ข้อมูลข่าวสาร วศ.

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ
กฟ
อว 48

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

เรื่องที่ 1

การวัดความหนาผิวชุบของผลิตภัณฑ์ชุบเคลือบผิว

โดย

นางสายพิณ สืบสันติกุล
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

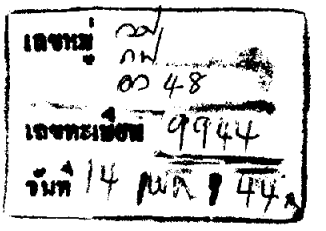
กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 2
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

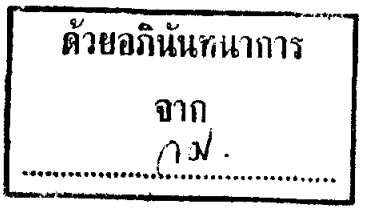
เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

เรื่องที่ 1

การวัดความหนาผิวชุบของผลิตภัณฑ์ชุบเคลือบผิว



โดย



นางสายพิณ สืบสันติกุล
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 2
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

การวัดความหนาผิวชุบของผลิตภัณฑ์ชุบเคลือบผิว ได้เลือกวิธีการวัดความหนาผิวชุบให้ถูกต้องเหมาะสมกับขนาด รูปร่าง และรูปแบบ ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด การวัดความหนาผิวชุบมีหลายวิธี จำแนกตามประเภทของวิธีการวัด ทั้งแบบทำลาย และไม่ทำลายชิ้นงาน เช่น วิธีปฏิกิริยาทางเคมี (Stripping method) วิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetic induction method) วิธีใช้กระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์ (Coulometric method) วิธีกระแสไหลวน (Eddy current method) และวิธีภาคตัดขวาง (Microscopic cross section) ซึ่งแต่ละแบบมีวิธีการวัดและขีดความสามารถที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ชุบ (Substrate) และวัสดุที่ถูกชุบ (Coating) โดยศึกษาถึงหลักการของการวัดและวิธีการวัดความหนาผิวชุบของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และในกรณีที่มีปัญหาของผลการวัดที่คลาดเคลื่อนไปหรือมีข้อโต้แย้งซึ่งจำเป็นต้องมีการพิสูจน์ และมีหลักฐานยืนยัน เพื่อแก้ไขข้อขัดแย้ง วิธีการวัดแบบภาคตัดขวางเป็นวิธีที่ใช้ตัดสินข้อโต้แย้งต่าง ๆ เพราะสามารถยืนยันผลการวัดความหนาผิวชุบได้จากภาพถ่าย ซึ่งมีสเกลที่ได้รับการสอบเทียบให้ถูกต้อง

ดังนั้น การเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเป็นวิธีการวัด ต้องคำนึงถึงความถูกต้องแม่นยำ และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ความสะดวก รวดเร็ว และไม่ทำให้เกิดความเสียหาย แก่ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เท่าที่สามารถจะหลีกเลี่ยงได้ เพื่อให้เกิดความพึงพอใจของผู้ขอใช้บริการ ปราศจากข้อขัดแย้งทั้งจากลูกค้าหรือหน่วยงานที่มีหน้าที่ในการพิจารณาผลการวัดความหนาผิวชุบ

ผลจากการศึกษาวิธีการวัดความหนาผิวชุบแต่ละวิธีให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ และใช้วิธีภาคตัดขวางเป็นวิธีที่พิสูจน์ยืนยันผลการวัดได้ทำให้เกิดความเชื่อมั่นในผลของการวัด เป็นที่พึงพอใจแก่ผู้ขอใช้บริการ และสามารถนำผลของการวัดความหนาผิวชุบไปเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น เป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ชุบเคลือบผิวให้มีคุณภาพ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการจัดทำคู่มือปฏิบัติสำหรับการวัดความหนาผิวชุบให้เป็นระบบตามมาตรฐานสากล อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานแก่บุคลากรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องอีกด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

สารบัญภาพ ..... ก

สารบัญตาราง ..... ข

บทที่ 1 บทนำ .....

1.1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ 3

1.5 ระยะเวลาของการศึกษาวิจัย 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4-8

บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษาทดลอง .....

3.1 เปรียบเทียบการวัดความหนาผิวชุบของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีด้วยวิธีปฏิกิริยาทางเคมีและวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก 9-17

3.2 เปรียบเทียบการวัดความหนาผิวชุบโครเมียมและนิกเกิลโครเมียมของอุปกรณ์ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก และตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู ด้วยวิธีใช้กระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์ และวิธีภาคตัดขวาง 18-27

3.3 เปรียบเทียบการวัดความหนาผิวชุบอะลูมิเนียมอ๊อกไซด์ด้วยวิธีกระแสไหลวนและวิธีภาคตัดขวาง 28-31

3.4 เปรียบเทียบการวัดความหนาผิวชุบโดยการใช้วิธีภาคตัดขวางเป็นวิธีตัดสินด้วยภาพถ่าย 31-32

บทที่ 4 ผลการศึกษาทดลอง .....

4.1 ผลการวัดความหนาผิวชุบของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีด้วยวิธีปฏิกิริยาทางเคมีและวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก 33

4.2 ผลการวัดความหนาผิวชุบโครเมียมและนิกเกิลของอุปกรณ์ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก และตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู ด้วยวิธีใช้กระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์ และวิธีภาคตัดขวาง 34-37

4.3 ผลการวัดความหนาผิวชุบอะลูมิเนียมออกไซด์ของแผงกันแดดอโนไดซ์ ด้วยวิธีกระแสไหลวนและวิธีภาคตัดขวาง 38

4.4 ผลการวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีภาคตัดขวางจากภาพถ่าย 38-39

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย[5]

กรมวิทยาศาสตร์บริการมีนโยบายให้ความสำคัญและส่งเสริมสนับสนุนให้ทุกหน่วยงานของกรมวิทยาศาสตร์บริการ ดำเนินการด้านคุณภาพให้เป็นที่รับรองตามมาตรฐานสากล กลุ่มงานเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ 2 กองฟิสิกส์และวิศวกรรมจึงได้ดำเนินการตามนโยบายคุณภาพของห้องปฏิบัติการทดสอบทางด้านการวัดความหนาผิวชุบ เพื่อเป็นแนวทางในการขอการรับรองความสามารถของห้องปฏิบัติทางทดสอบ (มอก. 1300 – 2537) ด้วย

ประสิทธิภาพและความถูกต้อง แม่นยำ ของวิธีการวัดความหนาผิวชุบมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากการวัดความหนาผิวชุบมีหลายวิธีแต่ละวิธีมีขีดความสามารถในการวัดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุที่ใช้ชุบและวัสดุที่ถูกชุบ ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดสามารถวัดความหนาผิวชุบได้หลายวิธี ผลของความหนาผิวชุบที่ได้อาจจะได้ผลเท่ากัน ใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกัน แต่ความคลาดเคลื่อนของผลการวัดจะต้องเป็นที่ยอมรับหรือหากมีข้อโต้แย้งจะต้องมีวิธีที่ใช้ตัดสิน ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องเลือกใช้วิธีวัดให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดให้ได้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือและยอมรับได้

ความหนาผิวชุบเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญที่สามารถบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณภาพดี สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้มากน้อยเพียงใด การกัดกร่อนทำให้วัสดุเสียเนื้อ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก กลุ่มวัสดุที่ใช้ในงานชุบเคลือบผิวที่สำคัญได้แก่ โลหะ โพลิเมอร์ และเซรามิก เป็นต้น การเลือกใช้วัสดุที่ดีในการชุบ และกระบวนการชุบเป็นไปตามมาตรฐานและได้ความหนาตามที่ต้องการ จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพถ้าผิวเคลือบมีความหนามากและติดแน่นเป็นอย่างดี จะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณภาพดีไม่เป็นสนิมได้ง่าย เหมาะแก่การใช้งานทนทานต่อการกัดกร่อน กระบวนการชุบเคลือบผิวที่ดีจะมีผลต่ออายุการใช้งาน เพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น

ดังนั้นการเลือกวิธีการวัดที่ถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ จำเป็นจะต้องศึกษาถึงรายละเอียดของวิธีการวัดต่างๆ คุณสมบัติของผิวเคลือบ วัสดุที่ใช้ชุบหรือกระบวนการชุบเคลือบผิวอย่างรอบคอบเพื่อจะได้เลือกใช้วิธีการวัดที่เหมาะสม เป็นการประกันคุณภาพของการวัดให้ถูกวิธี ผลที่ได้ถูกต้องทางวิชาการและสามารถต่อสู้ได้ในการกฎหมาย

โดยทั่วไปการวัดความหนาผิวชุบมีชุบมีหลายวิธี ซึ่งกำหนดไว้ในมาตรฐานทั้งมาตรฐานไทยและต่างประเทศ เช่น TIS, ASTM, BS, DIN และ JIS เป็นต้นแต่การวัดความหนาอาจจะได้ผลที่คลาดเคลื่อนไม่ถูกต้อง ซึ่งมีสาเหตุจากการเลือกใช้วิธีการวัดที่ไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ หรือเครื่องมือไม่อยู่ในสภาพที่จะใช้งานได้ จำเป็นต้องมีการสอบเทียบหรือตรวจสภาพให้พร้อมที่จะใช้งานได้ตลอดเวลา หรือทดสอบความรู้ความชำนาญในการวัดแต่ละวิธี

กองฟิสิกส์และวิศวกรรมได้ตรวจสอบความหนาผิวชุบของผลิตภัณฑ์ชุบเคลือบผิวเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถแยกออกเป็นหลายกลุ่ม เช่น ชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์ รถจักรยานยนต์ วัสดุก่อสร้าง เครื่องสุขภัณฑ์ อุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงาน อุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์ เครื่องครัว เครื่องประดับ และวัสดุพื้นที่ชุบเคลือบผิวแล้ว ก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในภาพ ก-1 ถึง ก-7

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาวิธีการวัดความหนาผิวชุบของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี เปรียบเทียบวิธีการวัดและผลของการวัดด้วยวิธีปฏิกิริยาทางเคมีและวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

2. อุปกรณ์ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก ได้แก่ ช่องเสียบการ์ด มือกด มือจับและตู้นิรภัยกันไฟแบบประตูไม้แก่มือบิด มือจับ และช่องเสียบการ์ด โดยเปรียบเทียบวิธีการวัดโดยใช้กระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์ และวิธีภาคตัดขวาง

3. แผงกันแดดอะลูมิเนียมออกไซด์ เปรียบเทียบวิธีการวัดโดยใช้วิธีกระแสไหลวน และวิธีภาคตัดขวาง ส่วนผลิตภัณฑ์หม้อหุงข้าวไฟฟ้าห้องปฏิบัติการได้เลือกวิธีการวัดโดยใช้วิธีกระแสไหลวน

4. วิธีการวัดผลิตภัณฑ์ทั่ว ๆ ไป หรือในกรณีที่มีการโต้แย้งเกี่ยวกับผลการวัดความหนาวิธีภาคตัดขวางจะเป็นวิธีที่ใช้พิสูจน์ยืนยันความหนาได้จากภาพถ่าย

ดังนั้นผู้ดำเนินการวิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลวิธีการวัดความหนาผิวชุบของแต่ละวิธีที่ใช้ในการวัดความหนาผิวชุบ เปรียบเทียบถึงข้อดี ข้อเสียของวิธีการวัดต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งผู้วิเคราะห์ทดสอบ ผู้ผลิต และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ อันจะเป็นประโยชน์ในการเลือกวิธีการวัดให้เหมาะสมกับขนาด รูปร่าง และรูปแบบของผลิตภัณฑ์ เป็นการยกระดับห้องปฏิบัติการทดสอบให้มีความสามารถให้การวิเคราะห์ทดสอบ ที่ให้ผลถูกต้องแม่นยำเป็นที่น่าเชื่อถือและยอมรับได้โดยทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อเปรียบเทียบวิธีการวัดความหนาผิวชุบของผลิตภัณฑ์ชุบเคลือบผิว ให้ได้วิธีการวัดความหนาผิวชุบที่ถูกต้อง เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เพื่อให้ได้ผลการวัดความหนาผิวชุบที่ถูกต้อง แม่นยำเป็นที่น่าเชื่อถือ เป็นการประกันคุณภาพ วิธีการวัดความหนาผิวชุบ และเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานทุกคนในห้องปฏิบัติการทางด้านผลิตภัณฑ์ชุบเคลือบผิว ให้สามารถศึกษาและเรียนรู้จากข้อมูลที่ได้รวบรวมศึกษาวิจัยในการเลือกวิธีการวัดความหนาผิวชุบให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. เปรียบเทียบวิธีการวัดความหนาผิวชุบของแต่ละวิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
2. ศึกษาทฤษฎีและหลักการของเครื่องมือต่าง ๆ
3. ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ชุบและวัสดุที่ถูกชุบ

4. เปรียบเทียบผลการวัดความหนาผิวชุบของแต่ละวิธี
5. เปรียบเทียบคุณสมบัติและขีดจำกัดของวิธีต่าง ๆ ที่ใช้วัด
6. การวัดความหนาผิวชุบที่ต้องใช้วิธีเฉพาะกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด
7. วิธีที่ใช้ตัดสินเมื่อผลการวัดคลาดเคลื่อนหรือมีข้อได้แย้งเกิดขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาใช้ประโยชน์ในการเลือกวิธีการวัดที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด
2. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษา รวบรวมเพื่อเป็นแนวทางของผู้ปฏิบัติงานทั่วไป
3. สามารถเลือกใช้วิธีที่จะให้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือได้ ในกรณีที่มีการโต้แย้งของผลการวัดความหนาผิวชุบ เพื่อยืนยันความถูกต้องในการวัด
4. ให้ความมั่นใจแก่ผู้ใช้บริการ
5. ให้คำแนะนำกับลูกค้าที่ขอใช้บริการทั้งภาครัฐ และเอกชน ตลอดจนสถาบันการศึกษา
6. ได้ผลการวัดความหนาผิวชุบถูกต้องตรงกับค่าจริงมากที่สุด และเป็นผลที่ยอมรับโดยปราศจากการโต้แย้งทางวิชาการ

1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

ม.ค. 2540 – ธ.ค.4540

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผิวชุบหรือผิวเคลือบ หมายถึงชั้นของวัสดุใด ๆ ที่ถูกชุบหรือเคลือบอยู่บนผิวของวัสดุพื้น (Base หรือ Substrate) เพื่อป้องกันการกัดกร่อน เช่น การเคลือบแลกเกอร์ เคลือบสี ชุบสังกะสี ชุบดีบุก ชุบทองแดง ชุบนิกเกิล เป็นต้น การชุบเพื่อความสวยงาม เช่น ชุบเงิน ชุบทอง ชุบโครเมียม ชุบเพื่อการนำไฟฟ้า เช่น ชุบทอง ชุบเงิน ชุบแพลทินัม ชุบเพื่อป้องกันการเสียดทาน เช่น ชุบทังสเตน ชุบไตเตเนียม ชุบไนไตร์ด หรือฮาร์ดโครม เป็นต้น จึงต้องมีการกำหนดความหนาของผิวชุบไว้เพื่อให้ได้ความหนาตามที่มาตรฐานกำหนดหรือตามข้อตกลง แต่ก็ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน เช่น ชุบโครเมียม ความหนาต้องไม่น้อยกว่า 0.3 ไมโครเมตร ความหนาของนิกเกิล อย่างน้อย 10 ไมโครเมตร ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับเทียมความหนาผิวทอง อย่างน้อย 0.2 ไมโครเมตร ในอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ความหนาของสีรองพื้นต้องไม่น้อยกว่า 35 ไมโครเมตร ส่วนความหนาของสีทับบน 2 ชั้น ต้องไม่น้อยกว่า 40 ไมโครเมตรของแต่ละชั้น เป็นต้น

การวัดความหนาผิวชุบ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ [10]

1. แบบวิธีทำลาย (Destructive method) เป็นวิธีวัดความหนาผิวชุบโดยการทำลายผิวของผลิตภัณฑ์ หรือ ทำลายชิ้นงานของผลิตภัณฑ์

2. แบบวิธีไม่ทำลาย (Non-destructive method) เป็นวิธีวัดความหนาผิวชุบโดยไม่ทำลายผิวของผลิตภัณฑ์ จะคงอยู่สภาพเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงและไม่เกิดตำหนิหรือรอยใด ๆ บนผิวผลิตภัณฑ์

การวัดความหนาแบบวิธีทำลาย สามารถวัดได้ 3 วิธี

1. **การวัดความหนาโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมี** (Stripping and weighing method) [2] [14] [17]

หลักการ เป็นวิธีละลายผิวเคลือบออกจากชิ้นงานโดยวิธีทางเคมีโดยการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการละลายของผิวชุบในสารละลายกรด ผลของการวิเคราะห์ทดสอบจะเป็นน้ำหนักของวัสดุที่เคลือบต่อพื้นที่ผิว กรัม/ตารางเมตร แล้วจึงคำนวณออกมาเป็นค่าความหนาผิวชุบ (ไมโครเมตร) ดังนี้ เช่น เหล็กชุบสังกะสี

ความหนาสังกะสีที่เคลือบ = น้ำหนักสังกะสีที่เคลือบต่อพื้นที่ผิว x141 x 10^{-3}

(ไมโครเมตร) (กรัม/ตารางเมตร)

หรือถ้าเป็นเหล็กชุบสังกะสีผสมอะลูมิเนียม ความหนาผิวเคลือบจะเทียบกับน้ำหนักสังกะสีผสมอะลูมิเนียม ตาม ASTM A 792 – 90 [3] ดังนี้

น้ำหนักสังกะสีผสมอะลูมิเนียมที่เคลือบ 152 กรัม/ตารางเมตร = ความหนา 0.041 มิลลิเมตร

การใช้งาน ใช้วัดความหนาผิวชุบหรือผิวเคลือบของสังกะสีบนเหล็กที่ผ่านกระบวนการชุบแบบจุ่มร้อน (Hot dip galvanized) เช่น ลวดเหล็ก แผ่นเหล็ก ท่อเหล็ก ลวดหนาม ลวดตาข่าย ลวดกล่องเกเบียน น็อต ตะปู แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีผสมอะลูมิเนียม (Aluzinc) เป็นต้น

2. **การวัดความหนาโดยใช้กระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์** (Coulometric method) [6]

หลักการ เป็นวิธีการวัดโดยอาศัยหลักการ Anodic dissolution โดยที่โลหะที่เคลือบจะถูกละลายจากผิวเคลือบด้วยน้ำยาอิเลคโตรไลท์ (Electrolyte) ที่เหมาะสมละลายผิวเคลือบในพื้นที่ที่จะทำการทดสอบ อัตราเร็วที่จะทำให้โลหะที่เคลือบละลาย (Deplating time) 0.1-50 ไมโครเมตร/นาที ความหนาผิวเคลือบคำนวณได้จากปริมาณกระแสที่ใช้เพื่อละลายผิวเคลือบ จนถึงวัสดุที่ใช้ชุบ (Base หรือ Substrate) และเวลาที่ใช้ในการละลายผิวเคลือบ กระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้จะแปรผันโดยตรงกับความหนาผิวเคลือบ

ความหนาผิวเคลือบ (ไมโครเมตร) = กระแสไฟฟ้า x เวลา (แอมแปร์) x (วินาที)

การใช้งาน Couloscope เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความหนาผิวชุบหรือผิวเคลือบที่เป็นตัวนำไฟฟ้าบนวัสดุพื้นที่เป็นโลหะ อโลหะ หรือพลาสติก ที่ผ่านกระบวนการเคลือบแบบชั้นเดียว หรือหลายชั้นก็ได้ แต่ในการวัดความหนาผิวชุบจะต้องวัดความหนาผิวชุบทีละชั้น เช่น การชุบทองแดง นิกเกิล และโครเมียมบนเหล็ก จะต้องวัดความหนาผิวชุบตั้งแต่ชั้นนอกสุดไปจนถึงชั้นในสุดที่ติดอยู่กับเหล็ก ได้แก่วัดความหนาของโครเมียม นิกเกิล และทองแดงตามลำดับโดยเลือกใช้น้ำยาที่ใช้ละลายผิวชุบของโลหะตามชนิดของโลหะที่ใช้ชุบและวัสดุที่ถูกชุบ ดังตารางที่ ข-1

3. **การวัดความหนาโดยวิธีภาคตัดขวาง** (Microscopic cross – section method) [1] [9] [13]

หลักการ เป็นวิธีการวัดความหนาผิวชุบโดยดูความหนาผิวชุบแต่ละชั้น จากภาคตัดขวาง (Cross–section) ของผิวชุบหรือผิวเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์ Optical microscope เมื่อแสงตกลงบนชิ้นงาน จะเกิดการสะท้อนทำให้เกิดการหักเหของแสงขึ้น และสะท้อนภาพกลับสู่ตา ทำให้เห็นภาพนั้นที่กล้องจุลทรรศน์จะมีเลนส์ตาและเลนส์วัตถุขนาดต่าง ๆ กัน กำลังขยายของภาพได้จากขนาดกำลังขยายของเลนส์ตา คูณกับกำลังขยายของเลนส์วัตถุ ผลคูณที่ได้คือกำลังขยายของภาพ ก่อนที่จะทำการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะต้องเตรียมชิ้นงานให้เหมาะสม ซึ่งมีวิธีการเตรียมดังนี้

3.1 การตัดตัวอย่าง (Cutting) โดยตัดตามแนวขวาง (Cross–section) ถ้าเป็นชิ้นงานขนาดใหญ่จะเกิดการเสียดสีของชิ้นงานกับเครื่องมือที่ใช้ตัด ทำให้เกิดความร้อนมาก ต้องใช้น้ำหล่อเย็นชิ้นงาน เพื่อมิให้ผิวชุบเกิดความเสียหาย

3.2 นำชิ้นงานที่ตัดได้มาหล่อด้วยพลาสติก (Mounting) ด้วยวิธีหล่อร้อนหรือหล่อเย็นขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ชุบและถูกชุบ ยึดชิ้นงานไว้เพื่อความสะดวกในการจับถือและการเตรียมชิ้นงานในขั้นตอนต่าง ๆ

3.3 การขัดหยาบ (Grinding) เริ่มต้นด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบ และเปลี่ยนเป็นเบอร์ที่ละเอียดขึ้น ๆ การขัดควรขัดให้ไปในทิศทางเดียวกันและควรมีน้ำหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อนและน้ำจะช่วยพัดพาเอาเศษผงจากที่ขัดออกไปด้วย การขัดอาจขัดด้วยมือ หรือใช้เครื่องแบบจานหมุนซึ่งใช้มือหรือเครื่องจับแบบอัตโนมัติก็ได้

