

การพัฒนาวิธีการทดสอบสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบจากเครื่องไตรโบมิเตอร์

Development of Methodology for Measuring the Adhesion Property of Thin Films.

พุทธ แก้วสีลา สมรชัย ทิวโส ชีรกุล กลมเกลียว และกรรณ ดันวิสุทธิ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email: ikarisut@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์เครื่องไตรโบมิเตอร์เพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบจากกระบวนการเคลือบผิวต่างๆ โดยมีการออกแบบและเพิ่มอุปกรณ์เข้าไปช่วยในการทดสอบด้วย เครื่องไตรโบมิเตอร์สามารถบันทึกผลเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างคู่สัมผัสเมื่อได้รับแรงกดที่ได้ ในโครงการนี้ได้ประยุกต์เอาผลของความเสียดทานที่ได้เมื่อทำการทดสอบที่แรงต่างๆ กันมาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยจากกราฟดังกล่าวจะสามารถบอกถึงขนาดของแรงที่ทำให้เกิดการเสียหายของการเกาะยึดของผิวเคลือบได้โดยสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เปลี่ยนไปทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผิวเคลือบเกิดความเสียหาย ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของผิวเคลือบจะเปลี่ยนแปลงไป โดยมีการตรวจสอบหลักการดังกล่าวด้วยการนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบไปตรวจสอบดูความเสียหายของผิวเคลือบจากกล้องจุลทรรศน์อีกครั้งหนึ่ง ปรากฏว่าผิวเคลือบเริ่มเกิดความเสียหายเมื่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไป

คำสำคัญ: ไตรโบมิเตอร์ /การเกาะยึดของผิวเคลือบ /การทดสอบ

1. บทนำ

ปัจจุบันชิ้นงานและอุปกรณ์ต่างๆ มักมีการเคลือบผิวเพื่อเพิ่มคุณค่าทางวิศวกรรม เช่น เพื่อความสวยงาม เพื่อทนการสึกกร่อนและการสึกหรอ และอื่นๆ โดยปกติหากผิวเคลือบมีวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ในงานทางวิศวกรรม หลังการเคลือบผิวเรียบร้อยแล้วต้องนำไปทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ก่อนการนำไปใช้งานจริงเพื่อจะได้นำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสมกับคุณสมบัติที่มีและมีความปลอดภัย คุณสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งได้แก่ สมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบโดยทั่วไปจะทดสอบด้วยชุดทดสอบ scratch test ซึ่งมีหลักการคร่าวๆ ดังนี้ ชิ้นงานผ่านการเคลือบผิวจะถูกจัดให้เคลื่อนที่ผ่านหัวเข็มซึ่งมีรูปร่างเป็นรูปกรวยและผลิตจากวัสดุที่มีความแข็งสูงมาก เช่น เพชร โดยในการทดสอบจะเพิ่มแรงที่กดหัวเพชรขณะเคลื่อนที่ผ่านชิ้นงานเรื่อยๆ จนกระทั่งพบว่าชิ้นงานเกิดการเสียหายของผิวเคลือบโดยจะต้องมีการนำชิ้นงาน

ไปส่องดูการเสียหาย อย่างไรก็ตามเครื่องมือเฉพาะดังกล่าวยังไม่มีบริการภายในประเทศไทย และในปัจจุบันทำให้ทางบริษัทเคลือบผิวต้องส่งชิ้นงานไปทดสอบที่ต่างประเทศ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายมากและถ้าจะสั่งซื้อเครื่องทดสอบนี้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีต้นทุนสูงมาก(เป็นหลักล้านบาท)

ทางคณะผู้จัดทำโครงการจึงมีความคิดที่จะทำการประยุกต์เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัตินี้เพื่อเป็นศูนย์บริการทดสอบสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบให้แก่อุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัตินี้เพื่อเป็นศูนย์บริการทดสอบสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบให้แก่ภาคอุตสาหกรรมต่อไป โดยนอกจากจะทำการประยุกต์อุปกรณ์เพื่อการทดสอบแล้วยังจะทำการทดสอบความสามารถของอุปกรณ์โดยจะทดสอบสมบัติการเกาะ

