

ผลกระทบของความดันที่แตกต่างกันในการเคลือบชั้นผิวไททาเนียมต่อ คุณสมบัติ การยึดเกาะตัวของสารเคลือบไททาเนียมไนไตรด์

Effect of Ti-Interlayer Deposition Pressure on Overall Adhesion Strength of TiN

นาย เฉลิมพล พรรณนา นาย มานะ กลิ่นพยอม นาย กิติภูมิ ช่างแสง
ดร. กรุณา ตันวิสุทธ์ และ คุณสุรศักดิ์ สุรินทร์พงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

email: ikarisut@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

กระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยระบบ PVD (Physical Vapor Deposition) เป็นเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมพื้นผิววัสดุที่สำคัญและนับวันยังจะมีความนิยมแพร่หลายเพิ่มขึ้น ทำให้มีการแข่งขันทางด้านการวิจัยพัฒนาหาเทคนิคหรือวิธีการในการสร้างผิวเคลือบให้มีคุณภาพดีและต้นทุนต่ำเพื่อช่วงชิงความได้เปรียบและสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงกว่าคู่แข่งทางการค้า ผิวเคลือบ TiN เป็นผิวเคลือบชนิดหนึ่งที่เกิดได้ด้วยการชุบเคลือบ PVD ซึ่งเป็นที่นิยมในการเคลือบเครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิศวกรรมเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือซึ่งมักเกิดการเสียหายที่ผิวในการเคลือบผิวเคลือบ TiN ด้วยกระบวนการ PVD จะต้องมีการเคลือบชั้น Interlayer เป็นวัสดุ Ti ทั้งนี้เพื่อให้ชั้นผิวเคลือบTiNสามารถเกาะยึดกับชิ้นงาน (substrate) ได้ดี อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมภายในประเทศยังขาดความเข้าใจในผลกระทบของสภาวะในการเคลือบชั้น Interlayer เช่นความดันในการเคลือบ ต่อสมบัติของผิวเคลือบTiN ดังนั้นในโครงการนี้จะทำการศึกษาถึงผลของความดันในการเคลือบชั้น Interlayer -Ti ที่มีต่อการยึดเกาะของฟิล์มไททาเนียมไนไตรด์ (TiN) เพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพสูงขึ้น โดยผลการศึกษาค้นคว้าความดันในการเคลือบชั้น interlayer-Ti มีผลอย่างยิ่งต่อสมบัติของผิวเคลือบTiNที่ได้

คำสำคัญ: กระบวนการPVD / TiN / สมบัติการเกาะยึด / interlayer-Ti

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุปกรณ์และเครื่องมือทางวิศวกรรมส่วนใหญ่จะมีการเคลือบผิวด้วยวัสดุที่สามารถเพิ่มคุณค่าทางวิศวกรรม เช่น เพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกกร่อนและสึกหรอ

การเคลือบฟิล์มบางโดยทั่วๆ ไปทำได้หลายวิธีเช่น PVD (Physical Vapor Deposition) CVD (Chemical Vapor Deposition) Thermal Spray เป็นต้น ซึ่งกระบวนการชุบเคลือบผิวชิ้นงานด้วยกระบวนการ PVD (Physical Vapor Deposition)

เป็นกระบวนการตกตะกอนของไอสาร โดยวิธีการทางฟิสิกส์ ซึ่งเป็นเทคนิคสมัยใหม่ในการผลิตฟิล์มบาง (Thin film) ซึ่งจะได้ความหนาของฟิล์มปกติไม่เกิน 25µm ถ้ามีความหนามากกว่า 25µm จัดอยู่ในจำพวกฟิล์มหนา กระบวนการ PVD จะทำการเคลือบผิววัสดุได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 200-450 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิมอบอ่อนของวัสดุที่ทำการเคลือบชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะในกลุ่มของโลหะจำพวกเหล็กไฮสปีด (High Speed Steel) ซึ่งอุณหภูมิช่วงดังกล่าวจะไม่ทำให้วัสดุกลุ่มนี้สูญเสียความแข็งแรงไป

กระบวนการ PVD มีข้อได้เปรียบกว่ากระบวนการเคลือบผิวแบบ CVD หรือ Wet plating แบบต่าง ๆ คือ PVD ใช้ความร้อนต่ำกว่า สามารถเลือกเคลือบบนผิววัสดุได้หลากหลายชนิดและยังมีพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการชุบแบบ Wet Plating อย่างเห็นได้ชัด แต่กระบวนการชุบเคลือบแบบ PVD ก็มีข้อด้อย คือ กระบวนการชุบ ต้องอาศัยอุปกรณ์สุญญากาศ ซึ่งมีราคาแพงและการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ในเตาชุบก็มีความยุ่งยากซับซ้อน ถ้าการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ภายในเตาชุบไม่ดี จะทำให้ชิ้นงานที่ทำการชุบออกมาไม่สมบูรณ์คือมีDefectในเนื้อฟิล์มหรือการเคลือบติดเป็นไปอย่างไม่ทั่วถึงซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพรวมและอายุการใช้งานของวัสดุที่รับการเคลือบจะลดน้อยลง

