นงานชุบนิกเกิลด้วยไฟฟ้า.....	52
ตารางที่ จ.3 ประสิทธิภาพการลอกผิวชั้นงานชุบโครเมียมด้วยไฟฟ้า.....	53
ตารางที่ ฉ.1 ปริมาณร้อยละการละลายของนิกเกิลในชั้นงานชุบนิกเกิล.....	55
ตารางที่ ฉ.2 ปริมาณร้อยละการละลายของโลหะในชั้นงานชุบโครเมียม.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส.....	6
รูปที่ 2.2 ความสามารถในการละลายของโลหะหนักที่พืชต่าง ๆ.....	17
รูปที่ 3.1 ชุดการทดลองแบบไม่ใช้ไฟฟ้า.....	21
รูปที่ 3.2 ชุดการทดลองลอกผิวโลหะแบบใช้ไฟฟ้า.....	23
รูปที่ 3.3 ชิ้นงานชุบโครเมียมและแผ่นสแตนเลส.....	23
รูปที่ 4.1 ปริมาณนิกเกิลจากการลอกผิวโลหะนิกเกิล ที่ปริมาณไฟฟ้าต่างๆ.....	26
รูปที่ 4.2 (ก) ชิ้นงานชุบนิกเกิลก่อนลอกผิว.....	26
รูปที่ 4.2 (ข) ชิ้นงานชุบโครเมียมก่อนลอกผิว.....	26
รูปที่ 4.3 ลักษณะชิ้นงานชุบนิกเกิลที่ผ่าน กระบวนการลอกผิวที่เวลาต่างๆ.....	27
รูปที่ 4.4 ลักษณะชิ้นงานชุบโครเมียมที่ผ่าน กระบวนการลอกผิวที่เวลาต่างๆ.....	28
รูปที่ 4.5 ปริมาณของนิกเกิล จากการลอกผิว ชิ้นงานชุบนิกเกิลที่ปริมาณไฟฟ้าต่างๆ.....	29
รูปที่ 4.6 ปริมาณของโลหะ จากการลอกผิว ชิ้นงานชุบโครเมียมที่ปริมาณไฟฟ้าต่างๆ.....	30
รูปที่ 4.7 การตกตะกอนของโลหะจากการลอกผิว ชิ้นงานชุบนิกเกิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	31
รูปที่ 4.8 การตกตะกอนของโลหะจากการลอกผิว ชิ้นงานชุบโครเมียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	31
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการลอกผิวนิกเกิลที่ปริมาณไฟฟ้าต่างๆ.....	33
รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียม ที่ปริมาณไฟฟ้าต่างๆ.....	34
รูปที่ 4.11 ปริมาณร้อยละการละลายของนิกเกิลในชิ้นงานชุบนิกเกิล	35
รูปที่ 4.12 ปริมาณร้อยละการละลายของโลหะในชิ้นงานชุบโครเมียม.....	35

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

เป็นที่ทราบกันดีว่า ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันมักใช้พลาสติกเป็นวัตถุดิบมากขึ้น จึงได้มีการปรับปรุงคุณภาพของพลาสติกออกมามากมาย เช่น การเคลือบผิวโลหะเพื่อให้เกิดความเงางาม มีความคล้ายโลหะมากขึ้น มีความคงทนและนำไฟฟ้าได้ และอีกประการหนึ่งการผลิตมีอัตราเพิ่มขึ้นทำให้วัตถุดิบลดน้อยลงทุกที การนำชิ้นงานที่ใช้แล้วมารีไซเคิลเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบใหม่นั้นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณขยะ และลดสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

การชุบผิวด้วยโลหะ เป็นการทำให้เกิดฟิล์มโลหะบนพื้นผิวผลิตภัณฑ์ หากผลิตภัณฑ์เป็นวัสดุฉนวน จะต้องทำการชุบเคลือบผิวโลหะโดยไม่ใช้ไฟฟ้าก่อน เมื่อผิวผลิตภัณฑ์มีสภาพเป็นโลหะ และสามารถนำไฟฟ้าได้แล้ว จึงจะสามารถชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าได้ผิวโลหะที่ชุบเคลือบบนวัสดุฉนวน เช่น พลาสติก ไม้ แก้ว ทองแดง นิกเกิล และโครเมียม

กระบวนการลอกผิววัสดุชุบโลหะเป็นแนวคิดที่จะนำมาศึกษาในโครงการนี้ เนื่องจากในงานอุตสาหกรรมมีการนำชิ้นงานที่เคยใช้งานมาแล้วมาทำการลอกผิวที่เคลือบสารจำพวกโลหะหนักออกเพื่อนำชิ้นงานนั้นๆ ไปรีไซเคิลใหม่ โลหะหนักที่เคลือบผิวนี้เป็นอุปสรรคในการรีไซเคิลชิ้นงาน เนื่องจากจะทำให้ชิ้นงานที่นำกลับไปหลอมใหม่เกิดความไม่บริสุทธิ์ขึ้น โครงการนี้จึงได้ศึกษาการลอกผิวชิ้นงานที่เคลือบโลหะออก การลอกผิวชิ้นงานที่ได้ศึกษานี้ได้ทำการลอกออกมา 2 วิธี คือ การลอกผิวชิ้นงานแบบไม่ใช้ไฟฟ้า และแบบใช้ไฟฟ้า

จากกระบวนการลอกผิวโลหะหนักออกจากชิ้นงานนี้ ได้แบ่งออกหลายวิธี เนื่องจากงานอุตสาหกรรมนั้นได้ใช้วิธีชุบผิวชิ้นงานเพื่อเพิ่มลักษณะพิเศษของชิ้นงานแตกต่างกันออกไป เช่น ชุบเพื่อเพิ่มความเงางามของผิวชิ้นงาน หรือเพื่อเพิ่มความคงทนของผิวชิ้นงาน เป็นต้น [1] เนื่องจากการชุบที่แตกต่างกันของชิ้นงานเช่นนี้ จึงทำให้การลอกผิวต้องใช้วิธีการลอกผิวที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน

การลอกผิวชิ้นงานที่มีโลหะหนักเคลือบโดยวิธีการจุ่มในสารละลายนั้น ต้องมีการกำหนดความเข้มข้นของสารละลายเพื่อให้สารที่เคลือบผิวหลุดออก ถ้าความเข้มข้นของสารละลายน้อยไปจะทำให้โลหะที่เคลือบผิวไม่หลุดออกมา ดังนั้นการลอกผิวด้วยวิธีการจุ่มในสารละลายจึงทำให้เปลืองค่าใช้จ่ายในการซื้อสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงๆ

การลอกผิวชิ้นงานที่มีโลหะหนักออกด้วยไฟฟ้าเคมีเป็นการหาสภาวะในการลอกผิวที่ดีที่สุด โดยการเลือกใช้สารอิเล็กโทรไลต์และปริมาณไฟฟ้าที่เหมาะสม จากการลอกผิวโลหะหนักออกจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้มาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงาน โดยชิ้นงานที่ใช้เป็นชิ้นงานชุบโลหะคือ ชุบด้วยนิกเกิล และชุบด้วยโครเมียม เนื่องจากวัสดุที่ชุบโลหะประเภทนี้ใช้การลอกผิวด้วยวิธีการอื่นจะใช้เวลาค่อนข้างมากจึงนำมาศึกษาการลอกผิวโดยการไฟฟ้า เนื่องจากชิ้นงานที่เป็นพลาสติกชุบโลหะที่มีขนาดเหมาะสมหายาก จึงได้ใช้เหล็กเป็นวัสดุชุบในการทดลอง โดยจะสนใจเฉพาะค่าของนิกเกิลและโครเมียมที่ชุบบนผิวชิ้นงานเท่านั้น ไม่คิดค่าของเหล็กที่หลุดออกจากชิ้นงาน

ดังนั้นจุดมุ่งหมายของโครงการคือ ศึกษาวิธีการลอกผิวชิ้นงานชุบโลหะออก และการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้นโดยการตกตะกอน ในการลอกผิวชิ้นงานนั้นจะมีสภาวะที่เหมาะสมในการลอกผิวโลหะหนักออก คือ ปริมาณโลหะที่ละลายออกมาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้า การลอกผิวชิ้นงานด้วยไฟฟ้านี้ต้องใช้ปริมาณไฟฟ้าที่เหมาะสม เพื่อให้สารที่เคลือบผิวหลุดออกมากที่สุดลดการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เคลือบผิวชิ้นงานมากที่สุด เพื่อนำชิ้นงานไปใช้งานต่อไปในกระบวนการอื่นๆ ได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาการลอกผิววัสดุชุบโลหะ
- 1.2.2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการลอกผิววัสดุชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
- 1.2.3 แยกโลหะหนักออกจากสารละลายที่ใช้ลอกผิววัสดุชุบโลหะ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการชุบและการลอกผิวนิกเกิลและโครเมียมออกจากวัสดุ
- 1.3.2 ศึกษากระบวนการลอกผิววัสดุชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
- 1.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกโลหะหนักออกจากผิววัสดุ
- 1.3.4 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนเพื่อลดการปนเปื้อนของเสียสู่สิ่งแวดล้อม

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ค้นคว้าและหาข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการลอกผิววัสดุชุบโลหะ
- 1.4.2 เตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
- 1.4.3 ทดลองลอกผิววัสดุชุบโลหะ
- 1.4.4 วิเคราะห์ปริมาณโลหะที่ได้จากการลอกผิววัสดุชุบโลหะ
- 1.4.5 ตกตะกอนโลหะหนักออกจากสารละลาย
- 1.4.6 สรุปผลการทดลอง
- 1.4.7 จัดทำรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

- 1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการลอกผิววัสดุขุบโลหะ
- 1.5.2 สามารถนำชิ้นงานที่มีการใช้งานแล้วไปรีไซเคิลได้
- 1.5.3 ลดการใช้ทรัพยากรที่ฟุ่มเฟือย และส่งเสริมการรีไซเคิล
- 1.5.4 เรียนรู้วิธีการทำงานอย่างมีแบบแผนและรู้จักวิธีแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้
- 1.5.5 เรียนรู้การทำงานร่วมกับผู้อื่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

การศึกษาวิธีการแยกโลหะหนักออกจากผิววัสดุชุบโลหะ ซึ่งจากการศึกษามีทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 การชุบผิววัสดุด้วยโลหะ

การศึกษาวิธีการแยกโลหะหนักออกจากผิววัสดุชุบโลหะนี้ได้ศึกษาชิ้นงานที่ชุบด้วยนิกเกิลและโครเมียม ซึ่งในการชุบวัสดุด้วยโลหะนั้นก็เพื่อความสวยงาม และเพื่อความแข็งแรงทนต่อการกระทบเสียดสี ในการชุบวัสดุด้วยโครเมียม แม้ว่าผิวที่ชุบโครเมียมจะแข็งแรงแต่จะเปราะและมีรอยร้าวหรือรูพรุน จึงต้องมีการรองพื้นก่อนการชุบโครเมียม ที่นิยมคือ จะชุบรองพื้นด้วยทองแดงก่อน แล้วชุบนิกเกิลรองพื้นอีกชั้นจึงชุบโครเมียม ใช้ทองแดงรองพื้นก่อนเพราะว่าทองแดงมีสมบัติเกาะเคลือบชิ้นงานได้แน่นกว่านิกเกิล ไม่ว่าจะชิ้นงานจะเป็น เหล็ก พลาสติก หรืออื่นๆ ส่วนนิกเกิลที่ชุบอีกนั้นเป็นตัวช่วยประสานในการยึดทองแดงกับโครเมียม และช่วยป้องกันสนิมได้ดีด้วย นิกเกิลเป็นโลหะไม่เกิดสนิมเช่นเดียวกับโครเมียม มีสีสุกใส สวยงาม แต่สีสุกใสสวยงามของนิกเกิลมีโอกาสขุ่นมัวได้ จึงใช้โครเมียมเคลือบชั้นบนนิกเกิลอีกที เพื่อชิ้นงานจะได้มีความสุกใสอยู่ได้นาน

การชุบผิวพลาสติกด้วยโลหะ เพื่อให้ผิวพลาสติกมีลักษณะสวยงามคล้ายโลหะ มีความคงทน และทำให้พลาสติกมีสมบัติคล้ายโลหะคือนำไฟฟ้า [2] สำหรับการชุบผิวพลาสติกด้วยโลหะโดยใช้ไฟฟ้านั้นต้องทำให้พลาสติกนำไฟฟ้าก่อน โดยการชุบผิวพลาสติกแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (Electroless plating) เมื่อพลาสติกสามารถนำไฟฟ้าได้ จึงนำไปชุบผิวด้วยโลหะ โดยใช้ไฟฟ้า (Electroplating)

2.2 การลอกผิววัสดุชุบโลหะ

การลอกผิววัสดุชุบโลหะ อาศัยหลักที่ว่า โลหะที่ลอกออกต้องถูกออกซิไดซ์เป็นไอออนละลายอยู่ในสารละลายที่ใช้ลอกผิวโลหะ ซึ่งการลอกผิววัสดุชุบโลหะนั้นมี 2 วิธี คือ การลอกผิววัสดุชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า และการลอกผิววัสดุชุบโลหะแบบใช้ไฟฟ้า [3]

2.2.1 การลอกผิววัสดุชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า (De-Electroless plating)

การลอกผิววัสดุชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้านี้ทำได้โดยนำชิ้นงานจุ่มในสารละลายที่สามารถออกซิไดซ์โลหะนั้นๆ ให้เป็นไอออนของโลหะ สิ่งสำคัญในการลอกผิววัสดุชุบโลหะด้วยวิธีนี้คือสารละลายที่ใช้ลอกผิวโลหะ ต้องไม่ทำลายวัสดุที่เป็นชิ้นงานเดิม การลอกผิววัสดุชุบโลหะแต่ละชนิด ก็จะใช้สารละลายที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับต้องการให้ไอออนของโลหะละลายอยู่

ในรูปแบบของสารประกอบใด การลอกผิววัสดุชุบโลหะโดยการจุ่มในสารละลายนี้มีสิ่งที่สำคัญอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประการ คือ ความเข้มข้นของสารละลาย การใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสมจะทำให้การลอกผิววัสดุชุบโลหะเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์และใช้เวลาไม่มาก หากใช้ความเข้มข้นต่ำเกินไปจะทำให้สารที่เคลือบอยู่บนผิววัสดุละลายออกไม่หมด หรืออาจต้องใช้เวลาในการลอกผิวนาน ทำให้วัสดุที่ต้องการใช้อาจเกิดปัญหาในกระบวนการต่อไปได้ ดังนั้น การลอกผิววัสดุชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้าจึงเหมาะสำหรับลอกผิววัสดุที่ชุบผิวไม่หนามาก เพราะทำให้ต้องใช้ความเข้มข้นของสารละลายสูง และใช้เวลาในการลอกผิวนานเกินไป

2.2.2 การลอกผิววัสดุชุบโลหะแบบใช้ไฟฟ้า (De-Electroplating)