ยัดของผิวเคลือบต่างๆ ที่การเคลือบผิวด้วยวิธีการต่างๆ ด้วย

2. แนวทางการดำเนินงาน

2.1 เครื่องไตรโบมิเตอร์

จากการศึกษาหลักการทำงานของเครื่องมือทดสอบ scratch test และตรวจสอบอุปกรณ์ที่มีอยู่พบว่าเครื่องไตรโบมิเตอร์ที่มีอยู่มีหลักการทำงานที่สามารถประยุกต์ใช้ทดสอบสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบได้ โดยเครื่องไตรโบมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างคู่สัมผัส โดยประกอบด้วยหัวกดที่จะถูกจับให้อยู่กับที่และแท่นจับชิ้นงานซึ่งสามารถหมุนได้ด้วยความเร็วต่างๆ เพื่อให้เคลื่อนที่สัมผัสกับหัวกด โดยจะให้แรงกับหัวกดผ่านชุดน้ำหนักที่สามารถเปลี่ยนเข้าออกได้โดยเครื่องสามารถรับแรงได้สูงสุด 60 N โดยผลที่ได้จากเครื่องคือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและระยะทางในการเคลื่อนที่สัมผัสกัน โดยในการทดสอบแต่ละครั้งจะต้องให้แรงคงที่ตลอดการทดสอบ

2.2 หลักการประยุกต์ใช้เครื่องไตรโบมิเตอร์

โดยปกติในการทดสอบการเกาะยึดของผิวเคลือบจะทำการเคลื่อนชิ้นงานที่เคลือบผิวผ่านหัวกดทรงกรวยที่ผลิตจากวัสดุที่แข็งมาก เช่น เพชร โดยเพิ่มแรงที่กดหัวกดเพชรไปเรื่อยๆ จนกระทั่งผิวเคลือบไม่เกาะยึดชิ้นงาน โดยสามารถรู้ได้จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ว่ามีรอยร้าวระหว่างผิวเคลือบและวัสดุที่ถูกเคลือบ (substrate) หรือไม่ โดยปกติหากคู่สัมผัสมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติที่ผิวที่วัสดุคู่สัมผัสค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่วัดได้จากคู่สัมผัสจะเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นหากสามารถเก็บข้อมูลของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวเคลือบที่เคลื่อนผ่านหัวกดชนิดเดียวกันรูปร่างเดียวกันที่แรงต่างๆ ได้ หากผิวเคลือบเกิดการเสียหายที่แรงค่าใด ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้ควรจะมีความเปลี่ยนแปลงไป

จากหลักการข้างต้นจึงสามารถประยุกต์ใช้เครื่องไตรโบมิเตอร์ในการทดสอบการเกาะยึดของผิว

เคลือบได้โดยใช้ข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่แรงกดขนาดต่างๆ โดยจำเป็นต้องมีการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมดังนี้

2.2.1 เตรียมลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (Weight)



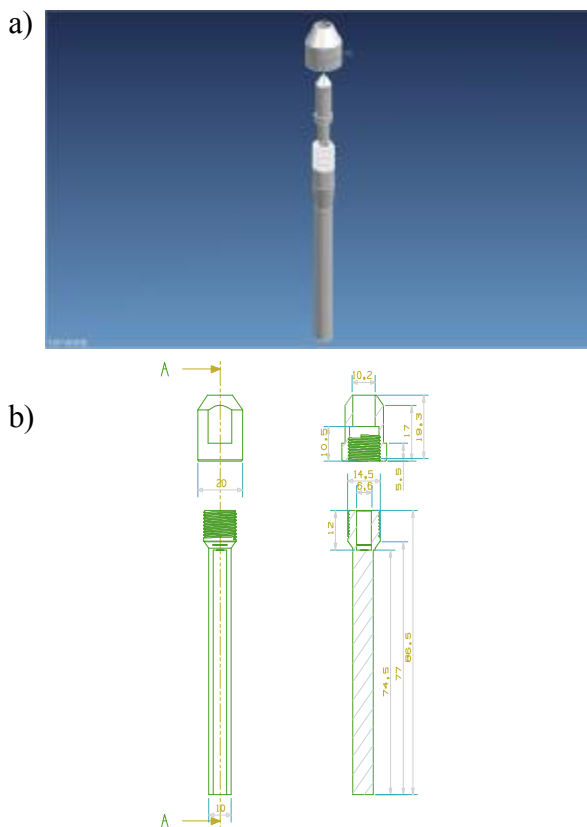
รูปที่ 2 ภาพแสดงตัวอย่างลักษณะของลูกตุ้มมาตรฐานขนาด 1 N

