

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

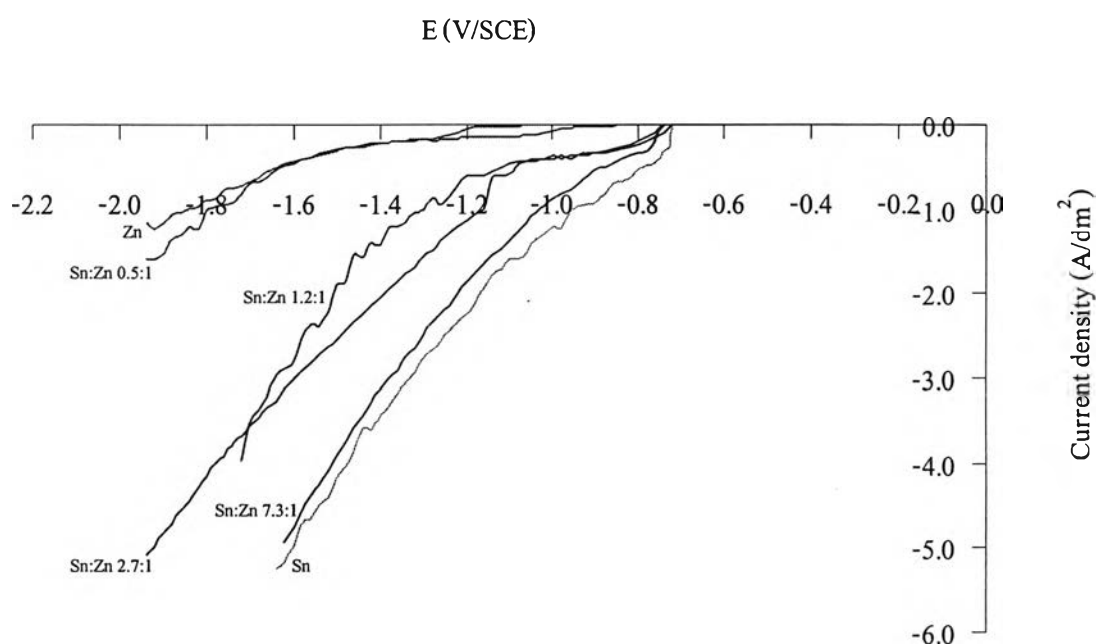
งานวิจัยนี้ศึกษาภาวะการชุบเคลือบผิวเหล็กด้วยโลหะผสมดีบุก-สังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ภาวะกรด โดยใช้เทคนิคการชุบเคลือบผิวด้วยกระแสไฟฟ้า และศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีต่อการชุบเคลือบผิว สมบัติและลักษณะของผิวเคลือบดีบุก-สังกะสี

4.1 โพลาริเซชันของการเคลือบผิวโลหะผสมดีบุก-สังกะสี

กราฟโพลาริเซชันเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับศักย์ไฟฟ้าในระบบเคมีไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษากราฟโพลาริเซชันของการเคลือบผิวโลหะผสมดีบุก-สังกะสีโดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าของการเคลือบผิวเหล็กด้วยดีบุก สังกะสี และโลหะผสมของดีบุก-สังกะสีที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีเท่ากับ 0.5:1, 1.2:1, 2.7:1 และ 7.3:1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในช่วง 4-5 พบว่าเส้นกราฟโพลาริเซชันของโลหะดีบุกจะเริ่มเกิดปฏิกิริยารีดักชันก่อนโลหะสังกะสี โดยกราฟของดีบุกจะเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ -0.72 โวลต์/SCE ในขณะที่กราฟของสังกะสีจะเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ประมาณ -1.2 โวลต์/SCE เนื่องจากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันของดีบุก (-0.14 โวลต์/SHE) มีค่ามากกว่าค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันของสังกะสี (-0.76 โวลต์/SHE) ทำให้ดีบุกสามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้ก่อนสังกะสี

เมื่ออัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น ความชันของเส้นโพลาริเซชันจะเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากโลหะดีบุกสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าโลหะสังกะสี จึงทำให้เมื่อปริมาณของดีบุกในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น เส้นกราฟจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อพิจารณาศักย์ไฟฟ้าที่เริ่มการเกิดปฏิกิริยาของโลหะผสม พบว่ากราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมจะอยู่ระหว่างเส้นกราฟโพลาริเซชันของโลหะดีบุกและสังกะสีอย่างเดี่ยว โดยเมื่อสัดส่วนของดีบุกในโลหะผสมลดลงจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่เริ่มเกิดปฏิกิริยามีค่าเป็นลบมากขึ้น และจะมีค่าใกล้กับศักย์ไฟฟ้ารีดักชันของโลหะดีบุกมากกว่าโลหะสังกะสี เนื่องมาจากการเคลือบผิวของโลหะผสมดีบุก-สังกะสีในช่วงแรกจะเป็นการเข้าเคลือบผิวของโลหะดีบุกบนผิวเหล็กก่อน จากนั้นจะเป็นการเข้าเคลือบผิวของโลหะสังกะสีบนผิวเหล็กและผิวดีบุก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guaus และคณะ [23] โดยสารประกอบเชิงซ้อนที่ใช้เหมือนกัน คือ โซเดียมกลูโคเนต พบว่าการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะผสมดีบุก-สังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์

ไอออนของดีบุกจะรวมตัวกับกลูโคเนตแอนไอออน (gluconate anion) และไฮดรอกไซด์ไอออน (hydroxide anion) ซึ่งเป็นลิแกนด์ โดยดีบุกจะเกิดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันผ่าน SnOH^+ และสารประกอบเชิงซ้อนของดีบุก-กลูโคเนต (Sn-gluconate complexes) ส่วนไอออนสังกะสีจะรวมตัวกับกลูโคเนตแอนไอออน และซัลเฟตแอนไอออน (sulphate anion) ซึ่งเป็นลิแกนด์ โดยสังกะสีจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันผ่านสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสี-ซัลเฟต (Zn-sulphate complexes) และสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสี-กลูโคเนต (Zn-gluconate complexes) โดยโพลาริเซชันในการชุบเคลือบด้วยโลหะผสมดีบุก-สังกะสี จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันผ่าน SnOH^+ ก่อน หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันผ่านสารประกอบเชิงซ้อนของ ดีบุก-กลูโคเนต, สังกะสี-กลูโคเนต และสังกะสี-ซัลเฟต ตามลำดับ และยังพบว่าเมื่ออัตราส่วนของดีบุก-สังกะสีลดลง ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เริ่มเกิดปฏิกิริยารีดักชันจะเลื่อนไปทางลบมากขึ้น



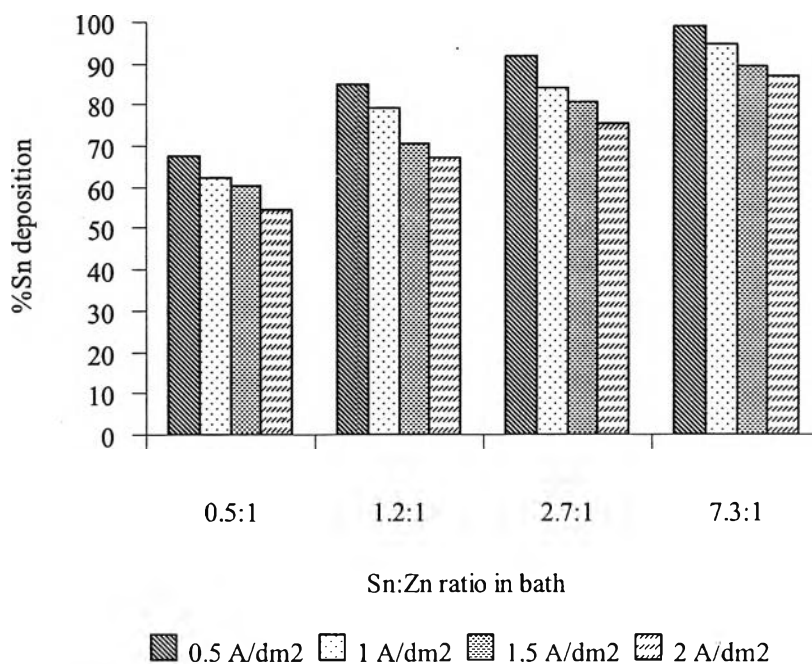
รูปที่ 4.1 โพลาริเซชันแสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีต่างๆ

