

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงการวิจัยเรื่อง อิทธิพลของโครงสร้างทางจุลภาคต่อสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้า (ปีที่ 1) สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท บลูสโคป สตีล (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท เหล็กแผ่นเคลือบไทย จำกัด ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์แผ่นเหล็กสำหรับการศึกษาทดลอง ขอขอบคุณบริษัท ไอคูโน-ออโรเม็กซ์ (ประเทศไทย) จำกัด บริษัท โคทเทค จำกัด และบริษัท เอกไทยเคมี จำกัด ในความอนุเคราะห์ด้านสารเคมีชุบเคลือบที่ใช้ในการศึกษาทดลอง

ขอขอบคุณ ดร.วรรณนิภา อมาตยกุล และคุณวรากร มีจันทร์ บริษัท ไอคูโน-ออโรเม็กซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่กรุณาให้ข้อมูลและคำแนะนำสำหรับการชุบเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าและการวิเคราะห์ทดสอบผิวเคลือบด้วยเครื่อง XRF และขอขอบคุณ คุณนรินทร์ จันทะพิงค์ สำหรับคำแนะนำในการวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง XRD

ขอขอบคุณคณะผู้ประเมินผลงานวิจัยของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานวิจัย และเนื่องจากโครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยทั้งหมดจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาลประจำปีงบประมาณ 2557 คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2558

บทคัดย่อ

การศึกษาอิทธิพลของโครงสร้างทางจุลภาคของผิวเคลือบสังกะสีบนเหล็กแผ่นที่ได้จากการชุบเคลือบด้วยไฟฟ้าต่อสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงาน ทำได้โดยการเตรียมชิ้นงานเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีโดยใช้น้ำยาชุบเคลือบ 3 ระบบ คือ ระบบกรด ระบบด่าง และระบบไซยาไนด์ โดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการเติม additives ในน้ำยาชุบเคลือบระบบกรดและระบบด่าง และศึกษาปัจจัยของกระแสที่ใช้ในการชุบเคลือบในน้ำยา ระบบด่าง ซึ่งได้แก่ ขนาดกระแส และรูปแบบของกระแสที่ใช้ในการชุบเคลือบ รวมทั้งทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของผิวเคลือบด้วยเทคนิค X-ray diffraction และตรวจสอบลักษณะผิวเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และทำการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนด้วยเทคนิค Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) เทคนิค Potentiodynamic polarization ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5% โดยน้ำหนัก และวิธี Salt spray test อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM B117

ผลการศึกษาพบว่า การเติม carrier และ brightener ในน้ำยา ระบบกรดและด่างมีผลทำให้โครงสร้างผิวเคลือบมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีระนาบ (002) ลดลง และมีระนาบ (100) (101) และ (110) เป็นหลัก นอกจากนี้ยังเห็นได้ชัดเจนว่าโครงสร้างของผิวเคลือบมีความละเอียดและมีความสม่ำเสมอบนพื้นผิวมากขึ้น ทั้งนี้แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีที่ใช้น้ำยาชุบระบบด่าง มีแนวโน้มให้ความต้านทานการกัดกร่อนต่ำกว่าระบบไซยาไนด์ และระบบกรด สำหรับการศึกษารูปร่างด้วยระบบด่างโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง พบว่า การชุบเคลือบด้วยกระแส 1 A/dm² ให้ผิวเคลือบที่มีความต้านทานการกัดกร่อนต่ำกว่าการชุบเคลือบด้วยกระแส 2 และ 4 A/dm² ส่วนการศึกษาด้านรูปแบบกระแสที่ใช้ในการชุบเคลือบพบว่า ชิ้นงานที่ชุบด้วยกระแสพัลส์มีแนวโน้มเกิดการกัดกร่อนได้เร็วกว่าการชุบด้วยกระแสตรง และกระแส Sine wave

Abstract

The study of the influence of electrodeposited zinc coatings' microstructure on their corrosion resistance is performed on 3 different sets of zinc coating specimens that are prepared from acidic, alkaline, and cyanide electrolytes. The processing parameters of concern include the additives in the acidic and cyanide electrolytes, applied current density, and applied current waveform. The microstructure and the surface morphology of the specimens are examined using x-ray diffractometry and scanning electron microscopy. The corrosion behavior of the specimens are investigated by electrochemical impedance spectroscopy, potentiodynamic polarization using 5 wt.% sodium chloride, and ASTM B117 salt spray testing.