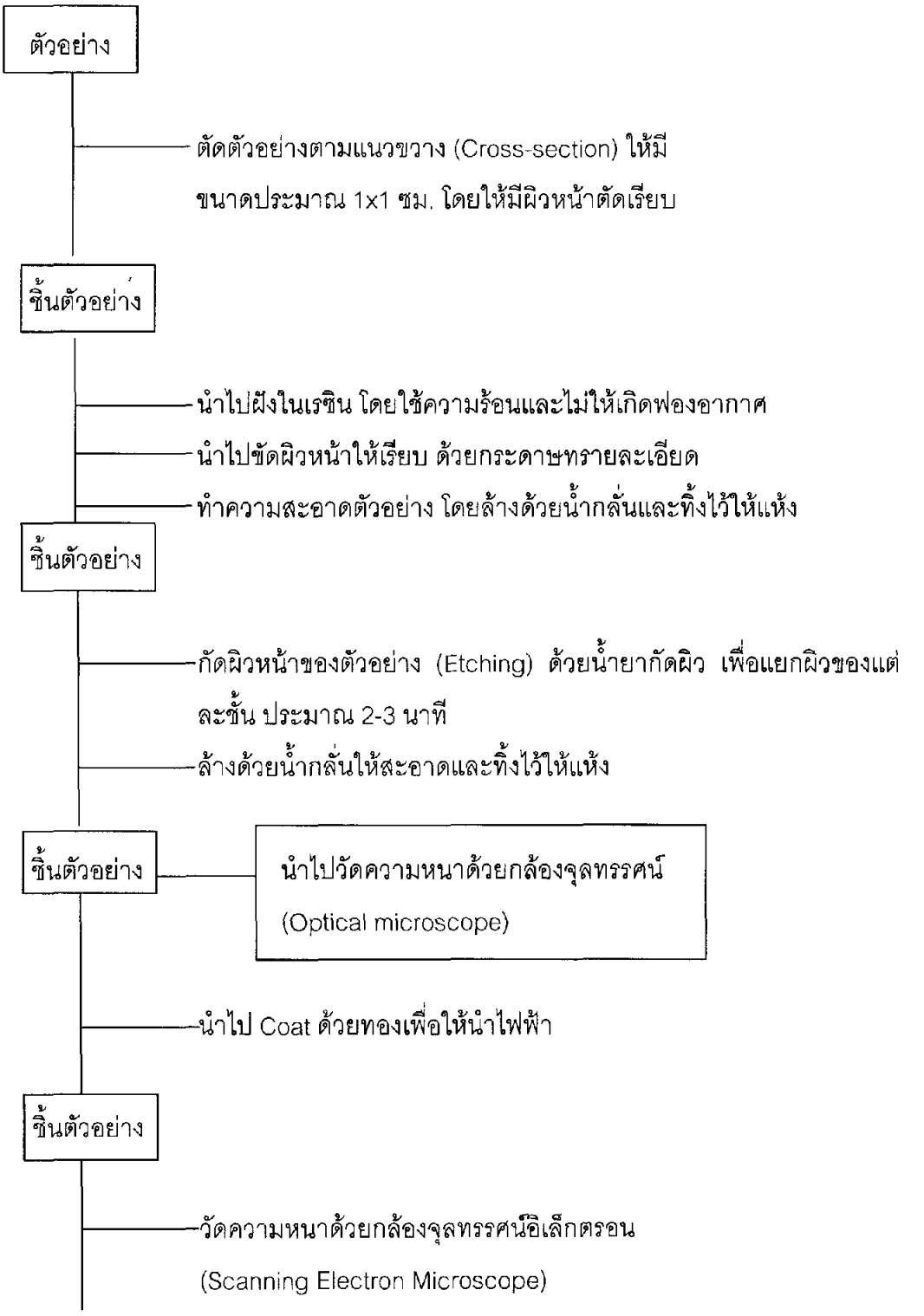
3.4 การขัดละเอียด (Polishing) เพื่อกำจัดริ้วรอยบนผิวหน้าของชิ้นงานโดยใช้ผ้าสักหลาดและผงขัด เช่น อะลูมิน่า แมกนิเซียมอ๊อกไซด์ หรือกากเพชร ซึ่งผสมอยู่ในน้ำ หรือของเหลวอื่น เช่น เอทิลีนไกลคอล อัลกอฮอล์ เป็นต้น ทำให้ชิ้นงานเป็นเงาวาว ราบเรียบ และไม่มีริ้วรอยขีดข่วนหรือความเสียหายใด ๆ หลังจากขัดละเอียดเรียบร้อยแล้ว จะต้องไม่มีการสัมผัสชิ้นงานอีก ล้างด้วยน้ำกลั่น ปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง

3.5 การกัดกรด (Etching) เป็นการกัดผิวหน้าของชิ้นงานด้วยน้ำยากัดผิว (Etchant) ที่เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ชุบ ทำให้ผิวหน้าของชิ้นงานเกิดลักษณะที่แตกต่างกัน แยกชั้นเคลือบได้ การเลือกใช้น้ำยากัดผิวขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ชุบแต่ละชั้น และอัตราส่วนของสารละลายนั้น ๆ ดังตารางที่ ข–2

<u>การใช้งาน</u> ใช้วัดความหนาผิวเคลือบหรือผิวชุบทุก ๆ ชนิด บนวัสดุพื้นทุกประเภท เป็นวิธีการวัดความหนาโดยควรดูจากภาคตัดขวาง พร้อมถ่ายภาพที่มีสเกลปรากฏอยู่ และใช้เป็นวิธีตัดสินการวัดความหนาในกรณีที่วิธีวัดความหนาทางอ้อมอื่น ๆ มีปัญหาหรือได้ค่าไม่เท่ากัน และสามารถวัดความหนาได้พร้อม ๆ กันในกรณีที่ผิวเคลือบหรือผิวชุบมีหลายชั้น

ในการวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีภาคตัดขวางพื้นยังสามารถใช้ในการศึกษาโครงสร้างสาเหตุและข้อบกพร่องของผิวชุบได้อีกด้วย ในกรณีที่ต้องการศึกษาโครงสร้างต่าง ๆ ต้องนำชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมชิ้นงาน ก่อนวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดานำไปเคลือบผิวด้วยทองเพื่อให้นำไฟฟ้า และวัดความหนาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ได้อีกด้วย

การวัดความหนาผิวชุบ โดยวิธี Microscopic cross – section



การวัดความหนาแบบวิธีไม่ทำลาย (Non-destructive method)

1. **การวัดความหนาโดยวิธีเหนี่ยวนำแม่เหล็ก** (Magnetic induction method) [8]

หลักการ อาศัยหลักการดึงดูดของอำนาจแม่เหล็ก (Magnetic induction) ซึ่งแปรตามระยะห่างระหว่างแม่เหล็กและโลหะที่เป็นสารแม่เหล็ก

การใช้งาน ใช้สำหรับวัดความหนาผิวชุบหรือผิวเคลือบที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก (Non– magnetic) โลหะหรืออโลหะ ทั้งที่นำไฟฟ้าและไม่นำไฟฟ้าซึ่งเคลือบอยู่บนสารที่เป็นแม่เหล็ก (Magnetic) หรือเหล็กหรือเหล็กกล้าโดยตรง เช่น การวัดความหนาของสี ยาง พลาสติก อโลหะ ซึ่งเคลือบอยู่บนเหล็กหรือเหล็กกล้า เป็นต้น

2. **การวัดความหนาโดยวิธีการใช้กระแสไฟฟ้าไหลวน** (Eddy–current method) [7]

หลักการ คือปล่อยกระแสไฟฟ้าความถี่สูงผ่านขดลวดของหัววัด (Probe) จะเกิดสนามแม่เหล็กไปเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนบนวัสดุพื้นที่เป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็ก กระแสไฟฟ้าไหลวนที่เกิดขึ้นนี้ จะถูกแปลงเป็นความหนาผิวชุบซึ่งอยู่ระหว่างขดลวดและวัสดุที่ถูกชุบ

การใช้งาน ใช้สำหรับวัดความหนาผิวชุบหรือผิวเคลือบที่ไม่นำไฟฟ้า (Non–Conductive) ซึ่งเคลือบอยู่บนวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าแต่ไม่เป็นสารแม่เหล็ก (Non-magnetic substrate) เช่น การวัดความหนาของ สี อีนาเมล (Enamel) พลาสติก ยาง ซึ่งเคลือบอยู่บนอะลูมิเนียม ทองแดง สังกะสี เป็นต้น

ผู้ดำเนินการได้ศึกษารายละเอียดของวิธีการวัดความหนาผิวชุบแต่ละวิธีตามมาตรฐานไทยและต่างประเทศ หลักการ วิธีการวัด ประเภทของการชุบเคลือบผิว กลุ่มผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่จะต้องมีการชุบเคลือบผิว คุณสมบัติของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหนา จากการศึกษารายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการวัดความหนาผิวชุบตามเอกสารมาตรฐานต่าง ๆ ผู้ดำเนินการได้จัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน และได้มีการกำหนดขั้นตอนและวิธีการวัดความหนาผิวชุบอย่างละเอียด เปรียบเทียบผลของการวัดความหนาสรุปถึงข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธี และปัญหาที่เกิดขึ้น มีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 3 เรื่องการดำเนินการศึกษาทดลอง ดังภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้วัดความหนาผิวชุบ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบ ดังภาพที่ ก-8 ถึง ก-16

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษาทดลอง

3.1 เปรียบเทียบการวัดความหนาผิวชุบของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีด้วยวิธีปฏิกิริยาทางเคมีและวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

การชุบสังกะสี ใช้เคลือบผิวเหล็กโดยตรงเพื่อกันสนิม ซึ่งเรียกว่า กัลวาไนซ์ โดยการหลอมสังกะสีให้เหลว จุ่มเหล็กซึ่งทำความสะอาดแล้วลงไปทำให้สังกะสีเกาะจับบนผิวเหล็กหรือชุบได้โดยวิธีเคมีไฟฟ้า

โดยการนำแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีจำนวน 10 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อใช้วัดความหนาผิวชุบทั้งแบบทำลาย ด้วยวิธีปฏิกิริยาทางเคมี และแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และเปรียบเทียบผลการวัดความหนาสังกะสีแผ่นเหล็กของทั้ง 2 วิธีดังนี้

3.1.1 **วัดความหนาสังกะสีด้วยวิธีปฏิกิริยาทางเคมี** โดยการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบของแผ่นเหล็กชุบสังกะสี ละลายผิวชุบ โดยใช้สารละลายแอนติโมมีไตรคลอไรด์ ละลายผิวชุบในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ [2] [17]

- เตรียมชิ้นทดสอบ ตัดชิ้นทดสอบจากแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดความยาวด้านละ 50 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้น ชิ้นหนึ่งตัดจากกลางแผ่น และอีก 2 ชิ้นตัดจากมุมตรงกันข้ามของแผ่นในแนวเส้นทะแยงมุมเดียวกัน โดยตัดห่างจากขอบด้านข้างอย่างน้อย 50 มิลลิเมตรและห่างจากขอบบนและขอบล่างอย่างน้อย 100 ม.ม. ดังภาพที่ ก–8

- เตรียมสารละลาย ละลายแอนติโมนีไตรคลอไรด์ ($SbCl_3$) 32 กรัมในกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 1.18 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรใน 1 ลิตรเพื่อใช้เตรียมน้ำยาทดสอบ (Test solution)

- ก่อนการทดสอบ เติมสารละลายที่เตรียมไว้แล้ว จำนวน 5 มิลลิลิตร ในกรดไฮโดรคลอริก 100 มิลลิลิตร จะต้องเตรียมสารละลายนี้ก่อนการทดสอบ

- วิธีทดสอบ ล้างชิ้นทดสอบด้วยตัวทำละลายบริสุทธิ์เช่นเบนซินหรือไตรคลอโรเอทิลีน ถ้ายังมีคราบสกปรกติดค้างอยู่ ขัดชิ้นทดสอบเบา ๆ ด้วย แมกนีเซียมอ๊อกไซด์ (MgO) ล้างด้วยน้ำและเอทิลอัลกอฮอล์ เช็ดให้แห้งด้วยผ้านิ่ม ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบแต่ละแผ่น และจุ่มในสารละลาย (test solution) ที่เตรียมไว้ทีละแผ่น สังกะสีจะทำปฏิกิริยากับสารละลายแอนติโมนีไตรคลอไรด์เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนเป็นจำนวนมาก แช่ไว้จนกระทั่งสังกะสีละลายหมดโดยสังเกตจากฟองก๊าซไฮไดรเจนที่เกิดขึ้นลดน้อยลง ใช้เวลาประมาณ 1-2 วินาที นำชิ้นทดสอบขึ้นมาล้างน้ำ เช็ดให้แห้งและนำไปชั่งอีกครั้ง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1

การหาน้ำหนักของสังกะสีที่เคลือบบนแผ่นเหล็กด้วยวิธีแอนติโมนีไตรคลอไรด์

ตารางผลการทดสอบด้วยวิธี Stripping และ Weighing								
ตัวอย่างที่	ชิ้นที่	น้ำหนักก่อนทดสอบ (W1), กรัม	น้ำหนักหลังจุ่ม (W2), กรัม	น้ำหนักลดลง (W1-W2), กรัม	ขนาดชิ้นทดสอบ มิลลิเมตร		พื้นที่, ตารางเมตร	น้ำหนัก/พื้นที่ กรัม/ตารางเมตร
					กว้าง	ยาว		
1.	1	11.7936	11.1760	0.6176	57.56	57.68	0.0033	187.2
	2	11.5730	10.9361	0.6369	56.22	57.88	0.0033	193.0
	3	11.4936	10.8833	0.6103	56.38	56.73	0.0032	190.7
2.	1	11.5515	10.9200	0.6315	56.92	56.98	0.0032	197.3
	2	11.5514	10.9156	0.6358	56.34	56.92	0.0032	198.7
	3	11.8083	11.1434	0.6649	56.86	58.30	0.0033	201.5
3.	1	12.0817	11.3846	0.6971	57.68	58.14	0.0034	205.0
	2	11.9279	11.2634	0.6745	56.92	57.86	0.0033	204.0
	3	11.6557	10.9930	0.6627	56.44	57.12	0.0032	207.0
4.	1	11.8339	11.1876	0.6463	56.74	58.22	0.0033	195.8
	2	11.6304	10.9885	0.6416	57.04	57.10	0.0033	194.5
	3	12.0495	11.4003	0.6492	57.80	57.98	0.0034	190.9
5.	1	11.7091	11.0827	0.6264	56.94	57.92	0.0033	189.8
	2	11.5569	10.9371	0.6198	56.77	56.96	0.0032	193.7
	3	12.0407	11.3614	0.6793	57.70	58.07	0.0034	199.8
6.	1	12.1906	11.4916	0.6990	57.48	58.74	0.0034	205.6
	2	12.8939	11.4329	0.6564	57.12	57.67	0.0033	198.9
	3	12.0829	11.4060	0.6769	57.10	58.58	0.0033	205.1

ตารางผลการทดสอบด้วยวิธี Stripping และ Weighing

ตัวอย่างที่	ชิ้นที่	น้ำหนักก่อนทดสอบ (W1), กรัม	น้ำหนักหลังจุ่ม (W2), กรัม	น้ำหนักลดลง (W1-W2), กรัม	ขนาดชิ้นทดสอบ มิลลิเมตร		พื้นที่, ตารางเมตร	น้ำหนัก/พื้นที่ กรัม/ตารางเมตร
					กว้าง	ยาว		
7.	1	11.7813	11.0755	0.7058	57.90	58.12	0.0034	207.6
	2	11.8640	11.1749	0.6891	58.11	58.34	0.0034	202.7
	3	11.7085	11.0215	0.6870	57.98	58.04	0.0034	202.1
8.	1	11.6789	11.0035	0.6754	57.71	58.00	0.0033	204.7
	2	11.5935	10.9365	0.6570	57.76	57.94	0.0033	199.1
	3	11.7191	11.0418	0.6773	57.92	58.29	0.0034	199.2
9.	1	11.5070	10.8184	0.6886	57.50	58.22	0.0033	208.7
	2	11.6459	10.9754	0.6705	58.08	58.11	0.0034	197.2
	3	11.6660	10.9854	0.6806	57.92	58.29	0.0034	200.2
10.	1	11.6472	10.9676	0.6796	57.96	58.04	0.0034	199.9
	2	11.5721	10.9115	0.6606	57.82	58.24	0.0034	194.3
	3	11.6021	10.9342	0.6679	57.91	58.22	0.0034	196.4

จากตารางผลการทดสอบที่ 1 พบว่าการวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีแอนติโมนีคลอไรด์ของตัวอย่างแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี จำนวน 10 ตัวอย่าง ทำให้น้ำหนักแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีลดลง แสดงว่าน้ำหนักของสังกะสีที่เคลือบหายไป เหลือแต่น้ำหนักของแผ่นเหล็กที่ไม่เคลือบสังกะสีของแต่ละตัวอย่าง เนื่องจากความหนาสังกะที่เคลือบถูกละลายด้วยสารละลายแอนติโมนีไตรคลอไรด์ นำค่าผลต่างของน้ำหนักแผ่นเหล็กชุบสังกะสีและแผ่นเหล็กที่สังกะสีละลายออก นำไปคำนวณหาค่าน้ำหนักสังกะสีที่เคลือบต่อพื้นที่ของชิ้นทดสอบตามสดมภ์ที่ 9 ดังนี้

คำนวณหาน้ำหนักสังกะสีที่เคลือบ จากสูตร [17]

$$W = \frac{W1 - W2}{A}$$

W = น้ำหนักสังกะสีที่เคลือบ, กรัม/ตารางเมตร

W1 = น้ำหนักของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี ก่อนการทดสอบ, กรัม

W2 = น้ำหนักของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี หลังการทดสอบ, กรัม

W1-W2 = น้ำหนักลดลงของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี, กรัม

A = พื้นที่แผ่นเหล็ก, ตารางเมตร

เมื่อได้น้ำหนักสังกะสีที่เคลือบ (กรัม/ตารางเมตร) นำไปคำนวณเป็นค่าความหนาของสังกะสีที่เคลือบ (ไมโครเมตร) โดยถือว่าสังกะสีมีความหนาแน่นสัมพัทธ์ 7.1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี (มอก. 50-2532) [14] ดังนี้

ความหนาสังกะสีที่เคลือบ (ไมโครเมตร) = น้ำหนักสังกะสีที่เคลือบต่อพื้นที่ผิว (กรัม/ตารางเมตร) x 141 x 10^{-3}

ผลการคำนวณจะได้ความหนาสังกะสี (ไมโครเมตร) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2

ผลของการคำนวณ ตารางที่ 2 ความหนาสังกะสีที่เคลือบบนแผ่นเหล็ก

ตัวอย่างที่	ชิ้นที่	น้ำหนัก/พื้นที่ กรัม/ตารางเมตร	ความหนา ไมครอน	S.D. ไมครอน
1	1	187.2	26.40	
	2	193.0	27.21	0.33
	3	190.7	26.89	
2	1	197.3	27.82	
	2	198.7	28.02	0.24
	3	201.5	28.41	
3	1	205.0	28.91	
	2	204.4	28.82	0.16
	3	207.1	29.20	
4	1	195.8	27.61	
	2	194.8	27.42	0.29
	3	190.9	26.92	

ตัวอย่างที่	ชิ้นที่	น้ำหนัก/พื้นที่ กรัม/ตารางเมตร	ความหนา ไมครอน	S.D. ไมครอน
5	1	189.8	26.76	
	2	193.7	27.31	0.58
	3	199.8	28.17	
6	1	205.6	28.99	
	2	198.9	28.04	0.43
	3	205.1	28.92	
7	1	207.6	29.27	
	2	202.7	28.58	0.35
	3	202.1	28.50	
8	1	204.7	28.86	
	2	199.1	28.07	0.37
	3	199.2	28.09	
9	1	208.7	29.43	
	2	197.2	27.81	0.69
	3	200.2	28.23	
10	1	199.9	28.19	
	2	194.3	27.40	0.33
	3	196.4	27.69	

จากตารางที่ 2 ในสดมภ์ที่ 4 จะได้ค่าความหนาของสังกะสีที่เคลือบบนแผ่นเหล็กทั้ง 2 ด้านของแต่ละแผ่นซึ่งคำนวณจากน้ำหนักสังกะสีที่เคลือบในสดมภ์ที่ 3 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากวิธีการวัดแสดงว่าค่าที่ได้จากการทดสอบแต่ละครั้ง ห่างจากค่าเฉลี่ยของการทดสอบของแต่ละตัวอย่าง

3.1.2 **วัดความหนาสังกะสีด้วยวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก** [8] จากเครื่องวัดความหนาผิวชุบ Magnetic Thickness Tester (Permascope) ความหนาผิวชุบที่ได้วัดจากระยะห่างระหว่างหัววัด (Probe) และโลหะที่เป็นสารแม่เหล็ก ใช้สำหรับวัดความหนาผิวเคลือบที่ไม่สารแม่เหล็กซึ่งเคลือบบนเหล็ก ดังนี้

3.1.2.1 ตัดชิ้นทดสอบให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดยาวด้านละ 5 เซนติเมตรตัวอย่าง ๆ ละ 3 ชิ้น

3.1.2.2 ทำความสะอาดชิ้นทดสอบด้วยอะซิโตน

3.1.2.3 วัดความหนาผิวชุบตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (1:1) ละลายผิวเคลือบบนแผ่นเหล็กให้ถึงชั้นเหล็กเพื่อให้พื้นเหล็กเป็นวัสดุพื้น ให้มีพื้นที่ผิวเหล็กประมาณ 1 ตารางเซนติเมตร และมีค่าความหนาผิวชุบเท่ากับศูนย์ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับพื้นเหล็กที่มีสังกะสีเคลือบ

- ปรับเทียบเครื่องมือวัดความหนาโดยใช้วัสดุพื้นและแผ่นฟอล์ยมาตรฐาน (Standard foil) ที่รู้ค่าความหนาที่แน่นอน

- กดหัววัดบนผิวของตัวอย่างที่ต้องการวัด โดยให้หัววัดตั้งฉากกับพื้นผิวเคลือบ เครื่องมือวัดจะแสดงค่าความหนาผิวชุบทางจอภาพ เป็นไมโครเมตร ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3

ผลการวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

ตารางผลการทดสอบด้วยวิธี Magnetic, ไมโครเมตร							
ตัวอย่างที่	ชิ้นที่	ด้านที่	MEAN	MIN	MAX	S.D.	เฉลี่ย (2 ด้าน) µm
1	1	1	26.3	22.9	31.8	2.4	
		2	25.4	22.6	28.4	1.9	25.9
	2	1	26.7	22.8	31.6	2.2	
		2	25.6	22.4	28.2	2.1	26.2
	3	1	27.0	20.2	31.8	3.2	
		2	24.6	21.2	28.4	2.2	25.8
2	1	1	26.6	23.6	30.5	2.0	
		2	25.6	22.7	31.8	2.2	26.1
	2	1	26.2	23.2	30.4	2.0	
		2	25.5	21.8	31.6	2.1	25.9
	3	1	26.4	22.5	29.9	1.9	
		2	27.0	21.7	32.4	2.8	26.7
3	1	1	26.2	22.2	30.7	2.4	
		2	27.9	23.8	33.7	2.5	27.1
	2	1	25.8	21.8	30.5	2.4	
		2	26.5	22.9	32.7	2.2	26.2
	3	1	28.4	24.9	32.8	2.4	
		2	25.0	21.1	32.7	3.1	26.7