เนื่องจากลูกตุ้มมาตรฐานที่มีอยู่จากเครื่องไตรโบมิเตอร์มีจำนวน ทั้งหมด 10 N ไม่เพียงพอต่อการทดสอบสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบ ซึ่งผิวเคลือบบางชนิดต้องใช้แรงในการทดสอบมากกว่า 10 N ในการออกแบบลูกตุ้ม เราต้องทราบความหนาแน่นของวัสดุที่นำมาทำลูกตุ้มโดยอ้างอิงจากลูกตุ้มเดิมที่มีอยู่ วัสดุที่นำมาทำต้องไม่เป็นสนิมมีความหนาแน่นใกล้เคียงลูกตุ้มมาตรฐานเดิมเพื่อให้สามารถเทียบเคียงขนาดกับลูกตุ้มมาตรฐานเดิมได้ โดยเลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนไนติก (Austenitic stainless steels) ลักษณะลูกตุ้มที่ออกแบบ (ดูรูปที่ 2) มีรูเจาะผ่านตลอด และมีครีบช่วยในการสวมใส่ยึดกับลูกตุ้มมาตรฐานที่จะนำมาเพิ่มน้ำหนักในการนี้ต้องใช้ตุ้มน้ำหนักมากกว่าหนึ่งอัน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เท่ากับ 61 mm.ทุกชิ้น ซึ่งลูกตุ้มมาตรฐานที่ออกแบบมามีหลายขนาดเพื่อให้มีน้ำหนักแตกต่างกันเพื่อความสะดวกในการทดสอบ ได้แก่ ขนาด 1 N ,2 N และ 5N

2.2.2 เตรียมหัวกด

จากการศึกษาหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากแหล่งต่างๆ จากการศึกษพบว่าในการทดสอบ scratch test ในอุตสาหกรรมการเคลือบผิวจะใช้หัวกด Rockwell Scale C (HRC) เป็นส่วนใหญ่ จึงต้องทำการออกแบบ

แกนยึดหัวกดเพชรให้เหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่อง ไตรโบมิเตอร์ (ดูรูปที่ 3 ประกอบ) โดยพิจารณาให้สามารถถอดประกอบเปลี่ยนหัวเพชรได้เมื่อหัวเพชรเกิดการสึกหรือชำรุดได้ เพื่อให้ประหยัดต้นทุนและเวลาในการสั่งและผลิตแกนยึดหัวกดใหม่



รูปที่ 3 ภาพแสดง a) ชิ้นส่วนต่าง ๆ และ b) drawing และขนาด ของแกนยึดหัวกด

3 การทดสอบสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบด้วยเครื่องไตรโบมิเตอร์

เมื่อทำการออกแบบและผลิตอุปกรณ์เพิ่มเติมเรียบร้อยแล้ว จึงมีการใช้เครื่องไตรโบมิเตอร์เพื่อตรวจสอบสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบชนิดต่างๆ จากต่างกระบวนการดังนี้

CVD (Chemical Vapor Deposition)

- TiC จำนวน 11 ชิ้น
- TiCN จำนวน 11 ชิ้น

PVD (Physical Vapor Deposition)

- TiC จำนวน 11 ชิ้น
- TiC จำนวน 11 ชิ้น

TD (Toyota diffusion)

- VC จำนวน 11 ชิ้น

Hardcrome

- Cr จำนวน 11 ชิ้น

โดยในการทดสอบมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำชิ้นงานที่เคลือบผิวเสร็จไปตรวจสอบ

ความหนาของผิวเคลือบด้วยเครื่อง SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM) เพื่อตรวจสอบว่าผิวเคลือบแต่ละกระบวนการมีความหนาเท่าไรและดูความสม่ำเสมอของผิวใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ผลในการทดสอบ

2. ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงานก่อนทำการเคลือบผิว เพื่อหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงานใช้ในการอ้างอิงเมื่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในการทดสอบเปลี่ยนจากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของผิวเคลือบเป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงาน

3. ทดสอบผิวเคลือบจากเครื่องไตรโบมิเตอร์แล้วนำผลที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่างแรงกับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เปลี่ยนโดยพิจารณาจากกราฟว่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้แรงในการทดสอบที่เท่าไร แสดงว่าผิวเคลือบเริ่มเกิดความเสียหาย