4.2 การชุบเคลือบผิวเหล็กด้วยโลหะผสมดีบุก-สังกะสีโดยใช้กระแสไฟฟ้า

งานวิจัยนี้จะศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ต่อการชุบเคลือบผิวเหล็ก โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนของโลหะผสมดีบุก-สังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ในช่วง 0.5:1 - 7.3:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในช่วง 0.5 - 2 A/dm² ชนิดและความเข้มข้นของสารเติมแต่งซึ่งได้แก่ เฮกซะมีน ฟอรัมาลดีไฮด์ และ พอลิเอทิลีนไกลคอล ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในช่วง 4-5 เวลาในการชุบเคลือบ 2 ชั่วโมง

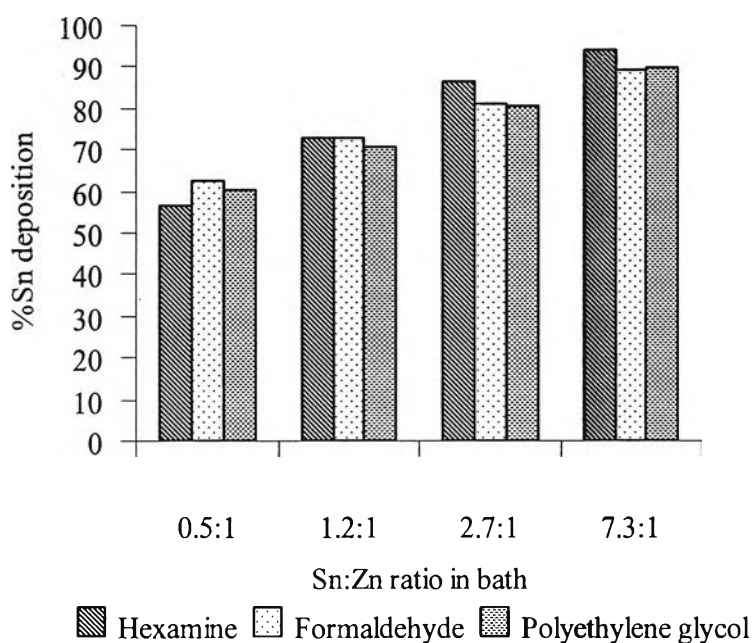
- องค์ประกอบของโลหะผสมในผิวเคลือบ

รูปที่ 4.2 แสดงผลของอัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อร้อยละของดีบุกในผิวเคลือบ โดยใช้พอลิเอทิลีน ไกลคอลที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร เป็นสารเติมแต่ง เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีเดียวกัน พบว่าเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำจะทำให้สัดส่วนของดีบุกในผิวเคลือบสูงกว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูง โดยที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในสารละลายมีค่าเท่ากับ 7.3:1 จะได้ปริมาณดีบุกในผิวเคลือบมากกว่าร้อยละ 90 ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 1 A/dm² โดยที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.5 A/dm² ผิวเคลือบจะประกอบด้วยดีบุกเกือบทั้งหมด แต่เมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามากกว่า 1 A/dm² ร้อยละการพอกพูนของดีบุกในผิวเคลือบมีค่าประมาณ 86-88 ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วลดลง (เป็นลบมากขึ้น) ส่งผลให้การพอกพูนของสังกะสีเกิดขึ้นได้พร้อมกับการพอกพูนของดีบุก จึงทำให้สัดส่วนของสังกะสีในผิวเคลือบมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang และคณะ [22]



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการพอกพูนของดีบุกในผิวเคลือบและอัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในอ่างชุบที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ โดยใช้พอลิเอทิลีน ไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร

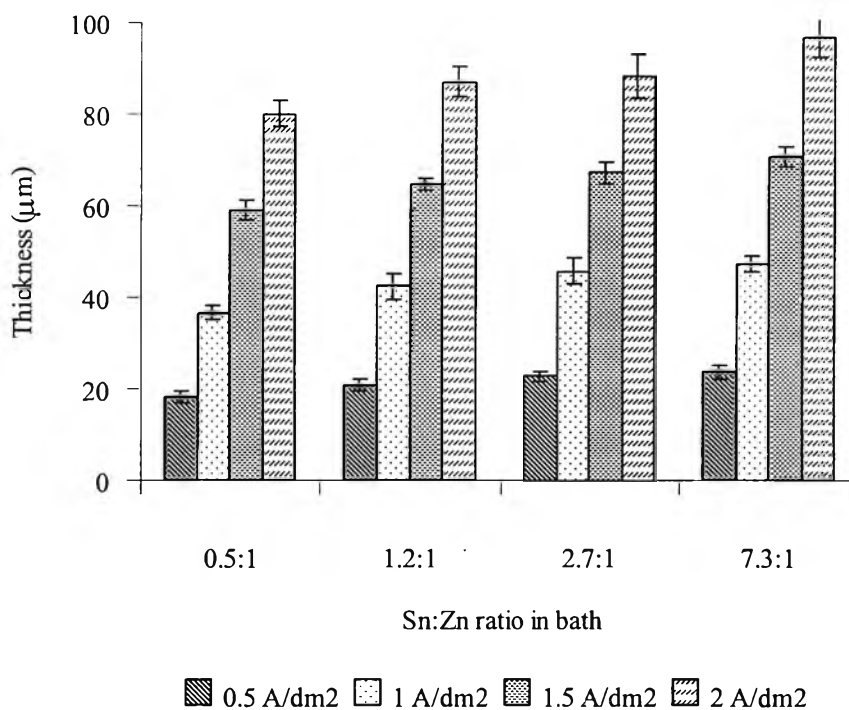
เมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเดียวกัน พบว่าเมื่ออัตราส่วนของดีบุกในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละการพอกพูนของดีบุกในผิวเคลือบเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าเมื่อปริมาณของดีบุกในสารละลายเพิ่มมากขึ้น จะทำให้มีไอออนของดีบุกมาเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาตามสมการของเนินสต์ (สมการที่ 2.13) จะเห็นว่าเมื่อไอออนของดีบุกที่ผิวของแคโทดเพิ่มขึ้น ค่าศักย์ไฟฟ้าการพอกพูน (deposition potential) ของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีจะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีค่าใกล้กับค่าศักย์ไฟฟ้าสมดุล (equilibrium potential) ของดีบุกมากขึ้น ทำให้การพอกพูนของดีบุกบนผิวเคลือบเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ashiru และคณะ [19] อย่างก็ดี ถ้าในสารละลายมีความเข้มข้นของดีบุกต่ำ กลไกการพอกพูนของดีบุกจะถูกควบคุมโดยการแพร่ของดีบุกในสารละลายมาที่ผิวแคโทด ทำให้อัตราการพอกพูนของดีบุกที่ผิวชิ้นงานต่ำลง เมื่อทำการทดลองโดยใช้สารเติมแต่งเป็นเฮกซะมีนและฟอร์มัลดีไฮด์ก็จะให้ผลที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่ง ดังแสดงในภาคผนวก ค รูปที่ ค-1 และ ค-2 ตามลำดับ รูปที่ 4.3 แสดงผลของร้อยละการพอกพูนของดีบุกในผิวเคลือบและอัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในสารละลายที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 1.5 A/dm^2 พบว่า ที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในสารละลายมีค่าเท่ากับ 0.5:1 และ 1.2:1 ร้อยละการพอกพูนของดีบุกในผิวเคลือบไม่แตกต่างกันมากนักไม่ว่าจะใช้สารเติมแต่งชนิดใด และที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีเท่ากับ 2.7:1 และ 7.3:1 เมื่อใช้เฮกซะมีนเป็นสารเติมแต่ง ร้อยละการพอกพูนของดีบุกในผิวเคลือบมากกว่าเมื่อใช้ฟอร์มัลดีไฮด์และพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่ง