ภรมวิทยาศาสตร์บริการ

ตารางผลการทดสอบด้วยวิธี Magnetic, ไมโครเมตร							
ตัวอย่างที่	ชิ้นที่	ด้านที่	MEAN	MIN	MAX	S.D.	เฉลี่ย (2 ด้าน) µm
4	1	1	26.6	21.6	29.8	2.2	
		2	31.1	24.9	26.5	2.9	28.9
	2	1	29.3	20.8	34.2	2.9	
		2	30.5	23.4	32.7	2.9	29.9
	3	1	24.9	22.6	28.4	2.2	
		2	28.7	24.9	35.3	2.9	26.8
5	1	1	25.4	22.3	30.2	2.8	
		2	26.4	23.2	34.1	2.9	25.9
	2	1	25.2	22.1	30.1	2.8	
		2	26.6	22.8	32.0	2.9	25.9
	3	1	26.5	23.7	33.0	2.3	
		2	26.8	24.4	29.3	1.5	26.7
6	1	1	26.3	23.2	31.1	1.9	
		2	27.4	21.5	32.5	3.0	26.9
	2	1	25.8	20.4	29.6	2.0	
		2	26.6	20.9	38.9	3.1	26.2
	3	1	29.2	23.5	33.2	3.4	
		2	26.7	24.1	29.9	2.0	28.0
7	1	1	26.9	22.3	32.0	3.5	
		2	30.2	23.4	34.8	3.8	28.6
	2	1	25.2	20.8	30.4	3.6	
		2	29.5	24.1	35.3	2.7	27.4
	3	1	31.7	26.6	38.2	3.0	
		2	27.6	24.0	34.0	2.8	29.7

ตารางผลการทดสอบด้วยวิธี Magnetic, ไมโครเมตร							
ตัวอย่างที่	ชิ้นที่	ด้านที่	MEAN	MIN	MAX	S.D.	เฉลี่ย (2 ด้าน) μm
8	1	1	25.3	21.7	29.3	2.0	
		2	29.7	24.2	38.3	3.2	27.5
	2	1	26.7	22.3	29.4	2.7	
		2	29.4	25.2	34.1	2.5	28.1
	3	1	25.6	21.4	28.5	3.2	
		2	29.2	23.1	32.7	3.6	27.4
9	1	1	26.5	21.4	31.6	3.3	
		2	27.7	23.5	31.2	2.3	27.1
	2	1	29.3	24.0	34.8	3.3	
		2	27.6	23.0	34.1	3.4	2.8
	3	1	28.2	24.4	34.5	2.1	
		2	28.6	23.5	33.6	3.1	28.4
10	1	1	26.6	23.0	29.6	1.6	
		2	26.1	23.3	30.3	1.7	26.4
	2	1	27.7	24.1	34.7	3.2	
		2	27.1	24.4	30.7	2.1	27.4
	3	1	26.2	21.8	30.4	3.1	
		2	27.2	22.6	30.9	2.2	26.7

จากตารางที่ 3 ในสดมภ์ที่ 8 เป็นค่าเฉลี่ยความหนาผิวชุบทั้ง 2 ด้านของแต่ละแผ่น คำนวณจากการวัดความหนาของแต่ละด้านของแต่ละชิ้นตัวอย่าง เพื่อจะนำไปเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยที่ได้โดยวิธีแอนติโมนีไตรคลอไรด์ ซึ่งเป็นความหนาผิวชุบรวมของทั้งสองด้านที่ได้จากการจุ่มชิ้นทดสอบทั้งแผ่นลงในสารละลายแอนติโมนีไตรคลอไรด์ และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงให้เห็นถึงผลของการวัดแต่ละแผ่นที่ห่างจากค่าเฉลี่ยของความหนาของการวัดแต่ละตัวอย่าง

3.2 เปรียบเทียบการวัดความหนาผิวชุบโครเมียมและนิกเกิลบนเหล็กด้วยวิธีใช้กระแสไฟฟ้าและน้ำยาอิเลคโตรไลท์ และวิธีภาคตัดขวาง

การชุบนิกเกิลเป็นการชุบรองพื้นก่อนชุบโครเมียม แต่ไม่สามารถชุบนิกเกิลบนเหล็กโดยตรงต้องชุบด้วยทองแดงก่อน ทำให้ป้องกันและทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชักและตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการสัมผัสอยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย จึงต้องมีการเคลือบผิวของอุปกรณ์แต่ละชนิด เช่น ช่องเสียบการ์ด มือกด มือจับ มือบิด เป็นต้น

โดยการนำอุปกรณ์ของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 2 ชุด วัดความหนาผิวชุบของอุปกรณ์แต่ละชนิดโดยวิธีใช้กระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์ เปรียบกับวิธีภาคตัดขวาง ดังนี้

3.2.1 วัดความหนาผิวชุบของนิกเกิลและโครเมียมด้วยเครื่อง Couloscope โดยใช้กระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์ [6]

โดยใช้น้ำยาอีเล็กโตรไลท์ที่เหมาะสมละลายผิวเคลือบในพื้นที่ทดสอบ การเลือกน้ำยาอีเลคโตรไลท์ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุพื้นและผิวเคลือบมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- ทำความสะอาดชิ้นทดสอบด้วยอะซิโตน เพื่อขจัดคราบไขมันที่ติดอยู่
- วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นวัด
- เลือกใช้น้ำยาที่เหมาะสม ดังตารางที่ ข–1
- วัดความหนาผิวชุบแต่ละชั้นจากชั้นนอกสุด โครเมียม และนิกเกิลตามลำดับความหนาผิวชุบบนวัสดุพื้น
- ผลการวัดความหนาของอุปกรณ์ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก และตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู มีหน่วยเป็นไมโครเมตร ดังตารางผลการทดสอบที่ 4–7

ตารางที่ 4

ผลการวัดความหนาผิวชุบโครเมียมและนิกเกิลของช่องเสียบการ์ดชิ้นที่ 1 และ 2

ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก	ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร			
ช่องเสียบการ์ด	1		2	
ตำแหน่ง	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล
1	0.38	16.1	0.44	20.2
2	0.38	17.4	0.41	17.7
3	0.38	15.6	0.38	14.5
4	0.38	14.9	0.33	11.9
5	0.26	12.6	0.31	11.2
6	0.21	12.6	0.37	11.2
7	0.19	12.6	0.42	15.1
8	0.19	13.4	0.47	15.5
9	0.24	15.2	0.45	15.6
10	0.50	16.4	0.35	13.0
ค่าเฉลี่ย	0.30	14.7	0.39	14.5

จากตารางที่ 4 ในสดมภ์ที่ 2 และ 4 เป็นความหนาของโครเมียมซึ่งเป็นชั้นนอกสุดของผิวเคลือบ และในสดมภ์ที่ 3 และ 5 เป็นความหนาของนิกเกิลที่อยู่ชั้นถัดไป จะเห็นได้ว่าจากการวัดความหนาโครเมียมและนิกเกิลแต่ละจุดมีค่าความหนาที่ต่างกันมาก เนื่องจากผิวตัวอย่างไม่ราบเรียบและไม่สม่ำเสมอ บางตำแหน่งมีความหนามาก บางตำแหน่งมีความหนาน้อย ซึ่งเกิดจากระบวนการชุบผิวเคลือบที่ไม่สม่ำเสมอ จำเป็นต้องวัดความหนาผิวชุบหลายตำแหน่งด้วยกันเพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยของโครเมียมและนิกเกิลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมตู้เหล็กกับเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก (มอก. 518-2527) [16] ระบุความหนาผิวชุบโครเมียมไม่น้อยกว่า 0.3 ไมโครเมตร และความหนานิกเกิลไม่น้อยกว่า 10 ไมโครเมตร

ตารางที่ 5

ผลการวัดความหนาผิวชุบโครเมียมและนิกเกิลของมือกดชิ้นที่ 1 และ 2

ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก	ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร			
มือกด	1		2	
ตำแหน่ง	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล
1	0.27	20.8	0.21	16.2
2	0.22	18.6	0.25	13.6
3	0.19	16.2	0.16	11.5
4	0.17	14.4	0.18	14.0
5	0.27	21.2	0.30	12.6
6	0.20	18.0	0.28	16.4
7	0.16	15.8	0.30	16.3
8	0.19	18.7	0.26	13.5
9	0.24	22.2	0.26	11.7
10	0.17	14.6	0.26	12.9
ค่าเฉลี่ย	0.21	18.1	0.25	13.9

จากตารางที่ 5 พบว่าความหนาของโครเมียมและนิกเกิลในบางตำแหน่งต่างกันมาก เนื่องจากผิวของชิ้นงานไม่เรียบและไม่สม่ำเสมอ เกิดจากกระบวนการชุบผิวที่ไม่สม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ จำเป็นต้องวัดความหนาหลายตำแหน่ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของความหนาผิวชุบ

ตารางที่ 6

ผลการวัดความหนาผิวชุบโครเมียมนิกเกิลของมือจับ ชิ้นที่ 1 และ 2

ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก	ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร			
มือกด	1		2	
ตำแหน่ง	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล
1	0.44	29.0	0.45	16.1
2	0.39	22.5	0.50	18.5
3	0.53	27.2	0.45	15.8
4	0.44	22.9	0.50	17.2
5	0.51	28.0	0.52	20.5
6	0.51	24.9	0.60	18.8
7	0.45	22.2	0.46	17.8
8	0.45	24.2	0.62	15.8
9	0.40	22.4	0.60	14.9
10	0.40	20.7	0.56	15.5
ค่าเฉลี่ย	0.45	24.4	0.53	17.09

จากตารางที่ 6 พบว่าความหนาของโครเมียมและนิกเกิลในบางตำแหน่งต่างกันมาก เนื่องจากผิวของชิ้นงานไม่เรียบและไม่สม่ำเสมอ เกิดจากกระบวนการชุบผิวที่ไม่สม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ จำเป็นต้องวัดความหนาหลายตำแหน่ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของความหนาผิวชุบ

ตารางที่ 7

ผลความหนาผิวชุบโครเมียมนิกเกิลของอุปกรณ์ตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู มือบิด มือกด และช่องเสียบการ์ด

ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร						
ตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู	มือบิด		มือกด		ช่องเสียบการ์ด	
ตำแหน่ง	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล
1	1.25	44.0	1.06	25.4	0.69	34.4
2	1.05	41.1	1.30	23.8	0.57	32.2
3	0.93	44.3	0.91	22.3	0.55	30.5
4	0.93	50.1	1.45	31.8	0.51	33.8
5	0.95	43.3	1.22	2727	0.58	30.4
6	1.01	57.9	0.96	24.9	0.54	28.4
7	1.07	การวัดเริ่มไม่คงที่	0.87	23.6	0.59	27.2
8	0.88		1.10	22.6	0.55	29.4
9	0.85	—	0.80	21.9	0.48	ไม่สามารถวัดได้
10	1.32	—	1.02	18.6	0.53	
ค่าเฉลี่ย	1.02	46.8	1.07	24.3	0.56	30.4

จากตารางที่ 7 พบว่าความหนาผิวชุบของโครเมียมและนิกเกิล ได้ค่าความหนาผิวชุบที่แตกต่างกันในบางตำแหน่ง และบางตำแหน่งเมื่อวัดความหนาแล้ว เครื่องไม่ตัดเนื่องจากไม่สามารถวัดถึงจุดสิ้นสุดได้ (End point) และจุดที่ตัดนั้นพบว่าผิวเคลือบถูกทำลายเลยชั้นนิกเกิลไปจนถึงชั้นเหล็ก และสารที่เจือปนในผิวเคลือบจะทำให้วัดความหนาได้น้อยลง หรือการแพร่ผิวเคลือบเข้าไปในเนื้อวัสดุพื้น ทำให้ความหนามากขึ้น และการไม่คงที่ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้อาจทำให้ความหนาผิวชุบได้มากหรือน้อยตามกระแสไฟ

ค่าเฉลี่ยของนิกเกิลและโครเมียม ตามมาตรฐานตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู (มอก. 437-2525)[15] ซึ่งระบุให้ความหนาโครเมียมและนิกเกิลต้องไม่น้อยกว่า 0.3 และ 10 ไมโครเมตร ตามลำดับ ส่วนความหนาของชั้นนิกเกิลในสดมภ์ที่ 3 และ 7 เป็นค่าเฉลี่ยจากชิ้นทดสอบที่สามารถวัดได้ถึงจุดสิ้นสุด (End point) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผิวชุบนิกเกิล ณ บริเวณที่วัดความหนา

3.2.2 **วัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีภาคตัดขวาง** [1) (9) (13)] วัดความหนาผิวชุบของนิกเกิลและโครเมียมของอุปกรณ์ต่าง ๆ ชุดที่ 2 ด้วยวิธีภาคตัดขวางโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีสเกลที่ได้รับการสอบเทียบแล้วโดยการวัดความหนาผิวชุบแต่ละชั้นจากภาคตัดขวาง ก่อนการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์จะต้องเตรียมชิ้นงานให้เหมาะสม ถูกต้องและผิวหน้าของชิ้นงานจะต้องเรียบปราศจากรอยขีดข่วนแต่อย่างใด ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ตัดตัวอย่างตามแนวขวาง ให้มีขนาด 1 x 1 เซนติเมตร และไม่ทำให้เกิดความเสียหายและผิวหน้าต้องเรียบ ไม่มีรอยขีดข่วน

- นำชิ้นทดสอบไปฝังในเรซิน (Bakelite) โดยใช้ความร้อนและแรงดันสูงในการอัดชิ้นทดสอบ

- นำชิ้นทดสอบไปขัดผิวหน้าให้เรียบ ด้วยกระดาษทราบหยาบและละเอียดตามลำดับ และไม่ทำให้เกิดความเสียหายหรือตำหนิใด ๆ บนผิวหน้าของชิ้นทดสอบ

- กัดผิวหน้าของชิ้นทดสอบ (Etching) ด้วยสารละลายกรดไนติกและกรดอะซิติก (1 : 1 โดยปริมาตร) เพื่อให้เกิดความแตกต่างของชั้นโลหะที่ชัดเจนและขจัดเศษโลหะที่ติดค้างทำให้เกิดเส้นบาง ๆ ที่ขอบของผิวชุบ ชนิดของน้ำยากัดผิวจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุพื้นและผิวเคลือบ ดังตารางที่ ข–2

- วัดความหนาผิวชุบของอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิด ดังตารางผลการทดสอบที่ 8–11

ตารางที่ 8

ผลการวัดความหนาผิวชุบโครเมียมและนิกเกิลของอุปกรณ์ช่องเสียบการ์ด

ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก	ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร			
ช่องเสียบการ์ด	2		1	
ตำแหน่ง	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล
1	ไม่สามารถวัดได้	20.6	ไม่สามารถวัดได้	27.6
2	"	22.4	"	27.6
3	"	22.4	"	24.1
4	"	20.6	"	20.7
5	"	24.1	"	18.9
6	"	31.0	"	18.9
7	"	20.6	"	20.7
8	"	18.9	"	25.9
9	"	20.6	"	17.2
10	"	17.2	"	15.5
ค่าเฉลี่ย	-	21.8	-	21.7

จากตารางที่ 8 พบว่าความหนาผิวชุบโครเมียมไม่สามารถวัดได้เนื่องจากความหนาที่ชุบนั้นบางเกินขีดความสามารถของเครื่องมือวัด จะต้องมีความหนาผิวชุบอย่างน้อย 0.8 ไมโครเมตร แต่การเคลือบผิวโครเมียมส่วนใหญ่เป็นการชุบเพื่อความสวยงามและป้องกันไม่ให้โลหะอื่นเป็นสนิม จึงชุบแบบบาง ๆ

ตารางที่ 9

ผลการวัดความหนาผิวชุบโครเมียมและนิกเกิลของมือกด

ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก	ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร			
มือกด	1		2	
ตำแหน่ง	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล
1	วัดไม่ได้	25.8	วัดไม่ได้	41.4
2	"	25.8	"	44.8
3	"	24.1	"	51.7
4	"	24.1	"	50.0
5	"	25.8	"	39.6
6	"	22.4	"	39.6
7	"	24.1	"	29.3
8	"	25.8	"	31.0
9	"	31.0	"	36.2
10	"	29.3	"	39.7
ค่าเฉลี่ย	-	25.8	-	40.3

จากตารางที่ 9 พบว่าความหนาผิวชุบโครเมียมไม่สามารถวัดได้เนื่องจากความหนาที่ชุบนั้นบางเกินขีดความสามารถของเครื่องมือวัด จะต้องมีความหนาผิวชุบอย่างน้อย 0.8 ไมโครเมตร แต่การเคลือบผิวโครเมียมส่วนใหญ่เป็นการชุบเพื่อความสวยงามและป้องกันไม่ให้โลหะอื่นเป็นสนิม จึงชุบแบบบาง ๆ และความหนานิกเกิลบางตำแหน่งต่างกันมาก เนื่องจากระบวนการชุบผิวไม่สม่ำเสมอทำให้ได้ความหนาที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 10

ผลการวัดความหนาผิวชุบโครเมียมและนิกเกิลของมือจับ

ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก	ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร, ด้วยวิธีภาคตัดขวาง			
มือจับ	1		2	
ตำแหน่ง	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล
1	วัดไม่ได้	37.9	วัดไม่ได้	39.7
2	"	36.2	"	39.7
3	"	36.2	"	43.1
4	"	36.2	"	41.3
5	"	36.2	"	39.7
6	"	27.6	"	41.3
7	"	27.6	"	39.7
8	"	27.6	"	39.7
9	"	27.6	"	41.3
10	"	27.6	"	41.3
ค่าเฉลี่ย	-	32.07	-	40.86

จากตารางที่ 10 พบว่าความหนาผิวชุบโครเมียมไม่สามารถวัดได้เนื่องจากความหนาที่ชุบนั้นบางเกินขีดความสามารถของเครื่องมือวัด จะต้องมีความหนาผิวชุบอย่างน้อย 0.8 ไมโครเมตร แต่การเคลือบผิวโครเมียมส่วนใหญ่เป็นการชุบเพื่อความสวยงามและป้องกันไม่ให้โลหะอื่นเป็นสนิม จึงชุบแบบบาง ๆ และความหนานิกเกิลบางตำแหน่งต่างกันมาก เนื่องจากระบวนการชุบผิวไม่สม่ำเสมอทำให้ได้ความหนาที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 11

ผลการวัดความหนาผิวชุบโครเมียม นิกเกิลของผลิตภัณฑ์ ตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู ของอุปกรณ์ มือบิด มือกด และช่องเสียบการ์ด

ตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู	ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร					
อุปกรณ์	มือบิด		มือกด		ช่องเสียบการ์ด	
ตำแหน่ง	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล
1	1.5	27.6	1.7	18.97	วัดไม่ได้	13.8
2	1.7	25.9	1.7	18.97	"	12.1
3	1.7	25.9	1.7	20.7	"	17.2
4	1.5	48.3	1.7	25.9	"	18.9
5	1.6	50.0	1.7	24.1	"	48.3
6	1.4	50.0	1.7	25.9	"	58.6
7	1.4	48.3	1.7	24.1	"	46.6
8	1.3	39.7	1.7	27.6	"	48.3
9	1.4	39.7	1.7	25.9	"	46.6
10	1.4	43.1	1.7	25.9	"	48.3
ค่าเฉลี่ย	1.5	39.9	1.7	23.8	-	35.9

จากตารางที่ พบว่าความหนาของโครเมียมไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากมีค่าความหนาน้อยกว่าขีดความสามารถของเครื่องมือวัด ความหนาที่จะวัดได้อย่างน้อย 0.8 ไมโครเมตร และความหนาของนิกเกิลบางตำแหน่ง จะได้ค่าความหนาที่แตกต่างกันมาก เนื่องจากกระบวนการชุบเคลือบผิวไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความหนาแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน

3.3 เปรียบเทียบการวัดความหนาผิวชุบอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยวิธีกระแสไหลวนและวิธีภาคตัดขวาง

การวัดความหนาอะลูมิเนียมผิว (Anodized aluminium) เป็นการวัดอะลูมิเนียมออกไซด์ของวัสดุพื้นอะลูมิเนียมซึ่งต้องใช้หลักการวัดโดยเฉพาะของผิวเคลือบที่ไม่นำไฟฟ้าที่เคลือบบนตัวนำไฟฟ้าแต่ไม่ใช่สารแม่เหล็กด้วยเครื่อง Eddy E 560

โดยนำตัวอย่างแผงกันแดดอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่ผ่านกระบวนการอโนไดซ์ จำนวน 3 ตัวอย่าง ๆ ละ 2 แผ่นแบ่งออกเป็น 2 ชุด วัดความหนาผิวอโนไดซ์แต่ละชุดด้วยวิธีกระแสไหลวนและวิธีภาคตัดขวาง

3.3.1 **วัดความหนาผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยวิธีกระแสไหลวน**[17] ของผลิตภัณฑ์แผงกันแดดอะลูมิเนียมออกไซด์ ดังมีขั้นตอนดังนี้

- ใช้กระดาษทรายชนิดละเอียดขนาด 500 และ 1000 ตามลำดับ ขัดผิวเคลือบบริเวณด้านหน้าและหลังของชิ้นทดสอบออกจนถึงชั้นอะลูมิเนียมให้มีพื้นที่อย่างน้อย 5 ตารางเซนติเมตรเพื่อใช้เป็นวัสดุพื้นมาตรฐาน (Standard Base) สำหรับใช้ปรับเทียบเครื่องมือโดยให้ผิวอะลูมิเนียมมีความหนาเป็นศูนย์
- ทำความสะอาดชิ้นทดสอบก่อนปรับเทียบ
- ปรับเทียบเครื่องวัดโดยใส่ค่าความหนาของแผ่นฟอล์ยมาตรฐาน (Standard foil) ที่มีค่า 11.5
- วัดความหนาผิวชุบโดยกดหัววัดบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบ 5-10 ครั้ง เครื่องจะแสดงความหนา ต่ำสุด สูงสุด และความหนาเฉลี่ยผิวชุบของแต่ละชิ้นที่ใช้ทดสอบบนจอภาพของเครื่องมือ ดังตารางผลการทดสอบที่ 12

ตารางที่ 12

ตารางผลการวัดความหนาผิวอโนไดซ์ของแผงอะลูมิเนียมอโนไดซ์

ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร							
แผงกันแดดอะลูมิเนียมออกไซด์		RB 967		RB 968		RB 969	
แผ่น	ด้าน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
1	1	14.2	17.0	22.1	24.7	12.5	13.9
	2	8.3	13.2	18.3	19.7	15.4	17.1
2	1	14.7	16.7	21.4	23.7	12.4	13.8
	2	8.8	12.4	17.5	19.6	15.2	16.7
ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 แผ่น		13.4		21.1		14.6	

จากตารางที่ 12 พบว่าความหนาผิวชุบอะลูมิเนียมออกไซจากค่าต่ำสุดและสูงสุดต่างกันมากในแต่ละแผ่น แสดงให้เห็นว่ากระบวนการชุบเคลือบผิวไม่สม่ำเสมอตลอดชิ้นงาน อันเนื่องมาจากความหนาบางของวัสดุพื้น การนำไฟฟ้าของวัสดุพื้นกับผิวเคลือบ และการวางหัววัด (probe) บนชิ้นตัวอย่าง ทำให้ค่าความหนาผิวชุบที่วัดได้แตกต่างกันแต่ละบริเวณ

