บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและกระบวนการชุบเคลือบ วิธีการทดลองกระบวนชุบเคลือบสังกะสีด้วยวิธีการจุ่มร้อนโดยการปรับเปลี่ยนเวลาในการชุบเคลือบจากนั้นทำการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope : OM) การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) และทดสอบการทนต่อการกัดกร่อนโดยวิธีการทนละอองน้ำเกลือ (Salt Spray Test) เพื่อทดสอบความต้านทานในการกัดกร่อนของเหล็กที่ชุบเคลือบด้วยสังกะสี

4.1 การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยวิธีการจุ่มร้อน

4.1.1 **สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์** (NaOH) ความเข้มข้นที่ร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร

เนื่องจาก 1 กรัม เท่ากับ 1 มิลลิลิตร

4.1.1.1 ใช้น้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร หรือ 200 กรัม

4.1.1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นที่ร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร

คำนวณ

ถ้าใช้น้ำกลั่น 100 กรัม ชั่งสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม

ถ้าใช้น้ำกลั่น 200 กรัม ชั่งสารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (10/100) x 200 = 20 กรัม

4.1.2 **สารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์** ($ZnCl_2 .3NH_4Cl$) ความเข้มข้นร้อยละ 45 โดยมวลต่อปริมาตร

4.1.2.1 ใช้น้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร หรือ 200 กรัม

4.1.2.2 สารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ ($ZnCl_2 .3NH_4Cl$) ความเข้มข้นร้อยละ 45 โดยมวลต่อปริมาตร

คำนวณ

ถ้าใช้น้ำกลั่น 100 กรัม ชั่งสารเคมีซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ 45 กรัม

ถ้าใช้น้ำกลั่น 200 กรัม ชั่งสารเคมีซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ (45/100) x 200 = 90 กรัม

โดยที่

อัตราส่วนที่ใช้ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) 1 ส่วน และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 3 ส่วน

คำนวณ

แบ่งสารเคมีเป็น 4 ส่วน ชั่งสารเคมี 90 กรัม

แบ่งสารเคมีเป็น 1 ส่วน ชั่งสารเคมี (90/4) x1 = 22.5 กรัม

โดยใช้

ชั่งสารเคมีซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) 1 ส่วน เท่ากับ 22.5 กรัม

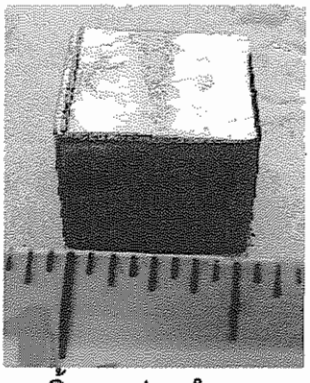
ชั่งสารเคมีแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 3 ส่วน เท่ากับ 22.5x3 เท่ากับ 67.5กรัม

4.2 กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยวิธีการจุ่มร้อน

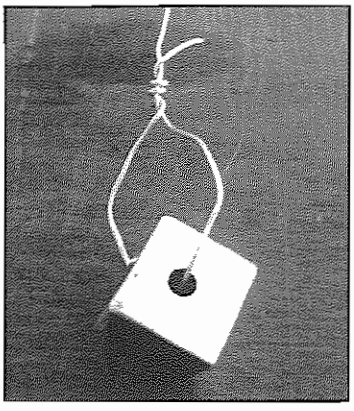
4.2.1 การเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ใช้ชุบเคลือบมีขนาด 0.5นิ้ว x 0.5นิ้ว x 0.5นิ้ว เนื่องจากเบ้าหลอมมีขนาดเล็ก ถ้าใช้ชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่มากเกินกว่าขนาดที่กำหนดจะทำให้ปริมาตรของน้ำโลหะมีปริมาตรไม่ถึง 30 เท่าของชิ้นงาน อีกทั้งชิ้นที่มีงานขนาด 0.5นิ้ว x 0.5นิ้ว x 0.5นิ้ว ซึ่งจะสามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด ซึ่งแสดงลักษณะของชิ้นงานดังรูปที่ 4.1

จากนั้นทำการเจาะรูชิ้นงานและใช้เส้นลวดคล้องมีจุดประสงค์เพื่อให้ง่ายต่อการนำชิ้นงานไปชุบเคลือบในเบ้าหลอมน้ำโลหะซึ่งน้ำโลหะหลอมเหลวจะมีอุณหภูมิสูง และยากต่อการหยิบยกหรือเคลื่อนย้ายขณะที่ทำการชุบเคลือบอีกทั้งเครื่องมือที่ใช้ในการหยิบยกไม่สามารถทนความร้อนของน้ำโลหะหลอมเหลวได้ ฉะนั้นจึงนำชิ้นงานเจาะรูแล้วใช้ลวดคล้องเพื่อที่ขณะที่ชุบเคลือบจะสามารถหยิบยกชิ้นงานได้ทันเวลาที่กำหนด ซึ่งแสดงลักษณะของชิ้นงานดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ชิ้นงานก่อนทำการชุบเคลือบ



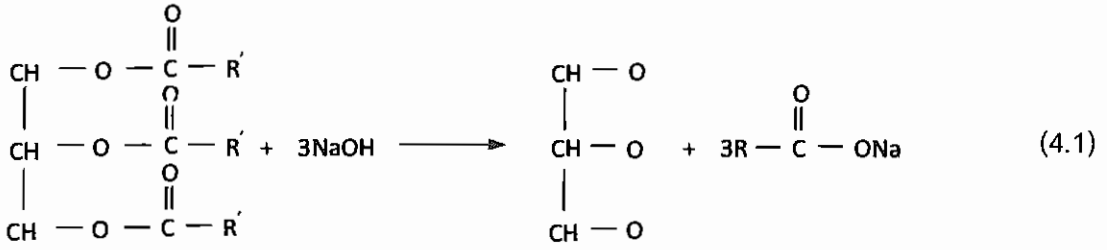
รูปที่ 4.2 ชิ้นงานก่อนทำการชุบเคลือบที่คล้องเส้นลวด

เมื่อทำการเตรียมชิ้นงานดังกล่าวมาจากข้างต้นแล้ว จากนั้นนำชิ้นงานไปทำการชุบสารละลายต่างๆ ดังรายละเอียดในหัวข้อที่จะกล่าวต่อไป

4.2.2 **บ่อชุบที่** 1 **สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์** (NaOH)

บ่อชุบนี้มีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นที่ร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิมากกว่า 75 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการชุบ 25 นาที สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำหน้าที่ช่วยขจัดคราบน้ำมันที่เกาะติดกับผิวชิ้นงานเพื่อช่วยลดคราบน้ำมันที่ติดมากับชิ้นงานให้น้อยลงหรือหมดไป