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการพอกพูนของดีบุกในผิวเคลือบและอัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในอ่างชุบที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 1.5 A/dm^2 เมื่อใช้สารเติมแต่งชนิดต่างๆ

- ความหนาของผิวเคลือบโลหะผสม

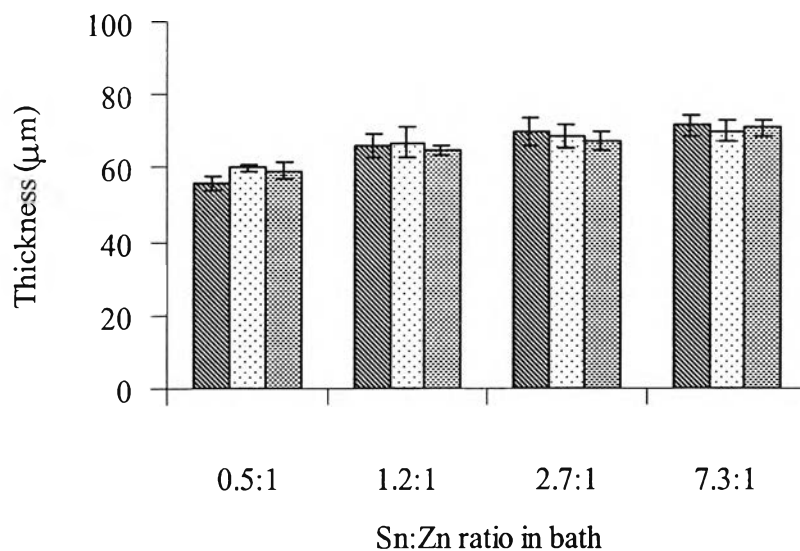
ความหนาของผิวเคลือบจะส่งผลต่อโอกาสที่ชิ้นงานจะสัมผัสกับอากาศและเกิดการผุกร่อน ถ้าผิวเคลือบบางโอกาสการผุกร่อนของชิ้นงานก็จะสูง ในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของอัตราส่วนของ ดินบุกต่อสังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่อความหนาของผิวเคลือบโลหะผสมดินบุก-สังกะสี โดยใช้สารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของดินบุกต่อสังกะสีในอ่างชุบและความหนาของผิวเคลือบที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ โดยใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของดินบุกต่อสังกะสีในอ่างชุบและความหนาของผิวเคลือบที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆพบว่าเมื่ออัตราส่วนของดินบุกต่อสังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนาของผิวเคลือบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเดียวกัน โดยที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในช่วง 0.5 ถึง 1.5 A/dm² จะทำให้ความหนาของผิวเคลือบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงแรก (อัตราส่วนของดินบุกต่อสังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 0.5:1 ถึง 1.2:1) หลังจากนั้นความหนาของผิวเคลือบค่อนข้างคงที่ ส่วนที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 2 A/dm² ความหนาของผิวเคลือบจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของดินบุกต่อสังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นความแตกต่างมากกว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในช่วง 0.5 ถึง 1.5 A/dm² และพบว่าเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาของผิวเคลือบเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ (สมการที่ 2.24)

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการใช้เฮกซะมีน (ภาคผนวก ค รูปที่ ค-3) และ ฟอรัมาลดีไฮด์ (ภาคผนวก ค รูปที่ ค-4) เป็นสารเติมแต่ง รูปที่ 4.5 แสดงผลของอัตราส่วนของ ดีบุกต่อสังกะสีในอ่างชุบและความหนาของผิวเคลือบที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 1.5 A/dm^2 เมื่อใช้สารเติมแต่งชนิดต่างๆ พบว่า ความหนาของผิวเคลือบมีค่าใกล้เคียงกันไม่ว่าจะใช้ สารเติมแต่งชนิดใด



■ Hexamine □ Formaldehyde ▨ Polyethylene glycol

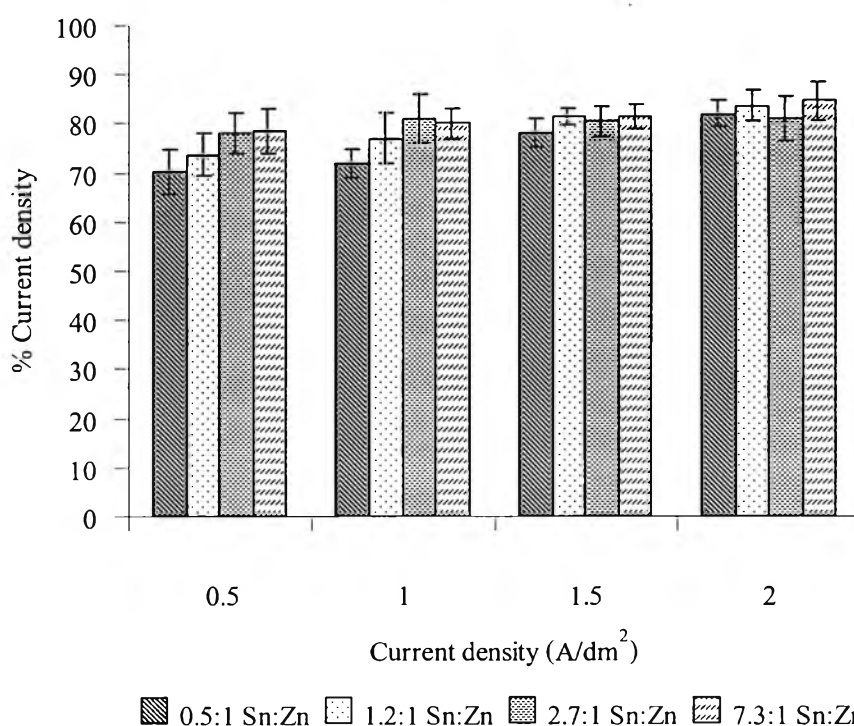
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในอ่างชุบและความหนาของ ผิวเคลือบที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 1.5 A/dm^2 เมื่อใช้สารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ

- ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า

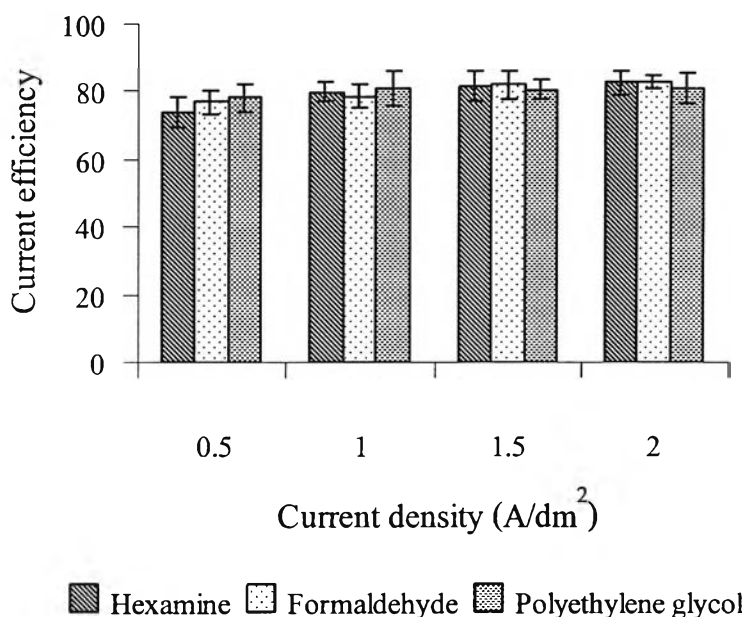
ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ถูกใช้จริงในการเกิดปฏิกิริยาเทียบกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ต้องการ ถ้าระบบใดมีประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าสูงแสดงว่าระบบนั้นมีการใช้กระแสไฟฟ้าอย่างคุ้มค่า แต่ถ้าระบบใดมีประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าต่ำแสดงว่าระบบนั้นมีการสูญเสียกระแสไฟฟ้าไปในการเกิดปฏิกิริยาอื่น โดยค่าประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของผิวเคลือบจากการทดลองและน้ำหนักของผิวเคลือบที่คำนวณได้จากทฤษฎี (ภาคผนวก ง-2)