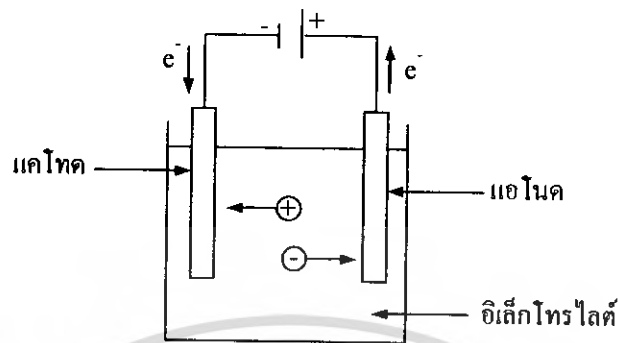
การลอกผิววัสดุชุบโลหะด้วยไฟฟ้า คือ การลอกผิววัสดุชุบโลหะออก โดยอาศัยไฟฟ้ากระแสตรง สามารถทำได้โดยนำชิ้นงานที่ต้องการลอกผิวที่ชุบโลหะออกต่อกับขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนขั้วลบต่อกับขั้วไฟฟ้าเฉื่อย (Inert electrode) แล้วปรับปริมาณทางไฟฟ้า คือ แรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสม ทำให้โลหะที่เคลือบชิ้นงานถูกออกซิไดซ์เป็นไอออนละลายอยู่ในสารละลาย ซึ่งการลอกผิววัสดุชุบโลหะนี้คล้ายการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าต่างกันที่การต่อขั้วไฟฟ้า คือ การลอกผิววัสดุชุบโลหะทำโดยการสลับขั้วไฟฟ้าของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้านั่นเอง โดยทั้งการลอกผิววัสดุชุบโลหะและการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าต่างใช้หลักการของเคมีไฟฟ้า (Electrochemistry) ซึ่งว่าด้วยการใช้พลังงานทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ให้พลังงานไฟฟ้า ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (The Oxidation-Reduction reaction) หรือเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอน และเกิดขึ้นในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับปฏิกิริยาเคมีศึกษาได้จากเซลล์ไฟฟ้าเคมี ซึ่งเซลล์ไฟฟ้าเคมีประกอบด้วย แหล่งพลังงานไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ ขั้วไฟฟ้า (Electrodes) สองขั้ว และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อต่อเซลล์ไฟฟ้าเคมีครบวงจรจะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์และให้พลังงานไฟฟ้า หรือให้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอกทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้น ซึ่งเรียกเซลล์นี้ว่า อิเล็กโทรไลติกเซลล์ (Electrolytic cell) ในเซลล์จะเกิดกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส

ในการศึกษาวิธีลอกผิววัสดุชุบโลหะด้วยไฟฟ้านั้นมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.2.2.1 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis)

กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส หมายถึง กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายพวกอิเล็กโทรไลต์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี สารพวกอิเล็กโทรไลต์เมื่ออยู่ในสภาพสารละลายหรือหลอมเหลวจะแตกตัวเป็นไอออนบวก หรือแคทไอออน (Cations) และไอออนลบ หรือแอนไอออน (Anions) ไอออนเหล่านี้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ [3] เมื่อมีขั้วไฟฟ้าจุ่มลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป ทำให้เกิดกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสขึ้น

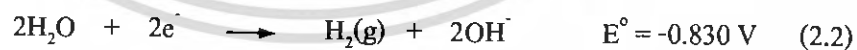


รูปที่ 2.1 กระบวนการอิเล็กโทรลิซิส [4]

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยแยกปฏิกิริยาออกเป็นสองส่วน คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ ปฏิกิริยารีดักชัน ที่ขั้วทางขวามีแอโนด ไอออน เคลื่อนที่เข้าหาขั้วเพื่อให้อิเล็กตรอนแก่ขั้วบวก เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกขั้วนี้ว่า แอโนด (Anode) ส่วนขั้วทางซ้ายมีแคโทด ไอออนเคลื่อนที่เข้าหาขั้วเพื่อรับอิเล็กตรอนจากขั้วลบ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เรียกขั้วนี้ว่า แคโทด (Cathode)

ตัวอย่างกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลายกรดซัลฟูริก ซึ่งสารละลายนี้แตกตัวได้ H^+ , SO_4^{2-} และ H_2O ก็สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันได้ สำหรับขั้วแอโนด คือ ชิ้นงานที่ชุบด้วยนิกเกิล ส่วนขั้วแคโทด คือ แผ่นสแตนเลส ซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าเฉื่อย

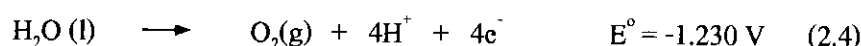
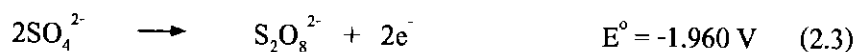
ปฏิกิริยาที่แคโทด H^+ เคลื่อนที่เข้าหาขั้วแคโทดเพื่อรับอิเล็กตรอน เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เมื่อพิจารณาความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของ H^+ กับ H_2O [ภาคผนวก ก] ดังปฏิกิริยา (2.1) และ (2.2)



จะเห็นว่า H^+ รับอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่า H_2O นั่นคือ H^+ สามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้ดีกว่า H_2O ดังนั้น ปฏิกิริยาที่แคโทด จึงได้ก๊าซไฮโดรเจน

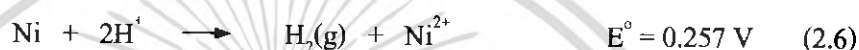
ปฏิกิริยาที่แอโนด SO_4^{2-} เคลื่อนที่หาขั้วแอโนดเพื่อให้อิเล็กตรอน เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อพิจารณาความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของ SO_4^{2-} , H_2O และ Ni ดังปฏิกิริยา (2.3) ถึง (2.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จะเห็นว่า Ni ให้อิเล็กตรอนได้ง่ายกว่า H_2O และ SO_4^{2-} นั่นคือ Ni สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า ดังนั้นปฏิกิริยาที่แอโนดได้อิออนของนิกเกิล

จากปฏิกิริยาทั้งสอง ซึ่งเรียก “ปฏิกิริยาครึ่งเซลล์” เมื่อรวมปฏิกิริยาของทั้งสองข้างแล้วจะได้ปฏิกิริยารวมเรียก ปฏิกิริยาของเซลล์ (Cell reaction) ดังนี้



จะเห็นว่ากระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของสารละลายกรดซัลฟูริกได้ก๊าซไฮโดรเจนที่แคโทด และที่แอโนด นิกเกิลถูกออกซิไดซ์เป็นไอออนละลายอยู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังนั้นกระบวนการนี้ คือ การลอกผิวนิกเกิลที่เคลือบอยู่บนผิวชิ้นงานออกด้วยไฟฟ้านั่นเอง

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่แคโทดและแอโนดในเซลล์ไฟฟ้าเคมีเกิดได้หลายแบบ ขึ้นกับชนิดของสารที่มีอยู่ที่ขั้ว [5]

ปฏิกิริยาบางชนิดเกิดที่แคโทดในเซลล์ไฟฟ้าเคมี มีดังนี้

1. เกิดการเกาะของโลหะที่ผิวของขั้วโดยไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายจะถูกรีดิวซ์กลายเป็นโลหะที่สามารถเกาะที่ขั้ว เช่น



2. เกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้ว ถ้าสารละลายมีความเป็นกรด และไม่มีไอออนอื่นที่สามารถถูกรีดิวซ์ได้ง่ายกว่า H^+ ทำให้ H^+ ที่มีอยู่ในสารละลายถูกรีดิวซ์เป็นก๊าซไฮโดรเจน

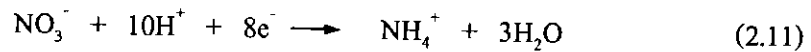


3. เกิดการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของไอออนที่มีอยู่ในสารละลายได้ ไอออนที่มีเลขออกซิเดชันต่ำลง เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. เกิดแอมโมเนียไอออนขึ้น ถ้าในสารละลายมี NO_3^- และความเป็นกรด



ปฏิกิริยาบางชนิดเกิดที่แอโนดในเซลล์ไฟฟ้าเคมี มีดังนี้

1. เกิดการออกซิไดซ์โลหะที่ใช้เป็นขั้ว ทำให้เกิดเป็นไอออนของโลหะขึ้น ในกรณีนี้ขั้วที่ใช้จะถูกกัดกร่อนไปเรื่อยๆ เช่น



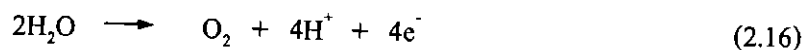
2. เกิดการออกซิไดซ์ไฮไลต์ไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย ถ้าโลหะที่ใช้ทำขั้วเป็นโลหะเฉื่อย (Inert metal)



3. เกิดการเปลี่ยนเลขออกซิเดชันของไอออนทำให้มีเลขออกซิเดชันสูงขึ้น เช่น



4. เกิดก๊าซออกซิเจน โดยที่น้ำสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ที่ขั้ว



2.2.2.2 กฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) [4]

ปี ค.ศ. 1834 ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าที่ใช้กับปริมาณของสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส เรียกกฎนี้ว่า "กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับการอิเล็กโทรลิซิส (Faraday's Law of Electrolysis)" ดังนี้

เอกส... การค้า
ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎข้อที่ 1 ปริมาณสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้น

กฎข้อที่ 2 ปริมาณสารต่างชนิดกันที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า เมื่อผ่านปริมาณไฟฟ้าเท่ากันลงไปจะเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักสมมูล (Equivalent weights) ของสารนั้น

เนื่องจากกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันจึงสามารถคำนวณหาปริมาณไฟฟ้าได้จากจำนวนอิเล็กตรอนที่มีการถ่ายเทในปฏิกิริยาดังกล่าว เช่น ปฏิกิริยารีดักชันของไอออนของโลหะทองแดงและเงิน ดังปฏิกิริยา



จากปฏิกิริยา (2.17) จะเห็นว่า ทองแดงไอออนหนึ่งโมลที่ได้จากแอโนดสามารถรับอิเล็กตรอนได้ 2 โมล เกิดเป็นโลหะทองแดงหนึ่งโมล (63.54 กรัม) ส่วนเงินไอออนสามารถรับอิเล็กตรอนได้ 1 โมล เกิดเป็นโลหะเงินหนึ่งโมล (107.9 กรัม) ดังนั้นในปฏิกิริยารีดักชันของโลหะทองแดงและเงิน หากต้องการโลหะทองแดงหนึ่งโมลต้องใช้ปริมาณไฟฟ้าเป็น 2 เท่าของปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในปฏิกิริยา จึงจะได้โลหะเงินหนึ่งโมล

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้เพื่อทำให้ไอออนของโลหะเป็นโลหะมีหน่วยเป็นฟาราเดย์ (Faraday : F) ซึ่งมีความหมายว่า

ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ หมายถึง ปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านลงในสารละลายในเซลล์ อิเล็กโทรไลต์เพื่อให้อิเล็กตรอน 1 โมล ทำปฏิกิริยารีดอกซ์ หรือทำให้เกิดโลหะ 1 กรัมสมมูล ซึ่ง 1 กรัมสมมูลของโลหะใดๆ คือ 1 โมลของโลหะหารด้วยเลขออกซิเดชันของโลหะนั้น ดังนั้นจากปฏิกิริยา (2.17) และ (2.18) ได้ว่าถ้าต้องการโลหะทองแดง 63.54 กรัม ต้องใช้ปริมาณไฟฟ้า 2 ฟาราเดย์ และโลหะเงิน 107.9 กรัม ต้องใช้ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์

2.2.2.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการลอกผิววัสดุขุบโลหะด้วยไฟฟ้า

1. อิเล็กโทรไลต์ หมายถึง สารใดก็ตามเมื่อนำมาละลายน้ำแล้วสามารถแตกตัวเป็นไอออน และทำให้สารละลายนั้นนำไฟฟ้าได้ เช่น โซเดียมคลอไรด์ กรดซัลฟูริก กรดไนตริก เป็นต้น อิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิดมีความสามารถในการแตกตัวเป็นไอออนได้มากน้อยแตกต่างกัน สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากันอาจแตกตัวเป็นไอออนและนำไฟฟ้าได้ไม่เท่ากัน อิเล็กโทรไลต์สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ อิเล็กโทรไลต์แก่ (Strong electrolyte) และอิเล็กโทรไลต์อ่อน (Weak electrolyte) โดยอิเล็กโทรไลต์แก่ หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วทำให้สารละลายนั้นนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ดี เพราะสามารถแตกตัวเป็นไอออนได้อย่างสมบูรณ์ สารที่เป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ เช่น กรดแก่ ค่างแก่ เกลือของกรดแก่ค่างแก่ และเกลือของกรดแก่ค่างอ่อน ส่วนอิเล็กโทรไลต์อ่อน หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนได้เพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลที่ไม่แตกตัวเป็นไอออน ซึ่งไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ สารที่เป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน เช่น กรดอ่อน ค่างอ่อนและเกลือของกรดอ่อน เป็นต้น

2. การกระจายของกระแสไฟฟ้า ชิ้นงานที่ต้องการลอกผิวที่ชุบโลหะออกนั้นมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป รูปร่างที่ต่างกันนี้ทำให้การลอกผิวที่ชุบโลหะออกได้ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การกระจายของกระแสไฟฟ้าบริเวณที่อยู่ใกล้ขั้วลบจะมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากกว่าบริเวณที่ห่างออกไป ดังนั้นบริเวณที่อยู่ใกล้ขั้วลบมากกว่าการลอกผิวชิ้นงานก็เกิดได้ดีกว่าบริเวณอื่น จากเหตุผลดังกล่าวหากบริเวณใดของชิ้นงานที่อยู่ใกล้ขั้วลบมากที่สุดการลอกผิวก็เกิดได้เร็วกว่า ในขณะที่บริเวณอื่นการลอกผิวโลหะยังลอกออกไม่หมด เมื่อทำการลอกต่อไป อาจทำลายชิ้นงานบริเวณที่อยู่ใกล้ขั้วลบได้ ซึ่งอาจแก้ไขโดยการนำแผ่นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายที่ใช้ในการลอกผิวชิ้นงานมาถักนระหว่างขั้วบวกกับขั้วลบตรงบริเวณที่อยู่ใกล้กันเพื่อลดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าให้เหลือเท่าๆ กัน วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น โพลีเอทิลีน พีวีซี หรือโพลีโพรพิลีน เป็นต้น แต่ถ้ายิ่งการลอกผิวชิ้นงานเกิดขึ้นไม่ดีเนื่องจากสารละลายที่ใช้มีกำลังการลอกผิวไม่ดี สามารถแก้ไขโดยการออกแบบขั้วลบให้เหมาะสมช่วย คือออกแบบให้มีการกระจายของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวกให้เท่ากันและทั่วถึงส่วนที่ต้องการลอกผิวชิ้นงานที่ชุบโลหะออก ถ้าสารละลายใดมีกำลังการลอกผิวไม่ดีสังเกตได้จากการลอกผิวชิ้นงานที่มีลักษณะกลวงหรือโค้งงอจะพบว่าที่บริเวณลึกๆ ลงไปจะไม่เกิดการลอกผิว

3. ขั้วแคโทด กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสสำหรับการลอกผิววัสดุชุบโลหะนั้นที่ขั้วแคโทดจะใช้ขั้วไฟฟ้าเฉื่อย คือ ขั้วไฟฟ้าที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของเซลล์ ทำหน้าที่เป็นเพียงที่ถ่ายเทอิเล็กตรอนหรือเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าเมื่อปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เกิดขึ้น นิยมใช้แพลตตินัม คาร์บอน หรือสแตนเลสเป็นขั้วไฟฟ้าเฉื่อย[3]

4. การกวนสารละลาย การกวนสารละลายที่ใช้ในการลอกผิวด้วยไฟฟ้า ทำให้ประสิทธิภาพของการลอกผิวดียิ่งขึ้น นอกจากนี้การกวนสารละลายตลอดเวลาทำให้ความเข้มข้นของไอออนโลหะในสารละลายมีความสม่ำเสมอเท่าๆ กัน

2.2.2.4. ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบและขั้วบวก [3]

ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบและขั้วบวกอาจนิยามได้ 2 ลักษณะ คือ ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการลอกผิวจริงต่อปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงไปทั้งหมดคูณด้วยหนึ่งร้อย หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของขั้วบวก คือ ปริมาณโลหะของขั้วบวกที่ละลายจริง ต่อปริมาณของโลหะของขั้วบวกที่ควรละลายตามกฎของฟาราเดย์คูณด้วยหนึ่งร้อย

ปกติแล้วประสิทธิภาพจะไม่ถึงหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปนั้นไม่ได้ใช้ละลายขั้วบวก แต่ยังถูกใช้ในกลไกอื่นๆ อีกด้วย เช่น ใช้ในการแยกสลายโมเลกุลของน้ำทำให้เกิดแก๊สขึ้นที่ขั้วบวกหรือลบ เป็นต้น