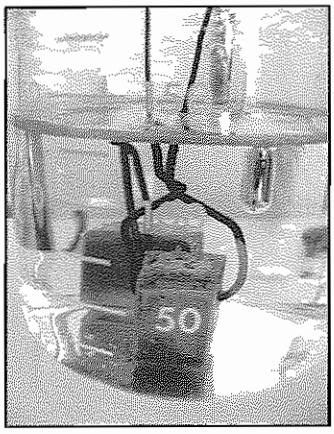
ผลการทดลองจะพบว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับชิ้นงานที่คราบน้ำมันเกาะอยู่ เกิดปฏิกิริยา



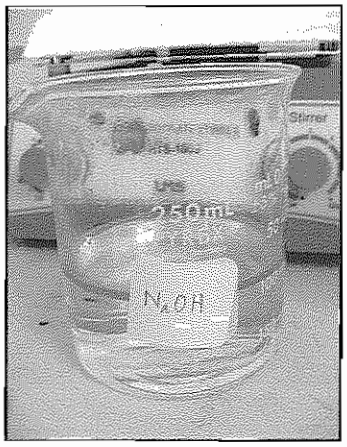
(4.1)

ทำให้เกิดการแยกตัวของคราบน้ำมันออกจากชิ้นงาน ในลักษณะที่คราบน้ำมันลอยตัวขึ้นไปยังผิวของสารละลาย ซึ่งแสดงลักษณะการเกิดการแยกตัวของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับชิ้นงานดังรูปที่ 4.3

สารละลายมีการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดคราบน้ำมันรวมตัวกันลอยขึ้นบนผิวของสารละลายแสดงลักษณะดังรูปที่ 4.3 หลังจากทำการทดลองเสร็จจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดจากการแยกชั้นระหว่างคราบน้ำมันกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพราะน้ำมันจะไม่สามารถรวมตัวกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ลักษณะการเกิดการแยกตัวของน้ำมันกับสารละลาย
ขณะทำการชุบสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

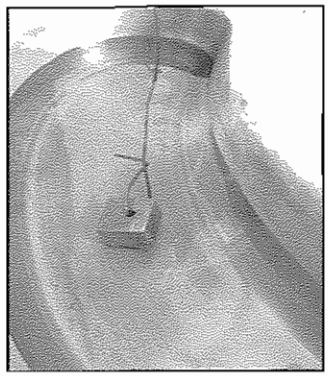


รูปที่ 4.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หลังจากทำการชุบชิ้นงาน

4.2.3 บ่อชุบที่ 2 น้ำสะอาด

บ่อน้ำสะอาด น้ำสะอาดจะทำหน้าที่ช่วยชะล้างคราบน้ำมันที่ยังเกาะติดอยู่ที่ชิ้นงาน เส้นลวด และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกแต่เมื่อทำการจุ่มชิ้นงานลงในบ่อน้ำสะอาดแล้วก็ไม่เกิดสนิมขึ้นที่ผิวชิงชิ้นงานเนื่องจากกระบวนการชุบเคลือบเป็นแบบต่อเนื่อง

โดยที่บ่อของน้ำสะอาดพบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำสะอาด คือหลังจากทำการทดลองเสร็จจะเกิดคราบน้ำมันและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลอยตัวขึ้นบนผิวน้ำสะอาด ลักษณะดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ลักษณะชิ้นงานขณะทำการชุบน้ำสะอาด

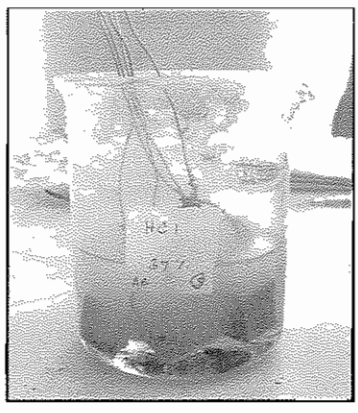
4.2.4 **บ่อชุบที่ 3 สารละลายไฮโดรคลอริก** (HCl)

บ่อชุบนี้มีสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้นที่ร้อยละ 37 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิห้อง เวลาที่ใช้ในการชุบ 25 นาที สารละลายไฮโดรคลอริกจะทำหน้าที่กำจัดสนิมที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน

ผลการทดลองจะพบว่า เมื่อนำชิ้นงานชุบลงในสารละลายไฮโดรคลอริกจะไม่มีสนิมเกิดขึ้นที่ผิวของชิ้นงาน ในขณะทำการทดลองจะเกิดฟองสีขาวขึ้นที่รอบผิวของชิ้นงาน ซึ่งฟองสีขาวนี้จะกัดที่ผิวชิ้นงาน เกิดปฏิกิริยา

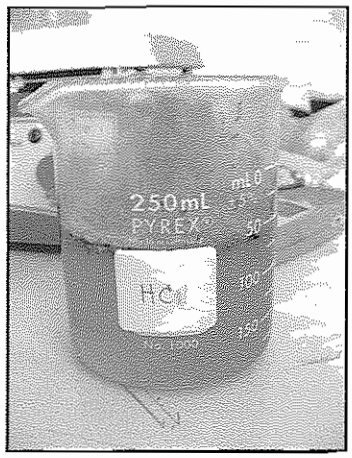
$$Fe^{3+} + HCl \longrightarrow FeCl + H_2O \qquad (4.2)$$

จากนั้นเมื่อยกชิ้นงานขึ้นจากบ่อชุบฟองสีขาวจะเกาะติดกับผิวชิ้นงาน ลักษณะชิ้นงานจะแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ลักษณะการเกิดการกัดผิวของชิ้นงานขณะทำการชุบสารละลายไฮโดรคลอริก

หลังจากทำการทดลองสารละลายไฮโดรคลอริกจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองกลายเป็นสีเขียว นอกจากนั้นสารละลายไฮโดรคลอริกทำปฏิกิริยากับชิ้นงานจึงทำให้เกิดสิ่งสกปรกลอยขึ้นบนผิวของสารละลายไฮโดรคลอริก ลักษณะแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สารละลายไฮโดรคลอริกหลังจากทำการขุบชิ้นงาน

4.2.5 บ่อขุบที่ 4 น้ำสะอาด

บ่อน้ำสะอาด น้ำสะอาดจะทำหน้าที่ช่วยชะล้างคราบน้ำมันที่ยังเกาะติดอยู่ที่ชิ้นงานเส้นลวด และสารละลายไฮโดรคลอริกออกแต่เมื่อทำการจุ่มชิ้นงานลงในบ่อน้ำสะอาดแล้วก็ไม่เกิดสนิมขึ้นที่ผิวของชิ้นงานเนื่องจากกระบวนการขุบเคลือบเป็นแบบต่อเนื่อง