รูปที่ 4.6 แสดงผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มีต่อประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า เมื่อใช้สารเติมแต่งพอลิเอทิลีน ไกลคอลที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่อัตราส่วนของ ดีบุก-สังกะสีต่ำๆ (0.5:1) เนื่องจากที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้า ทำให้ไอออนโลหะผสมเข้าเคลือบผิวได้น้อย ผิวเคลือบจึงน้ำหนักน้อย แต่เมื่อเพิ่มความหนาแน่น

กระแสไฟฟ้า ปฏิกริยาจะเกิดได้เร็วขึ้น ทำให้ไอออนของโลหะผสมเข้าเคลือบผิวได้มากขึ้น ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าจึงเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 2.7:1 และ 7.3:1 ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้ามีค่าไม่ต่างกันมากนัก ส่วนที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 0.5:1 และ 1.2:1 เมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า จะทำให้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และพบว่าที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสี 0.5:1 จะมีค่าประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าต่ำกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ เนื่องมาจากที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสี 0.5:1 จะมีปริมาณของไอออนดีบุกในสารละลายอิเล็กโทรไลต์น้อย จึงทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันของโลหะผสมมีค่าลบมากขึ้น (ตามผลที่ได้จากการศึกษาโพลาริเซชันในหัวข้อ 4.1) ดังนั้นที่ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำ ปฏิกริยารีดักชันจึงยังเกิดได้ไม่ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าต่ำ แต่เมื่อเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าถึงในช่วง 1.5-2 A/dm² ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากค่าศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วสามารถเกิดปฏิกริยารีดักชันของโลหะผสมได้อย่างรวดเร็ว ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองเมื่อใช้สารเติมแต่งเฮกซะมีน (ภาคผนวก ค รูปที่ ค-5) และฟอร์มัลดีไฮด์ (ภาคผนวก ค รูปที่ ค-6) โดยรูปที่ 4.7 จะแสดงผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า ที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในอ่างชุบเท่ากับ 2.7:1 เมื่อใช้สารเติมแต่งชนิดต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อใช้สารเติมแต่งต่างกัน



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า ที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในอ่างชุบต่างๆ โดยใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร

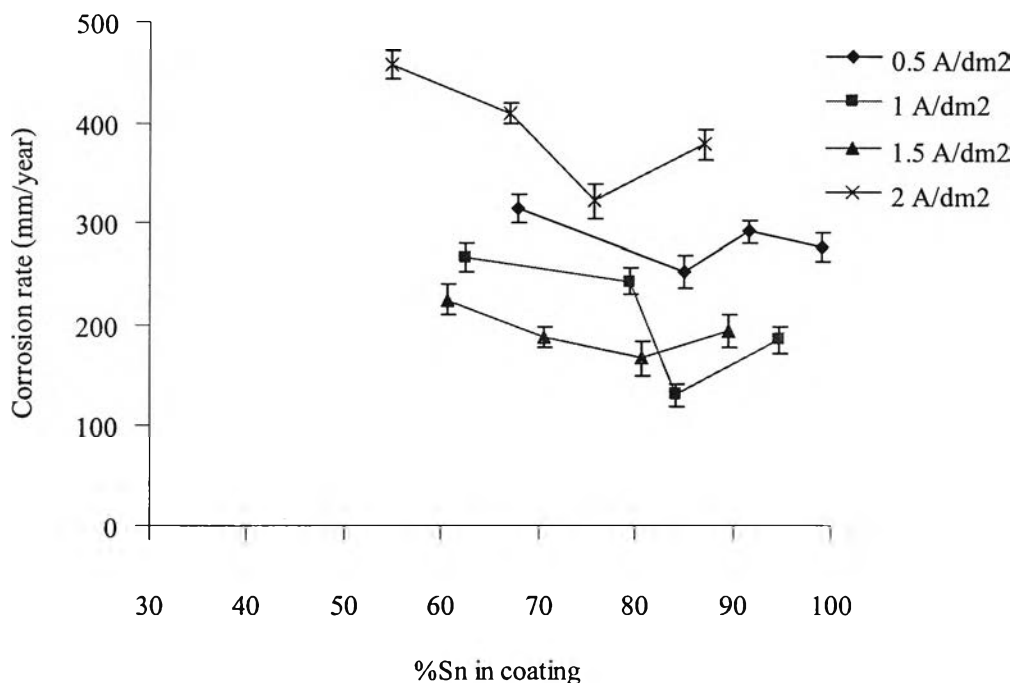


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในอ่างชุบเท่ากับ 2.7:1 เมื่อใช้สารเติมแต่งชนิดต่างๆ

4.3 การกัดกร่อนของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสี

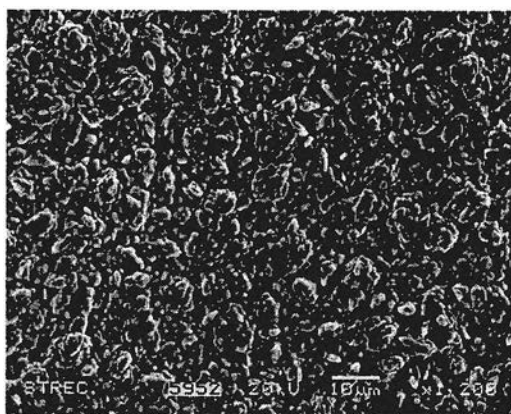
ชิ้นงานที่ทำการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะผสมดีบุก-สังกะสีที่ภาวะต่างๆ จะมีค่าความคงทนต่อการกัดกร่อนต่างกัน หัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ปริมาณของโลหะผสมในผิวเคลือบ ชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่มีต่อความต้านทานการกัดกร่อนของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสี รูปที่ 4.8 แสดงผลของปริมาณของดีบุกในผิวเคลือบที่มีต่ออัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสี โดยใช้พอลิเอทิลีน ไกลคอลเป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อปริมาณของดีบุกในผิวเคลือบมากกว่าร้อยละ 75 จะทำให้ผิวเคลือบมีความต้านทานการกัดกร่อนสูงที่ทุกๆ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้เคลือบผิว โดยผิวเคลือบของโลหะผสมดีบุก-สังกะสีมีสมบัติในการป้องกันการกัดกร่อนของผิวเหล็กแบบขัดขวาง (barrier protection) ของดีบุกและแบบกัลวานิก (galvanic protection) ของสังกะสี [15, 16] ซึ่งจากงานวิจัยของ Wang และคณะ [22] พบว่าเมื่อปริมาณของดีบุกในผิวเคลือบน้อย ปฏิกริยาหลักในการเกิดการกัดกร่อนของผิวเคลือบดีบุก-สังกะสีที่ชุบเคลือบในสถานะที่เป็นกลางจะเป็นปฏิกิริยาการละลายของสังกะสี เนื่องจากว่าค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันของสังกะสี (-0.76 โวลต์/SHE) มีค่าน้อยกว่าค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันของเหล็ก (-0.44 โวลต์/SHE) ทำให้อัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีมีค่าสูง และเมื่อปริมาณของดีบุกในผิวเคลือบเพิ่มขึ้น ปริมาณของสังกะสีในผิวเคลือบจะลดลงทำให้

อัตราการละลายของสังกะสีในผิวเคลือบลดลง เพราะดีบุกซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทดมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชัน (-0.14 โวลต์/SHE) มากกว่าค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันของเหล็กและสังกะสี

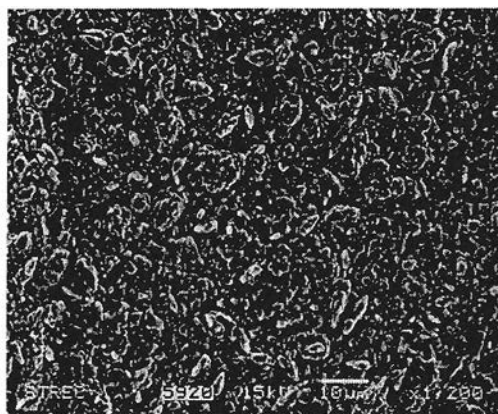


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของดีบุกในผิวเคลือบและอัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ โดยพอลิเอทิลีน ไกลคอลเป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร

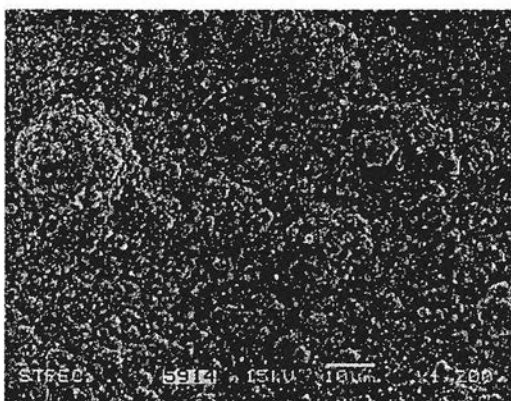
เมื่อพิจารณาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ออัตราการกัดกร่อน พบว่าถ้าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้เคลือบผิวมีค่าระหว่าง 0.5- 1.5 A/dm² จะทำให้อัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบลดลง ยกเว้นที่ร้อยละของดีบุกในผิวเคลือบมากกว่า 80 ค่าการกัดกร่อนของผิวเคลือบที่กระแสไฟฟ้า 1.5 A/dm² จะมากกว่าที่ 1 A/dm² เมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เคลือบผิวสูงถึง 2 A/dm² จะทำให้อัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าผิวเคลือบของชิ้นงานจะมีลักษณะเป็นรูพรุนมาก (รูปที่ 4.9(ง)) เนื่องจากเมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงจะทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งฟองแก๊สไฮโดรเจนเหล่านี้จะจับที่ผิวชิ้นงาน และบดบังการเข้าไปทำปฏิกิริยาของไอออนของโลหะที่ขั้ว ทำให้การพอกพูนของโลหะบนขั้วไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบจึงมีค่าสูง ส่วนผิวเคลือบที่ใช้กระแสไฟฟ้าในช่วง 0.5-1.5 A/dm² จะมีลักษณะการเคลือบของพื้นผิวได้ทั่วชิ้นงานมีรูพรุนน้อย (รูปที่ 4.9 (ก)-(ค))



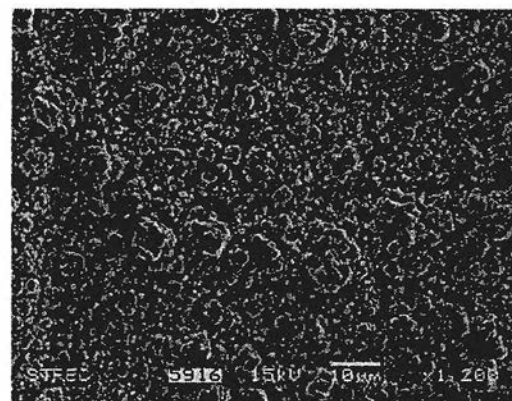
(ก)



(ข)



(ค)

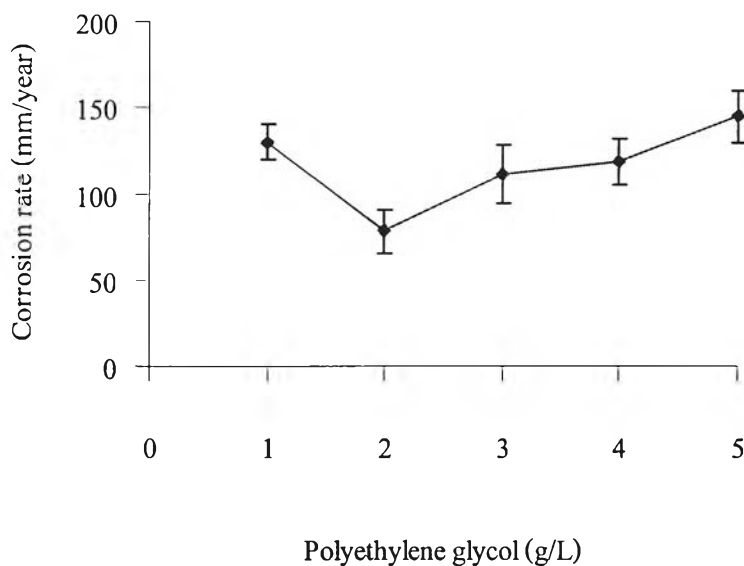


(ง)

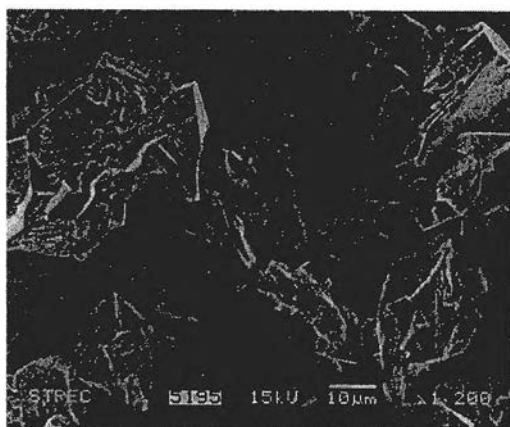
รูปที่ 4.9 โครงสร้างสัณฐานวิทยาของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสี 2.7:1 โดยใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร กำลังขยาย 1200 เท่า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (ก) 0.5 A/dm^2 (ข) 1 A/dm^2 (ค) 1.5 A/dm^2 (ง) 2 A/dm^2

รูปที่ 4.10 แสดงผลของปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลต่ออัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานโดยใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่งในช่วง 1 ถึง 5 กรัมต่อลิตร อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 2.7:1 และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิว 1 A/dm^2 พบว่าอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานที่ชุบเคลือบในสถานะที่มีสารเติมแต่งจะมีค่าน้อยกว่าชิ้นงานที่เตรียมในสถานะที่ไม่ใช้สารเติมแต่ง (312 mm/y) เนื่องจากผิวเคลือบเมื่อไม่ใช้สารเติมแต่งจะมีลักษณะที่เป็นผลึกขนาดใหญ่ (รูปที่ 4.11 (ก)) ทำให้การสร้างตัวบนผิวเคลือบมีช่องว่าง อัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบจึงมีค่าสูงแต่เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารเติมแต่งสูงเกินไปก็จะส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณสารเติมแต่งที่มากเกินไปอาจจะเป็นตัวขัดขวางการเข้าเคลือบผิวของโลหะบนชิ้นงานได้จากผลการทดลองนี้อาจกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนไกลคอล 2 กรัมต่อลิตร

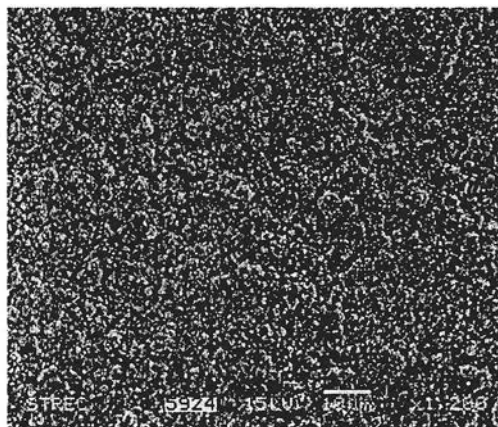
เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่จะทำให้อัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบต่ำสุดคือ 78 mm/y ซึ่งอัตราการกัดกร่อนนี้มีค่าต่ำกว่าอัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบของดีบุก (274 mm/y) สังกะสี (356 mm/y) และเหล็ก (432 mm/y) ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนไกลคอลและอัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบ ที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสี 2.7:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้เคลือบผิว 1 A/dm²