ตัวอย่างการหาประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวก เช่น ในการลอกโครเมียม เมื่อใช้ไฟฟ้าผ่านลงไปโดยสารละลาย 1 ฟาราเดย์ ถ้าเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ควรมีโลหะหลุดออกจากขั้วบวก 8.667 กรัม แต่จากการทดลองพบว่าโลหะโครเมียมหลุดออกเพียง 1.646 กรัม ดังนั้น ประสิทธิภาพของขั้วบวกเท่ากับ $(1.646/8.667) \times 100 = 19$ เปอร์เซ็นต์

2.2.2.5 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า คือ ปริมาณของกระแสไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ปกติแล้วจะแสดงในหน่วยแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร หรือ แอมแปร์ต่อตารางฟุต โดยปกติในการชุบด้วยไฟฟ้าจะกำหนดสภาวะการทำงานได้ชัดเจนว่าจะใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่าใด ก่อนทำการชุบ จึงต้องคำนวณพื้นที่ผิวของชิ้นงาน แล้วนำค่าพื้นที่นี้ไปคำนวณดูว่าจะใช้กระแสไฟฟ้าเท่าใดจึงจะได้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตามที่กำหนด สำหรับการลอกผิวโลหะนี้เป็นกระบวนการย้อนกลับของการชุบผิวด้วยไฟฟ้า เมื่อดอกผิวโลหะออกแล้ว ทราบพื้นที่ของชิ้นงานและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ไป ทำให้ทราบความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ได้ ซึ่งสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้แต่ละชนิดย่อมต้องการความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าไม่เท่ากัน

2.3 โลหะหนัก

2.3.1 นิกเกิล (Ni) [6]

นิกเกิลเป็นธาตุทรานซิชันมีเลขออกซิเดชันหลายค่า คือ +1, +2, +3 และ +4 แต่ส่วนใหญ่มีเลขออกซิเดชันเป็น +2 นิกเกิลเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงิน มีความอ่อนสามารถดัดงอได้ เป็นสารพวกเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) ทนต่อการกัดกร่อนของด่างได้ดี และละลายได้อย่างช้าๆ ในกรดเจือจาง เช่น กรดไฮโดรคลอริก และละลายได้เร็วในกรดไนตริก

2.3.1.1 การนำมาใช้ประโยชน์

นิกเกิลถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น ใช้เป็นขั้วแอโนดในตัวต้านทานของวิทยุและอิเล็กทรอนิกส์ และเนื่องจากนิกเกิลเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงิน และทนการกัดกร่อนได้ดี นิกเกิลจึงถูกนำมาใช้ในการชุบและเคลือบโลหะ เพื่อรักษาเนื้อโลหะที่ถูกชุบให้อยู่ได้นานและสวยงามยิ่งขึ้น ในด้านอื่นๆ นิกเกิลถูกนำมาใช้ในการทำแบตเตอรี่ชนิด นิกเกิล-

แคดเมียม หัวเทียน แสงวงจรไฟฟ้า เซรามิก เครื่องสำอาง นอกจากนี้ นิกเกิลยังถูกนำมาทำเป็น โลหะผสม เช่น นิกเกิลผสมทองแดงใช้ทำเหรียญกษาปณ์

2.3.1.2 การแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม

โดยส่วนใหญ่เกิดจากการใช้นิกเกิลและสารประกอบนิกเกิลในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมโลหะแบบเตอรี โลหะผสม และการถลุงนิกเกิล จากการกระทำของมนุษย์ เช่น การสูบบุหรี่ การนำขยะซึ่งเป็นเครื่องใช้ หรืออุปกรณ์ต่างๆที่ไม่ใช้แล้วและมีนิกเกิลเป็นองค์ประกอบไปกำจัดโดยการฝังกลบไว้ในดิน ซึ่งเมื่อเข้าสู่สิ่งแวดล้อมเกิดการปนเปื้อนก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้

2.3.1.3 ความเป็นพิษ

นิกเกิลเป็นสารที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์และพืช โดยจัดเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ แต่เป็นสารที่ไม่รุนแรงมากนักในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เนื่องจากทางเดินอาหารดูดซึมนิกเกิลได้ต่ำ

ถ้ารับมนุษย์นิกเกิลสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทางผิวหนัง การหายใจและการรับประทานอาหาร ซึ่งอาจแสดงพิษอย่างเฉียบพลัน โดยมีอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ และเจ็บหน้าอก เกิดขึ้นภายใน 2-3 ชั่วโมง หลังจากนั้น 12-13 ชั่วโมง หรือมากกว่า 5 วัน จะมีอาการเกี่ยวกับปอดอย่างรุนแรง หัวใจเต้นแรง อ่อนเพลีย และเสียชีวิตภายใน 4-13 วัน หรืออาจเกิดการสะสมในร่างกายเป็นเวลานานจนถึงระดับหนึ่งค่อยแสดงพิษออกมา โดยมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ การทำงานของปอด สมออง คับ ไค และม้าม สารประกอบนิกเกิลที่เป็นพิษต่อมนุษย์มากที่สุด คือนิกเกิลคาร์บอนิล (NiCO) ซึ่งเป็นของเหลวไม่มีสี กลายเป็นไอง่าย ใช้ประโยชน์ในการทำปิโตรเคมีให้บริสุทธิ์ [7]

2.3.2 ทองแดง (Cu) [6]

ทองแดงเป็นองค์ประกอบของแร่หลายชนิดในธรรมชาติซึ่งแร่ต่างๆ เหล่านี้สลายตัวได้ง่าย การสลายตัวและผุพังของแร่จะทำให้ประจุบวกของทองแดงออกมา โดยเฉพาะสภาวะที่เป็นกรดทองแดงจะละลายออกมาได้มาก

2.3.2.1 การนำมาใช้ประโยชน์

ทองแดงกว่า 50% ใช้ในการทำอุปกรณ์ไฟฟ้า ใช้เป็นโลหะผสมในส่วนประกอบของยารักษาโรคหลายประเภท ยาสมานแผล และยาทำให้อาเจียน เป็นส่วนประกอบของยามาเชื้อรา ยาแก้นแมลง อุตสาหกรรมทอผ้า และผลิตภัณฑ์เซรามิก นอกจากนี้ยังใช้เกลือทองแดงในการกำจัดสาหร่ายและหอยที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อแหล่งน้ำ

2.3.2.2 การแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม

การปนเปื้อนของทองแดงสู่ธรรมชาติ บางส่วนเกิดจากการละลายจากแหล่งธรรมชาติ แต่เป็นเพียงส่วนน้อย โดยส่วนใหญ่แล้ว เกิดจากการกระทำของมนุษย์ที่มีการนำทองแดงไปใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การถลุงแร่ ซึ่งทำให้ทองแดงฟุ้งกระจายขึ้นไปในอากาศแล้วถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ การใช้ทองแดงในอุตสาหกรรมโลหะผสม เป็นต้น

2.3.2.3 ความเป็นพิษ

ทองแดงเข้าสู่ร่างกายได้โดยการปนเปื้อนทางอาหารและการหายใจ การดูดซับส่วนใหญ่เกิดที่กระเพาะอาหาร แล้วเก็บสะสมไว้ที่ตับ ไต สมอง หัวใจ และผม หากร่างกายได้รับทองแดงมากเกินไปเกินความต้องการ จะมีอาการอ่อนเพลีย อาเจียน ท้องร่วง เม็ดเลือดแดงถูกทำลาย เกิดอาการตับวาย และมีเลือดออกในทางเดินอาหาร หากทองแดงที่ได้รับอยู่ในรูปคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) จะทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน อาเจียน บางครั้งจะมีสีเขียวปนมากับอาเจียน ความดันโลหิตต่ำ คีซ่าน และหมดสติ

2.3.3 โครเมียม (Cr) [8]

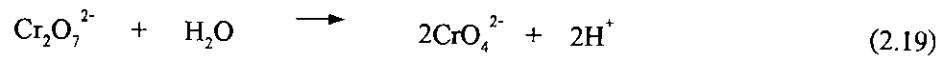
โครเมียม (Cr) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 เกิดตามธรรมชาติในรูปของโครไมต์ หรือสินแร่ Chrome iron (FeOCr_2O_3) มีอยู่ประมาณ 0.037 เปอร์เซ็นต์ของเปลือกโลก ทั่วทั้งโลกจะมีความเข้มข้นของโครเมียมอยู่ในดินอยู่ในช่วงตั้งแต่ปริมาณน้อยมากๆ จนถึง 24 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความเข้มข้นในบรรยากาศจะอยู่ในช่วง 0.001-0.007 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เลขออกซิเดชันของโครเมียมมีตั้งแต่ -2 ถึง +6

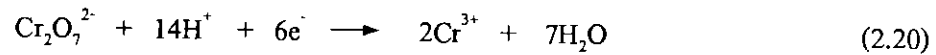
- โครเมียม(-2 ถึง 0) พบมากในคาร์บอนิล และสารประกอบโลหะอินทรีย์
- Hexacarbonylchromium (0)($\text{Cr}(\text{CO})_6$) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว คงตัวในอากาศ และไม่ละลายน้ำ
- โครเมียม (+2) เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงและถูกออกซิไดซ์เป็นโครเมียม (+3) ในอากาศ
- โครเมียม (+3) เป็นเวเลนซ์ที่เสถียร เป็นรูปที่พบมากในธรรมชาติ เมื่อละลายน้ำ จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นลิแกนด์ในสภาวะกรด $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ และในสภาวะด่าง $[\text{Cr}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$
- โครเมียม (+6) พบมากในธรรมชาติพอๆ กับโครเมียม (+3) แต่พบในรูปของสารประกอบที่มีออกซิเจน (oxo species) ตัวอย่างเช่น โครเมียม (+6) ออกไซด์ (กรดโครมิก: CrO_3) โครมิลคลอไรด์ (CrO_2Cl) โครเมต (CrO_4^{2-}) และไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)

เมื่อไดโครเมตละลายน้ำจะได้โครเมต ดังปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โครเมียม (+6) เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก ภายใต้สภาวะกรด (พีเอช 0)



2.3.3.1 การนำมาใช้ประโยชน์

ในอุตสาหกรรมหลายประเภทได้มีการนำโครเมียมมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก รงควัตถุ สีทา สีย้อม สารยึดอายุไม้ สารป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ การชุบโครเมียมและการพอกหนัง เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการเติมสารประกอบโครเมียมลงในน้ำหล่อเย็นเพื่อป้องกันการกัดกร่อน อุตสาหกรรมการชุบเพลทโลหะและการประดิษฐ์ส่วนประกอบรถยนต์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการนำโลหะมาชุบโครเมียมมากที่สุด

2.3.3.2 ความเป็นพิษของโครเมียม

โครเมียมหรือสารประกอบโครเมียมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฝุ่นและควัน ซึ่งจะเข้าสู่ร่างกายได้โดย

- ทางจมูก โดยการสูดหายใจเอาผงและควันของกรดโครมิก ซึ่งส่วนใหญ่จะตกค้างบริเวณจมูกและทำอันตรายแก่กระดูกอ่อนที่กั้นระหว่างจมูก และอาจเข้าไปถึงปอด ซึ่งทำให้เกิดมะเร็งได้

- ทางผิวหนัง คนงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับโครเมียมจะได้รับฝุ่นละอองหรือควันของโครเมียมจะเกิดปฏิกิริยาต่อผิวหนังได้

โครเมียมเมื่อสูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการเป็นพิษ ดังนี้

- แผลจากโครเมียมจากการสะสมของฝุ่นละอองของโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มเป็นรอยดลอกที่ผิวหนังและจะพบมากที่สุดที่โคนเล็บมือ ตามข้อที่นิ้วมือหรือหลังเท้า มีลักษณะเป็นแผลวงกลมค่อนข้างเรียบ บวมเล็กน้อย ปกติมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรหรือเล็กกว่าซึ่งจะมองคล้ายถูกเจาะด้วยตะปู ถึงแม้ว่าแผลนี้จะไม่เจ็บปวดแต่จะคันมากเวลากลางคืน ต่อไปอาจเกิดการติดเชื้อและอาจทำให้ลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียงซึ่งอาจทำให้ต้องตัดนิ้วทั้ง ฝุ่นละอองเกลือโครเมียมหรือควันของกรดโครมิกอาจตกลงบนหลังตาหรือที่ปลายจมูกซึ่งอาจทำให้เกิดแผลขึ้นได้ใกล้เคียงกัน

- ผิวหนังอักเสบ บริเวณที่อาจเกิดการอักเสบ ได้แก่ มือ แขน ขา ใบหน้า และหน้าอก อาจเกิดเมื่อสัมผัสโครเมียมมาแล้ว 6 เดือน ในรายที่รุนแรงใบหน้าจะมีสีแดงเข้มและบวม ส่วนที่อักเสบจะคันมากและอาจเจ็บแสบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผนังกันในโพรงงมูกอาจถูกเจาะทะลุ คนที่ทำงานกับโครเมียมที่ได้รับควันทกรโครมิกหรือฝุ่นละอองของโครเมียมเป็นประจำจะทำให้ผนังกันในรูงมูกถูกทำลายจนเป็นรูทะลุ ซึ่งการทะลุนี้จะไม่รู้สึกเจ็บปวดแต่อย่างใด จะรู้ตัวก็ต่อเมื่อมีเสียงอู้อี้หรือคังงมูกบีบแบนลง
- มะเร็งปอดอาจเกิดกับผู้ที่สูดเอาโครเมียมเข้าสู่ร่างกายอยู่เป็นประจำและเป็นเวลานาน ซึ่งจะเป็นอันตรายอย่างมาก

2.3.3.3 มาตรฐานของโครเมียมที่กำหนด ที่ปลอดภัยต่อคนที่ทำงานวันละ 7-8 ชั่วโมง หรือสัปดาห์ละ 40-42 ชั่วโมง

1. งานที่ต้องทำเกี่ยวกับควันทกรโครมิก จะต้องมิได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร

2. งานที่ต้องทำเกี่ยวกับฝุ่นละอองของโครเมียมจะต้องมิได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร

โครเมียม (+6) เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในระบบนิเวศน์ ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีโครเมียม (+6) ปะปนอยู่ ควรจะได้รับการบำบัดก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำต่างๆ เพื่อลดผลกระทบที่จะมีต่อระบบนิเวศน์ตามธรรมชาติ

2.4 การตกตะกอนทางเคมี

การตกตะกอน (Settling) ทางเคมีเป็นการเปลี่ยนรูปสารที่อยู่ในรูปสารละลายให้เป็นรูปของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี หรือการเปลี่ยนส่วนประกอบของตัวทำละลายของสาร ซึ่งของแข็งสามารถแยกออกจากสารละลายนั้นได้โดยการตกตะกอนหรือการกรอง (Filtration)

2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนทางเคมี

2.4.1.1 ความสามารถในการละลายน้ำของโลหะ (Solubility) สารประกอบโลหะแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการละลายน้ำที่พีเอชต่างๆ ไม่เท่ากัน โลหะที่มีสมบัติแอมโฟเทอริก เช่น ทองแดง สังกะสี โครเมียม และนิกเกิล จะละลายน้ำได้น้อยลงเรื่อยๆ เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น จนถึงพีเอชค่าหนึ่งที่ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำของโลหะนั้นต่ำสุด และเมื่อเลขพีเอชนี้โลหะแอมโฟเทอริกจะกลับมามีความสามารถในการละลายน้ำได้มากขึ้นอีก

2.4.1.2 พีเอช (pH) สารช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่พีเอชช่วงหนึ่งเท่านั้น ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่อยู่ในช่วงนี้ จะทำให้เกิดผลการตกตะกอนไม่ดีเท่าที่ควร

2.4.1.3 สมบัติและชนิดของสารตกตะกอน (Precipitant) สารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเหมาะสมกับสารหรือโลหะที่ต้องการตกตะกอนไม่เหมือนกัน รวมทั้งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น การละลายของไอออนโลหะ (Metal ion solubility) ลักษณะของตะกอน ความเร็วของการตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นของเอกชน ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาและความยากง่ายในการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียที่ต้องการบำบัด

2.4.1.4 ปริมาณของสารตกตะกอน (Precipitant dosage) มีผลต่อความสามารถในการตกตะกอน เพราะในการละลายของสารประกอบใดๆ ถ้ามีผลคูณความเข้มข้นของไอออน (Ion product) น้อยกว่าค่า K_{sp} จะเกิดการตกตะกอน ดังนั้น ปริมาณของสารตกตะกอนที่ใช้จะต้องมากพอ โดยไม่มากเกินไป เพราะจะทำให้เกิดการละลายกลับ (Resolubilization) ได้