The results show that the additions of carrier and brightener additives in the acidic and alkaline electrolytes result in the change in crystallographic orientation from (002) to (100), (101) and (110) of the zinc coatings, and help with the refinement and uniformity of their microstructure. In general, the alkaline-based zinc coatings exhibit lower corrosion resistance than other groups. Furthermore, when a low current density of 1 A/dm^2 is employed, the corrosion resistance is relatively low compared with 2 A/dm^2 and 4 A/dm^2 . For the applied current wave form, the square-wave current pulsation produces zinc coatings with lower corrosion resistance than when direct current and sine wave current are applied.

สารบัญเรื่อง

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
Abstract	iii
สารบัญเรื่อง	iv
สารบัญตาราง	v
สารบัญรูป	vi
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	1
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	5
2.1 สารเคมี	5
2.2 วิธีการทดลอง	5
2.3 การวิเคราะห์ทดสอบ	7
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	9
3.1 ปัจจัยจากส่วนประกอบในน้ำยาชุบต่อโครงสร้างผิวเคลือบ	9
3.1.1 น้ำยาชุบเคลือบระบบกรด	9
3.1.2 น้ำยาชุบเคลือบระบบต่าง	11
3.2 ประเภทของน้ำยาชุบระบบกรด ระบบไฮยาไนต์ และระบบต่างต่อสมบัติของผิวเคลือบ	13
3.2.1 ผลของระยะเวลาการชุบต่อความหนาของผิวเคลือบ	13
3.2.2 ลักษณะผิวเคลือบ	14
3.2.3 องค์ประกอบของผิวเคลือบ	15
3.2.4 สมบัติความต้านทานการกัดกร่อนของผิวเคลือบ	16
3.3 ผลของการใช้กระแสไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ในการชุบเคลือบด้วยน้ำยาแบบต่างต่อสมบัติของผิวเคลือบ	20
3.3.1 อัตราการชุบเคลือบและลักษณะของผิวเคลือบที่ได้	20
3.3.1.1 กระแสตรง	20
3.3.1.2 กระแสแบบพัลส์ (Pulse)	21
3.3.1.3 กระแสแบบ Sine wave	23
3.3.2 สมบัติของผิวเคลือบ	24
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	32
บรรณานุกรม	33
ประวัติคณะผู้วิจัย	34

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ส่วนประกอบในน้ำยา และภาวะที่ใช้ในการชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าระบบโซลาร์เซลล์ ระบบกรด และระบบด่าง	6
ตารางที่ 3.1	สัมประสิทธิ์การจัดเรียงตัวผลึกของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าโดยใช้สารเคมีเกรดการค้าในระบบกรดด้วยกระแส 2 A/dm^2 เป็นระยะเวลา 20 นาที	11
ตารางที่ 3.2	สัมประสิทธิ์การจัดเรียงตัวผลึกของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าโดยใช้สารเคมีเกรดการค้าในระบบด่างที่กระแส 2 A/dm^2 เป็นระยะเวลา 20 นาที	13
ตารางที่ 3.3	สัมประสิทธิ์การจัดเรียงตัวผลึกของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าโดยใช้สารเคมีเกรดการค้าในระบบกรด ระบบโซลาร์เซลล์ และระบบด่าง ที่กระแส 2 A/dm^2 30 นาที	15
ตารางที่ 3.4	ความหนาของชั้นสังกะสีบนแผ่นเหล็กโดยใช้สารเคมีเกรดการค้าในระบบกรด ระบบโซลาร์เซลล์ และระบบด่าง ก่อนการทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี	16
ตารางที่ 3.5	ค่าจากเส้นโพลาริเซชันของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าโดยใช้สารเคมีเกรดการค้าระบบกรด ระบบโซลาร์เซลล์ และระบบด่าง ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5% โดยน้ำหนัก	18
ตารางที่ 3.6	ความหนาของชั้นสังกะสีบนแผ่นเหล็กโดยใช้สารเคมีเกรดการค้าในระบบกรด ระบบโซลาร์เซลล์ และระบบด่าง ก่อนการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการกัดกร่อนแบบละอองเกลือ	18
ตารางที่ 3.7	สัมประสิทธิ์การจัดเรียงตัวผลึกของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าในน้ำยาชุบระบบด่าง จากการชุบด้วยรูปแบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน	25
ตารางที่ 3.8	ความหนาของชั้นสังกะสีบนแผ่นเหล็กโดยใช้สารเคมีเกรดการค้าในระบบด่าง โดยใช้กระแสไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ และควบคุมระยะเวลาการชุบเคลือบเพื่อให้ได้ความหนาประมาณ 8 ไมครอน ก่อนการทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี	26
ตารางที่ 3.9	ค่าจากเส้นโพลาริเซชันของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้สารเคมีเกรดการค้า ระบบด่าง ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5% โดยน้ำหนัก	28
ตารางที่ 3.10	ค่าจากเส้นโพลาริเซชันของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีโดยใช้รูปแบบกระแสตรง กระแสพัลส์ และกระแส Sine wave และใช้สารเคมีเกรดการค้าในระบบด่าง ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5% โดยน้ำหนัก	30
ตารางที่ 3.11	ความหนาของชั้นสังกะสีบนแผ่นเหล็กโดยใช้รูปแบบกระแสตรง กระแสพัลส์ และกระแส Sine wave และใช้สารเคมีเกรดการค้าในระบบด่าง ก่อนการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการกัดกร่อนแบบละอองเกลือ	30