โดยที่บ่อของน้ำสะอาดพบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำสะอาด คือหลังจากทำการทดลองเสร็จจะเกิดคราบน้ำมันและสารละลายไฮโดรคลอริกลอยตัวขึ้นบนผิวน้ำสะอาด ลักษณะดังรูปที่ 4.8

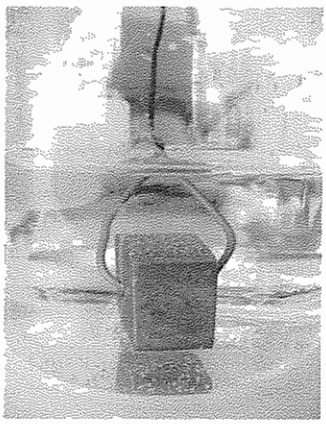
รูปที่ 4.8 ลักษณะชิ้นงานขณะทำการขุบน้ำสะอาด

4.2.6 บ่อชุบที่ 5 สารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ ($ZnCl_2 .3NH_4Cl$)

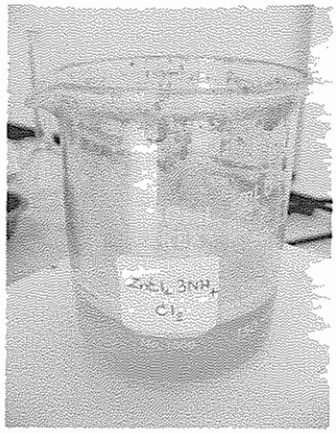
บ่อชุบนี้มีสารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 45 โดยมวลต่อปริมาตร อุณหภูมิสารละลาย 75 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการชุบ 25 นาที สารนี้เป็นฟลั๊กซ์จะทำหน้าที่กำจัดออกไซด์ที่อยู่บนผิวเหล็กเพื่อเปิดผิวเพิ่มการเคลือบผิวและป้องกันการเกิดออกไซด์บนผิวเหล็ก

ผลการทดลองจะพบว่า ชิ้นงานจะเกิดฟองอากาศบริเวณรอบชิ้นงานเนื่องจากสารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์จะกำจัดออกไซด์ที่อยู่บนเนื้อเหล็ก จนเกิดเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบติดชิ้นงานทำให้ชิ้นงานชิ้นงานจะมีลักษณะเป็นสีดำ เมื่อนำชิ้นงานขึ้นจากบ่อชุบนี้จะเกิดเป็นลักษณะคล้ายผลึกเกลือเกาะที่ชิ้นงานดังรูปที่ 4.9

สารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์มีการเปลี่ยนแปลงเกิดเป็นออกไซด์รวมตัวกันลอยขึ้นบนผิวน้ำ หลังจากทำการทดลองเสร็จจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของการรวมตัวกันของออกไซด์จะเป็นคราบสีน้ำตาลเกาะติดกับบีกเกอร์



รูปที่ 4.9 ลักษณะการเกิดการกัดผิวชิ้นงานขณะทำการชุบสารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์



รูปที่ 4.10 สารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์หลังจากชุบชิ้นงานเสร็จ

4.2.7 บ่อชุบที่ 6 บ่อสังกะสี

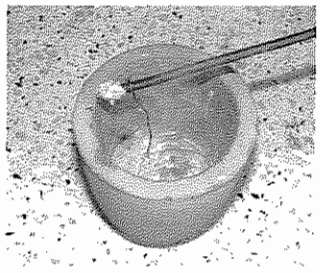
บ่อสังกะสี มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 580 องศาเซลเซียส มีการชุบโดยปรับเปลี่ยนเวลาในการทำการชุบชิ้นงานกับสังกะสีในเวลา 15, 50, 60 และ 120 วินาที

ผลการทดลองจะพบว่า เกิดปฏิกิริยาระหว่างสังกะสีกับชิ้นงาน เรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์

$$Zn_{(aq)} + Fe^{2+}_{(s)} \longrightarrow Zn^{2+}_{(s)} + Fe_{(s)} \qquad (4.3)$$

เป็นปฏิกิริยาการเดือดของโลหะ รอจนปฏิกิริยาเสร็จสิ้น จึงนำชิ้นงานขึ้นลักษณะผิวชิ้นงานจะเคลือบด้วยสังกะสี ชิ้นงานจะมีสีเป็นสีเทา

โดยน้ำสังกะสีหลอมเหลวจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดเป็นออกไซด์ปกคลุมบนผิวน้ำสังกะสีหลอมเหลว เกิดเนื่องจากชิ้นงานในบ่อชุบจับกับสังกะสีหลอมเหลว เมื่อเกิดออกไซด์บนผิวน้ำสังกะสีหลอมเหลวทำให้ชิ้นงานไม่เรียบ เพราะฉะนั้นระหว่างการยกชิ้นงานขึ้นจะต้องทำการตักออกไซด์ออกจะทำให้ผิวชิ้นงานที่ได้จากการชุบเคลือบมีผิวที่เรียบขึ้น



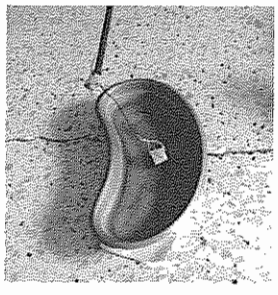
รูปที่ 4.11 ขณะทำการชุบสังกะสี

4.2.8 บ่อชุบที่ 7 บ่อน้ำสะอาด

บ่อน้ำสะอาด ทำการชุบเพื่อช่วยให้ชิ้นงานเย็นตัวอย่างรวดเร็ว

ผลการทดลองจะพบว่า ชิ้นงานที่ได้เมื่อนำขึ้นจากบ่อสังกะสีจะมีอุณหภูมิที่สูง เมื่อจุ่มลงในบ่อน้ำสะอาดนี้ที่ผิวเคลือบจะแข็งตัวติดกับชิ้นงาน ทำให้อุณหภูมิของชิ้นงานเย็นตัวลง

โดยน้ำสะอาดนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากน้ำสะอาดเป็นตัวช่วยเร่งให้ชิ้นงานเย็นตัวเร็วเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.12 ลักษณะการเกิดขณะทำการชุบน้ำสะอาด

4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 ทำการชุบเคลือบสังกะสีโดยปรับเปลี่ยนเวลาที่ในการชุบเคลือบ