3.3.2 **วัดความหนาผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยวิธีภาคตัดขวาง** วัดความหนาของตัวอย่างชุดที่ 2 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีสเกลที่ได้รับการสอบเทียบแล้ว การวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์นี้ จะต้องเตรียมชิ้นงานให้ผิวของชิ้นงานเรียบไม่มีรอยขีดข่วน และไม่เกิดความเสียหายแก่ผิวหน้าของชิ้นทดสอบตามวิธีเตรียมชิ้นทดสอบในข้อ 3.2.2 แต่การกัดผิวหน้าของชิ้นทดสอบอะลูมิเนียม (Etching) ต้องใช้กรดโฮโตรฟลูโอริก และน้ำกลั่น (2:98% โดยปริมาตร) ตารางที่ ข-2 เพื่อให้เกิดความแตกต่างของชั้นโลหะอย่างชัดเจน วัดความหนาของผิวชุบอะลูมิเนียมออกไซด์ของตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง ดังตารางผลการทดสอบที่ 13

ตารางที่ 13

ตารางผลการวัดความหนาผิวอโนไดซ์ของแผงอะลูมิเนียมอโนไดซ์

ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร						
แผงกันแดดอะลูมิเนียมออกไซด์	RB 967		RB 968		RB 969	
ตำแหน่ง	แผ่น 1	แผ่น 2	แผ่น 1	แผ่น 2	แผ่น 1	แผ่น 2
1	14.4	13.3	15.0	19.0	14.4	13.3
2	14.4	13.3	15.0	19.0	13.3	14.4
3	14.4	13.3	15.0	17.5	12.2	13.3
4	14.4	13.3	15.0	17.5	12.2	12.2
5	14.4	13.3	15.0	17.5	13.3	12.2
6	13.9	13.3	14.3	17.5	13.3	12.3
7	14.4	12.8	14.3	17.5	13.3	13.3
8	14.4	13.3	14.3	17.5	13.3	13.3
ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 แผ่น	13.8		16.3		13.1	

จากตารางที่ 13 พบว่าความหนาผิวชุบอโนไดซ์แต่ละตำแหน่งของแต่ละชิ้นทดสอบมีค่าเท่ากันแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย แต่จะแตกต่างกันมากจากความหนาของทั้งสองแผ่น แสดงว่ากระบวนการชุบเคลือบผิวไม่สม่ำเสมอทำให้ผลการวัดแตกต่างกันและวิธีวัดด้วยภาคตัดขวางเป็นการวัดความหนาเฉพาะจุด (Micro-area) จึงต้องวัดหลาย ๆ จุด

3.3.3 **การวัดความหนาผิวชุบอะลูมิเนียมออกไซด์** ของผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น หม้อหุงข้าวไฟฟ้า วิธีการวัดความหนาใช้วิธีกระแสไหลวน ซึ่งเป็นวิธีการวัดความหนาผิวชุบเฉพาะสำหรับผิวอะลูมิเนียม แต่สำหรับผลิตภัณฑ์หม้อหุงข้าวไฟฟ้า ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (มอก. 1039-2534) ระบุความหนาผิวชุบที่บริเวณก้นหม้อและฝาหม้อ ต้องไม่น้อยกว่า 4 ไมโครเมตร

วัดความหนาผิวชุบอะลูมิเนียมออกไซด์ ของหม้อหุงข้าวไฟฟ้ามีขั้นตอนการดำเนินงาน เช่น เดียวกับวิธีการวัดความหนาผิวชุบ ข้อ 3.3.2 ดังตารางผลการทดสอบที่ 14

ตารางที่ 14

ผลการวัดความหนาอะลูมิเนียมออกไซด์ของหม้อหุงข้าวไฟฟ้า

ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร			
ผลิตภัณฑ์หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย
RN 771	3.70	5.10	4.40
TX 202	5.01	7.82	6.40
TZ 704	3.59	7.71	5.65
UH 449	3.51	6.56	5.03
UH 450	1.61	3.94	2.79
UH 813	4.75	7.51	6.13

จากตารางที่ 14 เป็นผลการวัดความหนาของตัวอย่างหม้อหุงข้าวไฟฟ้าโดยวัดความหนาผิวชุบของตัวอย่าง ๆ ละ 10 ครั้ง เครื่องมือวัดจะแสดงค่า ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ย ของแต่ละตัวอย่างในสดมภ์ที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ผลการวัดความหนาส่วนใหญ่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐานหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (มอก. 1039-2534) ซึ่งระบุให้มีความหนาผิวชุบที่ก้นหม้อ ต้องไม่น้อยกว่า 4 ไมโครเมตร

3.4 การวัดความหนาผิวชุบโดยวิธีภาคตัดขวาง

การวัดความหนาผิวชุบของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นั้นอาจใช้ได้หลาย แต่จะต้องเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ให้มากที่สุด เช่น วิธีปฏิกิริยาทางเคมี (Stripping) วิธีกระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์ ละลายผิวเคลือบ (Coulosccopic method) วิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Magnetic induction method) หรือวิธีกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy current method) แต่ผลการวัดความหนาอาจคลาดเคลื่อนหรือไม่แม่นยำจำเป็นต้องใช้วิธีภาคตัดขวาง (Microscopic cross – section) วัดความหนาผิวชุบ วิธีนี้ใช้วัดความหนาทุกประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลือบผิวบาง เช่น เครื่องประดับชนิดต่าง ๆ วัสดุที่เป็นโลหะผสม มีรูปร่างซับซ้อน เช่น ผลิตภัณฑ์หัวก๊อก มือบิดก๊อกน้ำ ของอุปกรณ์เครื่องสุขภัณฑ์ต่าง ๆ อุปกรณ์มือจับตู้นิรภัย ตู้เหล็กเก็บเอกสารฯ อุปกรณ์ชิ้นส่วนรถยนต์ ฝาครอบดุมล้อ ฝาครอบไฟเลี้ยว เป็นต้น แต่การวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีนี้ การเตรียมชิ้นงานก่อนการวัดมีความสำคัญเป็นอย่างมาก จะต้องทำให้ได้ผิวหน้าของชิ้นงานเรียบ ปราศจากตำหนิใด ๆ และถูกต้องทุกขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างมีดังนี้

1. การตัดตัวอย่าง (Cutting)
2. การอัดชิ้นงานด้วยเรซิน (Moulding)
3. การขัดหยาบ (griding)
4. การขัดละเอียด (Polishing)
5. การกัดกรด (Etching)

ดังนั้นการวัดความหนาผิวชุบด้วยกล้องจุลทรรศน์นี้ การเตรียมชิ้นงาน มีความสำคัญมาก เพราะผิวชิ้นงานต้องเรียบ ไม่มีรอยขีดข่วน จึงจะทำให้เห็นความหนาของผิวเคลือบแต่ละชั้นได้ชัดเจน นอกจากนั้นการวัดความหนาผิวเคลือบด้วยวิธีนี้ จะทำให้เห็นการแยกชั้นของผิวเคลือบแต่ละชั้นได้อีกด้วย เช่น ในการชุบเคลือบนิกเกิล ซึ่งมีการชุบนิกเกิลหลายแบบ คือ แบบชั้นเดียว สองชั้น และสามชั้น ซึ่งได้แก่ การชุบนิกเกิลด้าน การชุบนิกเกิลกึ่งเงา และการชุบนิกเกิลเงาตามลำดับ เมื่อนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะทำให้เห็นชั้นผิวชุบนิกเกิลแยกตามลักษณะของการชุบได้ชัดเจน เช่น อุปกรณ์มือจับตู้นิรภัย ตู้เหล็กเก็บเอกสาร อุปกรณ์ชิ้นส่วนรถยนต์ แผ่นป้ายรถยนต์ ฝาครอบดุมล้อ ฝาครอบไฟเลี้ยว เป็นต้น

ในบางครั้งการวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีต่าง ๆ อาจจะมีปัญหาขัดแย้งเกี่ยวกับผลการวัดความหนา แต่วิธีวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีที่ยอมรับและเป็นวิธีที่ใช้ในการตัดสินเมื่อเกิดปัญหา โดยที่วิธีอื่น ๆ นั้นบางวิธีเป็นการวัดความหนาผิวชุบทั้งหมด (Total thickness) แต่การวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์สามารถวัดความหนาแต่ละชั้นได้ (Multi-layer thickness)

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการเปรียบเทียบความหนาผิวชุบของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี ด้วยวิธีปฏิกิริยาทางเคมี และวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

โดยเปรียบเทียบ จากค่าความหนาผิวชุบของทั้ง 2 วิธี ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15

ผลการเปรียบเทียบความหนาผิวชุบของสังกะสีบนแผ่นเหล็ก

ความหนาผิวชุบของสังกะสี, ไมโครเมตร			
ตัวอย่างที่	ด้วยวิธีปฏิกิริยาทางเคมี	ด้วยวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก	ผลความหนาผิวชุบที่แตกต่างกันของทั้ง 2 วิธี,%
1	26.8	26.0	2.9
2	28.1	26.2	6.8
3	29.0	26.7	7.9
4	27.3	28.5	-4.4
5	27.4	26.2	4.4
6	28.7	27.0	5.9
7	28.8	28.6	0.7
8	28.3	27.7	2.1
9	28.5	28.0	1.8
10	27.8	26.8	3.6

จากตารางที่ 15 ในสดมภ์ที่ 2 และ3 เป็นความหนาผิวชุบสังกะสีได้จากการวัดด้วยวิธีปฏิกิริยาทางเคมีและวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กตามลำดับ และในสดมภ์ที่ 4 เป็นผลที่ได้จากการเปรียบเทียบของความหนาผิวชุบที่วัดได้จาก วิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่ต่างจากการวัดด้วยวิธีปฏิกิริยาทางเคมี

จากตัวอย่างทั้ง 10 ตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบพบว่า ผลความหนาผิวชุบที่แตกต่างกันทั้ง 2 วิธี ต่างกันไม่เกิน $\pm$ 10% เป็นค่าที่ยอมรับได้ทั้ง 2 วิธี แต่วิธีไม่ทำลายผิวและชิ้นงาน น่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า

4.2 ผลการเปรียบเทียบความหนาผิวชุบโครเมียมและนิกเกิลของอุปกรณ์ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไปแบบลิ้นชัก และตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู ด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์ และวิธีภาคตัดขวาง

ได้ผลดังตารางผลการเปรียบเทียบที่ 16-19

ตารางที่ 16

ตารางผลการเปรียบเทียบความหนาผิวชุบของทั้ง 2 วิธี ของอุปกรณ์ช่องเสียบการ์ด

ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร				
	ด้วยวิธี Coulometric		ด้วยวิธี Microscopeic cross section	
ช่องเสียบการ์ด	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล
1	0.41	18.2	วัดไม่ได้	24.1
2	0.38	17.6	"	25.0
3	0.38	15.1	"	23.3
4	0.35	13.4	"	20.7
5	0.29	11.9	"	21.5
6	0.29	11.9	"	39.9
7	0.30	13.9	"	20.7
8	0.33	14.5	"	22.4
9	0.35	15.4	"	18.9
10	0.43	14.7	0.91	16.3
ค่าเฉลี่ย	0.35	14.7	-	23.3

จากตารางที่ 16 ในสดมภ์ที่ 2, 3 เป็นค่าเฉลี่ยความหนาโครเมียมและนิกเกิลจากการวัดด้วยวิธี Coulometic และในสดมภ์ที่ 4 เป็นความหนาของโครเมียมซึ่งไม่สามารถวัดได้ด้วยวิธีภาคตัดขวาง เนื่องจากความหนาผิวชุบมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัด (0.8 ไมโครเมตร) ของเครื่องมือวัด และผลการวัดความหนาผิวชุบของนิกเกิลในบางตำแหน่งมีค่าแตกต่างกันมาก เนื่องจากกระบวนการชุบไม่สม่ำเสมอทำให้ผิวชุบแต่ละตำแหน่งมีความหนาที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 17

ตารางผลการเปรียบเทียบความหนาผิวชุบของทั้ง 2 วิธี ของอุปกรณ์มือกด

ผลิตภัณฑ์มือกด	ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร			
	วิธี Couloscopic		วิธี Microscopic cross - section	
	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล
1	0.24	18.5	-	33.6
2	0.23	16.1	-	35.3
3	0.18	13.9	-	37.9
4	0.18	14.2	-	37.1
5	0.29	16.9	-	32.75
6	0.24	17.2	-	31.0
7	0.23	16.1	-	26.7
8	0.23	16.1	-	28.4
9	0.25	17.0	-	33.6
10	0.22	13.8	-	34.5
ค่าเฉลี่ย	0.23	15.98	-	33.8

จากตารางที่ 17 พบว่าความหนาโครเมียมและนิกเกิลที่วัดได้จากทั้ง 2 วิธี มีค่าความหนาที่ใกล้เคียงกัน แต่มีบางบริเวณแตกต่างกัน เนื่องจากระบวนการชุบผิวไม่สม่ำเสมอทำให้ได้ความหนาที่แตกต่างกัน

ส่วนความหนาของโครเมียมในสดมภ์ที่ 4 ไม่สามารถวัดความหนาโครเมียมได้ด้วยวิธีภาคตัดขวาง เนื่องจากความหนาของผิวชุบน้อยกว่าขีดความสามารถของเครื่องมือวัด และเครื่องมือจะวัดได้เมื่อความหนาผิวชุบมากกว่า 0.8 ไมโครเมตร และการเตรียมชิ้นงานของผิวเคลือบที่เคลือบบางจะทำให้เกิดความเสียหายของชั้นเคลือบทำให้ไม่สามารถวัดได้

ตารางที่ 18

ตารางผลการเปรียบเทียบความหนาผิวชุบของทั้ง 2 วิธีของอุปกรณ์มือจับ

ผลิตภัณฑ์มือจับ	ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร			
	วิธี Coulometric		วิธี Microsopic cross - section	
ตำแหน่ง	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล
1	0.45	22.6	-	38.8
2	0.45	20.5	-	37.9
3	0.49	21.5	-	39.7
4	0.47	20.1	-	38.8
5	0.52	24.3	-	37.95
6	0.56	21.9	-	34.5
7	0.46	20.0	-	33.7
8	0.57	20.0	-	33.7
9	0.50	18.7	-	34.5
10	0.48	18.6	-	35.4
ค่าเฉลี่ย	0.50	20.8	-	36.5

จากตารางที่ 18 พบว่าความหนาผิวชุบโครเมียมไม่สามารถวัดได้ด้วยวิธีภาคตัดขวาง เนื่องจากความหนาของผิวชุบน้อยกว่าขีดความสามารถของเครื่องมือวัด และเครื่องมือจะวัดได้เมื่อความหนาผิวชุบมากกว่า 0.8 ไมโครเมตร และการเตรียมชิ้นงานของผิวเคลือบที่เคลือบบางจะทำให้เกิดความเสียหายของชั้นเคลือบทำให้ไม่สามารถวัดได้

จะเห็นได้ว่าความหนาของโครเมียมและนิกเกิลที่วัดได้จากทั้งสองวิธี ในบางตำแหน่งมีค่าที่ต่างกันบ้าง เนื่องจากกระบวนการชุบเคลือบผิวไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความหนาแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน

ตารางที่ 19

ตารางผลการเปรียบเทียบความหนาผิวชุบของอุปกรณ์ตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู

ตำแหน่ง	วิธีใช้กระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์						วิธีภาคตัดขวาง					
	มือบิด		มือจับ		ช่องเสียบการ์ด		มือบิด		มือจับ		ช่องเสียบการ์ด	
	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล	โครเมียม	นิกเกิล
1	1.25	44.0	1.06	25.4	0.69	34.4	1.7	27.6	1.7	18.97	3.5	13.8
2	1.05	41.1	1.30	23.8	0.57	32.2	3.5	25.9	1.7	18.97	3.5	12.1
3	0.93	44.3	0.91	22.3	0.55	30.5	3.5	25.9	1.7	20.7	-	17.2
4	0.93	50.1	1.45	31.8	0.51	33.8	5.2	48.3	1.7	25.9	3.5	18.9
5	0.95	43.3	1.22	27.7	0.58	30.4	5.2	50.0	1.7	24.1	-	48.3
6	1.01	57.9	0.96	24.9	0.54	28.4	5.2	50.0	1.7	25.9	1.7	58.6
7	1.07	-	0.87	23.6	0.59	27.2	5.2	48.3	1.7	24.1	3.5	46.6
8	0.88	-	1.10	22.6	0.55	25.4	3.5	39.7	1.7	27.6	3.5	48.3
9	0.85	-	0.80	21.9	0.48	-	3.5	39.7	1.7	-	3.5	46.6
10	1.32	-	1.20	18.6	0.53	-	3.5	43.1	1.7	-	5.2	48.3
ค่าเฉลี่ย	1.02	46.8	1.07	24.3	0.56	30.4	4.0	39.9	1.7	23.8	3.5	35.9

จากตารางที่ 19 พบว่าค่าความหนาของโครเมียมและนิกเกิลในบางตำแหน่งค่าที่ได้แตกต่างกันมาก เนื่องจากกระบวนการชุบเคลือบผิวไม่สม่ำเสมอ ทำให้ค่าความหนาที่ได้แตกต่างกัน

ความหนาของโครเมียมและนิกเกิลที่วัดได้ด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าและน้ำยาอิเลคโตรไลท์ วัดความหนาได้เป็นบางตำแหน่ง แต่ในบางตำแหน่งเมื่อวัดความหนาแล้วเครื่องไม่ตัด และเมื่อถึงจุดสิ้นสุด (End point) ผิวเคลือบถูกทำลายไปถึงชั้นเหล็ก ทำให้ได้ค่าที่ไม่แน่นอน ความหนาโครเมียมที่วัดได้จากทั้ง 2 วิธีได้ผลต่างกันมาก แต่ในทางปฏิบัตินั้น จะระบุให้วัดความหนาโครเมียมด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าและน้ำยาอิเลคโตรไลท์ ส่วนความหนานิกเกิลส่วนใหญ่จะมีการชุบที่หนา จึงควรใช้วิธีภาคตัดขวาง

4.3 ผลการเปลี่ยนเปรียบเทียบความหนาผิวชุบอะลูมิเนียมออกไซด์ ของผลิตภัณฑ์แผงกันแดดอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยวิธีกระแสไหลวน และวิธีภาคตัดขวาง

ดังตารางผลการทดสอบที่ 20

ตารางที่ 20

ตารางผลการเปรียบเทียบความหนาอโนไดซ์ของทั้ง 2 วิธี

หมายเลข ปฏิบัติการ	ความหนาผิวชุบ, ไมโครเมตร		ผลต่างความหนาผิว อโนไดซ์จาก 2 วิธี %
	วิธีกระแสไหลวน	วิธีภาคตัดขวาง	
RB 967	13.4	13.8	-2.9
RB 968	21.1	16.3	22
RB 969	14.6	13.2	9.6

จากตารางที่ 20 พบว่าค่าความหนาผิวชุบที่วัดได้จากทั้ง 2 วิธี ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ความหนาที่วัดด้วยวิธีกระแสไหลวน บางตัวอย่างต่างจากวิธีภาคตัดขวางมาก ดังในสดมภ์ที่ 4 หมายเลขปฏิบัติการ RB 968 ผลต่างเป็น 22% เนื่องจากความหนาของวัสดุพื้น ณ บริเวณที่วัดนั้น อาจบางกว่าบริเวณอื่น รวมทั้งค่าการนำไฟฟ้า ณ บริเวณจุดนั้น ทำให้การวัดคลาดเคลื่อนไป ส่วน RB 967 และ RB 969 เป็นค่าที่ยอมรับได้ มีช่วงเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ไม่เกิน $\pm$10%

4.3.1 จากผลการวัดความหนาผิวชุบของผลิตภัณฑ์หม้อหุงข้าวไฟฟ้า ส่วนใหญ่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน เนื่องจากในปัจจุบันมีผู้นิยมใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้ากันมาก รวมทั้งการผลิตหม้อหุงข้าวไฟฟ้าได้เองในประเทศ เพื่อเป็นประโยชน์และเป็นการคุ้มครองผู้บริโภคจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (มอก.1039-2524) เพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติและคุณภาพ ความหนาผิวชุบของหม้อหุงข้าวไฟฟ้าที่ก้นหม้อและฝาหม้อต้องไม่น้อยกว่า 4 ไมโครเมตร

การวัดความหนาหม้อหุงข้าวไฟฟ้าสามารถวัดความหนาได้ด้วยวิธีภาคตัดขวาง แต่ค่าที่ได้เมื่อเปรียบเทียบไม่ควรต่างกัน $\pm$ 10% แต่ในที่นี้ทางห้องปฏิบัติการ เลือกใช้วิธีกระแสไหลวนในการวัดความหนาผิวชุบของหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ในกรณีผลิตภัณฑ์อื่นที่ชุบอโนไดซ์มีรูปร่างซับซ้อนให้เตรียมชิ้นทดสอบเป็นแผ่นโดยการชุบเคลือบผิวภายใต้ภาวะเดียวกันแทน

4.4 ผลการวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีภาคตัดขวาง

เป็นวิธีการวัดความหนาที่ใช้ตัดสินในกรณีที่ผลของความหนาผิวชุบคลาดเคลื่อน หรือมีปัญหาในผลการวัดด้วยวิธีอื่น และสามารถวัดความหนาได้แต่ละชั้นของผิวเคลือบ มีความละเอียดในการวัดแต่ใช้เวลาในการวัดมาก ค่าใช้จ่ายสูง การเตรียมชิ้นงานที่จะวัดจะต้องมีความละเอียดรอบคอบและต้องใช้ประสบการณ์สูง เป็นวิธีวัดความหนาผิวชุบเป็นที่ยอมรับและยืนยันความหนาได้จากภาพถ่าย ดังภาพถ่ายผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ด้วยวิธีภาคตัดขวาง ดังภาพที่ ก-17 ถึง ก-32

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผล

5.1 สรุปผลการวัดความหนาสังกะสีบนแผ่นเหล็กทั้งแบบวิธีทำลายด้วยวิธีปฏิกิริยาทางเคมี และแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

โดยการวัดความหนาผิวชุบ จากตัวอย่างชนิดเดียวกันจำนวน 10 ตัวอย่าง ทำการวัดความหนาผิวชุบแต่ละตัวอย่างทั้ง 2 วิธี ได้ผลความหนาผิวชุบที่ใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าผลต่างของความหนาจากทั้ง 2 วิธี จะให้ค่าความหนาผิวชุบส่วนใหญ่ที่ต่างกันอยู่ในช่วง 3-8% ผลการวัดเป็นที่ยอมรับได้จะต้องอยู่ในช่วง $\pm$ 10% (จาก Reference Standard)[10] ของแผ่นเหล็กมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ ซึ่งจะระบุความหนาผิวชุบอยู่ในช่วงเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน $\pm$ 10% ดังนั้นในการวัดความหนาสังกะสีบนแผ่นเหล็กสามารถใช้ได้ทั้ง 2 วิธี แต่ต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วยเพื่อความเหมาะสม เช่น ความเสียหายของผลิตภัณฑ์ในการเตรียมตัวอย่าง ความเหมาะสมของขนาดชิ้นงาน รูปแบบ ความหนาของผิวชุบ รวมทั้งขีดความสามารถของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหรือขีดจำกัดของวิธีการวัดความหนาผิวชุบ จึงสรุปได้ว่าวิธีแบบไม่ทำลายผิวและชิ้นงาน น่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า เนื่องจากไม่เกิดความเสียหายต่อชิ้นงาน และวัดความหนาได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