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าและเซลล์ที่ใช้ในการชุบเคลือบสังกะสีบนแผ่นเหล็ก	6
รูปที่ 2.2 ชุดอุปกรณ์ทดสอบการกัดกร่อนด้วยเครื่องโพเทนชิโอมิเตอร์	8
รูปที่ 2.3 เครื่องทดสอบการกัดกร่อนแบบลวดของเกลือและลักษณะการวางชิ้นงานทดสอบ	8
รูปที่ 3.1 ลักษณะผิวของชิ้นงานที่ได้หลังชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าในน้ำยาชุบระบบกรดด้วยกระแส 2 A/dm^2 เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยมีส่วนประกอบในน้ำยาชุบที่แตกต่างกัน	10
รูปที่ 3.2 ชิ้นงานที่ได้หลังจากการชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าในน้ำยาชุบระบบกรดด้วยกระแส 2 A/dm^2 เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยมีส่วนประกอบในน้ำยาชุบที่แตกต่างกัน	10
รูปที่ 3.3 ลักษณะผิวของชิ้นงานที่ได้หลังชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าในน้ำยาชุบระบบต่างด้วยกระแส 2 A/dm^2 เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยมีส่วนประกอบในน้ำยาชุบที่แตกต่างกัน	12
รูปที่ 3.4 ชิ้นงานที่ได้หลังจากการชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าในน้ำยาชุบระบบต่างด้วยกระแส 2 A/dm^2 เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยมีส่วนประกอบในน้ำยาชุบที่แตกต่างกัน	12
รูปที่ 3.5 ปริมาณกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการชุบ และความหนาผิวเคลือบของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าที่ใช้น้ำยาชุบในระบบกรด ระบบโซลยอนิก และระบบต่าง	13
รูปที่ 3.6 แผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าด้วยน้ำยาชุบระบบกรด ระบบโซลยอนิก และระบบต่าง 2 A/dm^2 30 นาที	14
รูปที่ 3.7 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าด้วยน้ำยาชุบระบบกรด ระบบโซลยอนิก และระบบต่าง 2 A/dm^2 30 นาที	14
รูปที่ 3.8 แผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าด้วยน้ำยาชุบระบบกรด ระบบโซลยอนิก และระบบต่าง 2 A/dm^2 30 นาที	15
รูปที่ 3.9 กราฟ Nyquist ของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าที่ใช้สารเคมีเกรดการค้าระบบกรด ระบบโซลยอนิก และระบบต่าง โดยมีความหนาของชั้นเคลือบประมาณ 8 ไมครอน ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5% โดยน้ำหนัก	17
รูปที่ 3.10 เส้นโพลาริเซชันของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าโดยใช้สารเคมีเกรดการค้าเคลือบในระบบกรด ระบบโซลยอนิก และระบบต่าง โดยมีความหนาของชั้นเคลือบประมาณ 8 ไมครอน ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5% โดยน้ำหนัก	17
รูปที่ 3.11 ลักษณะพื้นผิวของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าโดยใช้สารเคมีเกรดการค้าเคลือบในระบบกรด ระบบโซลยอนิก และระบบต่าง โดยมีความหนาของชั้นเคลือบประมาณ 8 ไมครอน ที่ระยะเวลาการทดสอบ 0, 1, 48, 120 และ 240 ชั่วโมง	19
รูปที่ 3.12 ปริมาณกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ระยะเวลาในการชุบ และความหนาผิวเคลือบของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าที่ใช้น้ำยาชุบในระบบต่าง	20