4.3.1.1 ลักษณะภายนอกของชิ้นงาน

1. ชิ้นที่ 1 ชุบ 15 วินาที

ผลการทดลองจะพบว่าลักษณะภายนอกของชิ้นงานที่ผ่านการชุบสังกะสีในเวลาการชุบ 15 วินาที เนื่องจากเป็นเวลาที่ชิ้นงานกับสังกะสีหยุดทำปฏิกิริยาคือไม่เกิดการเดือดของน้ำโลหะ จะเห็นได้ว่าลักษณะผิวของชิ้นงานมีสีเป็นสีเทา ผิวชิ้นงานเรียบ ส่วนปลายของชิ้นงานที่เกิดจากการนำสังกะสีขึ้นตรงส่วนนั้นเป็นส่วนสุดท้ายจากบ่อ จึงทำให้เกิดเป็นตุ่มขึ้น

2. ชิ้นที่ 2 ชุบ 50 วินาที

ผลการทดลองจะพบว่าลักษณะภายนอกของชิ้นงานที่ผ่านการชุบสังกะสีในเวลาการชุบ 50 วินาที เนื่องจากเป็นเวลาที่ชิ้นงานกับสังกะสีเกิดปฏิกิริยาและสิ้นสุดการเปลี่ยนแปลงทั้งกระบวนการคือไม่มีควันเกิดขึ้นแล้ว จะเห็นได้ว่าลักษณะชิ้นงานมีสีเป็นสีเทา ผิวชิ้นงานจะเรียบไม่ค่อยเรียบ ส่วนที่นูนอยู่ด้านข้างของชิ้นงานเป็นส่วนที่ขณะนำชิ้นงานขึ้นเป็นส่วนบนสุดจึงทำให้สังกะสีที่เกาะอยู่เกิดการเย็นตัวจับตัวหนาอบยู่บนชิ้นงานและส่วนปลายของชิ้นงานเกิดจากการนำสังกะสีขึ้นตรงส่วนนั้นเป็นส่วนสุดท้ายจากบ่อ จึงทำให้เกิดเป็นตุ่มขึ้น

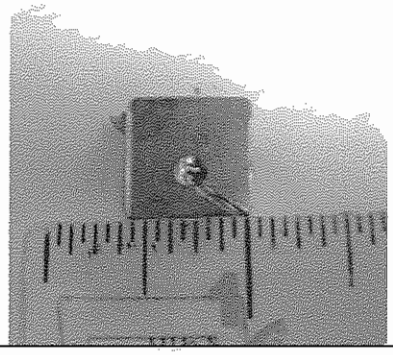
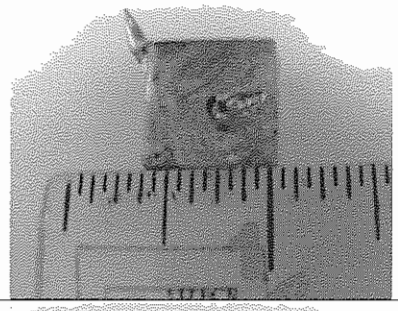
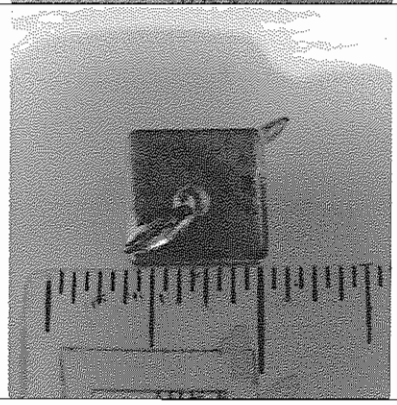
3. ชิ้นที่ 3 ชุบ 60 วินาที

ผลการทดลองจะพบว่าลักษณะภายนอกของชิ้นงานที่ผ่านการชุบสังกะสีในเวลาการชุบ 60 วินาที เนื่องจากโดยส่วนใหญ่จะใช้เวลาในการชุบชิ้นงานที่ 1-5 นาที จะเห็นได้ว่าลักษณะชิ้นงานมีสีเป็นสีเทา ผิวชิ้นงานจะเรียบ ส่วนที่นูนอยู่บนชิ้นงานเป็นส่วนที่ติดมากับลวดส่วนปลายของชิ้นงานเกิดจากการนำสังกะสีขึ้นตรงส่วนนั้นเป็นส่วนสุดท้ายจากบ่อ จึงทำให้เกิดเป็นตุ่มขึ้น

4. ชิ้นที่ 4 ชุบ 120 วินาที

ผลการทดลองจะพบว่าลักษณะภายนอกของชิ้นงานที่ผ่านการชุบสังกะสีในเวลาการชุบ 120 วินาที เนื่องจากน้ำโลหะสังกะสีเริ่มเย็นตัวลงจะทำให้ชิ้นงานติดกับเบ้าหลอม จะเห็นได้ว่าลักษณะชิ้นงานมีสีเป็นสีเทา ผิวชิ้นงานจะเรียบ ส่วนที่นูนอยู่ด้านข้างของชิ้นงานเป็นส่วนที่ขณะนำชิ้นงานขึ้นเป็นส่วนบนสุดจึงทำให้สังกะสีที่เกาะอยู่เกิดการเย็นตัวจับตัวหนาอยู่บนชิ้นงาน ส่วนปลายของชิ้นงานเกิดจากการนำสังกะสีขึ้นตรงส่วนนั้นเป็นส่วนสุดท้ายจากบ่อ จึงทำให้เกิดเป็นตุ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะผิวเคลือบภายนอกของชิ้นงาน

เวลาที่ใช้ในการชุบเคลือบ	**ลักษณะภายนอกของชิ้นงาน**
ชิ้นที่ 1 ชุบ **15 วินาที**	
ชิ้นที่ 2 ชุบ **50 วินาที**	
ชิ้นที่ 3 ชุบ **60 วินาที**	
ชิ้นที่ 4 ชุบ **120 วินาที**	

จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่า ชิ้นงานแต่ละชิ้นมีการชุบเคลือบสังกะสีในเวลาที่แตกต่างกันจึงทำให้สังกะสีที่เกาะผิวชิ้นงานมีความหนาไม่เท่ากัน ซึ่งจะเห็นว่าชิ้นงานที่ใช้เวลาน้อยผิวของชิ้นงานจะมีความเรียบและบางกว่าชิ้นงานที่ใช้เวลาในการชุบเคลือบมาก เพราะชิ้นงานที่ใช้เวลาในการชุบเคลือบมากจะมีผิวชิ้นงานไม่เรียบ เนื่องจากสังกะสีมีความหนืดมากจากการเย็นตัวลง

4.3.1.2 **ลักษณะและความหนาของผิวเคลือบจากการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง** (Optical Microscope : OM)

ในการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงนั้นทดสอบ เพื่อดูชั้นผิวเคลือบของชิ้นงานในแต่ละชิ้นว่าที่เวลาในการชุบเคลือบต่างกันผิวเคลือบของชิ้นงานจะมีความหนาแตกต่างกันอย่างไร