4. นำชิ้นงานมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูว่าผิวเคลือบเริ่มเสียหายตามที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เปลี่ยนไปจากกราฟผลการทดสอบในข้อ 3 หรือไม่

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

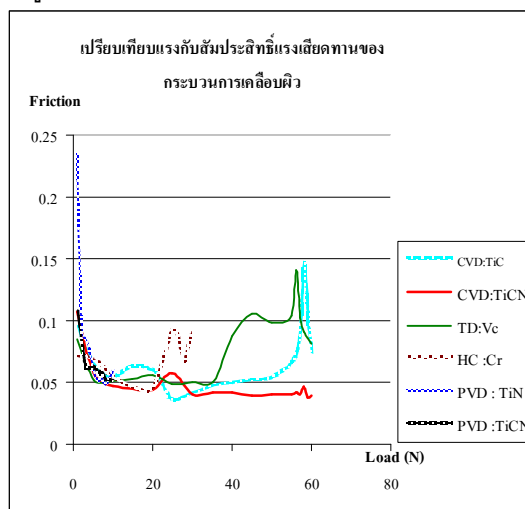
ผลการทดสอบความหนาของชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบแสดงในตารางที่ 1 โดยพบว่าชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยกระบวนการ PVD ในโครงการนี้มีความหนาค่อนข้างน้อยกว่าที่ใช้งานโดยทั่วไปและไม่สม่ำเสมอซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดในขณะเคลือบ ซึ่งอาจเป็น

สาเหตุที่ทำให้ผิวเคลือบเสียหายไม่เกาะยึดต่ำมากกว่าที่ควรจะเป็น

ผิวเคลือบ	กระบวนการเคลือบ	ความหนาเฉลี่ย(μm)
TiCN	CVD	8.38
TiC	CVD	6.25
TiCN	PVD	3.22
TiN	PVD	2.30
Cr	Hardcrome	7.62
VC	TD	7.89

ตารางที่ 1 แสดงความหนาของผิวเคลือบชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดสอบการเกาะยึดด้วยเครื่องไทรโบมิเตอร์

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและแรงกดที่หัวกดเพชรจากเครื่องไทรโบมิเตอร์แสดงในรูปที่ 4



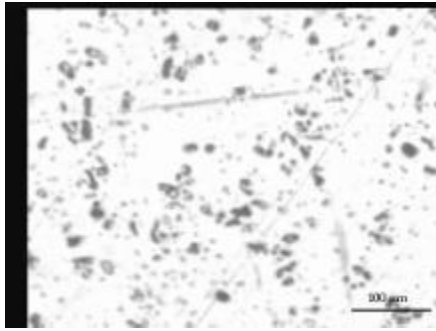
รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของผิวเคลือบชนิดต่างๆ

จากกราฟเมื่อสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยกำหนดให้ผิวเคลือบเกิดการเสียหายเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีการเปลี่ยนแปลง จะพบว่าผิวเคลือบที่มีการยึดติดดีที่สุดคือผิวเคลือบ TiCN ที่ผ่านกระบวนการ CVD Coating โดย

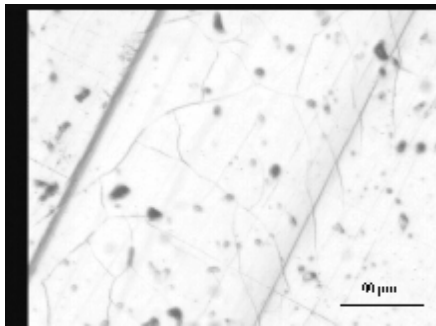
ทำการทดสอบที่แรง 60 N ผิวเคลือบยังไม่เกิดความเสียหาย รองลงมาคือผิวเคลือบ TiC ที่ผ่านกระบวนการ CVD Coating คือ จากผลการทดสอบผิวเคลือบจะเริ่มเสียหายเมื่อรับแรงในการทดสอบสูงกว่า 50N ขึ้นไป ส่วนผิวเคลือบ VC ที่ผ่านกระบวนการ TD Coating จะเริ่มเกิดความเสียหายเมื่อรับแรงในการทดสอบสูงกว่า 35 N ผิวเคลือบ TiN และ TiCN ที่ผ่านกระบวนการ PVD Coating จะเริ่มเสียหายเมื่อรับแรงในการทดสอบสูงกว่า 5 N โดยเมื่อนำผิวเคลือบแต่ละชนิดที่ผ่านการทดสอบที่แรงขนาดต่างๆไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยทำการเปรียบเทียบหารอยร้าวที่รอยขีด (ภาพแสดงตัวอย่างผลที่ได้จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ของผิวเคลือบที่ยังไม่เสียหายและที่เสียหายแล้วแสดงในรูปที่ 5 และ 6) ปรากฏว่าผิวเคลือบเริ่มเกิดความเสียหายเมื่อขนาดของแรงเป็นไปตามที่ทำนายไว้ โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยผลการทดสอบการเกาะยึดของผิวเคลือบชนิดต่างๆแสดงในตารางที่ 2