5.1.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

การวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีปฏิกิริยาทางเคมี ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่รูปร่างซับซ้อน ผิวชุบมีความหนามาก การวัดด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะสม เนื่องจากต้องมีการตัดและเตรียมตัวอย่างก่อนทำการวัดความหนา ทำให้เกิดความเสียหายแก่ชิ้นทดสอบผิวชุบอาจหลุดออกไปในขณะตัดชิ้นงาน และจะสิ้นเปลืองสารเคมีมาก

วิธีนี้ใช้เวลานานเนื่องจากมีหลายขั้นตอน หลังจากทดสอบแล้วต้องนำผลที่ได้มาคำนวณเป็นน้ำหนักสังกะสีที่เคลือบต่อพื้นที่ผิวเคลือบ แล้วจึงนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นความหนา (ไมโครเมตร) อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งค่อนข้างช้าต้องใช้เวลานานในการเตรียมชิ้นทดสอบและมีหลายขั้นตอน เช่น ในขณะทดสอบจะต้องอาศัยความชำนาญในการสังเกตฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น หลังจากสังกะสีละลายออกหมดแล้วไม่ควรปล่อยชิ้นทดสอบแช่ในสารละลายนานเนื่องจากจะทำให้เหล็กละลายปนออกมาด้วย และใช้สารเคมีในปริมาณมาก ถ้าชิ้นทดสอบมีขนาดใหญ่เพราะจะต้องจุ่มชิ้นทดสอบและแช่ในสารละลาย การเตรียมสารละลายก็ต้องระมัดระวังเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นกรดที่มีความเข้มสูง อาจเกิดอันตรายได้หากไม่ระมัดระวัง ต้องควบคุมอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ทดสอบไม่ให้เกิน 38 องศาเซลเซียส และเทอร์โมมิเตอร์จะต้องได้รับการสอบเทียบ

การวัดความหนาแบบไม่ทำลายผิว เป็นวิธีทดสอบที่ไม่ทำลายผิวและชิ้นผลิตภัณฑ์ให้เกิดความเสียหาย และเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่มีขนาดใหญ่และรูปร่างซับซ้อน นอกเหนือจากผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นแล้วยังสามารถใช้วัดความหนาผิวชุบของเส้นลวด ลูกถ้วยไฟฟ้า โครงคร่าวเพดานแบบแขวน กรอบประตูและหน้าต่าง เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงนำมาซึ่งการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการวัดความหนาผิวชุบของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ให้สะดวกและรวดเร็วขึ้น สามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์หลาย ๆ รูปแบบ

การวัดความหนาผิวชุบแบบไม่ทำลายผิวด้วยวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กนั้น สามารถวัดความหนาสังกะสีของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ได้ทันที ไม่ต้องเตรียมชิ้นทดสอบหรือทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหาย แต่มีขีดจำกัดของหลักการในการใช้เครื่องมือ เนื่องจากใช้วัดความหนาผิวชุบที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก (non-magnetic) เคลือบอยู่บนสารที่เป็นแม่เหล็ก (magnetic) หรือเหล็ก (ferous) เท่านั้น เช่น การวัดความหนาของสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม ดีบุก สี ฟอสเฟต ซึ่งเคลือบอยู่บนเหล็กเท่านั้น และคุณสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุพื้น จะทำให้การวัดความหนาไม่เท่ากัน ในบริเวณขอบผิวโค้ง ผิวหยาบจะวัดความหนาได้ไม่เท่ากัน อำนาจแม่เหล็กตกต้างและสนามแม่เหล็กจากภายนอกจะไปรบกวนสนามแม่เหล็กของหัววัด แต่การวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีนี้จะทำได้รวดเร็ว ประหยัดเวลา และไม่สิ้นเปลืองสารเคมี แต่จะต้องมีการดูแลรักษาและสอบเทียบแผ่น foil มาตรฐานเป็นประจำตามกำหนดเวลาที่ระบุไว้ และจำเป็นต้องเก็บในตู้ดูดความชื้น จะทำให้อายุการใช้งานของแผ่นมาตรฐานใช้ได้นานขึ้น

จะเห็นได้ว่า การวัดความหนาผิวชุบของสังกะสีบนแผ่นเหล็ก นอกจากจะต้องคำนึงถึงวิธีการวัด ชนิดของผิวเคลือบ และวัสดุที่ใช้เคลือบแล้ว ผลการวัดที่ได้จะเป็นค่ารวม งานที่มีชั้นนิกเกิลแทรกอยู่ เช่น โครเมียม-นิกเกิล หรือ โครเมียม-นิกเกิล–ทองแดง จะวัดไม่ได้ และที่สำคัญความเที่ยงตรงของเครื่องมือก็เป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง

5.2 สรุปผลการวัดความหนาโครเมียมและนิกเกิล

ซึ่งเคลือบอยู่บนอุปกรณ์ ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก และตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู ด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์ เปรียบเทียบกับวิธีภาคตัดขวาง จากตัวอย่างชิ้นเดียวกัน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อวัดแต่ละวิธี จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการวัดมีค่าใกล้เคียงกันและบางค่าจะแตกต่างกันมาก จึงสรุปได้ว่าความหนาผิวชุบโครเมียมไม่สามารถวัดได้ด้วยวิธีภาคตัดขวาง เนื่องจากขีดจำกัดในการวัดของเครื่องมือและความหนาของผิวเคลือบ แต่เหมาะที่จะใช้วัดความหนาแต่ละชั้นของนิกเกิลซึ่งยืนยันได้จากภาพถ่าย

จะเห็นได้ว่าวิธีการวัดความหนาผิวชุบทั้ง 2 วิธี เป็นวิธีแบบทำลาย โดยวัดความหนาผิวชุบของแต่ละชั้น จากชั้นนอกสุดจนถึงวัสดุพื้น จะได้ความหนาผิวชุบแต่ละชั้นเนื่องจากกระบวนการชุบเคลือบ

ผิวโครเมียมและนิกเกิลของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นการชุบเคลือบผิวหลาย ๆ ชั้น (Multi-layer coating) แต่การวัดความหนาด้วยวิธีแบบไม่ทำลาย ความหนาที่วัดได้จะเป็นความหนารวมของผิวชุบทั้งหมด (total thickness coating)

จึงสรุปได้ว่า การวัดความหนาผิวชุบของโครเมียมและนิกเกิลด้วยวิธีแบบทำลายเป็นวิธีที่เหมาะสม แต่จะต้องคำนึงถึงขีดความสามารถของเครื่องมือที่ใช้วัด ขีดจำกัดของวิธีที่ใช้วัด และกระบวนการชุบเคลือบผิว

5.2.1 **วิจารณ์ผล**

การวัดความหนาผิวชุบด้วยเครื่อง Couloscope นี้ มีสิ่งที่ควรคำนึงถึงคือ สารที่ใช้เคลือบผิว ต้องเป็นสารที่บริสุทธิ์ ไม่มีสารอื่นเจือปน เพราะถ้ามีสารอื่นเจือปนจะทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง การวัดความหนาผิวชุบโดยวิธี Coulometric สามารถวัดความหนาผิวชุบได้ในช่วง 0.03-100 ไมโครเมตร ส่วนการวัดความหนาด้วยกล้องจุลทรรศน์นั้นสามารถวัดความหนาได้ในช่วงตั้งแต่ 1 ไมโครเมตรขึ้นไป ยกเว้นในกรณีที่มีการเตรียมชิ้นงานที่ดี ผิวเรียบมาก ไม่มีรอยขีดข่วนหรือตำหนิใด ๆ สามารถวัดความหนาผิวชุบได้ถึง 0.8 ไมโครเมตร ซึ่งจะเห็นได้จากการวัดความหนาของโครเมียมสามารถวัดได้โดยวิธี coulometric แต่ไม่สามารถวัดได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ เพราะความหนาของชั้นโครเมียมของผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยกว่า 0.8 ไมโครเมตร และการชุบผิวด้วยโครเมียมนั้น โดยทั่วไปจะไม่ค่อยชุบให้หนามาก ถ้าชุบหนามากผิวโครเมียมจะแตกและหลุดง่าย ส่วนความหนาของนิกเกิลนั้นสามารถใช้ได้ทั้ง 2 วิธี แต่ในบางครั้ง การวัดความหนาผิวชุบอาจจะมีปัญหาโต้แย้งเกี่ยวกับผลการตรวจสอบซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้วิธีที่ต่าง ๆ กัน วิธีที่ให้ผลถูกต้อง แม่นยำ และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปมากกว่าวิธีอื่น ๆ คือวิธีภาคตัดขวาง เนื่องจากผลการวัดความหนาสามารถถ่ายภาพเป็นข้อมูลยืนยันได้ ซึ่งภาพถ่ายนั้น ๆ จะแสดงให้เห็นความหนาของผิวชุบแต่ละชั้นได้ในขณะทำการวัดจากล้องจุลทรรศน์ และความหนาที่วัดได้จะแสดงการสเกลของกล้องฯ

นอกจากนี้ การวัดความหนาผิวชุบ โดยวิธี microscopic ยังสามารถวัดความหนาผิวชุบของรายละเอียดในกระบวนการชุบเคลือบผิวแต่ละชนิดได้อีกด้วย เช่น ความหนาของชั้นนิกเกิล ซึ่งในกระบวนการชุบผิวด้วยไฟฟ้าจะมีการชุบนิกเกิลหลายขั้นตอนด้วยกันคือ นิกเกิลด้าน นิกเกิลกึ่งเงา และนิกเกิลเงา เป็นต้น ซึ่งจากการวัดด้วยวิธี microscopic นี้ สามารถวัดความหนาของชั้นนิกเกิลย่อย ๆ ได้ (sub-layer thickness) ในขณะที่การวัดความหนาของนิกเกิลโดยวิธี Coulometric จะเป็นการวัดความหนาผิวชุบของชั้นนิกเกิลทั้ง 3 ชั้นรวมกัน (Total thickness) ซึ่งการวัดความหนาผิวชุบในชั้นย่อย ๆ ได้นั้นจะมีประโยชน์สำหรับการศึกษาขั้นตอนของการชุบ น้ำยาที่ใช้ชุบ และความหนาที่ได้จากการชุบ ซึ่งนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ ถึงแม้ว่าการวัดความหนาของนิกเกิลจะใช้ได้ทั้ง 2 วิธี ในบางครั้งไม่

สามารถวัดได้ด้วยวิธี Coulometric เนื่องจากในกระบวนการชุบเคลือบผิวของนิกเกิลมีหลายขั้นตอน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดข้อพร่อง (defect) ขึ้นได้ เช่น การเตรียมชิ้นงานก่อนชุบ ชิ้นงานไม่สะอาดพอ จึงทำให้เกิดปัญหาในการกัดผิวเคลือบของน้ำยาอีเล็กโตรไลท์ จึงไม่สามารถวัดความหนาได้ ความเข้มข้นและความสะอาดของน้ำยาอีเล็กโตรไลท์ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธี microscopic แทน แต่ในขณะเดียวกัน การวัดความหนาผิวชุบของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการชุบที่ดี มีความหนาขอบผิวชุบสม่ำเสมอ การวัดด้วยวิธี Coulometric จะทำได้สะดวกและรวดเร็วเนื่องจากไม่ต้องผ่านขั้นตอนเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก แต่วิธี microscopic นั้น มีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างหลายขั้นตอนและแต่ละขั้นตอนจะต้องทำอย่างละเอียดรอบคอบ เพื่อให้ได้ผลจากการวัดความหนาที่ถูกต้อง เช่น การตัดตัวอย่างตามแนวขวาง (cross-section) ถ้าเป็นชิ้นงานขนาดใหญ่ จะเกิดการเสียดสีของชิ้นงานกับเครื่องมือที่ใช้ตัด จะต้องใช้น้ำหล่อชิ้นงานป้องกันการเสียดสีของชิ้นงานกับเครื่องมือที่ใช้ตัด การขัดหยาบจะต้องขัดให้ไปในทิศทางเดียวกัน และควรมีน้ำหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อน การขัดละเอียดจะทำให้ชิ้นตัวอย่างเป็นเงาวาว ราบเรียบ ไม่มีริ้วรอยขีดข่วนใด ๆ หลังจากการขัดละเอียดเรียบร้อยแล้วจะต้องไม่สัมผัสผิวหน้ารองชิ้นทดสอบนั้น ล้างด้วยน้ำกลั่น ปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง การกัดกรด (etching) จะต้องมีการกัดผิวหน้าของชิ้นงานด้วยน้ำยากัดผิว (etchant) เป็นการทำให้ผิวหน้าเกิดลักษณะที่แตกต่างกัน เพื่อแยกชั้นเคลือบได้ ดังนั้นการเตรียมชิ้นทดสอบมีความสำคัญมาก เพราะผิวทดสอบจะต้องไม่มีรอยขีดข่วน จึงจะทำให้เห็นความหนาของผิวเคลือบแต่ละชั้นได้ชัดเจนและได้ผลการวัดที่ถูกต้อง

จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวัดความหนาผิวชุบสรุปได้ว่า การวัดความหนาผิวชุบของโครเมียมควรใช้วิธี Coulometric เนื่องจากการชุบเคลือบผิวด้วยโครเมียมนั้น ส่วนใหญ่เป็นการชุบเคลือบผิวเพื่อความสวยงาม และโครเมียมเป็นโลหะที่มีราคาแพง จึงไม่นิยมชุบให้มีความหนามาก และถ้ามีความหนามากเกินไปก็จะทำให้เปราะได้ง่าย จากการศึกษาจากมาตรฐานพบว่า โครเมียมจะมีความหนาอย่างน้อย 0.3 ไมโครเมตร ซึ่งตรงกับขีดความสามารถของเครื่อง Couloscope ที่สามารถวัดความหนาของผิวชุบได้ในช่วง 0.3-100 ไมโครเมตร สำหรับชั้นของนิกเกิลนั้นเป็นชั้นที่ป้องกันการผุกร่อนของโลหะยิ่งมีความหนามากก็จะป้องกันการเป็นสนิมได้เป็นอย่างดี ในกระบวนการชุบจึงต้องชุบให้มีความหนามากถึงประมาณ 10 ไมโครเมตร ขึ้นไป ดังนั้นการวัดความหนาของนิกเกิลจึงควรใช้กล้องจุลทรรศน์ซึ่งให้ความถูกต้องและแม่นยำสูงเมื่อผิวชุบมีความหนาตั้งแต่ 1 ไมโครเมตรขึ้นไป แต่ในการวัดความหนาผิวชุบด้วยกล้องจุลทรรศน์ สามารถใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดได้ แต่จะต้องวัดความหนาโดยการเทียบจากสเกลที่ภาพ การวัดจะต้องลากเส้นให้ตั้งฉากกับแนววัสดุพื้น แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่า การวัดด้วยวิธีภาคตัดขวางจะเป็นวิธีที่ใช้ตัดสินในกรณีมีปัญหา แต่การวัดด้วยวิธีภาคตัดขวางเป็นการวัดเฉพาะจุดซึ่งในบางครั้งอาจจะไม่ใช่ตัวแทนที่ดีก็ได้ จึงต้องทำการวัดหลาย ๆ จุดหรือหรือใช้ตัวอย่างมากกว่า 1 ชิ้นขึ้นไป

ดังนั้น การเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งในการวัดความหนาผิวชุบนั้น ขึ้นอยู่กับความหนาของผิวชุบ วัสดุที่ใช้ชุบ และประสิทธิภาพของเครื่องมือ เพื่อให้ได้ผลการวัดความหนาที่มีประสิทธิภาพ ถูกต้อง แม่นยำ และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

5.3 สรุปผลการวัดความหนาผิวชุบอะลูมิเนียมออกไซด์ของแผงกันแดดอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยวิธีกระแสไหลวนและวิธีภาคตัดขวาง

พบว่าใช้ได้ทั้ง 2 วิธี แต่ถ้ามีข้อโต้แย้งของผลการทดสอบซึ่งอาจเนื่องมากจากหลายสาเหตุ ค่าที่ยอมรับได้จะต้องยืนยันผลการวัดความหนาผิวชุบจากภาพถ่าย

จึงสรุปได้ว่า วิธีวัดแบบไม่ทำลายเป็นวิธีที่เหมาะสมเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของผิวเคลือบและวัสดุพื้นซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาประกอบด้วย

5.3.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

การวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีกระแสไหลวนเป็นการวัดแบบไม่ทำลายชิ้นงาน หลังจากการวัดความหนาผิวชุบแล้ว ชิ้นงานยังคงมีสภาพเหมือนเดิม ไม่มีรอยหรือตำหนิใด ๆ เกิดขึ้น จึงเหมาะสำหรับการวัดความหนาผิวชุบของผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน ขนาดใหญ่ และมีราคาสูง เช่น หม้อหุงข้าวไฟฟ้า อุปกรณ์รถยนต์ ขอบหน้าต่างประตู และใช้วัดความหนาของพลาสติกที่เคลือบบนโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ทองแดง สังกะสี เป็นต้น และการวัดด้วยวิธีนี้ยังมีปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้คือ

5.3.1.1 ความหนาของวัสดุ การนำไฟฟ้าของอะลูมิเนียม คือเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าความถี่สูงผ่านขดลวดของหัววัด จะเกิดสนามแม่เหล็กจากหัววัดไปเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนบนวัสดุพื้น และกระแสไหลวนจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กอีกสนามหนึ่งที่ผิวของวัสดุขึ้นไปต่อต้านกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด ทำให้พลังงานที่ส่งออกมาลดลง และความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าสลับเปลี่ยนไป (Impedance) ระยะห่างระหว่างหัววัดกับผิวของวัสดุพื้นจะเป็นความหนาผิวชุบ แต่ถ้าความหนาของผิวชุบหรือผิวเคลือบบางเกินไปจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ความหนาของวัสดุพื้นจะต้องมากพอที่จะให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านไปได้สะดวก

5.3.1.2. บริเวณขอบผิวโค้งหรือผิวหยาบจะทำให้การไหลของเส้นแรงแม่เหล็กไม่สะดวก ผิดรูป ค่าที่ได้จากการวัดก็จะผิดไปด้วย เช่น หม้อหุงข้าวไฟฟ้าจะต้องวัดความหนาผิวชุบที่บริเวณจุดศูนย์กลางของก้นหม้อและฝาหม้อ อำนาจแม่เหล็กตกค้างและสนามแม่เหล็กจากภายนอกอาจมีผลกระทบกับความหนาด้วย

5.3.1.3. ไม่เหมาะสำหรับการวัดความหนาผิวชุบที่บาง ๆ และความหนาของวัสดุนั้นต้องมากพอ

จึงสรุปได้ว่า การวัดความหนาผิวชุบที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะต้องใช้เครื่องมือเฉพาะในการวัด เนื่องจากต้องใช้ค่าความนำไฟฟ้าของทั้งวัสดุพื้นและผิวเคลือบที่มีผลต่อความหนาผิวชุบ ในการวัดความหนาขึ้นอยู่กับสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุที่ใช้ชุบและวัสดุที่ถูกชุบไม่สามารถเลือกใช้วิธีอื่นได้ แต่ในการวัดก็ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่จะทำให้การวัดคลาดเคลื่อนได้ จึงต้องศึกษาและพิจารณาเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาด แต่ในกรณีการวัดความหนาด้วยวิธีกระแสไหลวนนี้เป็นวิธีที่ใช้วัดความหนาของผิวอะโนไดซ์ บนอะลูมิเนียมโดยเฉพาะ ซึ่งสามารถวัดความหนาให้อยู่ในช่วง 0-1000 ไมโครเมตร และค่าที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีวัดความหนาชนิดอื่นจะต้องไม่ต่างกันเกิน $\pm$ 10% แต่วิธีที่จะใช้เปรียบเทียบจะต้องใช้วิธีภาคตัดขวาง ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองมากเพราะต้องทำลายชิ้นงาน ในกรณีที่มีการโต้แย้งเกิดขึ้นหรือรูปร่างของผลิตภัณฑ์ทำให้ไม่สามารถวัดความหนาได้ ให้ใช้ตัวแทนที่เป็นแผ่นและมีการชุบผิวภายใต้ภาวะเดียวกันแทน หรืออาจจะต้องใช้วัสดุผิวชุบชนิดเดียวก่อนการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมาใช้ในการพิสูจน์ความหนาผิวชุบของอะลูมิเนียมอ๊อกไซด์ต่อไปได้ แต่การวัดความหนาของหม้อหุงข้าวไฟฟ้าสามารถวัดความหนาได้โดยใช้วิธีภาคตัดขวางเพื่อพิสูจน์ยืนยันผลการทดสอบ แต่เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างของหม้อหุงข้าวไฟฟ้าค่อนข้างจะยุ่งยากเพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ การเตรียมชิ้นงานทำได้ยาก และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพง จึงนิยมใช้วิธีกระแสไหลวนวัดความหนา

5.4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีภาคตัดขวาง (Microscopic cross-section method) นั้น พบว่าเป็นวิธีที่ยอมรับและใช้ในการตัดสินเมื่อผลการวัดความหนาผิวชุบมีปัญหาหรือมีข้อโต้แย้งเนื่องจากการใช้วิธีใด ๆ ก็ตาม และความหนาที่ได้อาจเป็นความหนารวม (total thickness) แต่การวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์สามารถวัดความหนาแต่ละชั้นได้ (multilayer thickness) สามารถใช้ในการศึกษาโครงสร้าง สาเหตุ และข้อบกพร่องของผิวชุบ เพื่อเป็นแนวทางสำรับการศึกษาปรับปรุงแก้ไขและลดปัญหาที่เกิดจากกระบวนการผลิต สามารถวัดความหนาผิวชุบเคลือบที่บางได้โดยให้ความแม่นยำได้ถึง 0.8 ไมโครเมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดความหนาผิวชุบที่เป็นโครเมียม สามารถวัดได้โดยวิธี Coulometric แต่ไม่สามารถวัดได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ เพราะความหนาของชั้นโครเมียมของผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชักบางชิ้นมีค่าน้อยกว่า 0.8 ไมโครเมตร แต่ในบางมาตรฐานความหนาผิวชุบจะระบุให้ใช้วิธีกระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์ เป็นวิธีวัดความหนาโครเมียมและใช้วิธีภาคตัดขวางวัดความหนานิกเกิล

ดังนั้นวิธีที่ให้ผลถูกต้อง แม่นยำ และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปมากกว่าวิธีอื่น ๆ คือ วิธี Microscopic เนื่องจากการตรวจสอบด้วยวิธีนี้มีภาพถ่ายเป็นข้อมูลยืนยัน ซึ่งจากภาพถ่ายนั้นจะแสดงให้เห็นถึงความหนาของผิวชุบแต่ละชั้น แต่ในการวัดจะต้องให้สเกลตั้งฉากกับวัสดุพื้น ในขณะที่การวัดด้วยเครื่องมือชนิดอื่นจะทำงานโดยอัตโนมัติและแสดงค่าความหนาออกมาให้เห็นเท่านั้น ด้วยเหตุนี้วิธี Microscopic จึงเป็นวิธีที่ใช้ในการตัดสินปัญหาต่าง ๆ เกี่ยวกับวิธีการวัดและผลที่ได้จากการวัดความหนาผิวชุบ แต่จำเป็นจะต้องสุ่มตัวอย่างที่จะเป็นตัวแทนให้เหมาะสมของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นด้วย เพราะเป็นการวัดเฉพาะจุดจึงต้องวัดความหนาหลาย ๆ แห่ง

การวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีภาคตัดขวางโดยใช้กล้องจุลทรรศน์นี้ การเตรียมชิ้นงานมีความสำคัญเป็นอย่างมาก หากเกิดการผิดพลาดในการเตรียมชิ้นงานจะทำให้ค่าที่ได้จากการวัดผิดพลาดด้วย องค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์ของการวัดที่พึงระวัง มีดังต่อไปนี้

1. การตัดชิ้นงานขึ้นอยู่กับขนาดหรือรูปร่างและความแข็งของชิ้นงานที่จะตัดระนาบ ความเรียบร้อย และผิวของชิ้นงานจะต้องไม่ถูกทำลายหรือถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะต้องให้น้อยที่สุด จำเป็นจะต้องใช้ใบตัดที่ทำจากวัตถุที่มีความคมและควรหล่อด้วยน้ำเย็นจะเหมาะที่สุด เพื่อระบายความร้อนในบริเวณที่ถูกตัดและขจัดเศษผงของชิ้นงานและใบตัดออกจากร่องระหว่างชิ้นงานกับใบตัด อีกประการหนึ่งการเลือกใช้ใบตัดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่ถูกตัดคือความแข็ง และความเหนียว เช่น เซรามิค หรือพวกคาร์ไบด์ จะถูกตัดด้วยใบตัดที่ทำจากผงเพชรที่ตัวยึดประสานเป็นโลหะหรือเบคคาไลท์ พวกโลหะกลุ่มเหล็กจะใช้ใบตัดที่ทำจากผงอะลูมิเนียมอ๊อกไซด์ยึดประสานด้วยเบคาไลท์ และหากโลหะนอกกลุ่มเหล็กจะใช้ใบตัดที่ทำจากซิลิกอนคาร์ไบด์ยึดประสานด้วยเบเคไลท์

2. การอัดชิ้นงานด้วยเรซิ่น (mounting) นั้น เพื่อความสะดวกในการจับถือในการเตรียมชิ้นงานในขั้นตอนต่าง ๆ และรักษาความหนาของชั้นผิวเคลือบ ก่อนที่จะทำ mounting จะต้องทำความสะอาดชิ้นงานเพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างผิวชิ้นงานกับเรซิ่น ซึ่งอาจจะใช้เทคนิคแบบร้อน (hot mounting) เรซิ่นจะถูกอัดด้วยแรงกดสูงและความร้อน จนแข็งตัวรอบชิ้นงานและมีน้ำเป็นตัวหล่อเย็นเพื่อให้ระยะเวลาในการทำงานน้อยที่สุด หรือใช้เทคนิคแบบเย็น (cold mounting) โดยที่ชิ้นงานจะอยู่ในแบบหล่อ เท เรซิ่นซึ่งผสมจากอีป๊อกซีและโพลิเอสเตอร์ แต่ละเทคนิคที่ใช้ในการอัดชิ้นงานขึ้นอยู่กับจำนวนชิ้นงานและคุณภาพที่ต้องการและไม่เป็นอันตรายอันเนื่องมาจากความร้อนและความดันสูง

3. การขัดชิ้นงานจะต้องมีผงขัดทำหน้าที่ขัดถูเอาผิวชิ้นงานออกไปจนได้คุณภาพของงานตามที่ต้องการ ผงขัดที่มีขนาดละเอียดมาก ๆ จะทำให้ผิวของชิ้นงานเรียบ การขัดมี 2 วิธี คือ ขัดหยาบ (grinding) และขัดละเอียด (polishing) การขัดหยาบเป็นการที่เอาผิวชิ้นงานที่เสียหายหรือเปลี่ยนรูปร่างในขั้นตอนการตัดหรือการวัด และทำให้ผิวที่เกิดใหม่เกิดความเสียหายน้อยลง เป็นการปรับแต่งผิวชิ้นงาน เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์ ใช้กับวัสดุที่มีความแข็งไม่มาก หรืออะลูมิเนียมออกไซด์ใช้กับโลหะกลุ่มเหล็ก

หรือวัสดุที่แข็งมาก เช่น เซรามิค ซินเตอร์คาร์ไบด์ ใช้ผงเพชร การขัดจะต้องขัดเป็นขั้นตอนไปจนถึงขนาดละเอียดมาก การขัดอาจจะใช้มือหรือแบบอัตโนมัติ และการขัดละเอียดจะต้องเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมชิ้นงาน โดยใช้ผงขัดที่มีขนาดเล็กกับผ้านุ่ม ๆ และจะต้องมีสารที่มีหน้าที่กัดหรือขูดผิวโลหะ (abrasive) เพื่อช่วยทำให้ผิวโลหะเรียบ การใช้ abrasive ชนิดไหนขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่จะขัด แต่ขณะที่ขัดต้องให้ชิ้นงานเปียกอยู่เสมอด้วยการเลือกสารหล่อลื่น (lubricant) ที่เหมาะสมเพื่อระบายความร้อนและชะล้างเศษโลหะออกจากผ้าหรือมิให้เศษโลหะไม่มีโอกาสขูดผิวงานได้

4. การกัดผิว (etching) เพื่อทำให้เส้นที่แบ่งแยกชั้นของโลหะชัดเจนขึ้น โดยการนำชิ้นงานที่ผ่านการขัดละเอียด แล้วมากัดกรดโดยจุ่มลงในกรด 2-3 นาที แล้วแต่ชนิดของวัสดุนำมาล้างน้ำ ทำให้แห้งแล้วนำไปวัดความหนาผิวชุบต่อไป

ดังนั้น การเลือกใช้วิธีใดในการวัดความหนาผิวชุบนั้น ขึ้นอยู่กับ ความหนาผิวชุบ วัสดุที่ใช้ชุบ วัสดุที่ถูกชุบ และประสิทธิภาพของเครื่องมือ เพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพ ถูกต้อง แม่นยำ และเป็นที่ยอมรับโยทั่วไป

จะเห็นได้ว่า การวัดความหนาผิวเคลือบ นอกจากจะต้องคำนึงถึงวิธีการที่ใช้วัดโดยมีชนิดของผิวเคลือบ และวัสดุที่ถูกเคลือบเป็นหลักแล้ว ความหนาผิวเคลือบ ความเที่ยงตรงของเครื่องมือ ยังเป็นปัจจัยที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วย ทำให้สามารถประกันคุณภาพของวิธีวัดความหนาผิวชุบได้ เพื่อให้เกิดความถูกต้องของผลการวัดความหนาเป็นที่พอใจของลูกค้า

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำผลงานขอขอบคุณ ผู้อำนวยการกองฟิสิกส์และวิศวกรรม คุณชัยวุฒิ เลาวเลิศ ที่ให้การสนับสนุนในการทำงานนี้ และขอขอบคุณ คุณดนัย กิจชัยนุกูล คุณธิดา เกิดกำไร และคุณสุรัตน์ เพชรเกษม ที่ช่วยในด้านการจัดพิมพ์และจัดทำรูปเล่ม

สายพิณ สืบสันติกุล

บรรณานุกรม

1 American Society for Testing and Materials. Standard Method for Measurement of Metal and Oxide coating thickness by Microscopical examination of cross-sections. ASTM B 487-85. 1985.

2 ____. Standard Method for zinc (Hot-Dip galvanized) Coating on Iron and Steel Products. ASTM A 123-89a. 1989.

3 ____. Standard Specification for steel sheet Aluminium–Zinc alloy–coated by the Hot Dip-process, General Requirements. ASTM A-792-90. 1990.

4 ____. Standard Test Method for weight (mass) of coating on Iron and Steel Articles with zinc or Zinc-Alloy coating A 90/A 90m-95a. 1985.

5 Bakhalov, GT. And Turkuvsya, A.U., Corrosion and protection metal. London : Pergamon Press, 1995.

6 British Standards Institution. British Standard Methods of Test for Metallic and related coating. Part 4 : Coulometric method for the measurement of coating thickness. B.S. 5411 Part 4. 1984.

7 ____. British Standard Methods of Test for Metallic and related coating. Part 3 : Eddy current method for the measurement of coating thickness of Non-conductive on non magnetic basis metal. B.S. 5411 Part 3. 1976.

8 ____. British Standard Methods of Test for Metallic and related coating. Part 9 : Measurement of coating thickness of electrodeposited nickel coating on magnetic and non-magnetic substrate : magnetic method. B.S. 5411 Part 9. 1984.

9 ____. British Standard Methods of Test for Metallic and related coating. Part 5 : Measurement of local thickness of metal and oxide coatings by the microscopical examination of cross-sections B.S. 5411 Part 5. 1984.

บรรณานุกรม (ต่อ)

10 ____. British Standard Methods of Test for Metallic and related coating. Part 2 : Review of methods for the measurement of thickness. B.S. 5411 Part 2. 1984.

11 Japanese Standard Association. Non-ferous metals and metallurgy. Japan 1983.

12 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหรรมการชุบเคลือบด้วยโลหะโดยกรรมวิธีทางไฟฟ้า : นิกเกิล. มอก. 544-2528. หน้า 1-5

13 ____. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการวัดความหนาผิวชุบเคลือบโดยวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์. มอก. 1083-2535. 10 หน้า

14 ____. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมตะปูเหล็กหัวกลมแบน. มอก. 113-2526. หน้า 12-14.

15 ____. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู. มอก. 437-2525. หน้า 6-7.

16 ____. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก. มอก. 518-2527. หน้า 2-14.

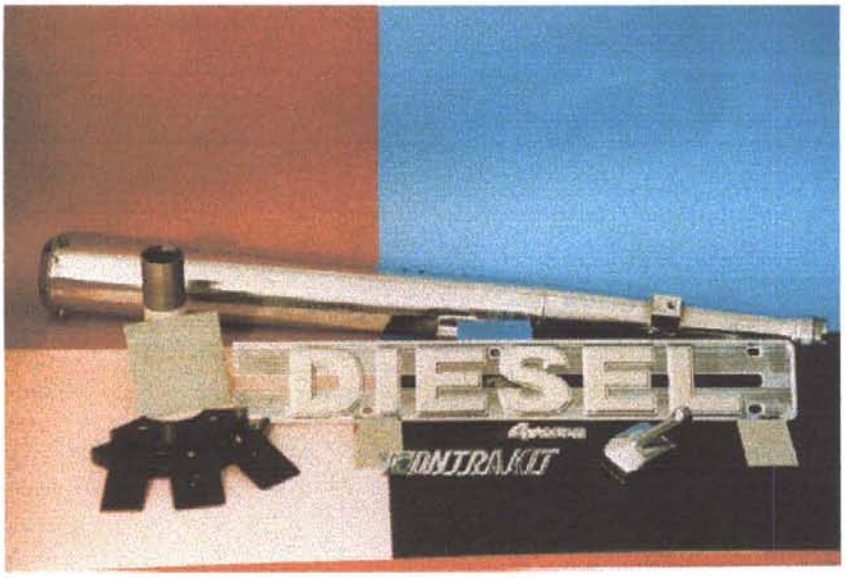
17 ____. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นเหล็กอาบสังกะสี. มอก. 50-2538. 15 หน้า.

18 ____. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลวดเหล็กเคลือบสังกะสี. มอก. 71-2532.

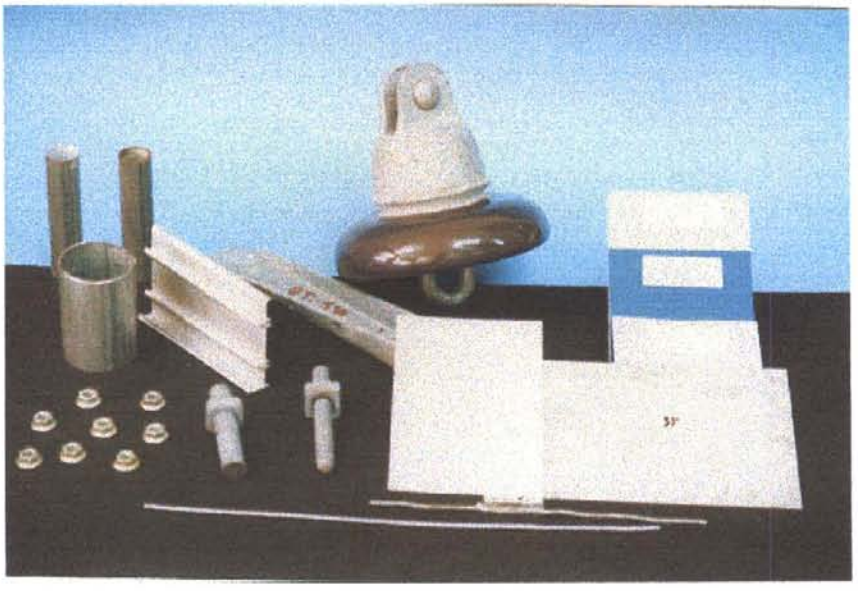
19 ____. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบสีวาร์นิชและวัสดุที่เกี่ยวข้อง. มอก. 285 เล่ม 4 ถึง 5-2521. 20 หน้า.

20 ____. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหม้อหุงข้าวไฟฟ้า. มอก. 1039-2534. หน้า 4.

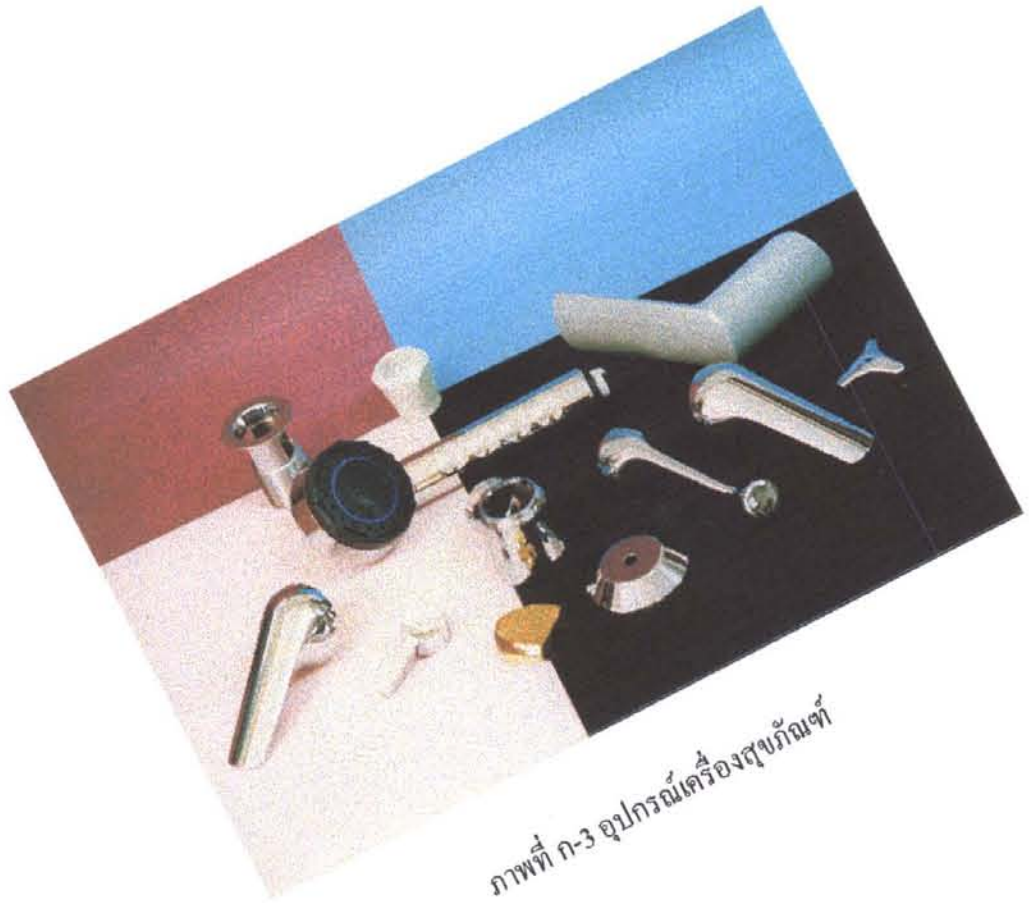
21 ____. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอะลูมิเนียมชุบผิว. มอก. 218-2520. หน้า 22-23.



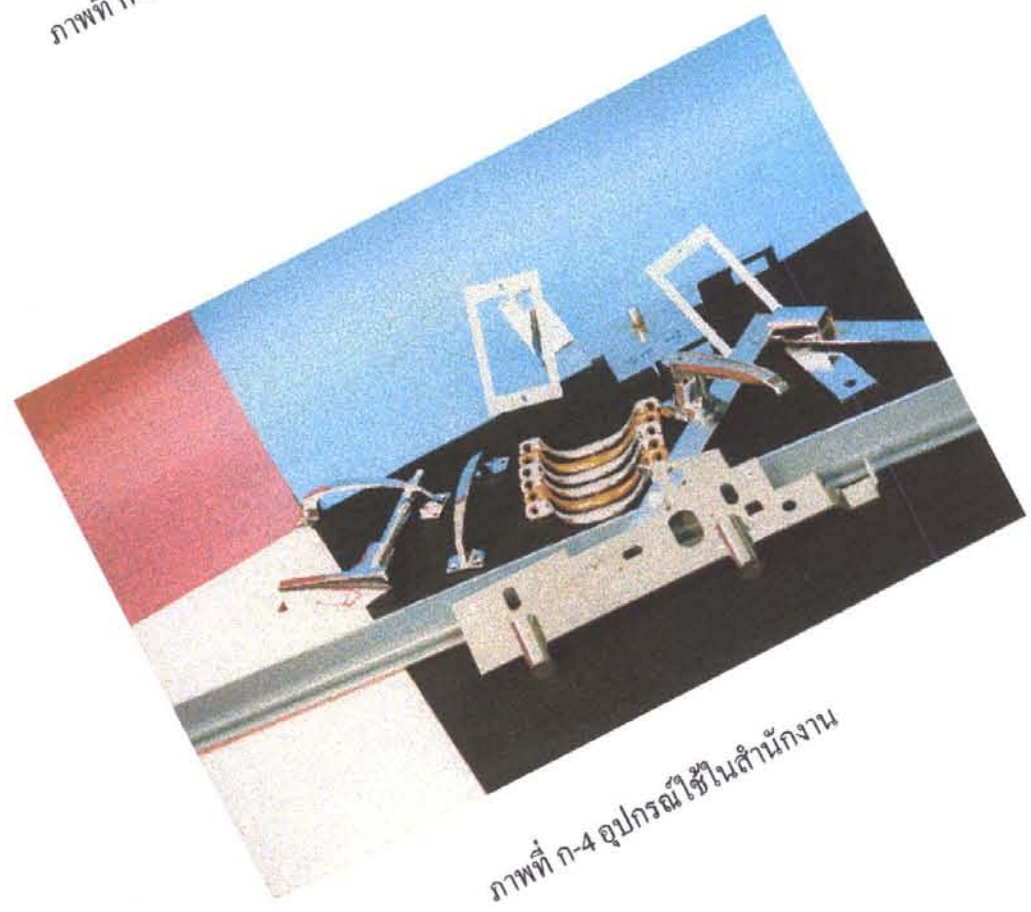
ภาพที่ ก-1 ชิ้นส่วนอุปกรณ์รถยนต์



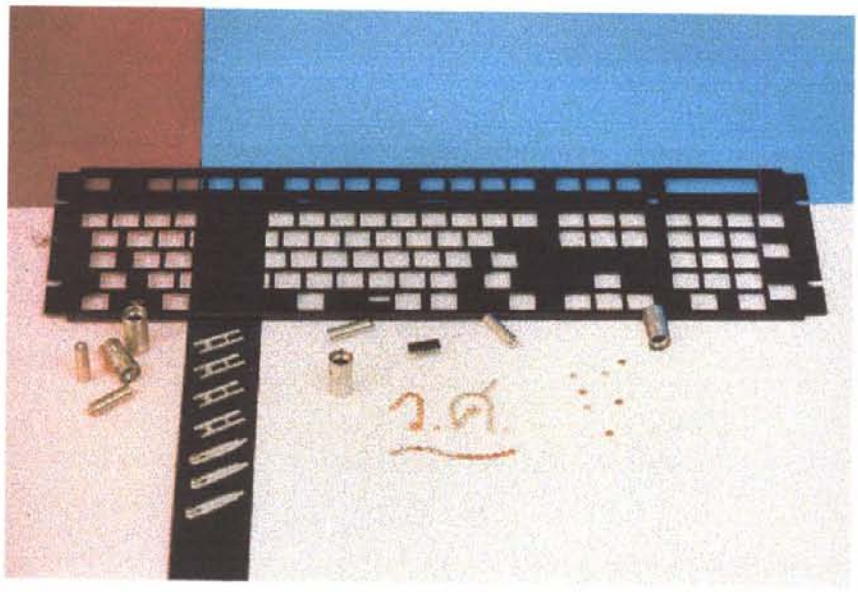
ภาพที่ ก-2 วัสดุก่อสร้าง



ภาพที่ ก-3 อุปกรณ์เครื่องสุขภัณฑ์



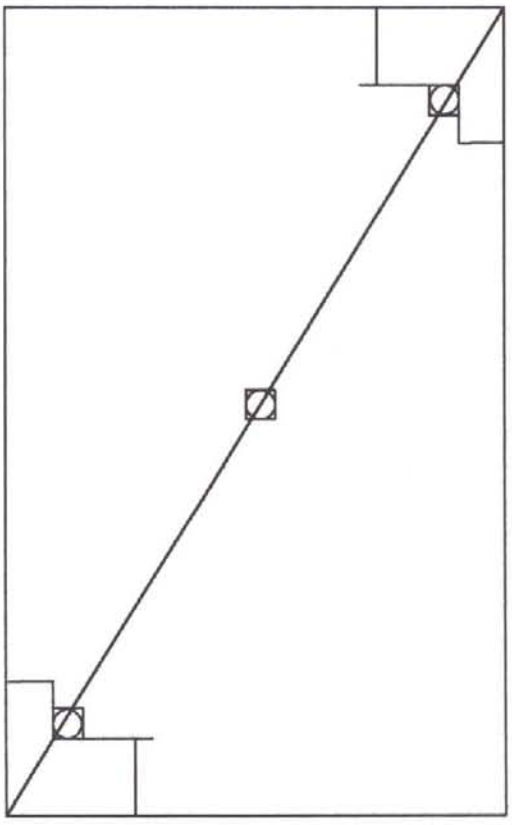
ภาพที่ ก-4 อุปกรณ์ใช้ในสำนักงาน



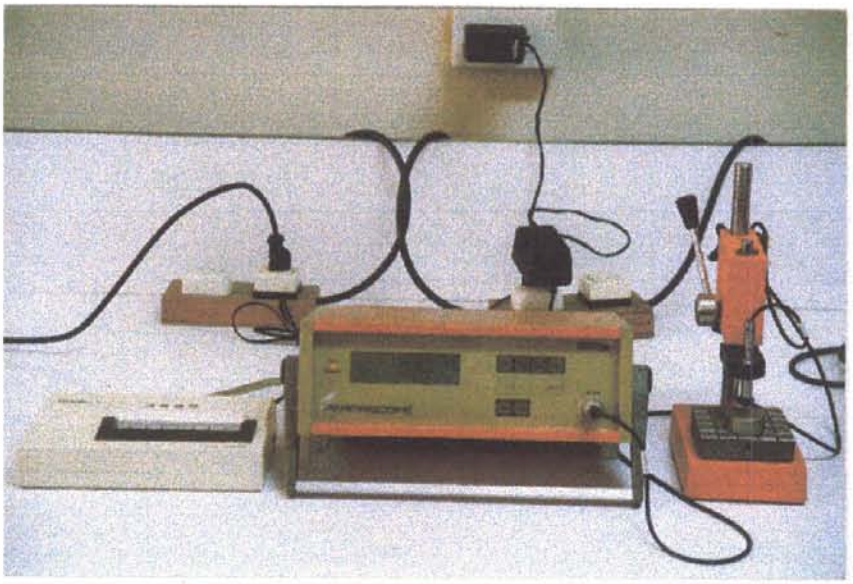
ภาพที่ ก-5 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ภาพที่ ก-6 อุปกรณ์เครื่องครัว