1. **ชิ้นที่ 1 ชุบ 15 วินาที**

ผลการทดลองจะพบว่าผิวเคลือบ มีความบางมากจึงไม่สามารถมองเห็นเป็นชั้นเคลือบผิวชิ้นงานได้ในทุกกำลังขยาย เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการชุบเคลือบน้อยทำให้ผิวเคลือบบางและมีข้อจำกัดเรื่องกำลังขยายของกล้องรวมไปถึงการเตรียมชิ้นงานไม่ดีจึงไม่สามารถมองเห็นผิวเคลือบที่ชิ้นงานได้

2. **ชิ้นที่ 2 ชุบ 50 วินาที**

ผลการทดลองจะพบว่าผิวเคลือบ มีความหนาน้อยและมีชั้นเคลือบที่ไม่สม่ำเสมอหรือหนาบางไม่เท่ากันทั้งชิ้นงานเนื่องจากเมื่อนำชิ้นงานจุ่มลงในน้ำสังกะสีพื้นที่ผิวชิ้นงานด้านล่างจะสัมผัสกับผิวน้ำสังกะสีซึ่งมีอุณหภูมิที่น้อยกว่าน้ำสังกะสีภายในเบ้าหลอมจึงทำให้ผิวเคลือบหนาบางไม่เท่ากัน ความหนาชั้นเคลือบ 0.018 มิลลิเมตร

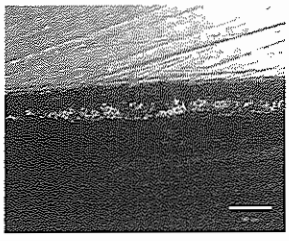
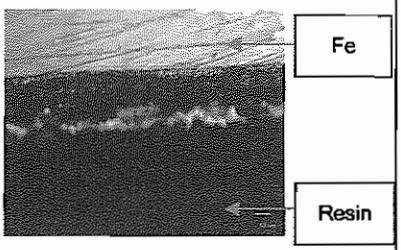
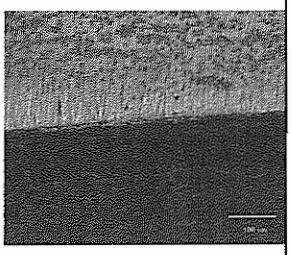
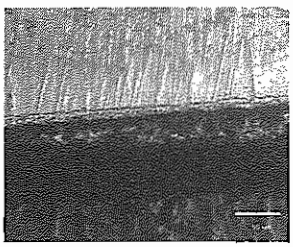
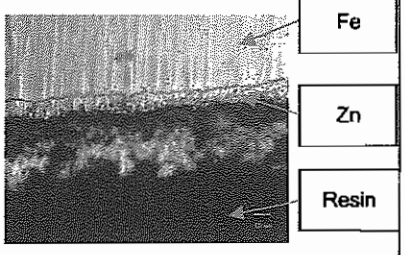
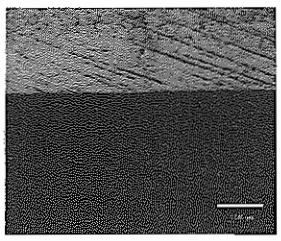
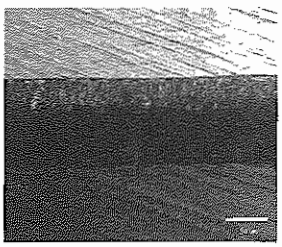
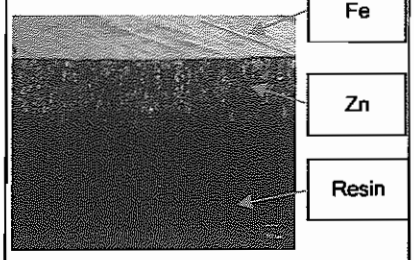
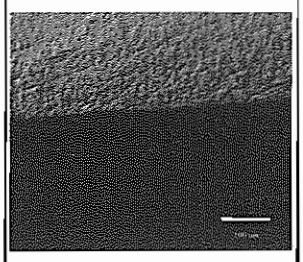
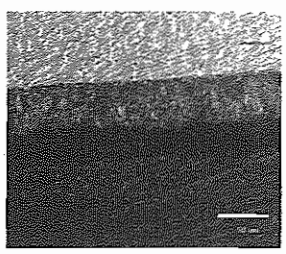
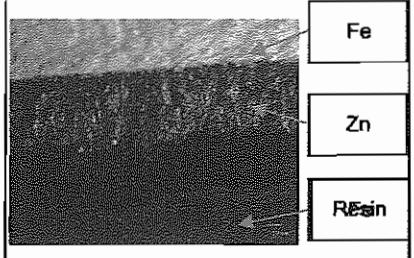
3. **ชิ้นที่ 3 ชุบ 60 วินาที**

ผลการทดลองจะพบว่าผิวเคลือบ มีความหนาและมีชั้นเคลือบที่สม่ำเสมอ ความหนาชั้นเคลือบ 0.048 มิลลิเมตร

4. **ชิ้นที่ 4 ชุบ 120 วินาที**

ผลการทดลองจะพบว่าผิวเคลือบ มีความหนาเป็นชั้นอย่างเห็นได้ชัด และมีชั้นเคลือบที่สม่ำเสมอ ความหนาชั้นเคลือบ 0.071 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะผิวเคลือบจากการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope : OM)

ชิ้นงาน (วินาที)	100 ไมครอน	50 ไมครอน	10 ไมครอน
ชิ้นที่ 1 ชุบ15			
ชิ้นที่ 2 ชุบ50			
ชิ้นที่ 3 ชุบ 60			
ชิ้นที่ 4 ชุบ 120			

จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่า ชิ้นงานชุบที่ 15 วินาที ไม่สามารถส่องเห็นชั้นผิวเคลือบ เพราะกำลังขยายกล้องในการส่องไม่เพียงพอ ชิ้นงานชุบที่ 50, 60 และ 120 วินาทีสามารถส่องเห็นชั้นผิวเคลือบได้ชัดขึ้นและหนาขึ้นตามลำดับ เนื่องจากกำลังขยายสูงสุดจะสามารถมองเห็นชั้นผิวเคลือบได้ชัดเจนที่สุด การวัดความหนาแสดงดังภาคผนวก ค

4.3.1.3 ลักษณะผิวเคลือบจากการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

ในการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เนื่องจากชิ้นงานที่ทำการชุบเคลือบที่เวลา 15 วินาที ไม่สามารถมองเห็นชั้นผิวเคลือบได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง เพราะกล้องจุลทรรศน์แบบแสงมีกำลังขยายไม่เพียงพอ

