สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ช
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สาบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย	3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	3
1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการป้องกันการกัดกร่อน	5
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน	7
2.3 กระบวนการชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน	15
2.4 วัสดุที่เหมาะสำหรับงานชุบเคลือบผิวด้วยสังกะสี	16
2.5 โลหะวิทยาของกัลป์วาไนซ์	17
2.6 การตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน	18
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน	19
2.8 ลักษณะของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน	26
2.9 ลักษณะของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน	28
2.10 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	35
3.1 ศึกษาพร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยวิธีการจุ่มร้อน	35
3.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยวิธีการจุ่มร้อน	35
3.3 ทำการออกแบบของกระบวนการชุบเคลือบสังกะสี	38
3.4 การทดสอบ	43
3.5 จัดทำเอกสาร พร้อมทั้งสรุปผลกาทดลอง	46
3.6 สรุปผลการทดลอง และทำการแก้ไข	47
3.7 วิเคราะห์สรุปผลและเสนโครงงานวิจัย	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	48
4.1 การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยวิธีการจุ่มร้อน	47
4.2 กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยวิธีการจุ่มร้อน	49
4.3 ผลการทดลอง	56
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการวิจัย	66
5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนา	67
5.3 ปัญหาที่พบและวิธีแก้ไข	68

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก	67
ภาคผนวก ก	67
ภาคผนวก ข	80
ภาคผนวก ค	82
ประวัติผู้วิจัย	85

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
2.1	แสดงตารางเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าเคมีของโลหะ	7
2.2	แสดงมาตรฐาน AS1650 – 1989 Hot – Dip galvanized coatings on ferrous articles	22
2.3	แสดงมาตรฐาน BS 729: 1971 Hot Dip Galvanizing Coatings on from Steel Artcles	22
2.4	แสดงค่าความหนาเฉลี่ยต่ำสุดของการชุบแยกตามประเภทวัสดุ ตามมาตรฐาน ASTM A 123/A 123 M: 1997 Standard Specification for zinc (Hot-Dip Galvanized) coatings on iron and steel product	23
2.5	แสดงอัตราการกัดกร่อน, เหล็ก, สังกะสี	24
2.6	แสดงจำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุดที่จะสุ่มมาตรวจสอบในแต่ละล็อต สามารถใช้มาตรฐาน ASTM A123/A123M และ ISO 1461: 1997 (E)	24
2.7	แสดงคุณสมบัติของซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ดับเบิลซอทและซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ทริปเปิลซอท	30
2.8	การเปรียบเทียบระหว่างกล้องจุลทรรศน์ และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน	34
4.1	แสดงลักษณะผิวเคลือบภายนอกของชิ้นงาน	57
4.2	แสดงลักษณะผิวเคลือบจากการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope : OM)	59
4.3	แสดงลักษณะผิวเคลือบจากการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)	61
4.4	แสดงผลการทดสอบการทนละอองน้ำเกลือ (Salt Spray Test)	63
4.5	เปรียบเทียบการกัดกร่อนของชิ้นงานที่ทดสอบ	65

สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	แสดงการถูกกัดกร่อน	8
2.2	ชิ้นงานที่เคลือบสี (ซ้าย) เมื่อสีเคลือบหลุดชั้นเหล็กจะถูกกัดกร่อน ได้ง่ายกว่าชิ้นงานเคลือบสังกะสี (ขวา) เพราะสังกะสีรอบข้าง จะเกิดปฏิกิริยาก่อนเหล็ก	9
2.3	กระบวนการชุบสังกะสี	10
2.4	รูปของชั้นการเคลือบของสังกะสี	17
2.5	วิธีการจุ่มชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่	19
2.6	ขนาดความแข็งของผิวเคลือบแต่ละชั้นของโลหะผสมสังกะสี – เหล็ก	20
2.7	ผลของอัตราเร็วในการดึงชิ้นงานขึ้นจากอ่างชุบต่อน้ำหนักความหนาของผิวเคลือบ	21
2.8	มวลของการชุบสังกะสีที่ได้จากวิธีของกระบวนการต่างๆในทางการค้า หน่วย g/m^2	23
2.9	แสดงลักษณะโลหะสังกะสี	27
2.10	กรดไฮโดรคลอริก	28
2.11	โซดาไฟหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์	29
2.12	ภาพที่ได้จากกล้อง OM	32
2.13	แสดงภาพตัวอย่างที่ได้จากสัญญาณ Secondary electron	33
3.1	สารโซเดียมไฮดรอกไซด์	36
3.2	สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	36
3.3	สารละลายไฮโดรคลอริกร้อยละ 37	37
3.4	สารซิงค์คลอไรด์	37
3.5	สารแอมโมเนียมคลอไรด์	38
3.6	สารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์	38
3.7	ชิ้นงาน	39
3.8	ชิ้นงานที่เจาะรู	39
3.9	แสดงการขัดชิ้นงาน	40
3.10	แสดงชิ้นงานที่ผ่านการขัดผิว	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
3.11	แสดงชิ้นงานที่คล้องด้วยลวด	40
3.12	บ่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	41
3.13	น้ำสะอาด	42
3.14	บ่อสารละลายไฮโดรคลอริก	42
3.15	บ่อสารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์	43
3.16	แสดงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ	44
3.17	แสดงการผสมเรซิน	44
3.18	แสดงการเทเรซินลงในแบบหล่อเรซิน	45
3.19	ชิ้นงานที่ทำการเรือนเย็น (Cold-mount)	45
4.1	ชิ้นงานก่อนทำการขุบเคลือบ	49
4.2	ชิ้นงานก่อนทำการขุบเคลือบที่คล้องเส้นลวด	50
4.3	ลักษณะการเกิดการแยกตัวของน้ำมันกับสารละลายขณะทำการขุบ	51
4.4	สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	51
4.5	สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หลังจากทำการขุบชิ้นงาน ลักษณะชิ้นงานขณะทำการขุบน้ำสะอาด	52
4.6	ลักษณะการเกิดการกัดผิวของชิ้นงานขณะทำการขุบ สารละลายไฮโดรคลอริก	52
4.7	สารละลายไฮโดรคลอริกหลังจากทำการขุบชิ้นงาน	53
4.8	ลักษณะชิ้นงานขณะทำการขุบน้ำสะอาด	53
4.9	ลักษณะการเกิดการกัดผิวชิ้นงานขณะทำการขุบสารละลาย ซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์	54
4.10	สารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์หลังจากขุบชิ้นงานเสร็จ	54
4.11	ขณะทำการขุบสังกะสี	55
4.12	ลักษณะการเกิดขณะทำการขุบน้ำสะอาด	55