ผิวเคลือบ	กระบวนการเคลือบ	สมบัติการเกาะยึด(N)
TiCN	CVD	>60
TiC	CVD	55
TiCN	PVD	6
TiN	PVD	5
Cr	Hardcrome	20
VC	TD	40

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดสอบการเกาะยึดด้วยเครื่องไทรโบมิเตอร์



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ของผิวเคลือบCr ด้วยแรง15 Nที่กำลังขยาย 200 เท่า (ยังไม่เสียหาย)



รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบ ด้วย แรง 20 N ที่กำลังขยาย 200 เท่า

5 สรุปผลการทํางานวิจัย

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเครื่องไทรโบมิเตอร์สามารถประยุกต์ใช้ในการทดสอบสมบัติผิวเคลือบได้โดยต้องมีการเพิ่มอุปกรณ์เข้ามาช่วย ในการทดสอบคือ ลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน และหัวกดเพชร รูปทรงกรวยพร้อมอุปกรณ์จับยึดหัวกด โดยการทดสอบแล้วบันทึกแรงและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เปลี่ยนแปลงในการทดสอบ มาทำการเขียนกราฟ โดยการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เมื่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงมาก แสดงว่าผิวเคลือบเริ่มเกิดความเสียหาย และนำผิวเคลือบนั้นไปตรวจสอบความเสียหายอย่างละเอียดด้วยกล้องจุลทรรศน์ ปรากฏว่าผิวเคลือบนั้นเริ่มเกิดความเสียหายเมื่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเปลี่ยนไป เรา

จึงสามารถทดสอบการเกาะยึดของผิวเคลือบโดยการดูจากสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เปลี่ยน ซึ่งช่วยลดขั้นตอนในการที่จะต้องนำชิ้นงานไปตรวจสอบความเสียหายของผิวเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์ทุกครั้งเมื่อทำการเพิ่มแรงในการทดสอบ

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการการพัฒนาวิธีการทดสอบสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบจากเครื่องไทรโบมิเตอร์ นี้สามารถสำเร็จลงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆ ในการดำเนินงานเป็นอย่างดีจากหลายฝ่าย คณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ดร. ไซยา คำคำ และ ดร. วารุณี เปรมานนท์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัย ขอขอบพระเจ้าน้ำที่ และช่างเทคนิคที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุทุกท่านที่ได้ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และขอขอบพระคุณทางบริษัท ยู. ที. ที. เอ็นจิเนียริง จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการบริการเคลือบผิวและข้อมูลต่างๆ เป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

- บรรเลง ศรีนิล และ ประเสริฐ กวีสมนบูรณ์. ตารางโลหะ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2524.
- ปัญญา ศรีจันทร์ . วิศวกรรมการชุบเคลือบผิว. มทป.
- มานพ ตันตระกูล. วัสดุวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 8 กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย - ญี่ปุ่น), 2545.
- Allen, M.G. and Senturia, S.D., "analysis of critical debonding pressures of stressed thin films in the blister test," J. Adhes., 25, 303-315 (1988)
- Gent, A.N. and Hamed, G.R., "Peel mechanics," J. Adhes., 7, 95-97 (1975)

Sickfeld, J., " Experimental aspects of adhesion testing – An IUPAC study," J.Oil Color. Chem. Assoc., 61 292-298 (1978)

Zorll, U., "Testing of the impact resistance of coatings under aspects of deformation energy", presented at the 15th FATIPEC Congress, Amsterdam, 1980. Congress Book, Vol.III, 94-109