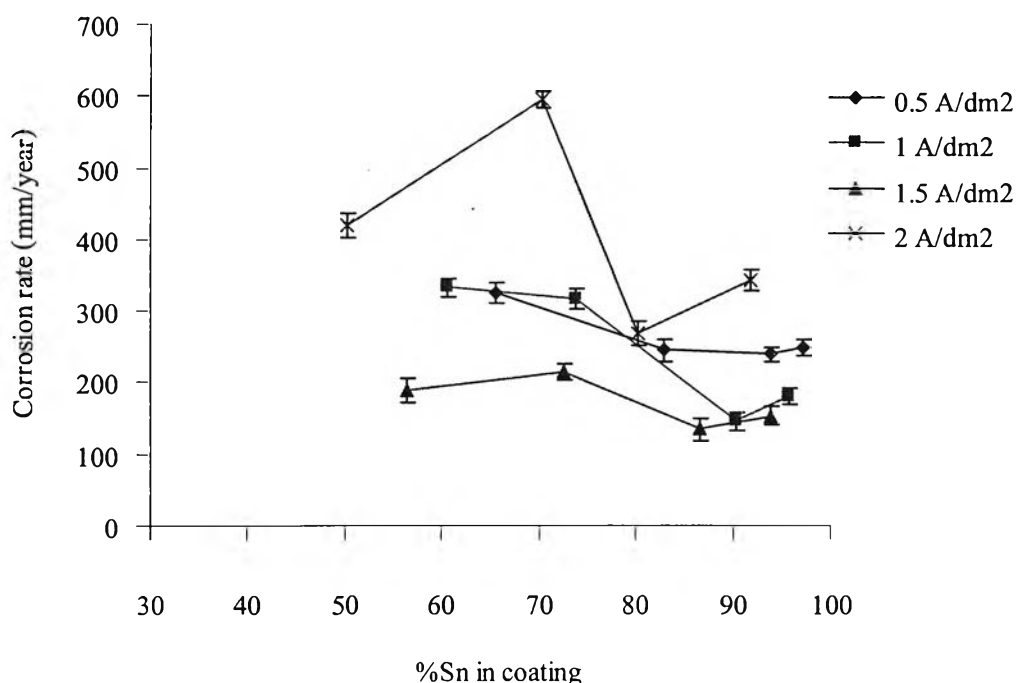
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.11 โครงสร้างพื้นฐานวิทย์ของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสี 2.7:1 กำลังขยาย 1200 เท่า (ก) ไม่มีสารเติม (ข) พอลิเอทิลีนไกลคอล ที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร

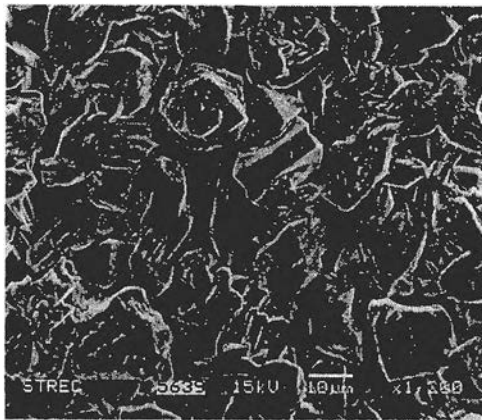
รูปที่ 4.12 แสดงผลของปริมาณของดีบุกในผิวเคลือบที่มีต่ออัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีเมื่อใช้เฮกซะมีนเป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร พบว่าให้ผลการทดลองคล้ายกับชิ้นงานที่ทำในระบบที่ใช้พอลิเอทิลีน ไกลคอลเป็นสารเติมแต่ง กล่าวคือเมื่อร้อยละของดีบุกในชิ้นงานเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการกัดกร่อนจะลดลง เมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในช่วง 0.5-1.5 A/dm² จะทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลงแต่เมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจนถึง 2.0 A/dm² จะทำให้อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาโครงสร้างสัณฐานวิทยาของผิวเคลือบ พบว่าที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสี 2.7:1 และที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 1.5 A/dm² ผิวเคลือบจะมีผลึกขนาดใกล้เคียงกันและเกาะกันอย่างหนาแน่น (รูปที่ 4.13(ค)) จึงทำให้อัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบมีค่าต่ำ และที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เคลือบผิว 2 A/dm² ผิวเคลือบจะมีผลึกทั้งขนาดใหญ่และเล็กจึงทำให้ผิวเคลือบขรุขระ (รูปที่ 4.13 (ง)) จึงทำให้อัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบจะมีค่าสูงขึ้น



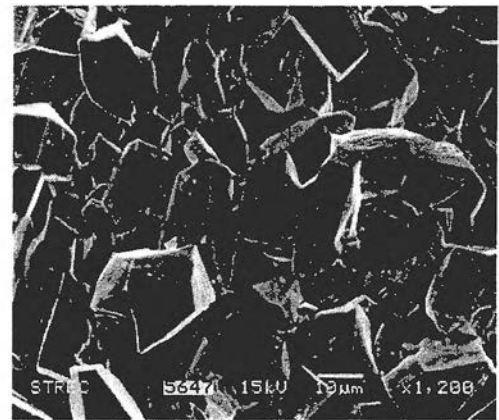
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละดีบุกในผิวเคลือบและอัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีเมื่อใช้เฮกซะมีนเป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร

รูปที่ 4.14 แสดงผลของการกัดกร่อนของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเฮกซะมีนในช่วง 5 ถึง 14 กรัมต่อลิตร เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเฮกซะมีนในช่วง 5 - 11 กรัมต่อลิตร จะทำให้อัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานลดลง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเฮกซะมีนมากขึ้นจะทำให้อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่า

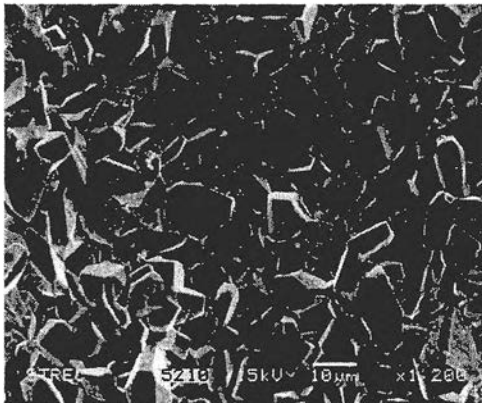
ในช่วงความเข้มข้นของสารเติมแต่งต่ำ (น้อยกว่า 11 กรัมต่อลิตร) ผลึกของโลหะที่เคลือบอยู่บนชิ้นงานจะมีขนาดใหญ่ทำให้การจัดเรียงตัวของโลหะที่เคลือบบนชิ้นงานไม่เรียบ แต่ถ้าใช้สารเติมแต่งมากเกินไป สารเติมแต่งที่มากเกินไปอาจจะเป็นตัวขัดขวางการเข้าไปพอกพูนของโลหะบนชิ้นงาน ซึ่งให้ผลการทดลองนี้คล้ายกับเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่ง จึงกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของเฮกซะมินที่เหมาะสมในการทำงานคือ 11 กรัมต่อลิตร โดยจะให้อัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบต่ำสุดคือ 97 mm/y ซึ่งผลึกที่ได้จะมีขนาดเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.15 อย่างไรก็ตามก็ตีผิวเคลือบที่ได้จากการใช้เฮกซะมินเป็นสารเติมแต่งก็ยังมีอัตราการกัดกร่อนที่สูงกว่าผิวเคลือบที่ใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่ง



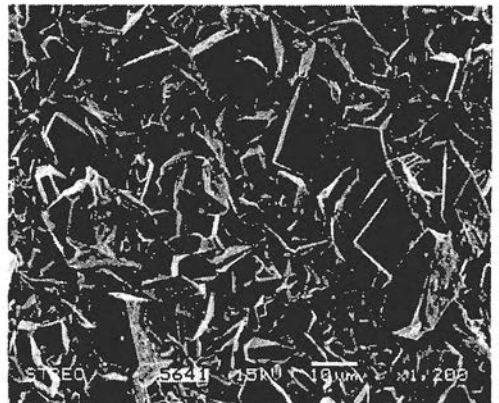
(ก)



(ข)