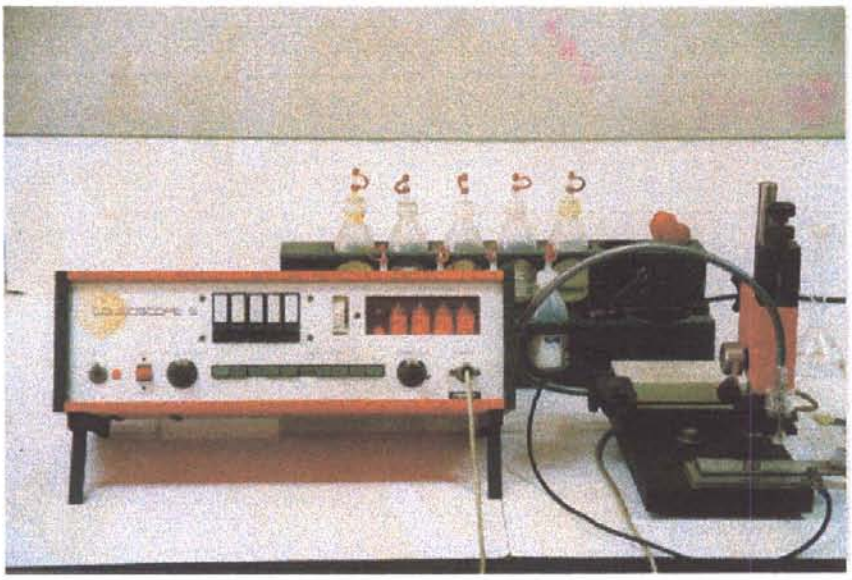
ภาพที่ ก-7 เครื่องประดับ



ภาพที่ ก-8 การตัดชิ้นทดสอบสำหรับชนิดแผ่นเรียบ

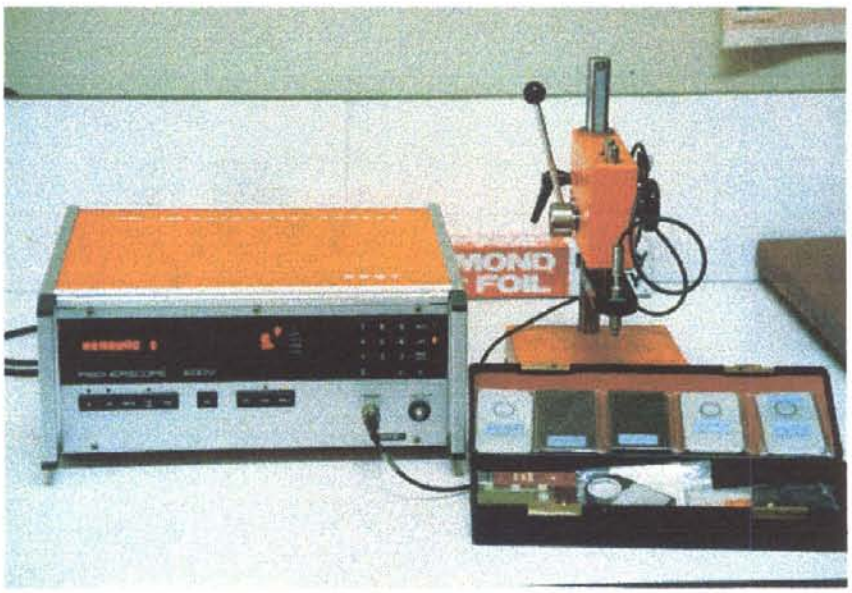


ภาพที่ ก-9 เครื่องวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก
(Magnetic induction method) ยี่ห้อ FISCHER รุ่น PERMASCOPE



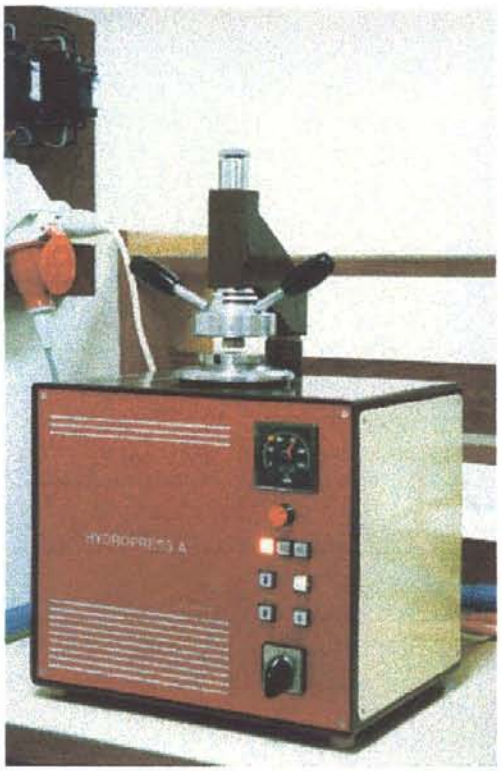
ภาพที่ ก-10 เครื่องวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าและน้ำยาอีเลคโตรไลท์
(Couloscope method) ยี่ห้อ FISCHER รุ่น COULOSCOPE S 8

ภาพที่ ก-11 กล้องจุลทรรศน์สำหรับวัดความหนาผิวชุบด้วยวิธีภาคตัดขวาง
(Microscopic cross-section) OPTICAL MICROSCOPE



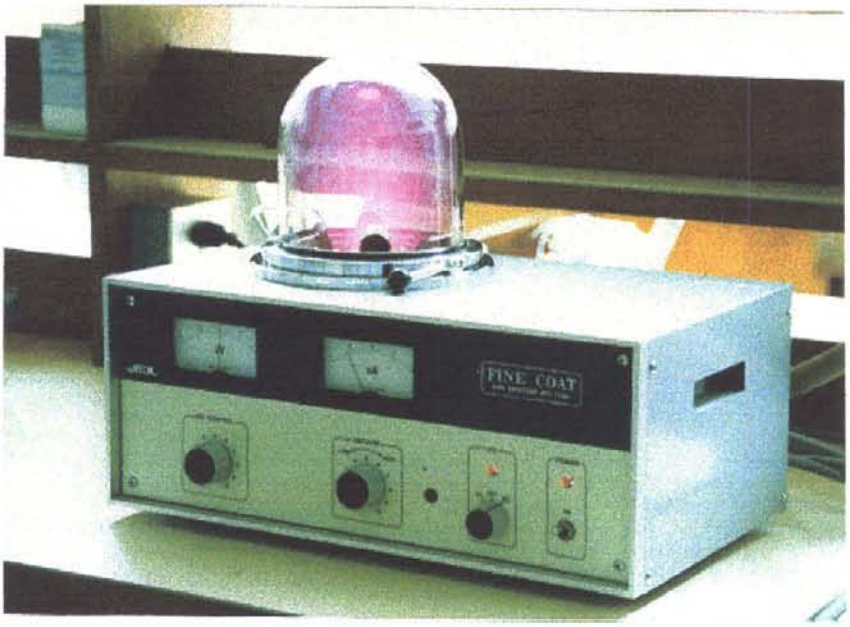
ภาพที่ ก-12 เครื่องวัดความหนาผิวชุบโดยใช้กระแสไหลวน
(Eddy current method) ยี่ห้อ FISCHER รุ่น E 560

ภาพที่ ก-13 เครื่องตัดชิ้นงาน (Cutting machine)

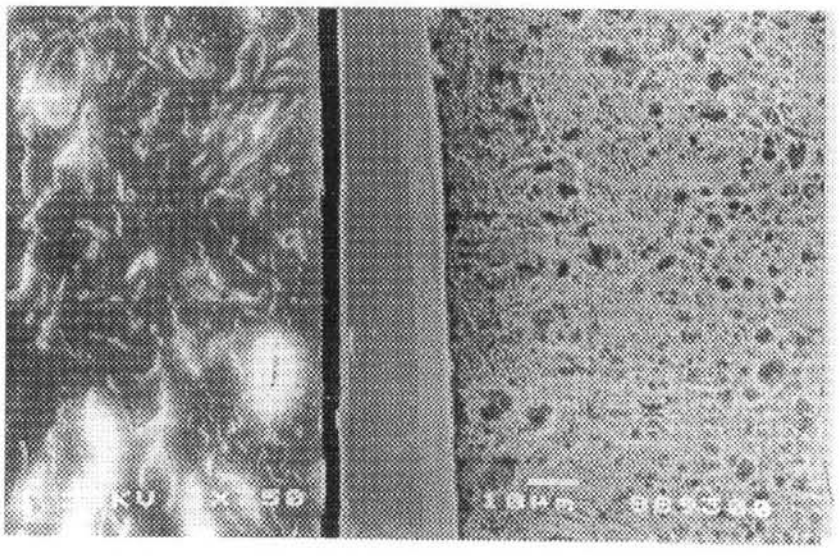


ภาพที่ ก-14 เครื่องอัดชิ้นงานด้วยเรซิน (Mounting machine)

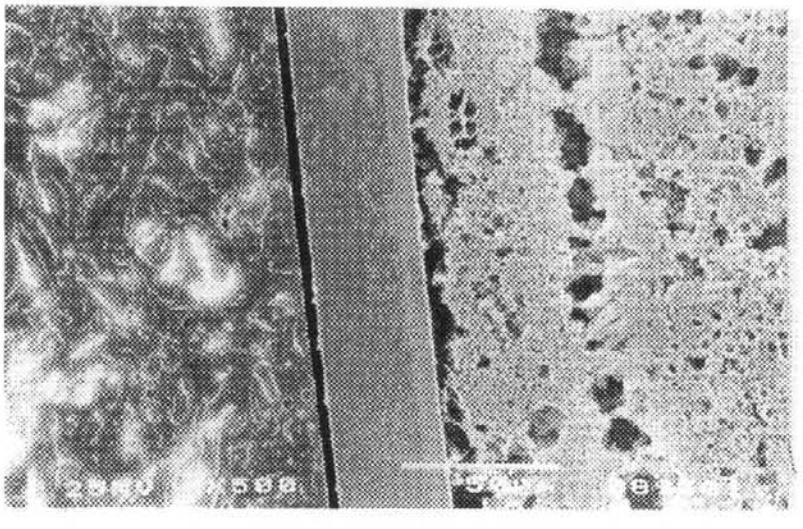
ภาพที่ ก-15 เครื่องขัดหยาบและขัดละเอียด (Grinding and polishing machine)



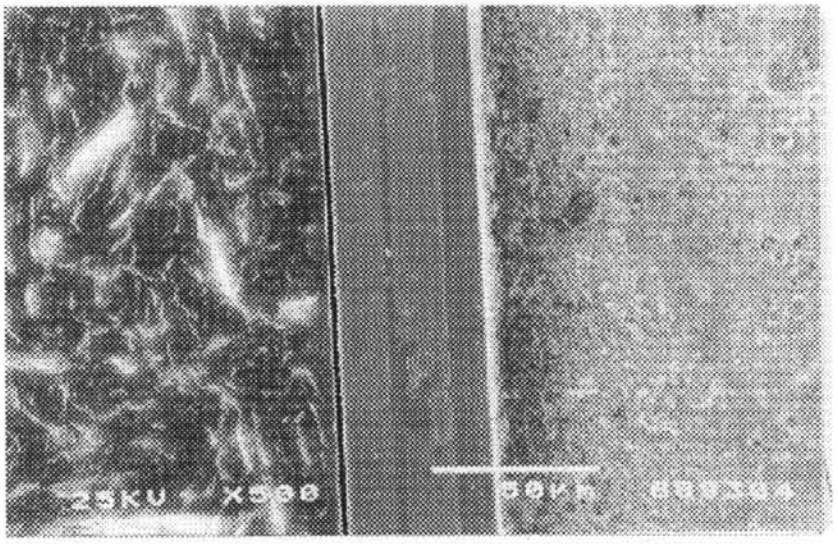
ภาพที่ ก-16 เครื่องเคลือบทอง (Ion sputtering)



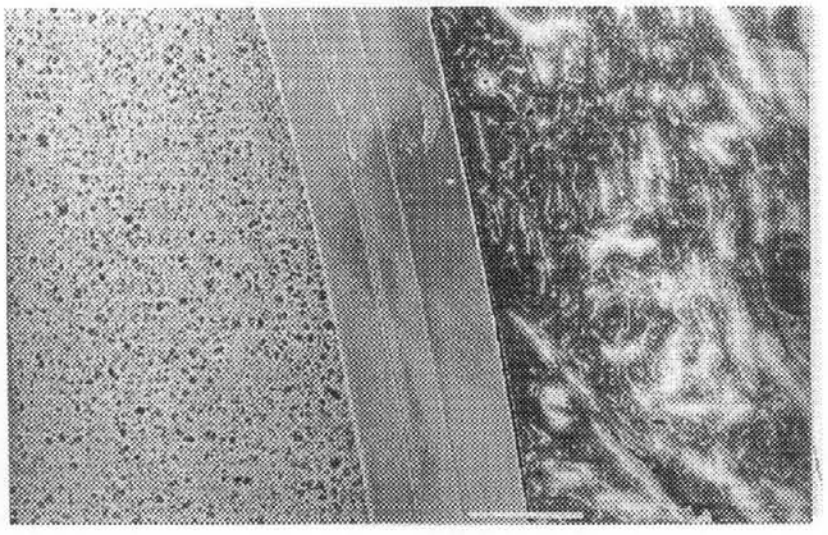
ภาพที่ ก-17 ภาพถ่ายภาคตัดขวางอุปกรณ์ช่องเสียบการ์ดที่ 1 กำลังขยาย 750 เท่า
ของอุปกรณ์ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก



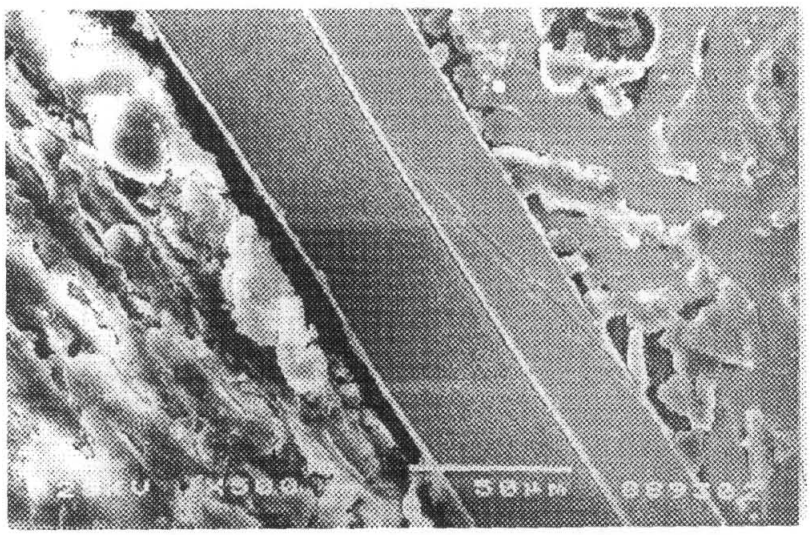
ภาพที่ ก-18 ภาพถ่ายภาคตัดขวางอุปกรณ์ช่องเสียบการ์ดที่ 2 กำลังขยาย 500 เท่า
ของอุปกรณ์ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก



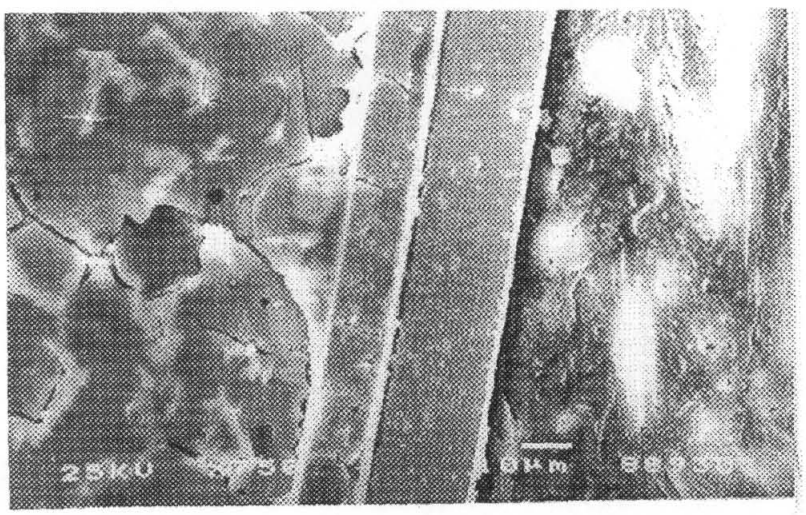
ภาพที่ ก-19 ภาพถ่ายภาคตัดขวางอุปกรณ์มือกด กำลังขยาย 500 เท่า
ของอุปกรณ์ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก



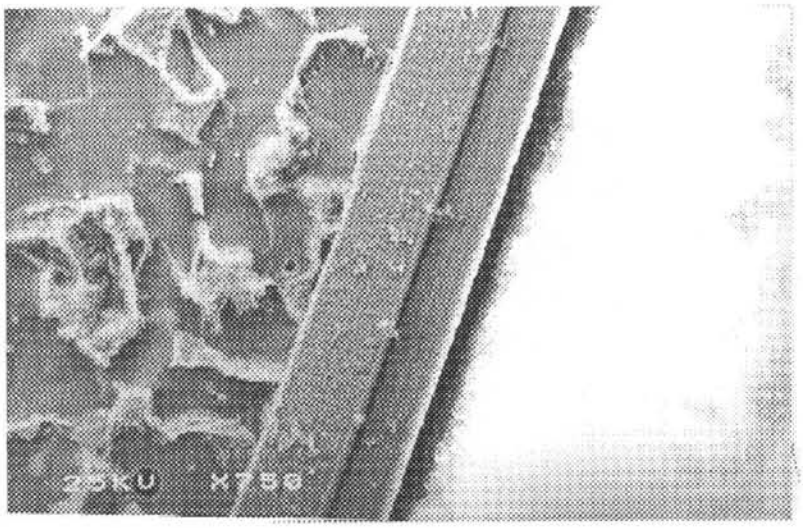
ภาพที่ ก-20 ภาพถ่ายภาคตัดขวางอุปกรณ์มือจับ กำลังขยาย 500 เท่า
ของอุปกรณ์ตู้เหล็กเก็บเอกสารกันไฟแบบลิ้นชัก



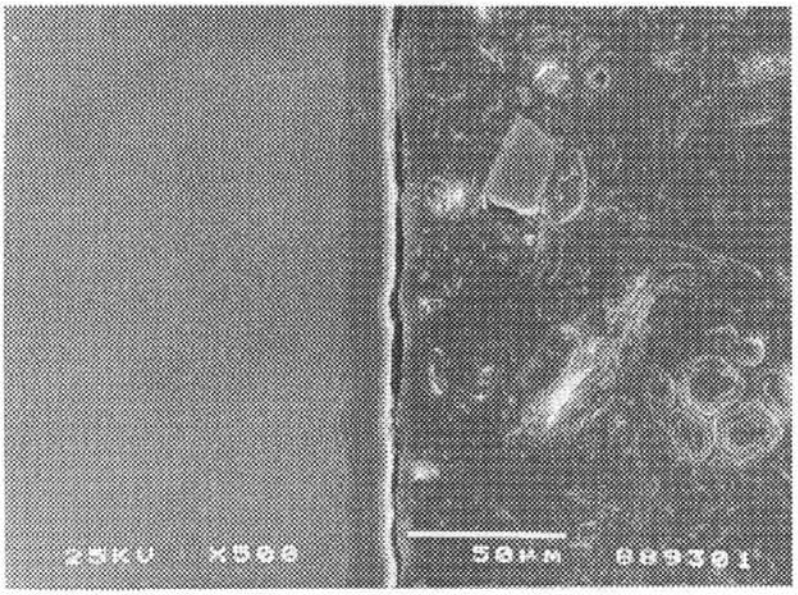
ภาพที่ ก-21 ภาพถ่ายภาคตัดขวางอุปกรณ์มือบิด กำลังขยาย 500 เท่า
ของอุปกรณ์ตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู



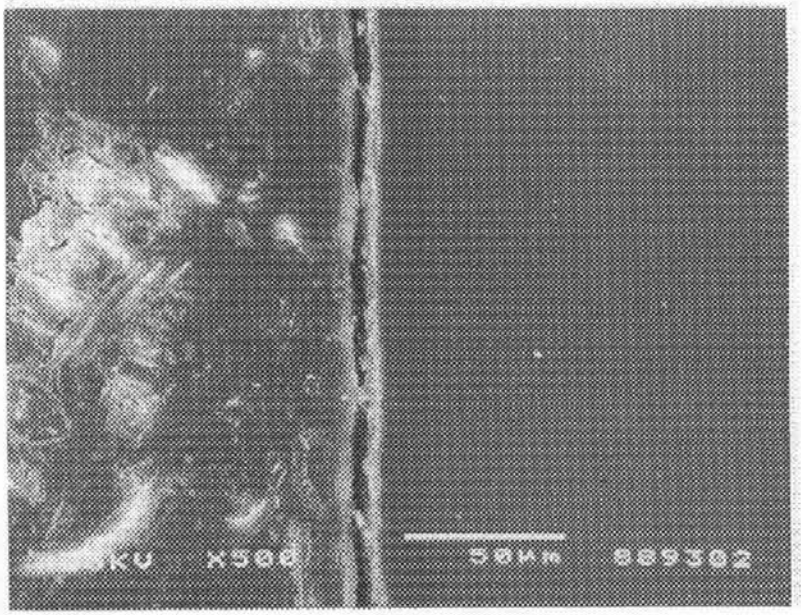
ภาพที่ ก-22 ภาพถ่ายภาคตัดขวางอุปกรณ์มือจับ กำลังขยาย 500 เท่า
ของอุปกรณ์ตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู