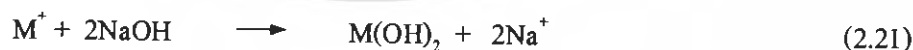
2.4.1.5 อุณหภูมิ (Temperature) ผลของอุณหภูมิขึ้นกับปฏิกิริยาตกตะกอนทางเคมีว่าเป็นปฏิกิริยาคูดหรือคายความร้อน ถ้าเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนจะตกตะกอนทางเคมีได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่ถ้าเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน จะตกตะกอนเคมีได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ

2.4.1.6 การกวน (Mixing) เพื่อให้เกิดความปั่นป่วนในน้ำต้องมีความเร็วที่เหมาะสม การกวนเร็ว (Rapid mixing) ช่วยให้สารเคมีกระจายได้ทั่วถึง ส่วนการกวนช้า (Slow mixing) จะทำให้เกิดปฏิกิริยากับสารหรือโลหะที่ต้องการตกตะกอนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และทำให้มวลรวมตัวเป็นตะกอนได้ดี มีความเสถียรสูงและสามารถแยกออกจากน้ำได้ง่าย

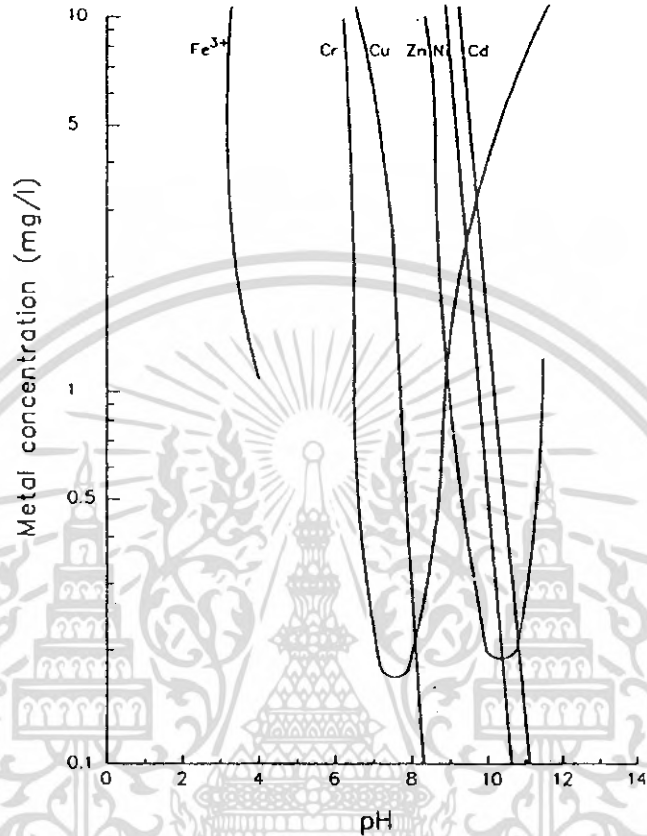
2.4.1.7 สารที่เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complexing agents) เช่น โซยาไนต์ แอมโมเนีย และสารคีเลตติงเอเจนต์ (Chelating agent) เช่น EDTA สามารถเกิด ไอออนเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้และเสถียรกับโลหะหลายชนิดในน้ำเสีย ซึ่งไอออนเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะขัดขวางการตกตะกอนทางเคมีของโลหะ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักลดลง

2.4.2 การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide precipitation)

ในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ โลหะหนักจะถูกกำจัดออกโดยการเติมสารที่เป็นด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือปูนขาว เพื่อปรับพีเอชของน้ำเสียให้ถึงจุดที่โลหะหนักมีความสามารถในการละลายต่ำสุด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังปฏิกิริยา (2.21)



โดยทั่วไปความสามารถในการละลายโลหะไฮดรอกไซด์ในสารละลายจะลดลงเมื่อปรับค่าพีเอชเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง (Isoelectric point) หลังจากนั้นโลหะจะกลับมามีความสามารถในการละลายได้อีกเพราะกลายเป็นสารที่มีสมบัติเป็นได้ทั้งกรดและเบส (Amphoteric) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสามารถในการละลายของโลหะหนักที่พีเอชต่างๆ [9]

ในการตกตะกอนไฮดรอกไซด์เกือบทุกกรณี ค่าพีเอชจะอยู่ระหว่าง 9 – 11 อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ ความสามารถในการละลายได้อาจไม่เป็นไปตามทฤษฎีเพราะอิทธิพลของ Complexing agents, อุณหภูมิ และค่าความแรงของไอออน (Ionic strength) ของโลหะที่จะตกตะกอน

เทคนิคนี้จะเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ค่าใช้จ่ายต่ำ และควบคุมได้ง่ายด้วยค่าพีเอช

72195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบของการตกตะกอนแบบต่างๆ

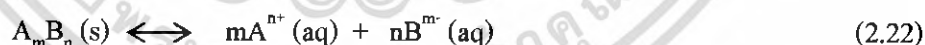
การตกตะกอน	ไฮดรอกไซด์	ซัลไฟด์
ข้อดี	1. ราคาถูก	1. โลหะซัลไฟด์มีค่าการละลายน้ำต่ำ 2. ตกตะกอน Cr^{6+} ได้เลย
ข้อเสีย	1. มีสมบัติกึ่งโลหะไฮดรอกไซด์ละลายกลับได้เมื่อพีเอชเปลี่ยน 2. เกิดตะกอนมาก	1. เกิดก๊าซ H_2S 2. มีไอออนของซัลไฟด์เกิดขึ้น 3. โลหะซัลไฟด์อยู่ในรูปคอลลอยด์

2.5 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการละลาย [10]

การคงสภาพของโลหะในตะกอน พิจารณาได้จากการละลายของตะกอนภายหลังการตกตะกอนแล้ว สามารถละลายได้ใหม่จำนวนมาก ถือว่าตะกอนของโลหะนั้นมีความเสถียรภาพน้อย

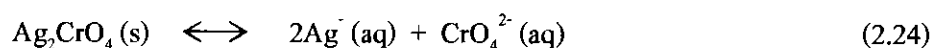
การละลายของตะกอนนั้น ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของการละลาย (K_{sp}) ของตะกอน ค่านี้เป็นค่าผลคูณของความเข้มข้นในหน่วยโมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตรของไอออนทั้งสอง ที่เป็นองค์ประกอบของตะกอน การที่สารละลายอยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยตะกอนนั้นๆ ค่านี้จะแปรผันไปตามอุณหภูมิ

สำหรับตะกอนที่มีสูตร A_mB_n เมื่อละลายเป็นสารละลายอิ่มตัว สมดุลที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลายและของแข็งจะเป็นดังสมการ (2.22) และ (2.23)



$$K_{sp} = [A^{n+}]^m[B^{m-}]^n \quad (2.23)$$

$[A^{n+}]$, $[B^{m-}]$ เป็นความเข้มข้นที่อิ่มตัวของ A^{n+} และ B^{m-} ในสารละลายตามลำดับ เช่น ในกรณีของ Ag_2CrO_4 ละลายในน้ำจนเป็นสารละลายอิ่มตัวจะได้



$$K_{sp} = [\text{Ag}^+]^2[\text{CrO}_4^{2-}] \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิคงที่ ถ้าสารละลายอยู่ในสภาพอิ่มตัว คือในสารละลายมีไอออนทั้งสองนี้ละลายอยู่ และอยู่ในสมดุลกับตะกอนของ $[Ag]^{+}[CrO_4^{2-}]$ โดยไม่คำนึงว่าในสารละลายนั้นจะมีไอออนอื่นๆ ละลายร่วมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ตามจะได้

$$[Ag]^{+}[CrO_4^{2-}] = K_{sp} = \text{ค่าคงที่เสมอ} \quad (2.26)$$

2.5.1 การละลายตะกอนในน้ำบริสุทธิ์

การละลายของสารในตัวทำละลาย จะแสดงในรูปของความเข้มข้นของสารนั้นในสารละลายซึ่งเกิดจากสารนั้นละลายในตัวทำละลายดังกล่าวจนอิ่มตัว การละลายของสารถ้าไม่ระบุดังกล่าวจะเป็นสารใดจะหมายถึงตัวทำละลายเป็นน้ำบริสุทธิ์ การละลายของสารจะแสดงในหน่วยของจำนวนโมลของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร

การแบ่งชนิดของสาร ไอออนิกตามเกณฑ์การละลายในน้ำเป็น 3 แบบ คือ

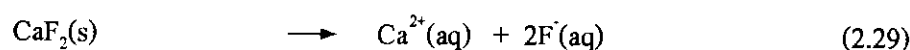
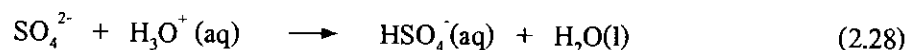
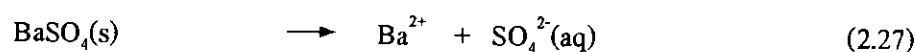
แบบที่ 1 เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี (Soluble) ความเข้มข้นของสารเหล่านี้ในสารละลายอิ่มตัวมีค่าสูง K_{sp} มีค่าสูง เช่น สารไอออนิกของโลหะหมู่ 1 ในตารางธาตุ เช่น NaCl และ K_2SO_4 เป็นต้น

แบบที่ 2 เป็นสารไอออนิกที่ละลายได้เล็กน้อย (Slightly soluble) เช่น $CaSO_4$, Ag_2SO_4 และ $PbCl_2$ เป็นต้น

แบบที่ 3 เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble) แต่ในความเป็นจริงสารแบบนี้ยังมีส่วนที่ละลายน้ำได้ แต่น้อยมาก สารแบบที่ 2 และ 3 จะเป็นสารที่เรียกว่าตะกอน ซึ่งมีค่า K_{sp} ค่อนข้างต่ำ [ภาคผนวก ข]

2.5.2 ผลของพีเอชต่อการละลายตะกอน

การละลายของตะกอนส่วนใหญ่จะถูกควบคุม โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H_3O^+) ในสารละลาย เนื่องจากแคทไอออน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของตะกอนจะแสดงความเป็นกรดอ่อนและเบสอ่อนตามลำดับในสารละลาย ตัวอย่างเช่น ตะกอนของ $BaSO_4$ และ CaF_2 จะละลายในสารละลายที่เป็นกรดได้ดีกว่าน้ำ เนื่องจากแคทไอออนของตะกอนทั้งสองนี้เมื่อละลายอยู่ในสารละลายจะแสดงสมบัติเป็นเบส ดังปฏิกิริยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ $2F^-(aq) + 2H_3O^+(aq) \rightarrow 2HF(aq) + 2H_2O(l)$ ให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.30) การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 สารเคมี

1. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า AC 220 โวลต์ เป็น DC 0-12 โวลต์
2. เครื่องอะตอมมิกแอมซอร์พชั่นสเปกโทรมิเตอร์ รุ่น GBC Avanta Σ
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
5. นาฬิกาจับเวลา
6. บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร
7. กระบอกตวง ขนาด 25 และ 500 มิลลิลิตร
8. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 10 และ 500 มิลลิลิตร
9. ขวดรูปหม้อ ขนาด 250 มิลลิลิตร
10. บีเปต ขนาด 1 และ 25 มิลลิลิตร
11. แท่งแก้วคน
12. หลอดหยด
13. ขาดัง
15. ตัวจับชิ้นงาน
16. ตัวต้านทาน ขนาด 5 โอห์ม
17. แผ่นสแตนเลส ขนาด 1.5 ตารางนิ้ว
18. ถูมือยาง
19. ขวดน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

การลอกผิววัสดุชุบโลหะแบ่งเป็น 2 วิธี คือ การลอกผิววัสดุชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า และการลอกผิววัสดุชุบโลหะแบบใช้ไฟฟ้า ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนการลอกผิววัสดุชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

การลอกผิวชุบด้วยวิธีออกซิไดซ์ด้วยสารละลายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ

- ความเข้มข้นของสารละลายออกซิไดซ์จะลดลงเรื่อยๆ เพราะโลหะไอออนที่ละลายออกมาจะทำปฏิกิริยากับแอนไอออน (Anion) ในสารละลาย ทำให้สารละลายเจือจางลงตามเวลาที่ผ่านมา

- อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับพื้นที่ของชิ้นงาน ถ้าพื้นที่ใหญ่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มมากขึ้น

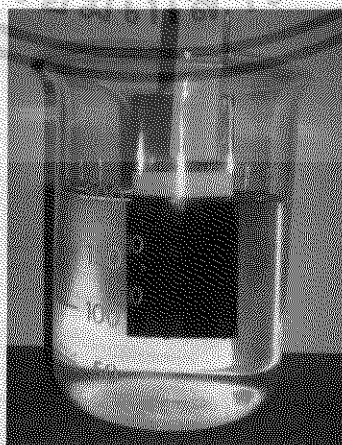
- การเกิดก๊าซเกาะที่ผิวชิ้นงาน ก่อให้เกิดความต้านทานการละลาย

ขั้นตอนการลอกผิวแบบไม่ใช้ไฟฟ้ามุ่งดังนี้

1. เตรียมชิ้นงานโดยกำหนดพื้นที่ในการจุ่มสารละลายขนาด 1.5 ตารางนิ้ว โดยกว้าง 1 นิ้ว ยาว 1.5 นิ้ว และหนา 3 มิลลิเมตรและทำความสะอาดชิ้นงานก่อนการทดลองโดยล้างคราบสิ่งสกปรกออก เพื่อลดการปนเปื้อนในสารละลาย ชิ้นงานที่นำมาทดลอง คือ โลหะนิกเกิล

2. เตรียมสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ เพื่อใช้เป็นสารละลายในการลอกผิวโลหะนิกเกิล

3. จัดชุดการทดลอง โดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริกปริมาตร 150 มิลลิลิตร บรรจุในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วยำชิ้นงานที่เตรียมไว้จุ่มลงในสารละลาย ใช้ตัวจับชิ้นงานยึดชิ้นงานกับขาตั้งในระดับที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชุดการทดลองแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

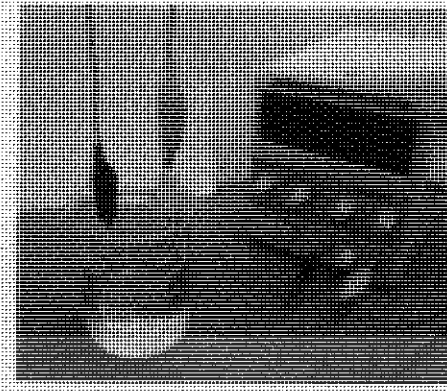
4. ทดลองโดยจุ่มชิ้นงานลงในสารละลายเป็นเวลา 30 วินาที 1, 2, 5 และ 10 นาที
5. สังเกตชิ้นงานและบันทึกผลทางกายภาพ
6. จัดเก็บสารละลายที่ได้จากการลอกผิวที่เวลาต่างๆ นำไปวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์
7. นำสารละลายที่ได้จากการลอกผิวโลหะแบบจุ่มชิ้นงานไปตกตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
8. นำสารละลายที่แยกตกตะกอนโลหะออกแล้ว ไปวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

3.2.2 ขั้นตอนการลอกผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

การทดลองในขั้นตอนนี้มีการทดลองลอกผิวโลหะนิกเกิล ชิ้นงานชุบโครเมียม และชิ้นงานชุบนิกเกิล ด้วยไฟฟ้า