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.13	ลักษณะผิวของชิ้นงานเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้ากระแสตรงในน้ำยาชุบระบบต่าง ๆ ที่มีความหนาของชั้นสังกะสีประมาณ 8 ไมครอน โดยใช้กระแสไฟฟ้าและระยะเวลาต่างๆ ในการชุบ	21
รูปที่ 3.14	ลักษณะผิวของชิ้นงานเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้ากระแสตรงในน้ำยาชุบระบบต่าง ๆ โดยใช้กระแสชุบที่ 2 A/dm^2 ที่ระยะเวลาต่างๆ	21
รูปที่ 3.15	ปริมาณกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ ระยะเวลาในการชุบ และความหนาผิวเคลือบของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าที่ใช้น้ำยาชุบในระบบต่าง ๆ	22
รูปที่ 3.16	ลักษณะผิวของชิ้นงานเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้ากระแสแบบพัลส์ในน้ำยาชุบระบบต่าง ๆ ที่มีความหนาของชั้นสังกะสีประมาณ 8 ไมครอนโดยใช้กระแสไฟฟ้าและระยะเวลาต่างๆ ในการชุบ	22
รูปที่ 3.17	ลักษณะผิวของชิ้นงานเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้ากระแสแบบพัลส์ในน้ำยาชุบระบบต่าง ๆ โดยใช้กระแสในการชุบที่ 2 A/dm^2 ที่ระยะเวลาต่างๆ	23
รูปที่ 3.18	ปริมาณกระแสไฟฟ้าแบบ Sine wave ระยะเวลาในการชุบ และความหนาผิวเคลือบของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าที่ใช้น้ำยาชุบในระบบต่าง ๆ	23
รูปที่ 3.19	ลักษณะผิวของชิ้นงานที่ได้หลังชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าแบบ Sine wave ในน้ำยาชุบระบบต่าง ๆ ที่มีความหนาของชั้นสังกะสีประมาณ 8 ไมครอน โดยใช้กระแสไฟฟ้าและระยะเวลาต่างๆ ในการชุบ	24
รูปที่ 3.20	ลักษณะผิวของชิ้นงานที่ได้หลังชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าแบบ Sine wave ในน้ำยาชุบระบบต่าง ๆ โดยใช้กระแสในการชุบที่ 2 A/dm^2 ที่ระยะเวลาต่างๆ	24
รูปที่ 3.21	ชิ้นงานที่ได้หลังจากการชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าในน้ำยาชุบระบบต่าง ๆ ด้วยรูปแบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยมีความหนาของชั้นสังกะสีประมาณ 8 ไมครอน	25
รูปที่ 3.22	ภาคตัดขวางของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้ากระแสตรง กระแสแบบพัลส์ และกระแสแบบ Sine wave	26
รูปที่ 3.23	กราฟ Nyquist ของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าด้วยกระแสตรงที่ใช้สารเคมีเกรดการค้าในระบบต่าง ๆ โดยมีความหนาของชั้นเคลือบประมาณ 8 ไมครอน ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5% โดยน้ำหนัก	27
รูปที่ 3.24	เส้นโพลาริเซชันของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าด้วยกระแสตรงที่ใช้สารเคมีเกรดการค้าในระบบต่าง ๆ โดยมีความหนาของชั้นเคลือบประมาณ 8 ไมครอน ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5% โดยน้ำหนัก	28
รูปที่ 3.25	กราฟ Nyquist ของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าโดยใช้รูปแบบกระแสตรง กระแสพัลส์ และกระแส Sine wave และใช้สารเคมีเกรดการค้าเคลือบในระบบต่าง ๆ โดยมีความหนาของชั้นเคลือบประมาณ 8 ไมครอน ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5% โดยน้ำหนัก	29

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.26	29
รูปที่ 3.27	31

เส้นโพลาริเซชันของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าโดยใช้รูปแบบกระแสตรง กระแสพัลส์ และ
กระแส Sine wave และใช้สารเคมีกรดการค้าเคลือบในระบบต่าง โดยมีความหนาของชั้นเคลือบ
ประมาณ 8 ไมครอน ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5%โดยน้ำหนัก

ลักษณะพื้นผิวของแผ่นเหล็กชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้าโดยใช้รูปแบบกระแสตรง กระแสพัลส์ และ
กระแส Sine wave และใช้สารเคมีกรดการค้าเคลือบในระบบต่าง โดยมีความหนาของชั้นเคลือบ
ประมาณ 8 ไมครอน ที่ระยะเวลาการทดสอบ 0, 1, 48, 120 และ 240 ชั่วโมง