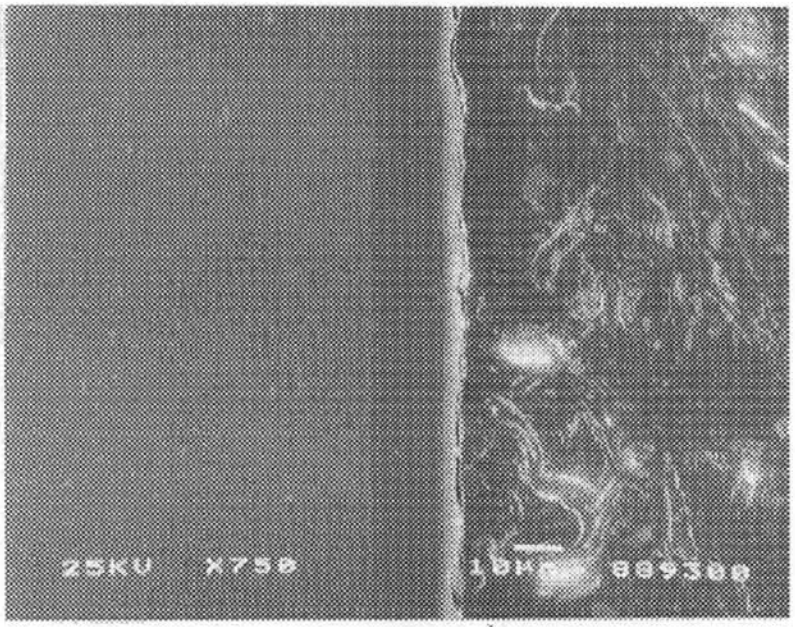
ภาพที่ ก-23 ภาพถ่ายภาคตัดขวางอุปกรณ์ช่องเสียบการ์ด กำลังขยาย 750 เท่า
ของอุปกรณ์ตู้นิรภัยกันไฟแบบประตู



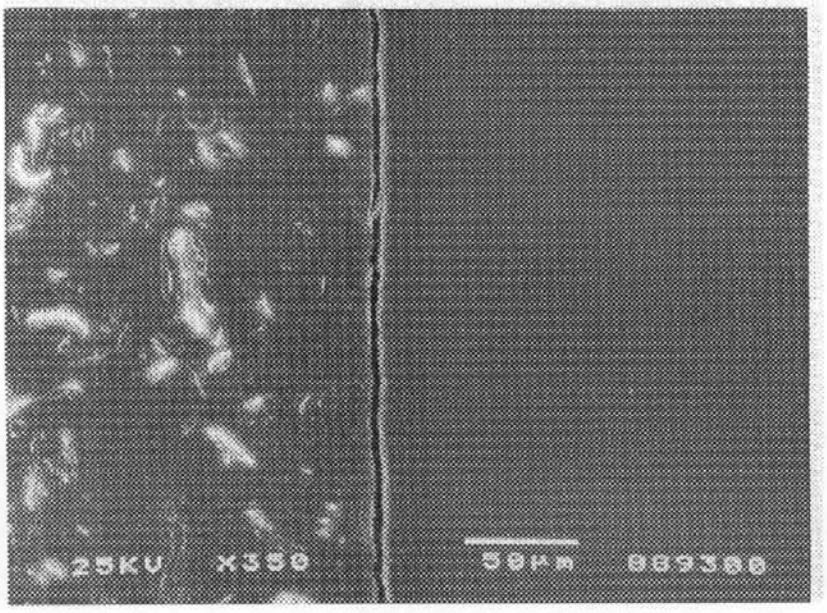
ภาพที่ ก-24.1 ภาพถ่ายภาคตัดขวางแผงกันแดดอะลูมิเนียมอโนไดซ์ ด้าน 1 กำลังขยาย 500 เท่า



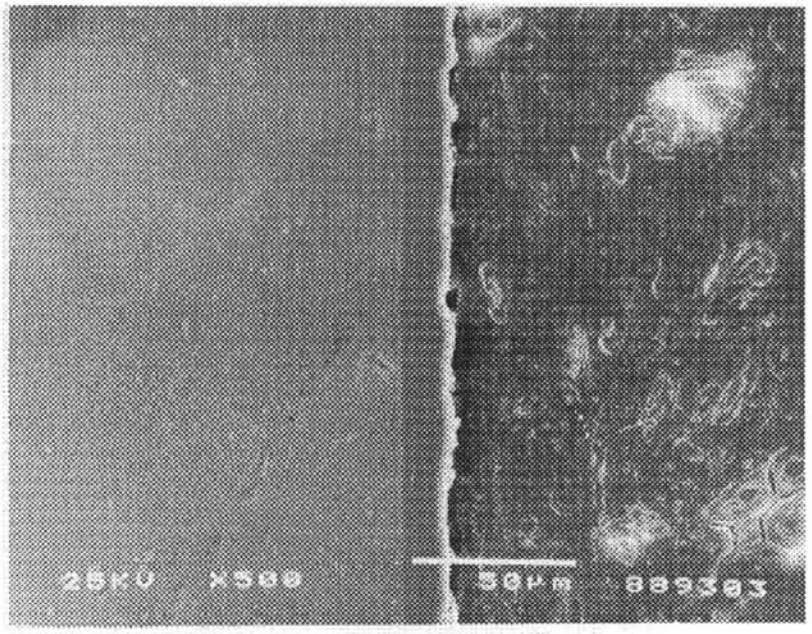
ภาพที่ ก-24.2 ภาพถ่ายภาคตัดขวางแผงกันแดดอะลูมิเนียมอโนไดซ์ ด้าน 2 กำลังขยาย 500 เท่า



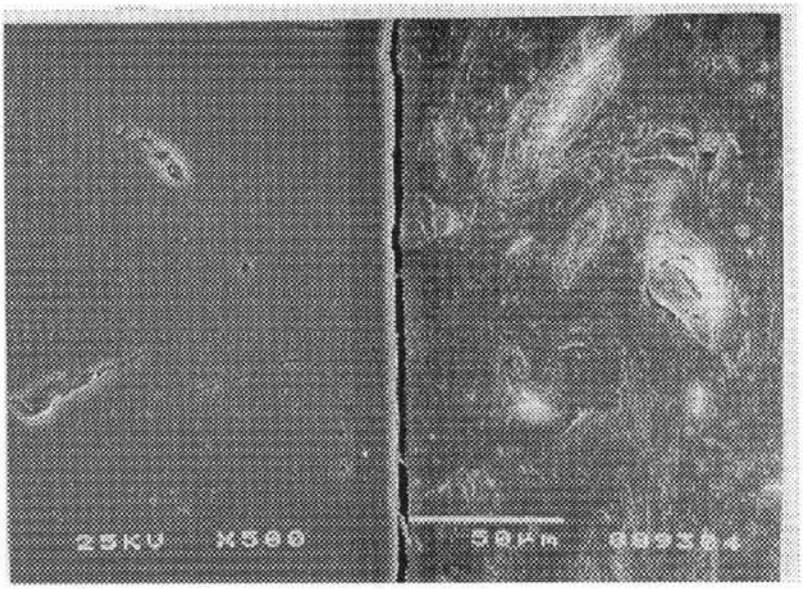
ภาพที่ ก-25.1 ภาพถ่ายภาคตัดขวางแผงกันแดดอะลูมิเนียมอโนไดซ์ ด้าน 1 กำลังขยาย 750 เท่า



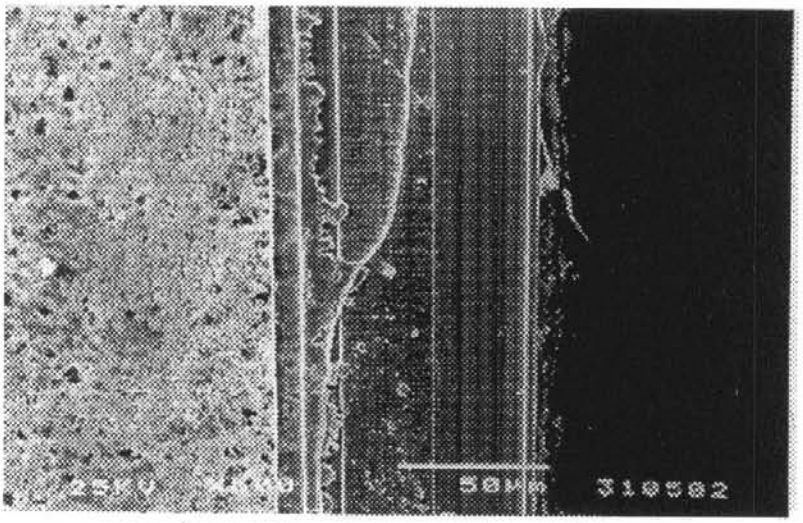
ภาพที่ ก-25.2 ภาพถ่ายภาคตัดขวางแผงกันแดดอะลูมิเนียมอโนไดซ์ ด้าน 2 กำลังขยาย 350 เท่า



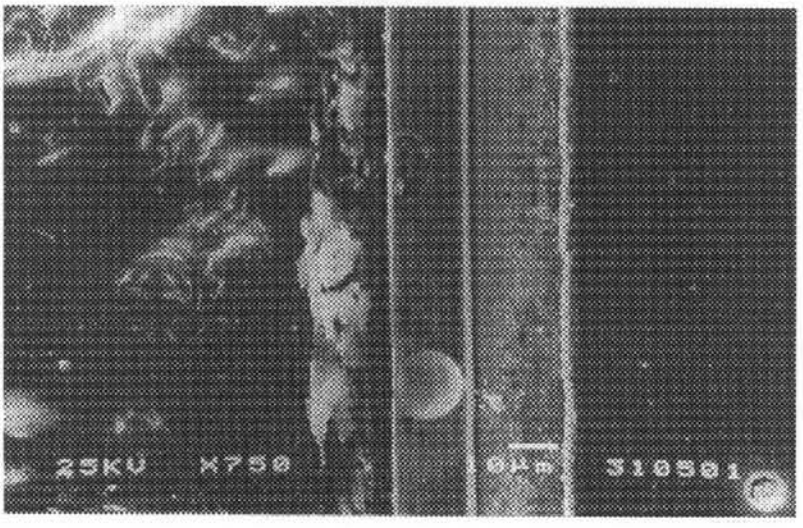
ภาพที่ ก-26.1 ภาพถ่ายภาคตัดขวางแผงกันแดดอะลูมิเนียมอโนไดซ์ ด้าน 1 กำลังขยาย 500 เท่า



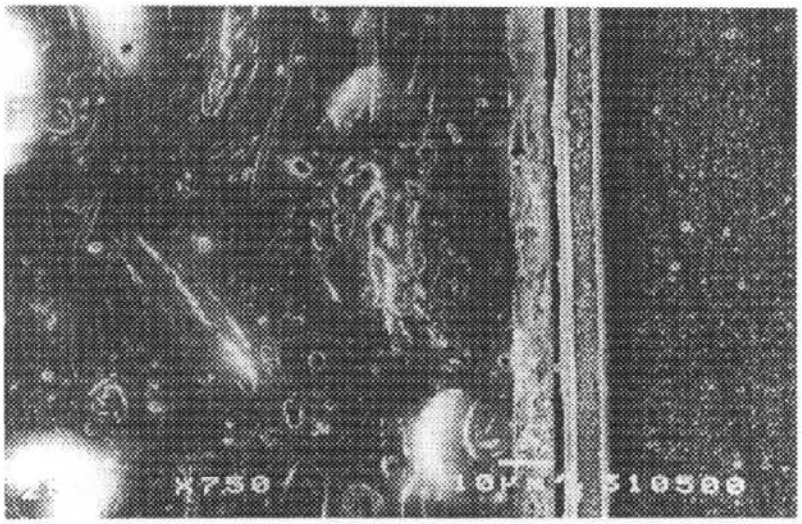
ภาพที่ ก-26.2 ภาพถ่ายภาคตัดขวางแผงกันแดดอะลูมิเนียมอโนไดซ์ ด้าน 2 กำลังขยาย 500 เท่า



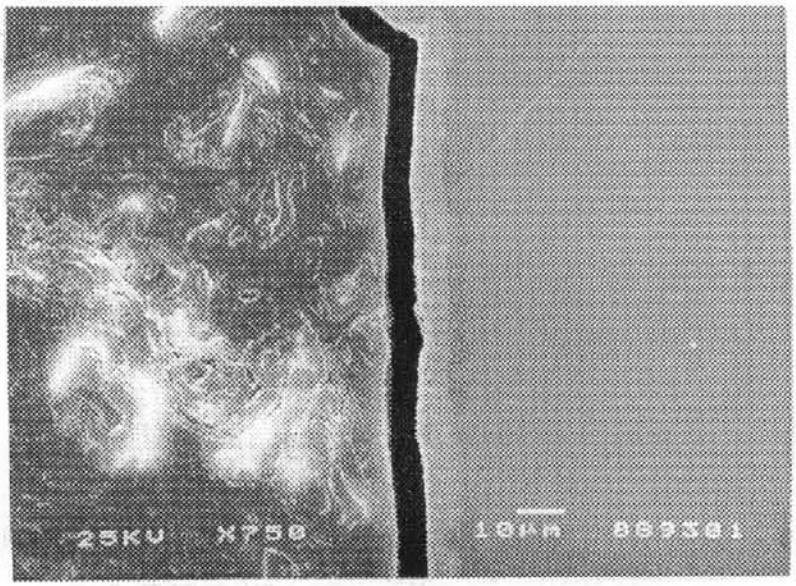
ภาพที่ ก-27 ภาพถ่ายภาคตัดขวางมือจับตู้เหล็ก กำลังขยาย 500 เท่า



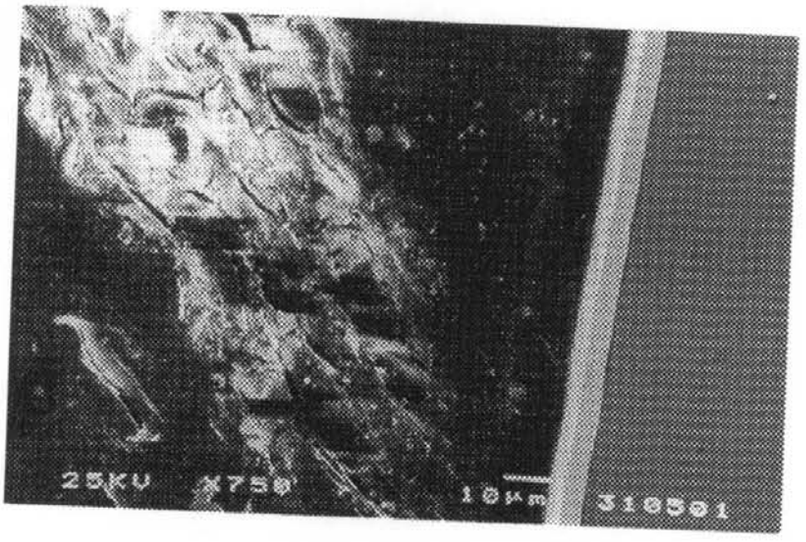
ภาพที่ ก-28 ภาพถ่ายภาคตัดขวางฝาครอบไฟเลี้ยว กำลังขยาย 750 เท่า



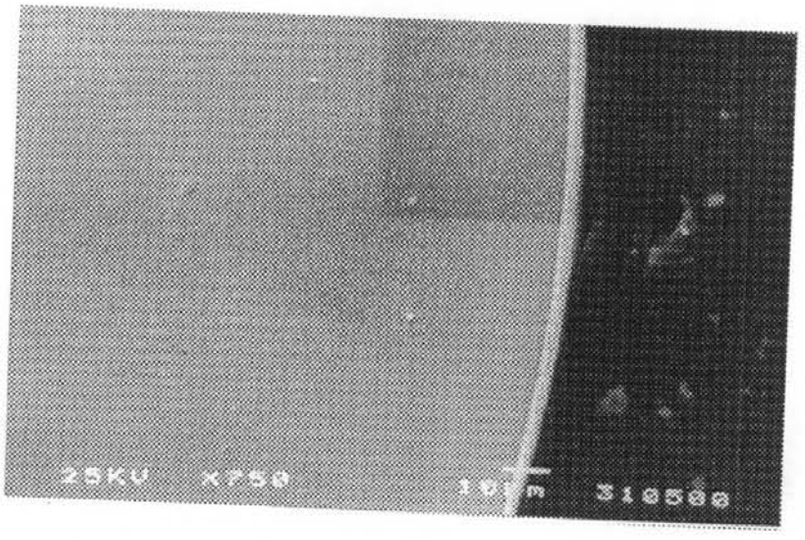
ภาพที่ ก-29 ภาพถ่ายภาคตัดขวางฝาครอบดุมล้อ กำลังขยาย 750 เท่า



ภาพที่ ก-30 ภาพถ่ายภาคตัดขวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ กำลังขยาย 750 เท่า



ภาพที่ ก-31 ภาพถ่ายภาคตัดขวางต่างหูเสี้ยวพระจันทร์ กำลังขยาย 750 เท่า



ภาพที่ ก-32 ภาพถ่ายภาคตัดขวางจี้รูปตัวเอ กำลังขยาย 750 เท่า

.1 Plug-in Unit Selection Table

ตารางที่ 1 น้ำยาอิเลคโตรไลท์

Schichtwerkstoff/Grundwerkstoff — Coating material/substrate material	Dünnste meßbare Schichtdicke [µm] / Minimum measurable coating thickness [µm] 0.015 | 0.03 | 0.07 | 0.15 | 0.3 | 0.7 | 1.5 | 3 | 7 — Abtragsgeschwindigkeit [µm/min] / for a depleting rate [µm/min] 0.10 | 0.20 | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 5.00 | 10.0 | 20.0 | 50.0	Elektrolyt Electrolyte Type Best. Nr. P./N.	Prüfnormal Thickness standard Best. Nr. P./N.
Ag/Fe, Ni, Al, Nichtmetall / Non-metals	001 002 003 004 005	F 4 L 01.03.03	L 01.04.14
Ag/Cu	006 007 008	F 8 L 01.03.05	L 01.04.05
Ag/Cu	008 009 100	F 18 L 01.03.18	L 01.04.18
Ag/Cu, CuZn*	096 097	F 17 L 01.03.17	L 01.04.05
Ag/Cu, Draht mit Meßtisch V 17 / wire using measuring stand V 17	080	F 8 L 01.03.05	
Au/Ni	101 102 103 104	F 19** L 01.03.19	L 01.04.06
Au/Ni, Draht mit Meßtisch V 17 / wire using measuring stand V 17	105 106 107 108	F 19** L 01.03.19	
CuZn*/Fe	068 069 070 071 072 073 074	F 4 L 01.03.03	Auf Anfrage / Upon request
CuZn*/Fe, Draht mit Meßtisch V 17 / wire using measuring stand V 17	082	F 4 L 01.03.03	
Cd/Fe, Ni, Al, Cu, CuZn*, Nichtmetall / Non-metals	009 010 011	F 3 L 01.03.02	L 01.04.02
Cr/Fe, Ni, Al, Nichtmetall / Non-metals	012 013 014 015 016 017 018 019	F 1 L 01.03.01	L 01.04.01
Cr/Cu, Cu/Zn*	020 021 022 023 024 025 026 027	F 9 L 01.03.0C	L 01.04.12
Cu/Fe, Ni, Al, Nichtmetall / Non-metals	028 029 030 031 032	F 4 L 01.03.03	L 01.04.03
Cu/CuZn*, Zn, Zn Druckguß / Zn die-castings	033 034	F 5 L 01.03.09	L 01.04.09
Cu/Fe, Ni, Draht mit Meßtisch V 17 / wire using measuring stand V 17	081 092 091	F 4 L 01.03.03	
Ni/Fe, Al, Cu, CuZn*, Nichtmetall / Non-metals	035 036 037 038	F 6 L 01.03.04	L 01.04.04
Ni-stromlos / Electroless Ni /Fe,Al	056 057 059	F 7 L 01.03.10	Auf Anfrage / Upon request
Ni/Fe/Fe, Cu, CuZn*, Zn, Sn	075 076 077	F 6 L 01.03.04	Auf Anfrage / Upon request
Ni/Fe, Draht mit Meßtisch V 17 / wire using measuring stand V 17	083 078	F 6 L 01.03.04	
Sn/Fe, Ni, Cu, CuZn*, Nichtmetall / Non-metals	039 040 041	F 9 L 01.03.08	L 01.04.06
Sn/Fe, Ni, Cu, CuZn*, Nichtmetall / Non-metals	093 094 095	F 12 L 01.03.12	L 01.04.06
Sn/Al	042 043 044 045 046	F 1 L 01.03.01	L 01.04.13
SnuPbu/Fe, Ni, Al, Cu, CuZn*, Nichtmetall / Non-metals	064 065 060 061 062	F 4 L 01.03.03	L 01.04.15
Sn/Cu, Draht mit Meßtisch V 17 / wire using measuring stand V 17	066 067	F 12 L 01.03.12	
Pb/Fe, Cu	063	F 4 L 01.03.03	L 01.04.16
Pb/Fe		F 0 L 01.03.00	Auf Anfrage / Upon request
Zn/Fe, Ni, Al	047 048 049 050	F 11 L 01.03.11	L 01.04.11
Zn/Cu, CuZn*	051 052 053 054	F 10 L 01.03.07	L 01.04.07
Zn/Fe, Draht mit Meßtisch V 17 / wire using measuring stand V 17	079	F 11 L 01.03.11	
SnuPbu/Cu, Draht mit Meßtisch V 17, / wire using measuring stand V 17	087 086 089 090	F 4 L 01.03.03	

Bestell-Nr der Programm Steckkarten = L 02 02 + Karten-Nr
Beispiel: Karte Nr 014 hat die Bestell Nr L 02 02 014

Purchase No of Program Plug-in Units = L 02 02 + Unit No
Example: Plug in Unit No 014 has the Purchase No L 02 02 014

* CuZn (= Messing) neue Terminologie gemäß ISO-Empfehlung
(= Brass) new terminology according to ISO-recommendations

** Achtung giftig: F 19 enthält freie Zyanide
Warning poisonous: F 19 contains free cyanides

ตารางที่ 2 แสดงส่วนผสมของน้ำยากัดผิวชนิดต่าง ๆ

Etchant	Usage and remarks
Nitric acid(HNO_3) (d=1.42) - 5 parts by volume Ethyl alcohol (CH_3CH_2OH) (95%) - 95 parts by volume	For nickel or chromium deposits on steel. Etches the steel.
Ammonia solution(NH_3OH) (d=0.90) - 1 part by volume Hydrogen peroxide(H_2O_2) (3%) - 1 part by volume	For nickel deposits on copper and its alloys, including copper under-coats on ferrous metals and zinc alloys. Swab the specimen with a fresh solution. Etches the copper.
Chromic oxide(CrO_3) - 20 g Sodium Sulphate(Na_2SO_4) - 1.5 g Distilled water - 100 ml	For zinc and cadmium deposits on steel, and nickel deposits on zinc alloys. Etches zinc and cadmium.
Ferric chloride($FeCl_3.6H_2O$) - 10 g Hydrochloric acid(HCl) (d=1.16 to 1.18) - 2 ml Distilled water - 95 ml	For lead or copper deposits on steel. Etches the steel.
Nitric acid(HNO_3) (d=1.42) - 1 part by volume Glacial acetic acid(CH_3COOH) - 1 part by volume	For multilayer deposits of nickel on steel and copper alloys; distinguishes each layer of nickel (dull, semi-bright or bright). Etches the nickel.
Hydrofluoric acid(HF) (d=1.14) - 2% by volume Distilled water - 98% by volume	For anodized aluminium alloys. Etches aluminium and its alloys.