ขั้นตอนการลอกผิวโลหะนิกเกิลด้วยไฟฟ้า

1. เตรียมแผ่นโลหะนิกเกิล โดยกำหนดพื้นที่ในการทดลองขนาด 1.5 ตารางนิ้ว โดยกว้าง 1 นิ้ว ยาว 1.5 นิ้ว และหนา 3 มิลลิเมตรเตรียมขั้วไฟฟ้าเฉื่อยซึ่งใช้สแตนเลส และมีตัวต้านทานติดกับแผ่นสแตนเลสเพื่อปรับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ และทำความสะอาดชิ้นงานก่อนการทดลองโดยล้างคราบสิ่งสกปรกออก เพื่อลดการปนเปื้อนในสารละลาย
2. เตรียมสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ เพื่อใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในการละลายโลหะนิกเกิล
3. จัดชุดการทดลองโดยนำแผ่นโลหะนิกเกิลต่อกับขั้วบวกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและแผ่นสแตนเลสต่อกับขั้วลบ ดังรูปที่ 3.2
4. นำแผ่นโลหะและแผ่นสแตนเลสจุ่มในสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปโดยใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 6 โวลต์ และตัวต้านทานขนาด 5 โอห์ม ทดลองลอกผิวโลหะนิกเกิลเป็นเวลา 30 วินาที 1, 2, 5 และ 10 นาที เก็บสารตัวอย่างที่ได้เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณของนิกเกิลที่ละลายออกมา



รูปที่ 3.2 จุฬารทศของเครื่องวิเคราะห์ไฟฟ้า

5. มีองค์ประกอบของระบบที่ประกอบด้วย

6. มีสารละลายที่เก็บในข้อ 4 ไปวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลที่ละลายในสาร

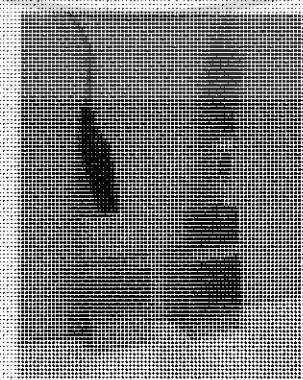
ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายในสารละลาย

7. นำสารละลายที่ได้จากการสกัดโลหะหนักไฟฟ้า ไปตรวจสอบด้วยสารละลาย

8. นำสารละลายที่เตรียมโดยละลายด้วย ไปวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลที่ละลาย

ขั้นตอนการสกัดด้วยวิธีจุ่มอิเล็กโทรด โครเมียมด้วยไฟฟ้า

1. เตรียมแผ่นขั้วจุ่มโครเมียมและนิกเกิล โดยกำหนดพื้นที่ในการทดลอง ขนาด 1.5 ตารางนิ้ว โครม 1 นิ้ว และ 1.5 นิ้ว และหนา 3 มิลลิเมตร เคาะขั้วไฟฟ้าที่ขั้วจุ่ม ใช้สแตนเลส และมีลิ้นจุ่มที่ติดกับแผ่นสแตนเลสที่ขั้วจุ่มปริมาณกรดไฮโดรฟลูออริก 1.3 กรัม ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นก่อนการทดลอง โดยพิจารณาถึงความหนาของขั้ว เพื่อผลการเป็นที่ยอมรับ



รูปที่ 3.3 ขั้วจุ่มโครเมียมและสแตนเลส

2. เตรียมสารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ เพื่อใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมและนิกเกิล
3. จัดชุดการทดลอง โดยนำชิ้นงานต่อกับขั้วบวกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และแผ่นสแตนเลสต่อกับขั้วลบ ดังรูปที่ 3.2
4. นำชิ้นงานและแผ่นสแตนเลสจุ่มในสารละลายกรดซัลฟูริกปริมาตร 150 มิลลิลิตร แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปโดยใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 6 โวลต์ และตัวต้านทานขนาด 5 โอห์ม โดยทดลองลอกผิวชิ้นงานที่เวลาต่างๆ ในบันทึกผลการทดลอง [ภาคผนวก ค]
5. สังเกตชิ้นงาน และบันทึกผลทางกายภาพ
6. จัดเก็บสารละลายที่ได้จากการทดลอง แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมและนิกเกิลเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์
7. นำสารละลายที่ได้จากการลอกผิวโลหะด้วยไฟฟ้าไปตกตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
8. นำสารละลายที่แยกตะกอนโลหะออกแล้วไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การลอกผิวโลหะนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า

จากการลอกผิวโลหะนิกเกิล ขนาด 1.5 ตารางนิ้ว ด้วยวิธีไม่ใช้ไฟฟ้า โดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ และนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลที่ละลายออกจากชิ้นงานด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ พบว่าปริมาณนิกเกิลที่ได้จากการทดลองที่เวลาต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งปริมาณนิกเกิลที่ได้มีค่าน้อยมาก เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ต่ำ เมื่อทำการลอกผิวโลหะนิกเกิลไปเรื่อยๆจะทำให้สารละลายเจือจางลงตามเวลาเพราะโลหะไอออนทำปฏิกิริยากับแอนไอออนในสารละลาย

4.2 การลอกผิวโลหะนิกเกิลแบบใช้ไฟฟ้า

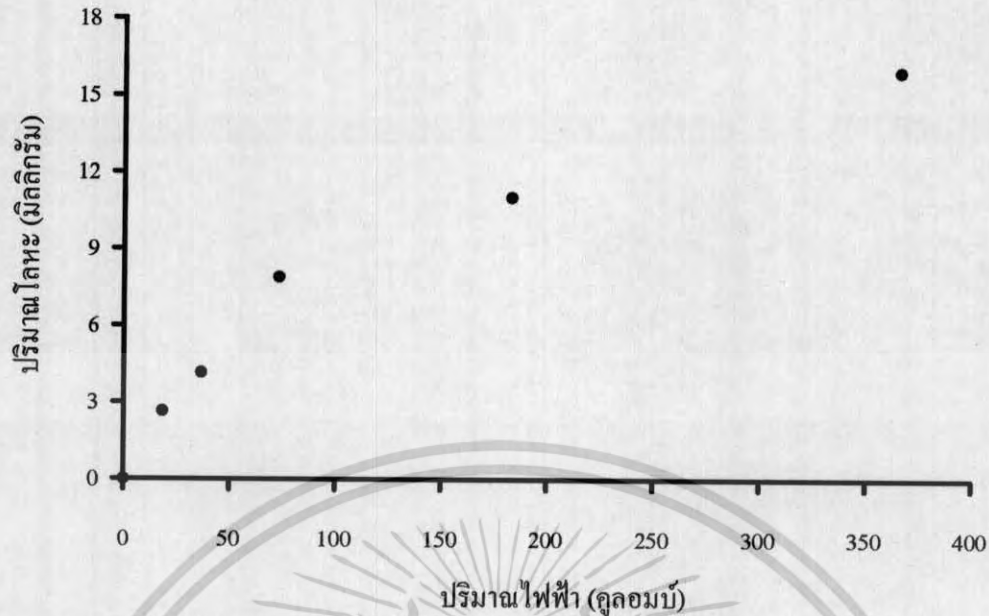
จากการทดลองลอกผิวโลหะนิกเกิลขนาด 1.5 ตารางนิ้ว ด้วยวิธีใช้ไฟฟ้า โดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ แรงดันไฟฟ้าขนาด 6 โวลต์และตัวต้านทานขนาด 5 โอห์ม เมื่อลอกผิวโลหะนิกเกิลที่เวลาต่างๆ และนำสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลที่ละลายออกจากชิ้นงานด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ปริมาณนิกเกิลที่ได้จากการลอกผิวด้วยไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าปริมาณนิกเกิลที่ได้จากการลอกผิวด้วยไฟฟ้าได้ปริมาณนิกเกิลมากกว่าการลอกผิวแบบไม่ใช้ไฟฟ้ามาก เมื่อใช้เวลาในการลอกผิวเท่ากัน

ตารางที่ 4.1 ปริมาณนิกเกิลจากการลอกผิวที่เวลาต่างๆ

เวลา (วินาที)	ปริมาณนิกเกิล (มิลลิกรัม)	
	การลอกผิวแบบไม่ใช้ไฟฟ้า	การลอกผิวแบบใช้ไฟฟ้า
30	0.000	2.649
60	0.000	4.159
120	0.000	7.888
300	0.037	11.031
600	0.062	15.970

เมื่อนำปริมาณนิกเกิลที่ได้จากการลอกผิวโลหะนิกเกิลแบบใช้ไฟฟ้ามาแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการลอกผิวโลหะ แสดงดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

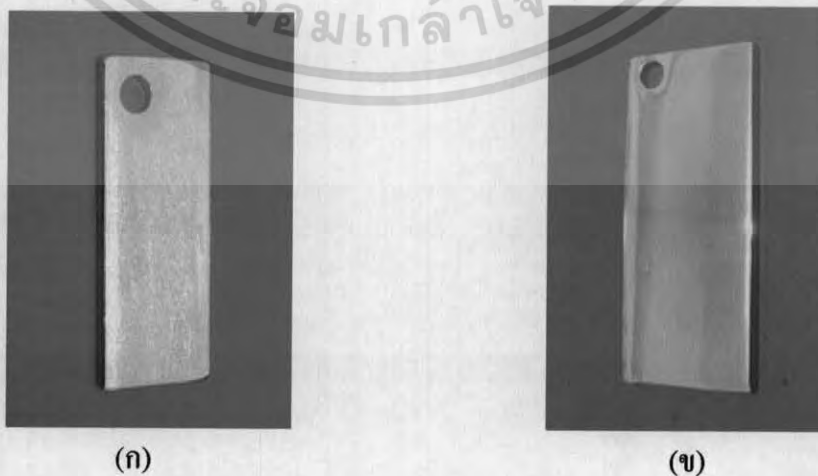


รูปที่ 4.1 ปริมาณนิกเกิลเกิดจากการหลอมผิว โลหะนิกเกิลที่ปริมาณไฟฟ้าต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 พบว่าปริมาณนิกเกิลที่ละลายอยู่ในสารละลายมีความสัมพันธ์กับปริมาณไฟฟ้า เมื่อปริมาณไฟฟ้าเพิ่มขึ้นค่าการละลายของนิกเกิลก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่ 1 ของฟาราเดย์ ที่กล่าวว่า ปริมาณสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้น

4.3 การหลอมผิวชิ้นงานชุบนิกเกิลและโครเมียมด้วยไฟฟ้า

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำชิ้นงานชุบนิกเกิลและโครเมียม ขนาด 1.5 ตารางนิ้ว มาหลอมผิวด้วยไฟฟ้า โดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ แรงดันไฟฟ้าขนาด 6 โวลต์ และตัวต้านทานขนาด 5 โอห์ม ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานก่อนหลอมผิว แสดงดังรูปที่ 4.2

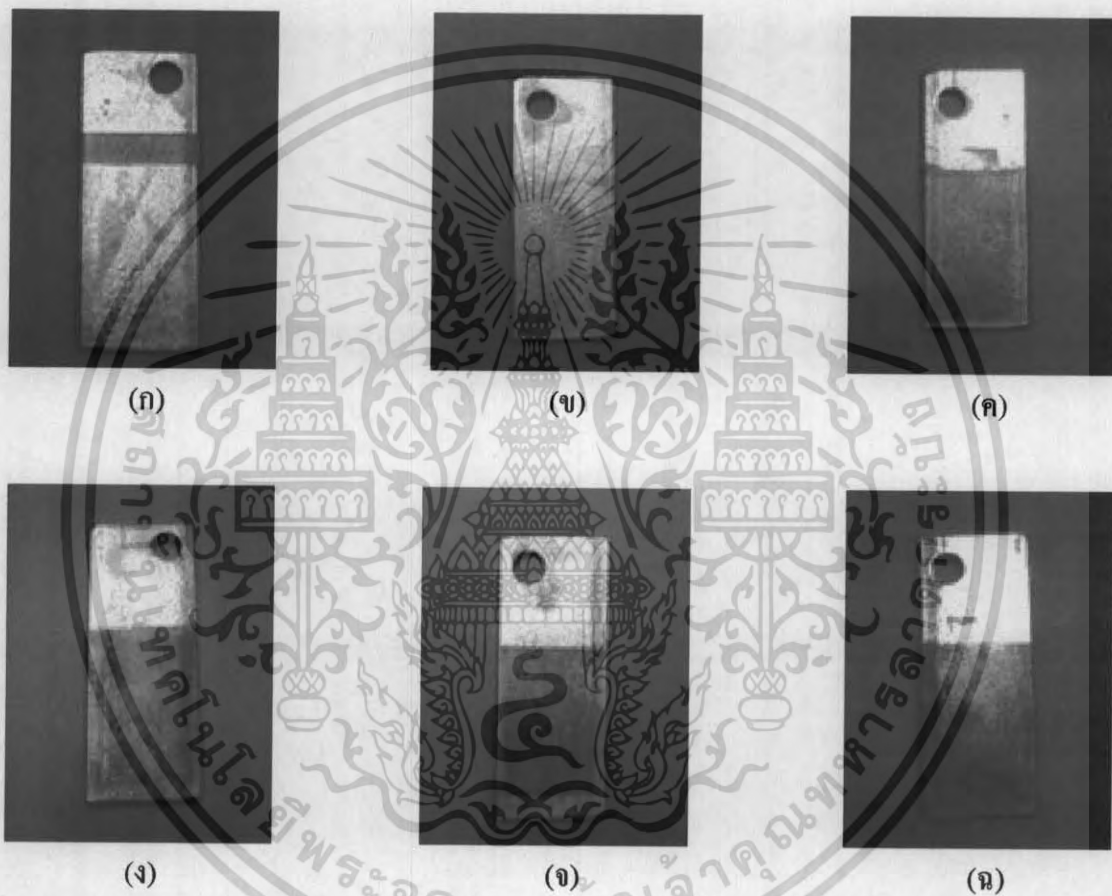


รูปที่ 4.2 (ก) ชิ้นงานชุบนิกเกิลก่อนหลอมผิว (ข) ชิ้นงานชุบโครเมียมก่อนหลอมผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสังเกตพบว่าชิ้นงานชุบนิเกิลเกิดผิวมีสีเหลือง ส่วนชิ้นงานชุบโครเมียมมีผิวสีเงิน ชิ้นงานทั้งสองจะมีความมันวาว เมื่อสัมผัสผิวจะเนียนเรียบ และลื่น ยังพบว่าที่ผิวชิ้นงานมีคราบไขมันและสิ่งสกปรกติดอยู่ ดังนั้นควรทำความสะอาดชิ้นงานก่อนทำการลอกผิวชิ้นงาน

เมื่อนำชิ้นงานชุบนิเกิลมาลอกผิวด้วยไฟฟ้า ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเมื่อถูกลอกผิวที่เวลาต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.3

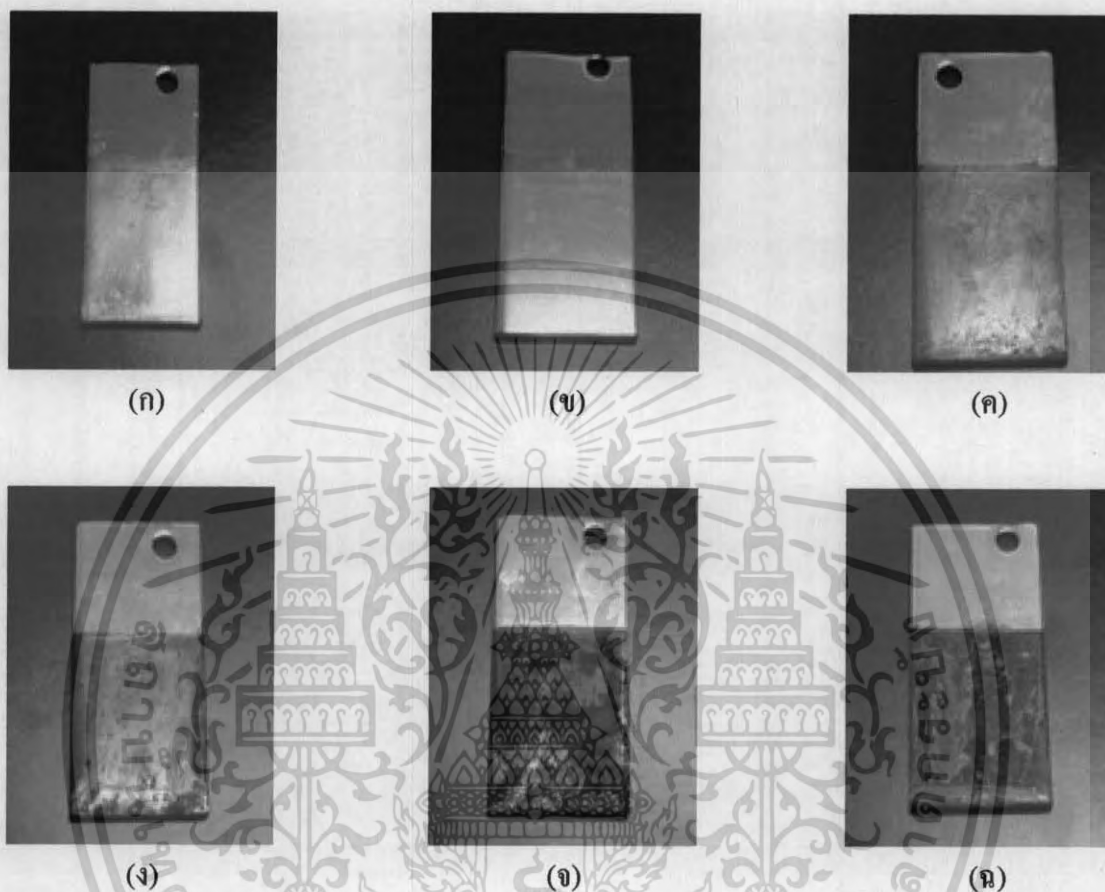


รูปที่ 4.3 ลักษณะชิ้นงานชุบนิเกิลที่เกิดผ่านการลอกผิวด้วยไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ

- (ก) ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการลอกผิว 1 นาที
- (ข) ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการลอกผิว 3 นาที
- (ค) ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการลอกผิว 4 นาที
- (ง) ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการลอกผิว 5 นาที
- (จ) ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการลอกผิว 10 นาที
- (ฉ) ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการลอกผิว 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำชิ้นงานชุบโครเมียมมาลอกผิวด้วยไฟฟ้า ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเมื่อถูกลอกผิวที่เวลาต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.4



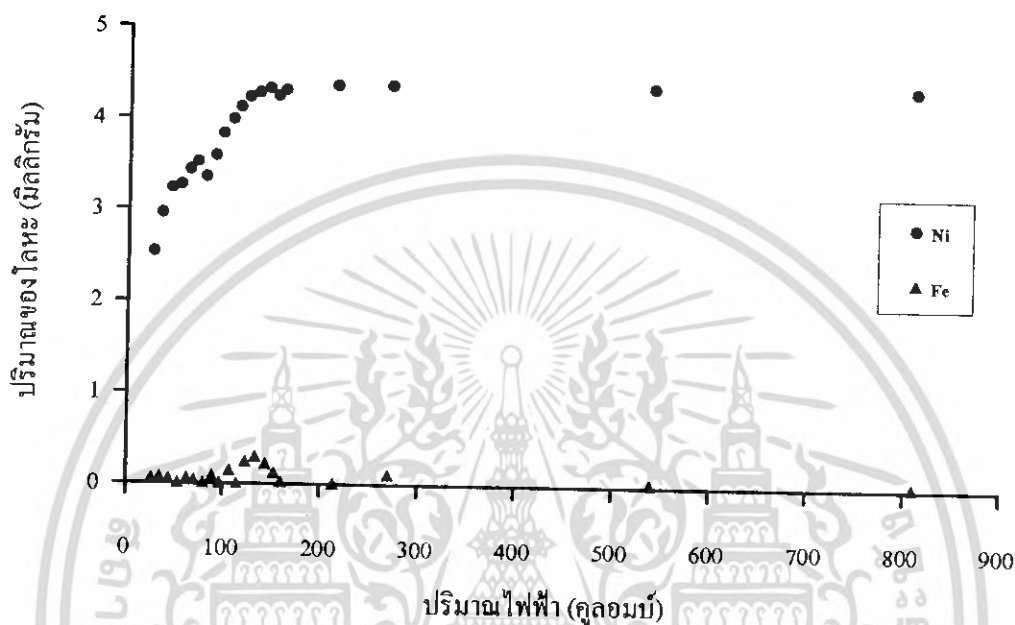
รูปที่ 4.4 ลักษณะชิ้นงานชุบโครเมียมที่ผ่านการลอกผิวด้วยไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ

- (ก) ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการลอกผิว 1 นาที
- (ข) ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการลอกผิว 4 นาที
- (ค) ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการลอกผิว 6 นาที
- (ง) ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการลอกผิว 8 นาที
- (จ) ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการลอกผิว 10 นาที
- (ฉ) ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการลอกผิว 15 นาที

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 เมื่อเวลาผ่านไปชิ้นงานชุบนิกเกิลและโครเมียมซึ่งถูกลอกผิวด้วยไฟฟ้า จะเปลี่ยนไป โดยสังเกตได้จากสีผิวของชิ้นงานในช่วง 1 นาที พบว่าชิ้นงานชุบนิกเกิลเริ่มมีสีเข้มขึ้น ส่วนชิ้นงานชุบโครเมียมจะเห็นชั้นของนิกเกิลดำใน ซึ่งใช้รองพื้นก่อนการชุบโครเมียม และเมื่อ

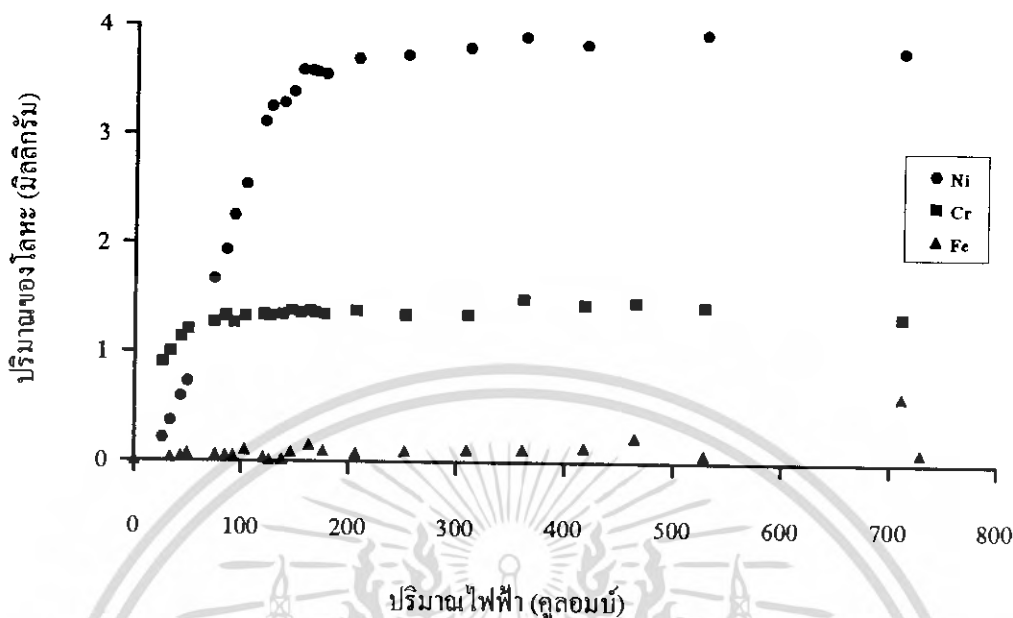
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เวลานานในการลอกผิวมากขึ้น จะเริ่มสังเกตเห็นเหล็กซึ่งเป็นชิ้นงานเดิม ดังรูปที่ 4.3 (ค) และ 4.4 (ค) เมื่อชั้นของโครเมียมและนิกเกิลถูกลอกออกหมด ชิ้นงานจะมีสีค่าของเหล็ก



รูปที่ 4.5 ปริมาณนิกเกิลจากการลอกผิวชิ้นงานชุบนิกเกิลที่ปริมาณไฟฟ้าต่างๆ

จากชิ้นงานชุบนิกเกิล เมื่อทำการลอกผิวด้วยไฟฟ้า ในสารละลายจะมีปริมาณของ นิกเกิลและเหล็กละลายอยู่ เมื่อนำปริมาณของโลหะทั้งสองมาแสดงในรูปความสัมพันธ์กับปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่าปริมาณของนิกเกิลขึ้นกับปริมาณ ไฟฟ้าในช่วงปริมาณ ไฟฟ้าตั้งแต่ 0-120 คูลอมบ์ เมื่อปริมาณไฟฟ้ามากกว่า 120 คูลอมบ์ ปริมาณของนิกเกิลไม่ขึ้นกับปริมาณ ไฟฟ้า เนื่องจากไม่มีโลหะนิกเกิลเหลืออยู่ในชิ้นงาน



รูปที่ 4.6 ปริมาณโลหะจากการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมที่ปริมาณไฟฟ้าต่างๆ

จากชิ้นงานชุบโครเมียม เมื่อทำการลอกผิวด้วยไฟฟ้า ในสารละลายจะมีปริมาณของนิกเกิลละลายอยู่ด้วย เนื่องจากชิ้นงานที่ใช้ทดลอง มีการชุบรองพื้นด้วยนิกเกิลก่อน จึงชุบโครเมียมสำหรับการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียม เมื่อนำปริมาณของโลหะมาแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่าปริมาณของโครเมียมมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณไฟฟ้าในช่วงปริมาณไฟฟ้าตั้งแต่ 0-100 คูลอมบ์ เมื่อปริมาณไฟฟ้ามากกว่า 100 คูลอมบ์ พบว่าปริมาณของโครเมียมไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณไฟฟ้า เนื่องจากไม่มีโครเมียมเหลืออยู่ในชิ้นงาน ส่วนปริมาณของนิกเกิลจะมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณไฟฟ้าในช่วงปริมาณไฟฟ้าตั้งแต่ 0-150 คูลอมบ์ เมื่อปริมาณไฟฟ้ามากกว่า 150 คูลอมบ์ พบว่าไม่มีนิกเกิลเหลืออยู่ในชิ้นงาน ดังนั้นหากต้องการลอกผิวโลหะทั้งสองต้องใช้ปริมาณไฟฟ้า 150 คูลอมบ์

จากการทดลองลอกผิวด้วยไฟฟ้าพบว่าที่เวลา 30 วินาที เริ่มมีปริมาณนิกเกิลละลายออกจากชิ้นงาน เนื่องจากในการลอกผิวชิ้นงานนั้นเกิดไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน จึงทำให้นิกเกิลที่เคลือบรองพื้นก่อนชุบโครเมียมละลายออกมาด้วย โดยที่โครเมียมยังละลายไม่หมด

เมื่อพิจารณาปริมาณของนิกเกิลในชิ้นงานทั้งสอง ปริมาณนิกเกิลในชิ้นงานที่ชุบโครเมียมมีค่าเท่ากับ 4.015 มิลลิกรัม ซึ่งพบว่าว่ามีค่าน้อยกว่าในชิ้นงานชุบนิกเกิลที่มีค่าปริมาณนิกเกิลเท่ากับ 4.372 มิลลิกรัม เนื่องจากในชิ้นงานที่ชุบโครเมียมมีการชุบนิกเกิลเพื่อรองพื้นก่อนการชุบโครเมียมเท่านั้น

4.4 การตกตะกอนนิกเกิลและโครเมียมจากสารละลายที่ได้จากการลอกผิวชิ้นงาน

จากกระบวนการลอกผิววัสดุชุบโลหะนี้ทำให้เกิดของเสียขึ้น จึงต้องมีการบำบัดของเสีย ซึ่งได้ทำการตกตะกอนเพื่อทำให้โลหะที่ละลายอยู่ในสารละลายเกิดการตกตะกอนแยกออกจากสารละลาย และนำตะกอนไปกำจัดต่อไป จากการทดลองพบว่า การตกตะกอนของโลหะที่ได้จากการลอกผิว สามารถตกตะกอนได้ดีเมื่อค่าพีเอชอยู่ในช่วง 10-11

การตกตะกอนโลหะที่ได้จากกระบวนการลอกผิวชิ้นงานชุบนิกเกิล ได้ตะกอนสีเขียวอมเทา มีลักษณะคล้ายวุ้น ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การตกตะกอนโลหะจากการลอกผิวชิ้นงานชุบนิกเกิลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

การตกตะกอนโลหะที่ได้จากกระบวนการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียม ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีลักษณะคล้ายวุ้น ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การตกตะกอนโลหะจากการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อตกตะกอนสารละลายที่ได้จากการลอกผิวโลหะ และนำสารละลายที่แยกตะกอนโลหะออกไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะในสารละลายพบว่าความเข้มข้นของโลหะ แสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 ปริมาณนิกเกิลในสารละลายที่ลอกผิวโลหะนิกเกิลและชิ้นงานชุบนิกเกิลที่ผ่านการตกตะกอน

เวลา (วินาที)	ความเข้มข้นของนิกเกิล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	โลหะนิกเกิล	ชิ้นงานชุบนิกเกิล
30	0.000	0.000
60	0.000	0.000
120	0.000	0.000
300	0.273	0.000
600	0.067	0.113
900	-	0.270

ตารางที่ 4.3 ปริมาณโลหะในสารละลายที่ลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมและผ่านการตกตะกอน

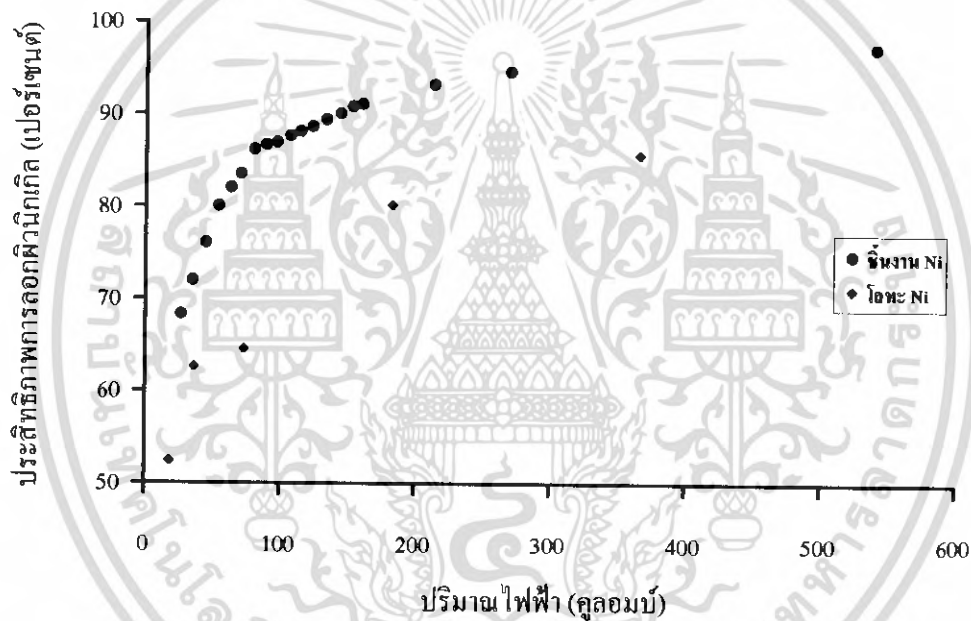
เวลา (วินาที)	ความเข้มข้นของโครเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของนิกเกิล (มิลลิกรัมต่อลิตร)
30	0.000	0.000
60	0.000	0.000
120	0.000	0.000
300	0.000	0.210
600	0.061	0.154
900	0.012	0.391

พบว่าปริมาณของนิกเกิลและโครเมียมในสารละลายที่ผ่านการตกตะกอนมีความเข้มข้นต่ำกว่ามาตรฐานที่กฎหมายได้กำหนด คือ 0.25 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ [ภาคผนวก ง] ดังนั้นการบำบัดด้วยการตกตะกอนนี้ ได้ผลที่น่าพอใจ และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