1. ชิ้นที่ 1 ชุบ 15 วินาที

ผลการทดลองจะพบว่าชิ้นงานที่หยุดปฏิกิริยาใช้เวลาในการชุบ 15 วินาที เป็นชิ้นงานที่ได้จากการส่องภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงลักษณะดังตารางที่ 4.3 ชิ้นที่ 1 ชุบ 15 วินาที จะเห็นเป็นชั้น 2 ชั้น โดยชั้นที่ 1 เป็นชั้นของชิ้นงาน ในส่วนชั้นที่ 2 เป็นชั้นสังกะสีผสมเหล็กมีความหนา 0.175 มิลลิเมตร และใช้ระบบ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer : EDS) ในการทดลองนี้จะเห็นเป็นชั้น 2 ชั้น คือ

ชั้นที่ 1 เหล็ก (Fe) ปริมาณร้อยละ 99.37 โดยธาตุ ซิลิกอน (Si) ปริมาณร้อยละ 0.63 โดยธาตุ ในส่วนของชั้นนี้จะเรียกว่าชั้นเหล็ก (Base Steel) ซึ่งเป็นชั้นชิ้นงานที่นำมาชุบเคลือบผิวด้วยสังกะสี เนื่องจากเป็นชั้นของชิ้นงานที่นำมาชุบเคลือบผิวด้วยสังกะสี

ชั้นที่ 2 เหล็ก (Fe) ปริมาณร้อยละ 4.01 โดยธาตุ สังกะสี (Zn) ปริมาณร้อยละ 95.99 โดยธาตุ ในส่วนของชั้นนี้จะเรียกว่าชั้นซีต้า (Zeta Layer) ซึ่งเป็นชั้นที่ชั้นโลหะผสมสังกะสี 96 เปอร์เซ็นต์ – เหล็ก 5.8 ถึง 6.2 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้น

$$Zn_{(aq)} + Fe^{2+}{}_{(s)} \longrightarrow Zn^{2+}{}_{(s)} + Fe_{(s)} \qquad (4.4)$$

2. ชิ้นที่ 4 ชุบ 120 วินาที

ผลการทดลองจะพบว่าชิ้นงานที่ใช้เวลาในการชุบ 120 วินาที เป็นชิ้นงานที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) แสดงลักษณะดังตารางที่ 4.3 ชิ้นงานที่ 4 ชุบที่ 120 วินาที จะเห็นเป็นชั้น 2 ชั้น โดยชั้นที่ 1 เป็นชั้นของชิ้นงานส่วนชั้นที่ 2 เป็นชั้นเหล็กผสมสังกะสีมีความหนา 0.113 มิลลิเมตร และชิ้นที่ 3 เป็นชิ้นสังกะสี มีความหนา 0.288 มิลลิเมตร โดยใช้ระบบ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer : EDS) ในการทดลอง และชิ้นงานนี้จะเห็นเป็นชั้น 3 ชั้นคือ

ชั้นที่ 1 เหล็ก (Fe) ปริมาณร้อยละ 99.37 โดยธาตุ ซิลิกอน (Si) ปริมาณร้อยละ 0.63 โดยธาตุ ในส่วนของชั้นนี้จะเรียกว่าชั้นโลหะผสมระหว่างเหล็กกับสังกะสี

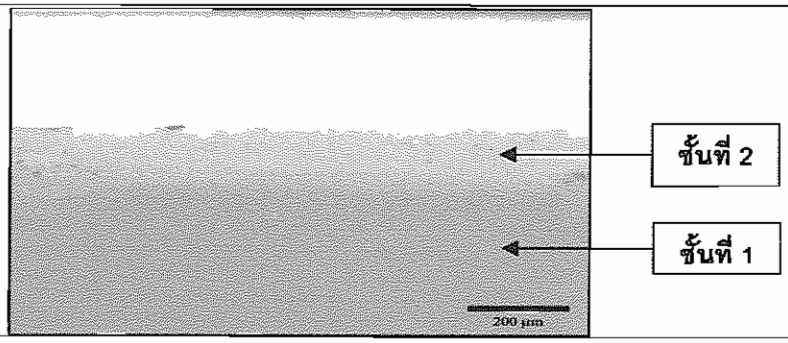
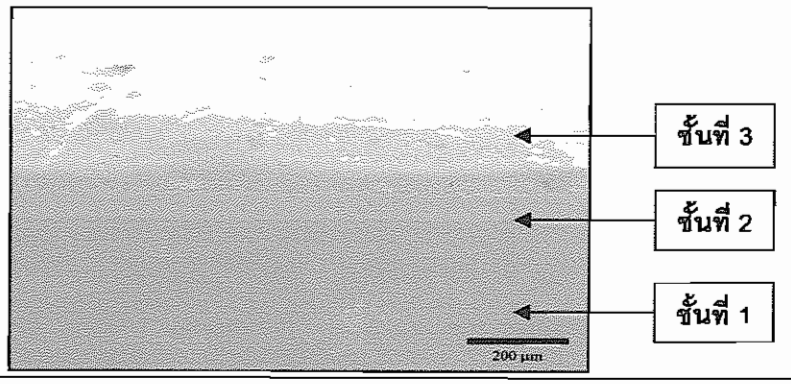
ชั้นที่ 2 เหล็ก (Fe) ปริมาณร้อยละ 12.41 โดยธาตุ สังกะสี (Zn) ปริมาณร้อยละ 87.59 โดยธาตุ ในส่วนของชั้นนี้จะเรียกว่าชั้นโลหะผสมสังกะสี 90 เปอร์เซ็นต์ – เหล็ก 7 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้น

$$Zn_{(aq)} + Fe^{2+}{}_{(s)} \longrightarrow Zn^{2+}{}_{(s)} + Fe_{(s)} \qquad (4.5)$$

ชั้นที่ 3 สังกะสีปริมาณร้อยละ 100 โดยธาตุ ในส่วนของชั้นนี้ ผิวนอกสุดจะมีสังกะสีอย่างเดียวเนื่องจากการการเอาไปเคลือบเท่านั้น ซึ่งเป็นสังกะสี 100 เปอร์เซ็นต์

เนื่องจาก EDS มีข้อจำกัด คือไม่สามารถหาค่าคาร์บอน (Carbon : C) ได้ จึงมองไม่เห็น คาร์บอน (Carbon : C) ในเหล็ก (Fe) เพราะระบบ EDS จะไม่สามารถวัดธาตุที่มีเลขอะตอมน้อยกว่า 10 ได้

ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะผิวเคลือบจากการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

ชิ้นงาน	**ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง**
ชิ้นที่ 1 **ชุบ15 วินาที**	
ชิ้นที่ 4 **ชุบ 120 วินาที**	

จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่า ชิ้นงานที่ 1 ใช้เวลาในการชุบ 15 วินาที สามารถส่องเห็นได้ 2 ชั้นคือชั้นเหล็ก ซึ่งเป็นชั้นชิ้นงานที่นำมาชุบเคลือบผิวด้วยสังกะสีและชั้นเหล็กผสมสังกะสี 96 เปอร์เซ็นต์ – เหล็ก 5.8 ถึง 6.2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชิ้นงานที่ 2 ใช้เวลาในการชุบ 120 วินาที จะเห็นเป็นชั้น 3 ชั้น คือ ชั้นที่ 1 เป็นชั้นเหล็ก เนื่องจากเป็นชั้นของชิ้นงานที่นำมาชุบเคลือบผิวด้วยสังกะสี ชั้นที่ 2 เป็น ชั้นโลหะผสมสังกะสี 90 เปอร์เซ็นต์ – เหล็ก 7 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนชั้นที่ 3 เป็นผิวนอกสุดจะมีสังกะสีอย่างเดียวเนื่องจากการการเอาไปเคลือบเท่านั้น ซึ่งเป็นสังกะสี 100 เปอร์เซ็นต์

4.3.2 **ผลการทดสอบการทนละอองน้ำเกลือ** (Salt Spray Test)

ชิ้นงานที่ชุบเคลือบสังกะสีถูกกัดกร่อน เพราะสังกะสี (Zn) จะทำหน้าที่เป็นแอโนดซึ่งมีศักย์ไฟฟ้า (E_0) เท่ากับ -0.76 ส่วนเหล็ก (Fe) ทำหน้าที่เป็นแคโทดมีศักย์ไฟฟ้า (E_0) เท่ากับ -0.44 ซึ่งทำให้ผิวสังกะสี (Zn) จึงถูกกัดกร่อน เนื่องจากสังกะสี (Zn) มีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเหล็ก (Fe) จึงเกิดปฏิกิริยาเคมีทำให้สังกะสี (Zn) ถูกกัดกร่อนออกไป

การทดสอบการทนละอองน้ำเกลือ (Salt Spray Test) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM หมายเลข B-117 คือจากการทดสอบเป็นเวลา 10 วัน จึงนำชิ้นงานมาวิเคราะห์สนิมที่เกิดขึ้นโดยใช้แผ่นใสตีตารางวัดที่หน้าผิวชิ้นงานขนาด 0.5 ตารางนิ้ว ได้จำนวนช่อง 56 ช่อง จากผลการทดสอบเป็นดังต่อไปนี้

4.3.2.1 ชิ้นงานทดสอบที่ 1

ผลการทดลองจะพบว่าชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการชุบเคลือบ ซึ่งเวลาในการทดสอบ 10 วัน ชิ้นงานนี้จะเริ่มถูกกัดกร่อนอย่างรวดเร็วภายในเวลาตั้งแต่ 30 นาทีที่ทำการทดสอบ ซึ่งผิวของชิ้นงานจะเกิดสนิมขึ้นโดยทั่ว จากการทดสอบใช้แผ่นใสตีตารางโดยวัดที่หน้าผิวชิ้นงาน จำนวน 56 ช่อง เกิดสนิม 54 ช่อง คิดเป็นร้อยละ 96.4 ของพื้นที่ผิวทดสอบ

4.3.2.2 ชิ้นงานทดสอบที่ 2 เวลา 15 วินาที

ผลการทดลองจะพบว่าชิ้นงานที่ทำการชุบในเวลา 15 วินาที ซึ่งใช้เวลาในการทดสอบ 10 วัน จะเห็นว่าลักษณะภายนอกของผิวชิ้นงานจะถูกกัดกร่อนจนถึงเนื้อโลหะจนทั่วบริเวณผิวหน้าชิ้นงานจึงเกิดมีสนิมขึ้นมา จากการทดสอบจำนวน 56 ช่อง เกิดสนิม 4 ช่อง คิดเป็นร้อยละ 7.14 ของพื้นที่ผิวหน้าดัดชิ้นงานที่ทดสอบ และโดยรอบของชิ้นงานมีคราบเกลือเกาะอยู่

4.3.2.3 ชิ้นงานทดสอบที่ 3 เวลา 50 วินาที

ผลการทดลองจะพบว่าชิ้นงานที่ทำการชุบในเวลา 50 วินาที ซึ่งใช้เวลาในการทดสอบ 10 วัน จะเห็นว่าลักษณะภายนอกของผิวชิ้นงานจะถูกกัดกร่อนบริเวณขอบชิ้นงานเป็นบริเวณกว้างแต่การกัดกร่อนนี้กัดกร่อนถึงเนื้อโลหะเพียงเล็กน้อยจึงเกิดสนิมเพียงเล็กน้อยเช่นกัน

จากการทดสอบจำนวน 56 ช่อง เกิดสนิม 1/3 ช่อง คิดเป็นร้อยละ 0.59 ของพื้นที่ผิวหน้าตัดชิ้นงานด้านที่ทดสอบ ส่วนบริเวณตรงกลางของชิ้นงานยังมีสังกะสีเคลือบติดอยู่จำนวนมาก และโดยรอบของชิ้นงานมีคราบเกลือเกาะอยู่

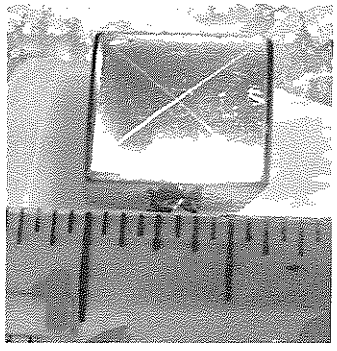
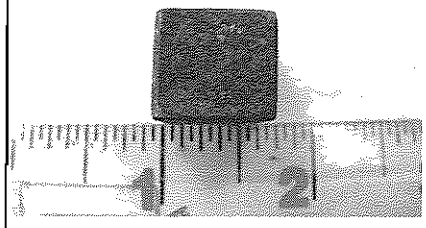
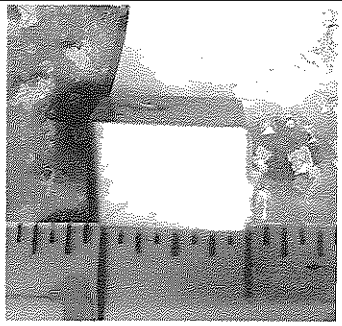
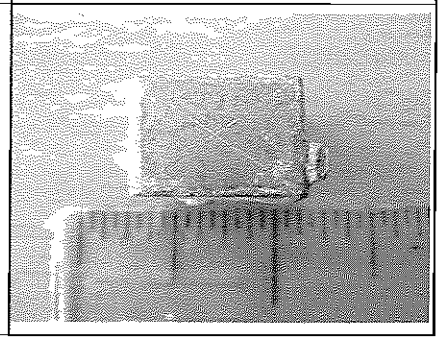
4.3.2.4 ชิ้นงานทดสอบที่ 4 เวลา 60 วินาที