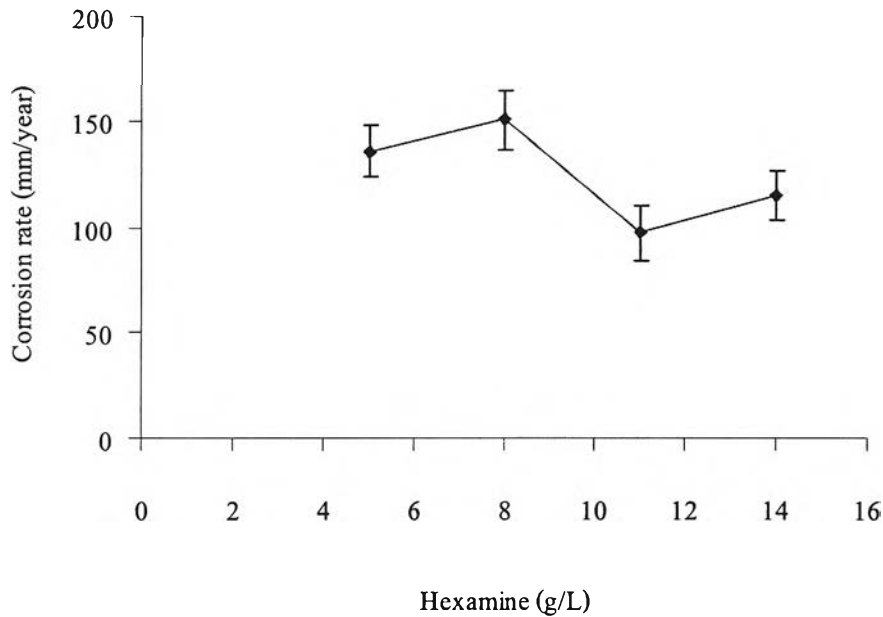


(ค)

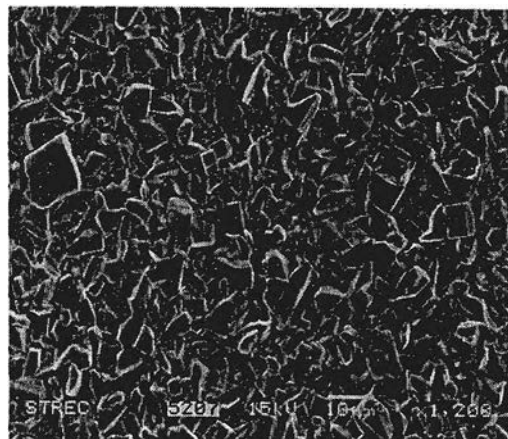


(ง)

รูปที่ 4.13 โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสี 2.7:1 โดยใช้เฮกซะมินเป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร กำลังขยาย 1200 เท่า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (ก) 0.5 A/dm² (ข) 1 A/dm² (ค) 1.5 A/dm² (ง) 2 A/dm²



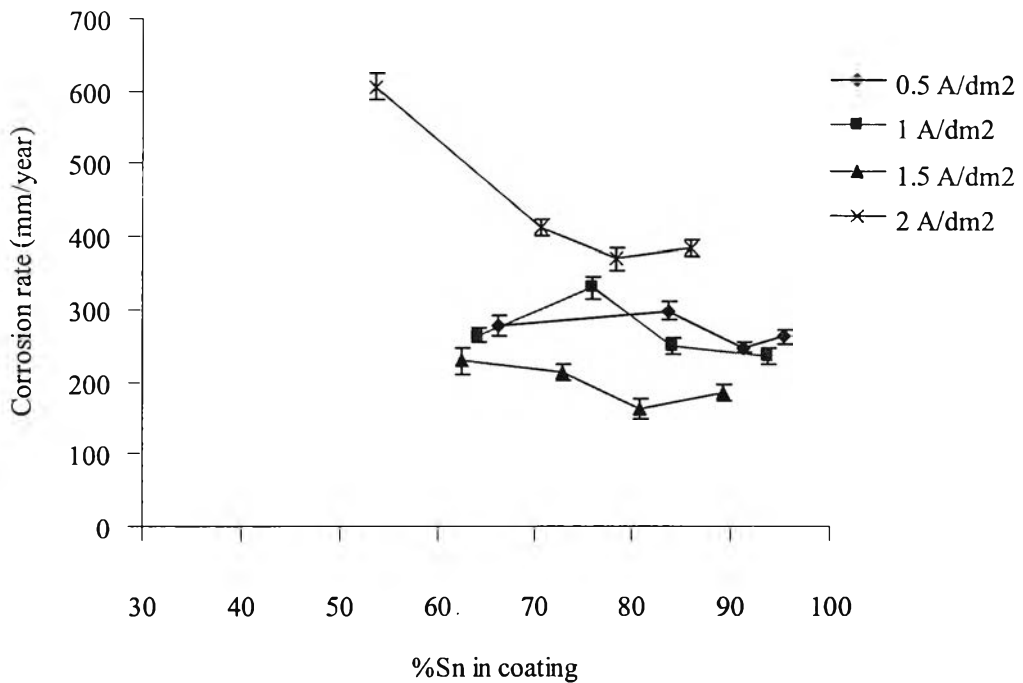
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฮกซะมีนและอัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสี 2.7:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้เคลือบผิว 1.5 A/dm^2



รูปที่ 4.15 โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสี 2.7:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้เคลือบผิว 1.5 A/dm^2 เมื่อใช้สารเติมแต่งเฮกซะมีนที่ความเข้มข้น 11 กรัมต่อลิตร กำลังขยาย 1200 เท่า

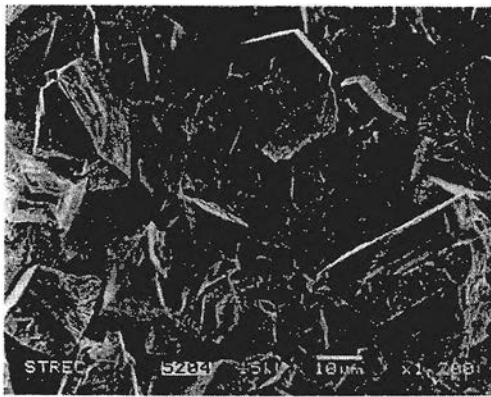
ผลของปริมาณของดีบุกในผิวเคลือบที่มีต่ออัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีโดยใช้ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารเติมแต่งในปริมาณ 0.4 กรัมต่อลิตรแสดงดังรูปที่ 4.16 พบว่าอัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบจะลดลง เมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้เคลือบผิวเพิ่มขึ้นจนถึง 1.5 A/dm^2 เนื่องจากผิวเคลือบจะมีผลึกเกาะกันอย่างหนาแน่นมากขึ้น

ดังรูปที่ 4.17 (ก-ค) และอัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 2 A/dm^2 เนื่องจากเมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงจะทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจน ทำให้ผิวเคลือบเกาะติดชิ้นงานได้ไม่ดี ดังนั้นผิวเคลือบจึงมีลักษณะขรุขระและมีช่องว่างมากดังรูปที่ 4.17 (ง) อัตราการกัดกร่อนบนผิวเคลือบจึงสูง

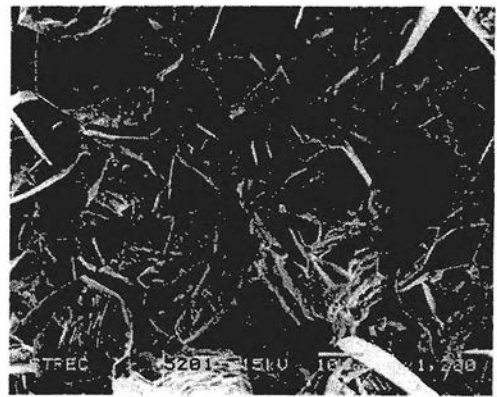


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละดีบุกในผิวเคลือบและอัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ โดยใช้ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร

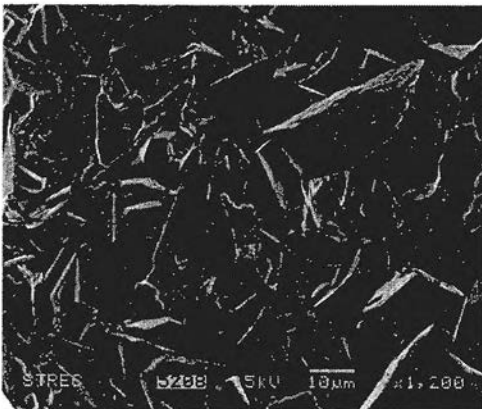
รูปที่ 4.18 ผลของการกัดกร่อนของผิวเคลือบเมื่อใช้ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารเติมแต่ง พบว่าอัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบลดลง เมื่อปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์เพิ่มขึ้นจนถึง 1.2 กรัมต่อลิตร เนื่องจากผิวเคลือบจะมีผลึกขนาดเล็กลงและเกาะกันอย่างหนาแน่นมากขึ้นดังรูปที่ 4.19 โดยอัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบต่ำสุดเท่ากับ 126 mm/y เมื่อใช้ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ 1.2 กรัมต่อลิตร ที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีใน สารละลายอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 2.7:1 และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิว 1.5 A/dm^2 โดยจะมีอัตราการกัดกร่อนสูงกว่าเมื่อใช้เฮกซะมีนและพอลิเอทิลีน ไกลคอลเป็นสารเติมแต่ง เนื่องจากผิวเคลือบจะมีผลึกขนาดใหญ่ ทำให้เกิดช่องว่างบนผิวเคลือบมาก และผลึกมีทั้งขนาดใหญ่และเล็กทำให้ผิวเคลือบมีความขรุขระ อัตราการกัดกร่อนจึงมีค่าสูง



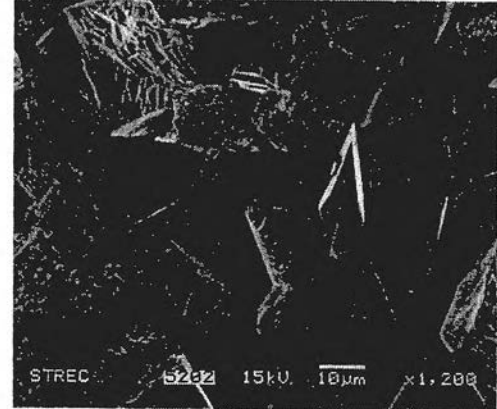
(ก)



(ข)

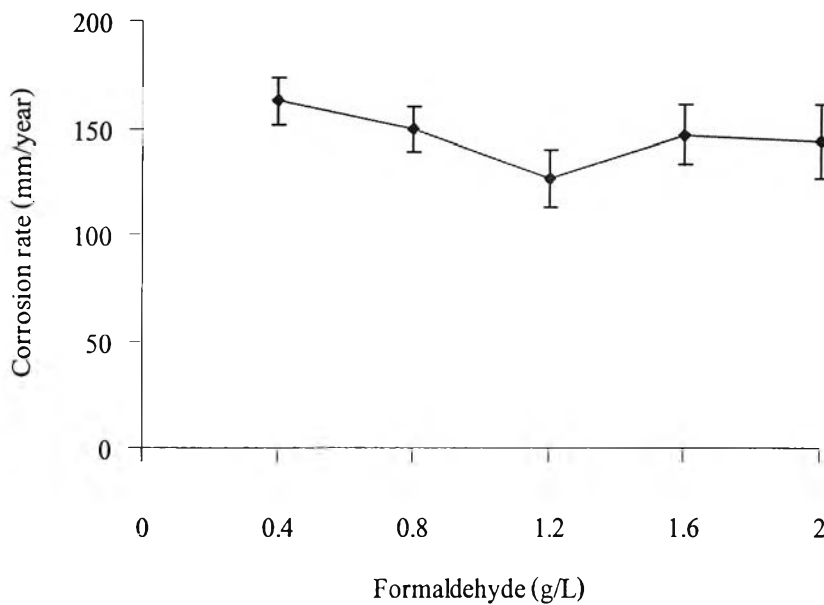


(ค)

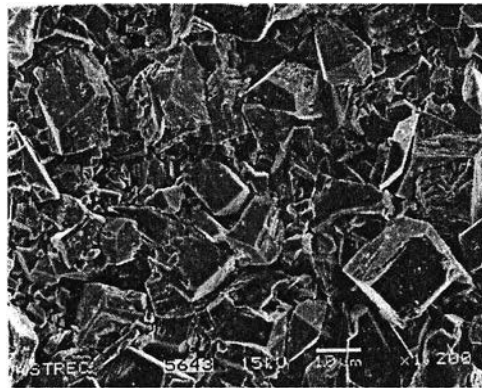


(ง)

รูปที่ 4.17 โครงสร้างพื้นฐานวิทย์ของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีที่อัตราส่วนของ ดีบุกต่อสังกะสี 2.7:1 โดยใช้ฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อ ลิตร กำลังขยาย 1200 เท่า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (ก) 0.5 A/dm^2 (ข) 1 A/dm^2 (ค) 1.5 A/dm^2 (ง) 2 A/dm^2



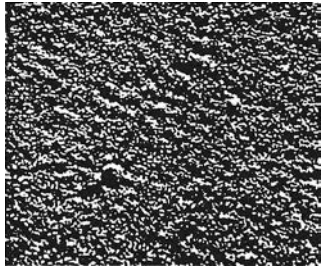
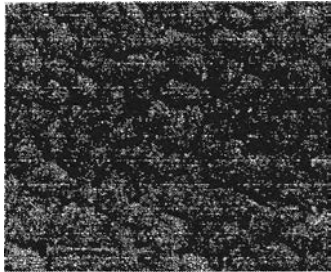

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์และอัตราการกัดกร่อนของผิวเคลือบ ที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสี 2.7:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้เคลือบผิว 1.5 A/dm^2



รูปที่ 4.19 โครงสร้างพื้นฐานวิทาของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสี 2.7:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้เคลือบผิว 1.5 A/dm^2 เมื่อใช้สารเติมแต่งฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร กำลังขยาย 1200 เท่า

จากงานวิจัยนี้พบว่าผลึกบนผิวเคลือบของโลหะผสมดีบุก-สังกะสี มีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยม และมีช่องว่างบนผิวเคลือบเกิดขึ้น โดยเมื่อมีการเติมสารเติมแต่งจะทำให้ช่องว่างบนผิวเคลือบลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ พบว่าลักษณะของผิวเคลือบจะมีลักษณะแตกต่างกัน เนื่องจากภาวะและสารเติมแต่งที่ใช้แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของผิวเคลือบที่ภาวะต่างๆ

งานวิจัย	ภาวะ	ลักษณะของผิวเคลือบ
Ashiru (1996)	สารละลายแอลคาไลของโซเดียม (Alkaline sodium bath) ที่มีสารเติมแต่งร่วมของเฮกซะมีน และไตรโซเดียมฟอสเฟต	80% Sn-20% Zn ในผิวเคลือบ ผลึกบนผิวเคลือบมีขนาดเล็ก กำลังขยาย x 2000 
Wang (2001)	สารละลายที่มีสารเติมแต่งร่วม ของ Stabilizer, Antioxidant และ Brightner	70%Sn – 30% Zn ในผิวเคลือบ ผลึกบนผิวเคลือบมีลักษณะกลม กำลังขยาย x 5000 
Guaus (2003)	สารละลายซัลเฟต-กลูโคเนต	1:1 Sn:Znในสารละลาย อิเล็กโทรไลต์ ผลึกบนผิวเคลือบ จะเกิดการรวมตัวกัน กำลังขยาย x 8000 
งานวิจัย นี้	สารละลายซัลเฟต-กลูโคเนต ที่มีสารเติมแต่ง -เฮกซะมีน -ฟอร์มัลดีไฮด์ -พอลิเอทิลีน ไกลคอล	84% Sn- 16% Zn ในผิวเคลือบ ผลึกบนผิวเคลือบมีลักษณะ เป็นรูปหลายเหลี่ยม กำลังขยาย x 1200 