4.5 ประสิทธิภาพการลอกผิวโลหะด้วยไฟฟ้า

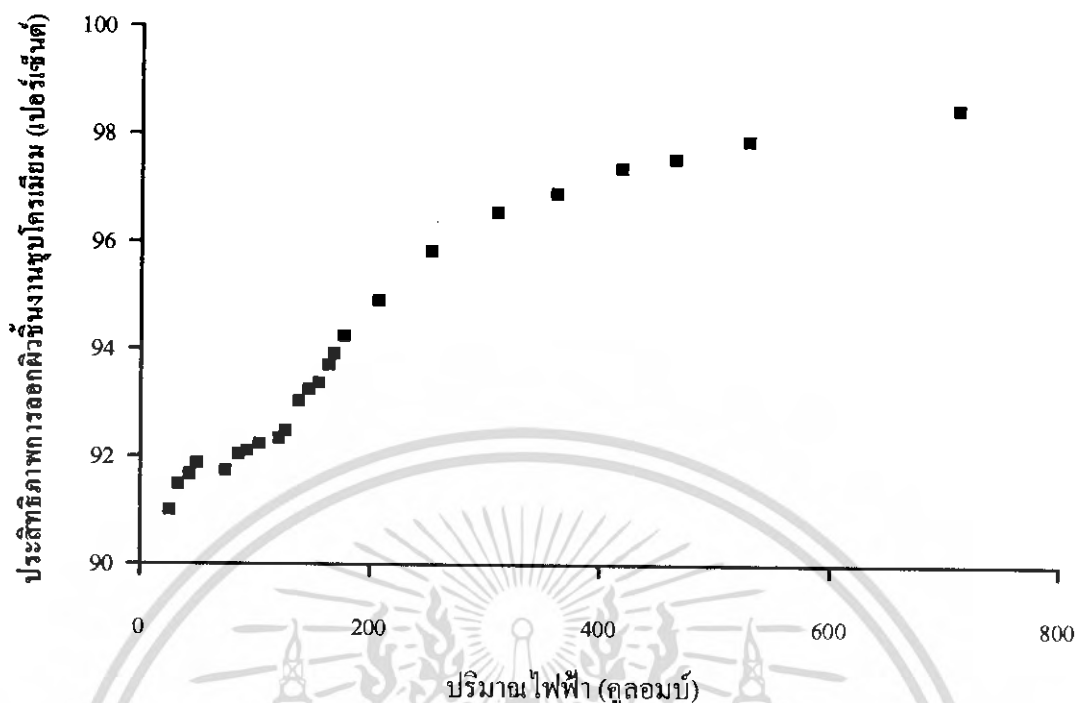
จากกฎฟาราเดย์ที่ว่า ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ หมายถึง ปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านลงในสารละลายในเซลล์ อิเล็กโทรไลต์เพื่อให้อิเล็กตรอน 1 โมล ทำปฏิกิริยารีดอกซ์ หรือทำให้เกิดโลหะ 1 กรัม สมมูล จึงสามารถหาหน้าหนักกรัมสมมูลของโลหะที่เกิดขึ้นได้

ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ คือ 96500 คูลอมป์ จึงสามารถหาประสิทธิภาพของการลอกผิวโลหะได้ [ภาคผนวก จ] ประสิทธิภาพการลอกผิวโลหะ โดยทำการลอกผิวชิ้นงานขนาด 1.5 ตารางนิ้ว ใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 6 โวลต์ ตัวต้านทานขนาด 5 โอห์ม และสารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการลอกผิวนิกเกิลที่ปริมาณไฟฟ้าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

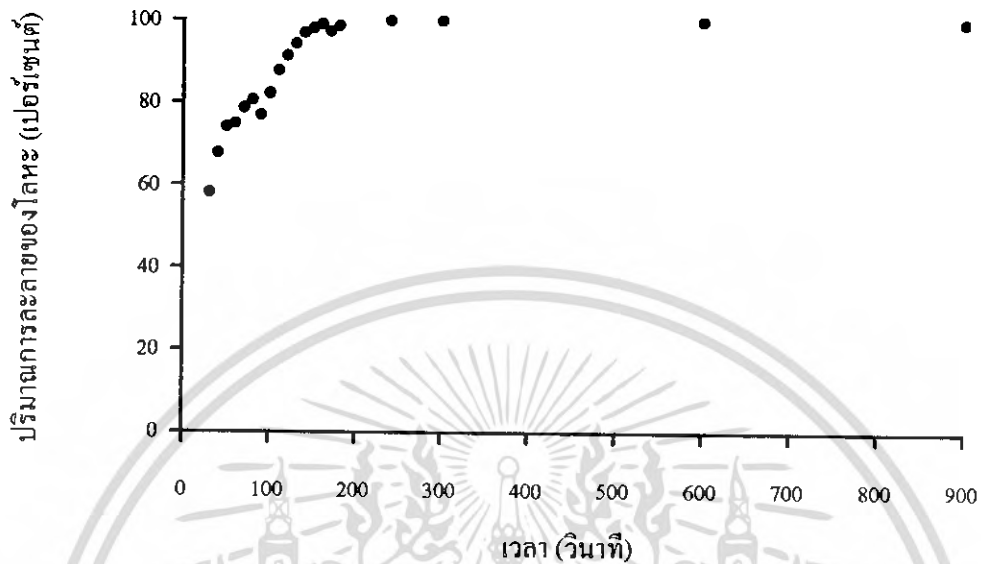


รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการลอมคิวซิงงานชุบโครเมียมที่ปริมาณไฟฟ้าต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 พบว่าประสิทธิภาพในการลอมคิว โลหะนิกเกิลมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ต่างจากประสิทธิภาพในการลอมคิวซิงงานชุบนิกเกิล ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นและคงที่เมื่อในชิ้นงานนิกเกิลละลายหมด และจากรูปที่ 4.10 พบว่าประสิทธิภาพในการลอมคิว โลหะในชิ้นงานชุบโครเมียมมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และคงที่เมื่อโลหะไม่มีอยู่ในชิ้นงาน

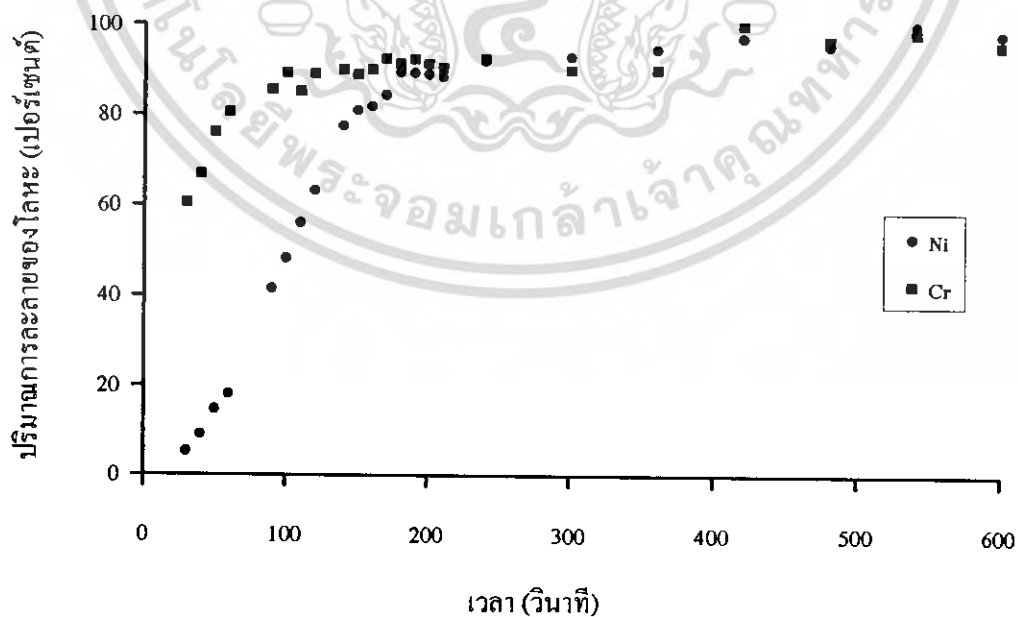
4.6 ปริมาณร้อยละการละลายของโลหะในชิ้นงาน

จากการลอมคิวชิ้นงานชุบนิกเกิลขนาด 1.5 ตารางนิ้ว โดยใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 6 โวลต์ ตัวต้านทานขนาด 5 โอห์ม และสารละลายกรดซัลฟริกความเข้มข้น 5 โมลาร์เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อโลหะถูกลอมออกหมด ปริมาณโลหะที่ได้ถือว่าเป็นปริมาณโลหะทั้งหมดที่มีในชิ้นงาน เมื่อนำมาพิจารณาปริมาณร้อยละการละลายของโลหะในชิ้นงาน [ภาคผนวก ฉ] พบว่าในการลอมคิวชิ้นงานชุบนิกเกิล การละลายของนิกเกิลมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ปริมาณร้อยละการละลายของนิกเกิลในการลอกผิวชิ้นงานชุบนิกเกิลที่เวลาต่างๆ

สำหรับการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมขนาด 1.5 ตารางนิ้ว โดยใช้สภาวะเดียวกับการลอกผิวชิ้นงานชุบนิกเกิล จะเห็นว่าโลหะที่เคลือบผิวชิ้นงานทั้งโครเมียมและนิกเกิลสามารถละลายได้มากขึ้นตามเวลา ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ปริมาณร้อยละการละลายของโครเมียมและนิกเกิลในการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองลอกผิววัสดุชุบโลหะ โดยวิธีการจุ่มนั้นจะเห็นได้ว่าค่าการละลายของโลหะมีน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีลอกผิวแบบใช้ไฟฟ้า แต่ค่าการละลายมีอัตราคงที่เช่นเดียวกันแต่จะใช้เวลาในการละลายมากกว่าการลอกผิวแบบใช้ไฟฟ้ามากในสารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากัน หากต้องการที่จะให้การละลายของโลหะที่เคลือบผิวเพิ่มขึ้นนั้นจำเป็นต้องเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย จึงกล่าวได้ว่าการลอกผิวโดยใช้วิธีนี้ไม่เหมาะสมในการลอกผิววัสดุ เนื่องจากจะสิ้นเปลืองสารตัวทำละลายค่อนข้างสูงและอาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดอันตรายในกระบวนการมากขึ้น

การลอกผิวโลหะนิกเกิลขนาด 1.5 ตารางนิ้ว ด้วยไฟฟ้าพบว่าปริมาณของนิกเกิลที่ละลายเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการลอกผิว

การลอกผิวชิ้นงานชุบนิกเกิลขนาด 1.5 ตารางนิ้ว ด้วยไฟฟ้า พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการลอกผิวชิ้นงาน คือ ปริมาณไฟฟ้า 120 คูลอมม์ เนื่องจากปริมาณนิกเกิลที่ถูกลอกออกเริ่มคงที่ แสดงว่าไม่มีนิกเกิลเหลืออยู่ในชิ้นงาน

การลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมขนาด 1.5 ตารางนิ้ว ด้วยไฟฟ้า พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการลอกผิวโครเมียม คือ ปริมาณไฟฟ้า 100 คูลอมม์ และปริมาณไฟฟ้า 150 คูลอมม์ สำหรับการลอกผิวทั้งโครเมียมและนิกเกิลออกจากชิ้นงาน

การตกตะกอนโลหะออกจากสารละลายเพื่อลดการปนเปื้อนก่อนทิ้งของเสียสู่สิ่งแวดล้อม เมื่อแยกโลหะออกจากสารละลายและนำสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะ พบว่าความเข้มข้นของโลหะมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กำหนด คือ นิกเกิลไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และโครเมียมไม่เกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงสามารถปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมได้ ผลที่ได้จากการตกตะกอนสารละลายมีปริมาณของนิกเกิลและโครเมียม อยู่ที่ประมาณ 0.1 และ 0.01 ตามลำดับ

เมื่อหาประสิทธิภาพของการลอกผิวโลหะ พบว่ามีประสิทธิภาพในการลอกผิวมีค่าเพิ่มขึ้น และคงที่เมื่อปริมาณโลหะบนชิ้นงานละลายออกหมด โดยประสิทธิภาพการลอกผิวชิ้นงานชุบนิกเกิลที่ปริมาณไฟฟ้า 120 คูลอมม์ มีประสิทธิภาพในการลอกนิกเกิล 88 เปอร์เซ็นต์ และในการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมที่ปริมาณไฟฟ้า 100 คูลอมม์ มีประสิทธิภาพในการลอกโครเมียม 92 เปอร์เซ็นต์ และที่ปริมาณไฟฟ้า 150 คูลอมม์ มีประสิทธิภาพในการลอกผิวโครเมียมและนิกเกิล 93 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาปริมาณร้อยละการละลายของโลหะในชิ้นงานจากปริมาณโลหะที่ถูกลอกออก พบว่าปริมาณร้อยละการละลายของโลหะมีค่าแปรตามเวลาที่ใช้ในการลอกผิว โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลอกผิวชิ้นงานชุบนิเกิลที่เวลา 130 วินาที มีปริมาณการละลายของนิเกิล คือ 94 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมที่เวลา 170 วินาที มีปริมาณการละลายของนิเกิล และโครเมียม คือ 84 และ 92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองลอกผิววัสดุชุบโลหะ สิ่งที่ต้องระวังคือ

1. เนื่องจากการลอกผิววัสดุชุบโลหะ ขณะที่เกิดปฏิกิริยาจะเกิดที่ผิวของชิ้นงานจึงต้องทำการคนสารละลายอย่างต่อเนื่องและหมุนชิ้นงานเพื่อให้การลอกผิวโลหะในชิ้นงานเกิดได้สม่ำเสมอ
2. ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองควรเป็นวัสดุที่ชุบโลหะในครั้งเดียวกัน เพราะจะทำให้ค่าของโลหะที่เคลือบมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] อนันต์ ทองมอญ. **ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า**. กรุงเทพมหานคร. 2531.
- [2] ประมินทร์ ขวัญอนน, อนุพงษ์ สอรัชชา. “การชุบเคลือบผิวพลาสติกด้วยโลหะ.” **ปริญญา นวัตกรรมวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**. 2547.
- [3] สาโรช พันธุ์แพ, อภิชาติ ธรรมวิทย์กุล. **การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ชวนพิมพ์. 2526.
- [4] ประเสริฐ ศรีไพโรจน์, อนินทรีย์เคมี. **ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม**. 2520.
- [5] ชูติมา ศรีวิบูลย์. **เคมีวิเคราะห์ 1. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง**. 2539.
- [6] เมย์ แซ่ลี, อรุณลักษณ์ จิรชนกัญญา. “การบำบัดน้ำเสียทองแดงและน้ำเสียนิกเกิลโดยวิธีรีดักชันด้วยโซเดียมไบโรไฮไดรด์.” **ปริญญา นวัตกรรมวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**. 2546.
- [7] ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. 2539.
- [8] จันทพร สุนทรเลิศวิช และคณะ. “การกำจัดโครเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการโดยวิธีรีดักชัน-พรีซิพีเตชันและกระบวนการเฟอร์ไรท์.” **ปริญญา นวัตกรรมวิทยาศาสตร์บัณฑิตภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**. 2545.
- [9] Eckenfelder W.W. **Industrial Water Pollution Control**. Singapore : McGraw-Hill, Inc. 1989.
- [10] พัชรา สวัสดิเวทิน และคณะ. “การกำจัดโลหะหนักโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมีและปรับเสถียรภาพตกตะกอนในน้ำทิ้งที่ได้จากการวิเคราะห์ซีไอดี.” **ปริญญา นวัตกรรมวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**. 2543.
- [11] Philip H. Rieger. **Electrochemistry**. 2nd ed. Chapman & Hall. 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [11]

ครึ่งปฏิกิริยา	E° (โวลต์)
$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$	2.870
$S_2O_8^{2-} + 2e^- \rightarrow 2SO_4^{2-}$	1.960
$Co^{3+} + e^- \rightarrow Co^{2+}$	1.920
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	1.763
$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$	1.690
$BrO_3^- + 6H^+ + 5e^- \rightarrow 1/2Br_2 + 3H_2O$	1.520
$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	1.358
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1.340
$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	1.230
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	1.229
$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	1.065
$AuCl_4^- + 3e^- \rightarrow Au + 4Cl^-$	1.002
$Pd^{2+} + 2e^- \rightarrow Pd$	0.915
$ClO^- + H_2O + 2e^- \rightarrow Cl^- + 2OH^-$	0.89
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	0.799
$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	0.771
$O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_2$	0.695
$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	0.535
$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	0.520
$Fe(CN)_6^{3-} + e^- \rightarrow Fe(CN)_6^{4-}$	0.361
$PdI_4^{2-} + 2e^- \rightarrow Pd + 4I^-$	0.180
$Sn^{4+} + 2e^- \rightarrow Sn^{2+}$	0.150
$Ag(S_2O_3)_2^{3-} + e^- \rightarrow Ag + 2S_2O_3^{2-}$	0.017
$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [11] (ต่อ)