ผลการทดลองจะพบว่าชิ้นงานที่ทำการชุบในเวลา 1 นาที ซึ่งใช้เวลาในการทดสอบ 10 วัน จะเห็นว่าลักษณะภายนอกของผิวชิ้นงานจะถูกกัดกร่อนเฉพาะเนื้อสังกะสี ซึ่งไม่เกิดสนิมขึ้น โดยรอบชิ้นงานยังมีคราบเกลือเกาะติดอยู่

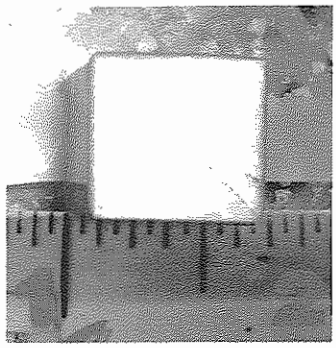
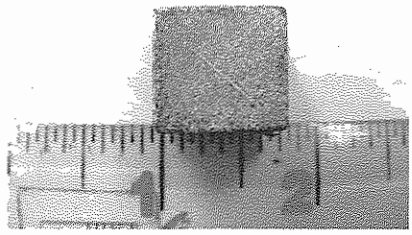
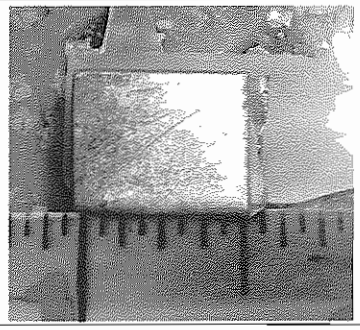
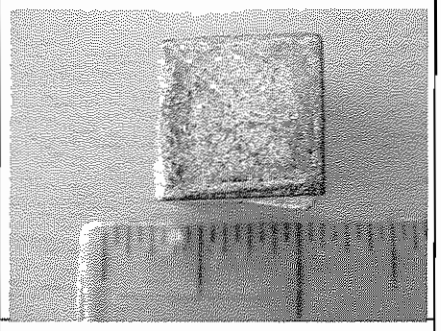
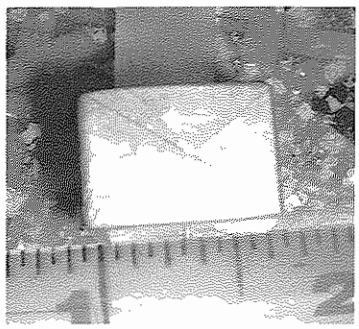
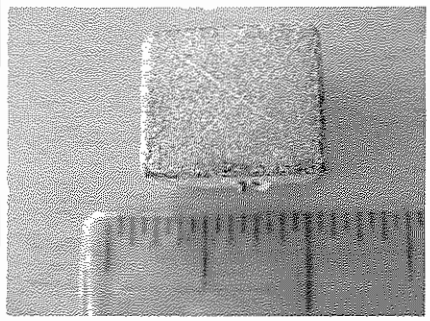
4.3.2.5 ชิ้นงานทดสอบที่ 5 เวลา 120 วินาที

ผลการทดลองจะพบว่าชิ้นงานที่ทำการชุบในเวลา 2 นาที ซึ่งใช้เวลาในการทดสอบ 10 วัน จะเห็นว่าลักษณะภายนอกของผิวชิ้นงานจะถูกกัดกร่อนเฉพาะเนื้อสังกะสีเพียงเล็กน้อยซึ่งไม่เกิดสนิม โดยรอบชิ้นงานยังมีคราบเกลือเกาะติดอยู่

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบการทนละอองน้ำเกลือ (Salt Spray Test)

ชิ้นงาน	ก่อนทดสอบ	การทดสอบพ่นละอองเกลือ
ชิ้นงานทดสอบที่ 1 ไม่ได้ชุบเคลือบ		
ชิ้นงานทดสอบที่ 2 15 วินาที		

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบการทนละอองน้ำเกลือ (Salt Spray Test)

ชิ้นงาน	ก่อนทดสอบ	การทดสอบพ่นละอองเกลือ
ชิ้นงานทดสอบที่ 3 50 วินาที		
ชิ้นงานทดสอบที่ 4 60 วินาที		
ชิ้นงานทดสอบที่ 5 120 วินาที		

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ชิ้นงานทั้ง 5 ชิ้น มีลักษณะผิวภายนอกที่ถูกกัดกร่อนแตกต่างกันเนื่องมาจากความหนาของสังกะสี จากการทดสอบโดยใช้แผ่นใสตีตารางวัดที่หน้าผิวชิ้นงานขนาด 0.5 ตารางนิ้ว ได้จำนวนช่อง 56 ช่อง ซึ่งสามารถเรียงลำดับของการกัดกร่อนจากมากสุดไปยังน้อยสุดได้ดังนี้

1. ชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการชุบเคลือบสังกะสี จากการทดสอบเกิดสนิม 54 ช่อง คิดเป็นร้อยละ 96.4 ของพื้นที่ผิวหน้าตัดชิ้นงาน

2. ชิ้นงานชุบที่ 15 วินาที จากการทดสอบ เกิดสนิม 4 ช่อง คิดเป็นร้อยละ 7.14 ของพื้นที่ผิวหน้าตัดชิ้นงานที่ทดสอบ

3. ชิ้นงานชุบที่ 50 วินาที จากการทดสอบเกิดสนิม 1/3 ช่อง คิดเป็นร้อยละ 0.59 ของพื้นที่ผิวหน้าตัดชิ้นงานที่ทดสอบ

4. ชิ้นงานชุบที่ 60, 120 วินาที จากการทดสอบไม่พบการเกิดสนิมขึ้นที่ผิวโลหะ เนื่องจากสังกะสี (Zn) เป็นตัวถูกกัดกร่อน ทำให้ไม่เห็นสนิมที่เหล็ก (Fe) เพราะสังกะสี (Zn) มีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเหล็ก (Fe) จึงไม่เห็นสนิมที่เหล็ก โดยที่การกัดกร่อนจะไปเกิดที่สังกะสี (Zn) เพียงอย่างเดียว

โดยสรุปเป็นดังตารางที่ 4.5 ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบการกัดกร่อนของชิ้นงานที่ทดสอบ

ชิ้นงาน	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	ชิ้นที่ 4	ชิ้นที่ 5
การกัดกร่อน	ร้อยละ 96.4	ร้อยละ 7.14	ร้อยละ 0.59	-	-