ครึ่งปฏิกิริยา	E° (โวลต์)
$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Pb}$	-0.126
$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Sn}$	-0.140
$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Ni}$	-0.257
$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cd}$	-0.403
$\text{Cr}^{3+} + e^- \rightarrow \text{Cr}^{2+}$	-0.410
$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.440
$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Zn}$	-0.762
$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.830
$\text{Al}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Al}$	-1.660
$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Mg}$	-2.370
$\text{Na}^+ + e^- \rightarrow \text{Na}$	-2.713
$\text{Ca}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Ca}$	-2.870
$\text{K}^+ + e^- \rightarrow \text{K}$	-2.925
$\text{Li}^+ + e^- \rightarrow \text{Li}$	-3.040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 ค่า K_{sp} และ pK_{sp} ของโลหะไฮดรอกไซด์, โลหะคาร์บอเนตและโลหะซัลไฟด์

ไอออน โลหะ	โลหะไฮดรอกไซด์		โลหะซัลไฟด์		โลหะคาร์บอเนต	
	pK_{sp}	K_{sp}	pK_{sp}	K_{sp}	pK_{sp}	K_{sp}
Cd^{2+}	13.6	2×10^{-14}	26.1	7.9×10^{-27}	11.3	5×10^{-12}
Co^{2+}	14.8	1.6×10^{-15}	24.7	2×10^{-25}	12.8	1.6×10^{-13}
Cr^{3+}	30.2	6.3×10^{-31}				
Cu^{2+}	19.7	2×10^{-20}	35.2	6.3×10^{-36}	9.9	1.2×10^{-10}
Hg^{2+}	23.7	2×10^{-24}	51.8	1.6×10^{-52}	16.1	7.9×10^{-17}
Mn^{2+}	12.7	2×10^{-13}	15.2	6.3×10^{-16}	10.7	2×10^{-11}
Ni^{2+}	14.7	2×10^{-15}	20.5	3.2×10^{-21}	8.2	6.3×10^{-9}
Pb^{2+}	14.9	1.2×10^{-15}	27.9	1.22×10^{-28}	13.1	7.9×10^{-14}
Sn^{2+}	27.8	1.6×10^{-28}	25.0	10^{-25}		
Zn^{2+}	16.9	1.2×10^{-17}	22.8	1.6×10^{-23}	10.8	1.6×10^{-11}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ค.1 ปริมาณนิกเกิลเมื่อลอกผิวโลหะนิกเกิลด้วยไฟฟ้า

เวลา (วินาที)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ปริมาณไฟฟ้า (คูลอมป์)	ความเข้มข้นของนิกเกิล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณนิกเกิล (มิลลิกรัม)
30	0.61	18.3	17.661	2.649
60	0.61	36.6	27.728	4.159
120	0.61	73.2	52.589	7.888
300	0.61	183	73.540	11.031
600	0.61	366	106.469	15.970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ความเข้มข้นของโลหะเมื่อลอกผิวชิ้นงานชุบนิกเกิลด้วยไฟฟ้า

เวลา (วินาที)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ปริมาณไฟฟ้า (คูลอมบ์)	ความเข้มข้นของนิกเกิล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของ เหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)
30	0.88	26.4	16.956	ND
40	0.87	34.8	19.745	0.475
50	0.89	44.5	21.577	ND
60	0.90	54.0	21.826	0.040
70	0.90	63.0	22.927	ND
80	0.88	70.4	23.497	ND
90	0.89	80.1	22.418	ND
100	0.89	89.0	23.961	ND
110	0.88	96.8	25.567	ND
120	0.89	106.8	26.631	ND
130	0.88	114.4	27.481	ND
140	0.88	123.2	28.250	ND
150	0.89	133.5	28.572	ND
160	0.90	144.0	28.882	ND
170	0.90	153.0	28.348	ND
180	0.89	160.2	28.752	ND
240	0.89	213.6	29.127	0.057
300	0.90	270.0	29.149	ND
600	0.90	540.0	29.147	0.262
900	0.90	810.0	29.105	ND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ความเข้มข้นของโลหะเมื่อลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมด้วยไฟฟ้า

เวลา (วินาที)	กระแส ไฟฟ้า (แอมแปร์)	ปริมาณ ไฟฟ้า (คูลอมป์)	ความเข้มข้นของ โครเมียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของ นิกเกิล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของ เหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)
30	0.86	25.8	6.045	1.438	ND
40	0.83	33.2	6.667	2.454	0.217
50	0.86	43.0	7.590	3.961	0.304
60	0.82	49.2	8.038	4.859	0.490
90	0.82	73.8	7.866	11.137	0.416
100	0.85	85.0	8.898	12.924	0.343
110	0.84	92.4	8.494	15.030	0.324
120	0.86	103.2	8.219	16.947	0.699
140	0.86	120.4	8.979	20.774	0.226
150	0.84	126.0	8.871	21.688	0.098
160	0.86	137.6	8.988	21.920	0.119
170	0.86	146.2	9.219	22.605	0.571
180	0.86	154.8	9.115	23.949	ND
190	0.86	163.4	9.219	23.918	1.015
200	0.84	168.0	9.115	23.825	ND
210	0.84	176.4	9.026	23.687	0.644
240	0.86	206.4	9.219	24.644	0.507
300	0.84	252.0	8.979	24.881	0.657
360	0.86	309.6	8.995	25.339	0.776
420	0.86	361.2	9.975	26.032	0.784
480	0.87	417.6	9.645	25.572	0.942
540	0.86	464.4	9.806	26.767	1.582
600	0.88	528.0	9.533	26.233	0.503
900	0.79	711.0	8.959	25.249	4.106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ตารางที่ ง.1 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	เครื่องวัดพีเอช
2. ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids)	- ไม่เกิน 3,000 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกันแต่แต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มก./ล. - น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็มเกิน 2,000 มก./ล. หรือลงสู่ทะเลค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มก./ล.	ระเหยแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรือแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
4. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C	เครื่องวัดอุณหภูมิวัดขณะเก็บตัวอย่างน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่ได้กำหนด
6. ซัลไฟด์ (Sulfide as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	การไทเทรต
7. ไซยาไนด์ (Cyanide as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine Barbituric Acid
8. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล. หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับ น้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงาน อุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการ ควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 มก./ล.	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของ น้ำมันและไขมัน
9. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Spectrophotometry
10. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	กลั่นและตามด้วยวิธี 4- Aminoantipyrine
11. คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	Iodometric Method
12. สารที่ใช้ป้องกันหรือ กำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่ กำหนด	Gas-Chromatography
13. ค่าบีโอดี (5 วันที่อุณหภูมิ 20 °C) (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแล้วแต่ ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่ อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
14. ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 มก./ล. หรือแล้วแต่ ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 200 มก./ล.	Kjeldahl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
15. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล.หรือแล้วแต่ลักษณะของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion
16. โลหะหนัก (Heavy Metal) 1. สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	Atomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
2. โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	
3. โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.	
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.	
5. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.	
6. แบเรียม (Ba)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
7. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	
8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.	
9. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.	
10. อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.	Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
11. เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.	-Atomic Absorption Spectrophotometry ชนิด Hydride Generation หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plasma : ICP
12. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.	-Atomic Absorption Cold Vapour Technique

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การคำนวณหาประสิทธิภาพการลอกผิวโลหะ

จากกฎของฟาราเดย์จะเห็นว่าเมื่อใช้ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ หรือ 96,500 คูลอมบ์ ทำให้เกิดโลหะได้ 1 กรัมสมมูล ซึ่งน้ำหนัก 1 กรัมสมมูลของโลหะใดๆ หาได้จาก

$$1 \text{ กรัมสมมูล} = \frac{\text{น้ำหนัก 1 โมลของโลหะ}}{\text{เลขออกซิเดชันของโลหะนั้นๆ}}$$

$$\text{เช่น } 1 \text{ กรัมสมมูลของนิกเกิล} = \frac{\text{น้ำหนัก 1 โมลของนิกเกิล}}{\text{เลขออกซิเดชันของนิกเกิล}}$$

$$1 \text{ กรัมสมมูลของนิกเกิล} = \frac{58.70}{2} = 29.35 \text{ กรัม}$$

$$\text{ประสิทธิภาพการลอกผิวโลหะ} = \frac{\text{น้ำหนักตามทฤษฎี} - \text{น้ำหนักจริง}}{\text{น้ำหนักตามทฤษฎี}} \times 100$$

สำหรับประสิทธิภาพการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมหาได้โดยต้องคือน้ำหนักทั้งของโครเมียมและนิกเกิล

ซึ่งจากการคำนวณได้ประสิทธิภาพของการลอกผิวโลหะแสดงดังตารางที่ จ.1 ถึง จ. 3

ตารางที่ จ.1 ประสิทธิภาพการลอกผิวโลหะ निकเกิดด้วยไฟฟ้า

ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	น้ำหนักตามทฤษฎี (มิลลิกรัม)	น้ำหนักที่ได้จริง (มิลลิกรัม)	ประสิทธิภาพการลอกผิว निकเกิด (เปอร์เซ็นต์)
18.30	5.566	2.649	52.403
36.60	11.132	4.159	62.637
73.20	22.263	7.888	64.568
183.00	55.659	11.031	80.181
366.00	111.317	15.970	85.653



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2 ประสิทธิภาพการลอกผิวหนังงานหุบน้ำหนักเกิดด้วยไฟฟ้า

ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	น้ำหนักตามทฤษฎี (มิลลิกรัม)	น้ำหนักที่ได้จริง (มิลลิกรัม)	ประสิทธิภาพการลอกผิวหนังเกิด (เปอร์เซ็นต์)
26.4	8.029	2.543	68.325
34.8	10.584	2.962	72.018
44.5	13.534	3.236	76.087
54.0	16.424	3.274	80.066
63.0	19.161	3.439	82.052
70.4	21.412	3.524	83.539
80.1	24.362	3.363	86.197
89.0	27.069	3.594	86.722
96.8	29.441	3.835	86.974
106.8	32.483	3.995	87.702
114.4	34.794	4.122	88.153
123.2	37.471	4.237	88.691
133.5	40.603	4.286	89.445
144.0	43.797	4.332	90.108
153.0	46.534	4.252	90.862
160.2	48.724	4.313	91.148
213.6	64.965	4.369	93.275
270.0	82.119	4.372	94.676
540.0	164.238	4.372	97.338
810.0	246.358	4.366	98.228

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 ประสิทธิภาพการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมด้วยไฟฟ้า

ปริมาณไฟฟ้า (คูลอมบ์)	น้ำหนักตามทฤษฎี (มิลลิกรัม)		น้ำหนักที่ได้จริง (มิลลิกรัม)		ประสิทธิภาพ การลอกผิวชิ้นงาน (เปอร์เซ็นต์)
	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล	
25.80	4.634	7.847	0.907	0.216	91.01
33.20	5.963	10.098	1.000	0.368	91.48
43.00	7.723	13.078	1.139	0.594	91.67
49.20	8.837	14.964	1.206	0.729	91.87
75.60	13.255	22.446	1.280	1.671	91.74
85.00	15.267	25.852	1.335	1.939	92.04
92.40	16.596	28.103	1.274	2.254	92.11
103.20	18.535	31.388	1.333	2.542	92.24
120.40	21.625	36.619	1.347	3.116	92.34
126.00	22.630	38.322	1.331	3.253	92.48
137.60	24.714	41.850	1.348	3.288	93.04
146.20	26.258	44.466	1.383	3.391	93.25
154.80	27.803	47.082	1.367	3.592	93.38
163.40	29.348	49.697	1.383	3.588	93.71
168.00	30.174	51.096	1.367	3.574	93.92
176.40	31.683	53.651	1.354	3.553	94.25
206.40	37.071	62.776	1.383	3.697	94.91
252.00	45.261	76.645	1.347	3.732	95.83
309.60	55.606	94.163	1.349	3.801	96.56
361.20	64.874	109.857	1.496	3.905	96.91
417.60	75.004	127.011	1.447	3.836	97.39
464.40	83.409	141.245	1.471	4.015	97.56
528.00	94.832	160.589	1.430	3.935	97.90
711.00	127.700	216.247	1.344	3.787	98.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณปริมาณร้อยละการละลายของโลหะในชิ้นงาน

พิจารณาปริมาณโลหะที่ละลายออกจากชิ้นงานมากที่สุดเป็นปริมาณโลหะทั้งหมดที่มีในชิ้นงาน และนำมาคิดเป็นร้อยละการละลายของโลหะ

1. ร้อยละการละลายของนิกเกิลในการลอกผิวชิ้นงานชุบนิกเกิล

จากการทดลองลอกผิวชิ้นงานชุบนิกเกิลพบว่าปริมาณนิกเกิลทั้งหมดที่มีในชิ้นงาน คือ 4.372 มิลลิกรัม ดังนั้น

$$\text{ร้อยละการละลายของนิกเกิล} = \frac{\text{ปริมาณนิกเกิลที่ละลายออกจากชิ้นงาน (มิลลิกรัม)} \times 100}{4.372 \text{ มิลลิกรัม}}$$

2. ร้อยละการละลายของโลหะในการลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียม

จากการทดลองลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมพบว่าปริมาณนิกเกิลทั้งหมดที่มีในชิ้นงาน คือ 4.015 มิลลิกรัม ดังนั้น

$$\text{ร้อยละการละลายของนิกเกิล} = \frac{\text{ปริมาณนิกเกิลที่ละลายออกจากชิ้นงาน (มิลลิกรัม)} \times 100}{4.015 \text{ มิลลิกรัม}}$$

จากการทดลองลอกผิวชิ้นงานชุบโครเมียมพบว่าปริมาณโครเมียมทั้งหมดที่มีในชิ้นงาน คือ 1496 มิลลิกรัม ดังนั้น

$$\text{ร้อยละการละลายของนิกเกิล} = \frac{\text{ปริมาณนิกเกิลที่ละลายออกจากชิ้นงาน (มิลลิกรัม)} \times 100}{1.496 \text{ มิลลิกรัม}}$$

ตารางที่ ๑.1 ปริมาณร้อยละการละลายของนิกเกิลในชิ้นงานชุบนิกเกิล

เวลา (วินาที)	น้ำหนักนิกเกิลที่ได้จริง (มิลลิกรัม)	ปริมาณการละลายของนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)
30	2.543	58.17
40	2.962	67.74
50	3.236	74.02
60	3.274	74.88
70	3.439	78.66
80	3.524	80.61
90	3.363	76.91
100	3.594	82.20
110	3.835	87.71
120	3.995	91.36
130	4.122	94.28
140	4.237	96.91
150	4.286	98.02
160	4.332	99.08
170	4.252	97.25
180	4.313	98.64
240	4.369	99.92
300	4.372	100.00
600	4.372	99.99
900	4.366	99.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.2 ปริมาณร้อยละการละลายของโลหะในชิ้นงานชุบโครเมียม

เวลา (วินาที)	น้ำหนักที่ได้จริง (มิลลิกรัม)		ปริมาณการละลาย ของนิกเกิล (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณการละลาย ของโครเมียม (เปอร์เซ็นต์)
	นิกเกิล	โครเมียม		
30	0.216	0.907	5.37	60.60
40	0.368	1.000	9.17	66.84
50	0.594	1.139	14.80	76.09
60	0.729	1.206	18.15	80.58
90	1.671	1.280	41.61	85.54
100	1.939	1.335	48.28	89.20
110	2.254	1.274	56.15	85.15
120	2.542	1.333	63.31	89.08
140	3.116	1.347	77.61	90.02
150	3.253	1.331	81.02	88.94
160	3.288	1.348	81.89	90.10
170	3.391	1.383	84.45	92.42
180	3.592	1.367	89.47	91.38
190	3.588	1.383	89.35	92.42
200	3.574	1.367	89.01	91.38
210	3.553	1.354	88.49	90.49
240	3.697	1.383	92.07	92.42
300	3.732	1.347	92.95	90.01
360	3.801	1.349	94.67	90.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้