ไททาเนียมไนไตรด์ (TiN) เป็นสารประกอบเซรามิกส์ ซึ่งมีสมบัติเด่นหลายประการคือ มีความเสถียรสูง ทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ไททาเนียมไนไตรด์จะเกิดการกัดกร่อนด้วยสารละลายกรดแก่ HF+HNO₃ หรือสารละลายต่างแก่ KOH ที่อุณหภูมิสูงแต่ค่อนข้างเฉื่อยต่อปฏิกิริยาในสภาวะอื่นๆ ไททาเนียมไนไตรด์นิยมใช้ในการเคลือบชิ้นงานและเครื่องมือต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากมันทนต่ออุณหภูมิสูง มีสมบัติความเสียดทานต่ำจึงเหมาะสำหรับโลหะกลุ่มของเหล็กเครื่องมือ ซึ่งนิยมนำมาทำเป็นอุปกรณ์ตัดเจาะ เช่น สว่าน, มีดกลึง ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์เหล่านี้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น นอกจากนี้ฟิล์มยังมีความแข็งแรงสูงมากเฉลี่ยถึง 2,800 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และลักษณะเด่นอีกประการของไททาเนียมไนไตรด์ คือ มีสีทองจึงเหมาะแก่การชุบเคลือบเพื่อความสวยงาม เช่น พวกเครื่องประดับ นาฬิกา กรอบแว่นตา เป็นต้น

ในการเคลือบTiNด้วยกระบวนการ PVD โดยทั่วไปจะมีการเคลือบชิ้นงานด้วยชั้น Ti ก่อนโดยเรียกกันว่าชั้น interlayer ทั้งนี้เนื่องจากพบว่าจะทำให้ผิวเคลือบ TiN ที่ได้จะมีสมบัติการเกาะยึดที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามความรู้ความเข้าใจในสภาวะในการเคลือบชั้น interlayer-Ti ว่ามีอิทธิพลต่อสมบัติของผิวเคลือบ TiNอย่างไรยังมีค่อนข้างจำกัดซึ่งทำให้เกิดข้อจำกัด

ในการพัฒนาเทคโนโลยีการเคลือบผิว TiNด้วย

กระบวนการPVDยังค่อนข้างจำกัด

ดังนั้นในโครงการนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของความดันในการเคลือบชั้นกาวไททาเนียม (Ti-Interlayer) ต่อ คุณภาพด้านการยึดเกาะ (Adhesion Strength) ของฟิล์มไททาเนียมไนไตรด์ (TiN) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการเคลือบผิว TiN ที่ดีที่สุดด้วยการควบคุมความดันที่เหมาะสมต่อการเคลือบผิวชิ้นงาน

2. วิธีการทดลอง

ในโครงการนี้จะทำการศึกษาคุณสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มไททาเนียมไนไตรด์บนเหล็กกล้าไร้สนิมเมื่อเคลือบชั้น interlayer-Tiที่ระดับความดัน 0.01×10^{-2} Pa , 0.05×10^{-2} Pa 0.1×10^{-1} Pa, 0.5×10^{-1} , และ1 Pa เป็นเวลา 5 นาที แล้วเคลือบด้วยไททาเนียมไนไตรด์โดยจะควบคุมให้สภาวะการเคลือบในขั้นตอนนี้คงที่คือ ที่ระดับความดัน

0.5 Pa เป็นเวลา 30 นาที โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

2.1 เตรียมชิ้นงาน TiN

ในโครงการนี้ได้ออกแบบให้ชิ้นงานเป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm หนา 10 mm จำนวน 200 ชิ้นโดยแบ่งเคลือบด้วยความดันในการเคลือบชั้น interlayer ที่ต่างกัน 5 ค่า ค่าละ 40 ชิ้น โดยในการเคลือบชิ้นงานมีขั้นตอนคือ

2.1.1 ทำความสะอาดชิ้นงานเพื่อขจัดคราบไขมันและคราบสกปรก

2.1.2 ทำการประกอบและติดตั้งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

2.2.3นำชิ้นงานที่ทำความสะอาดแล้วมาทำการติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

2.2.4ทำการประกอบเข้ากับตัวเครื่อง

2.2.5นำชิ้นงานเข้าสู่ห้องเคลือบโดยทำการเคลือบครั้งละ 40ชิ้น

2.2.6ดูค่าการออกจากห้องเคลือบเพื่อให้เป็นระบบสุญญากาศ

2.2.7ทำความสะอาดชิ้นงานและเคลือบโดยใช้ไอออนของ Ti

2.2.8เคลือบชั้น Ti Intrelayer ใช้เวลา 5 นาที ที่ความดันในห้องเคลือบแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.1 Pa , 0.01 Pa , 0.5 Pa , 0.05 Pa 1 Pa

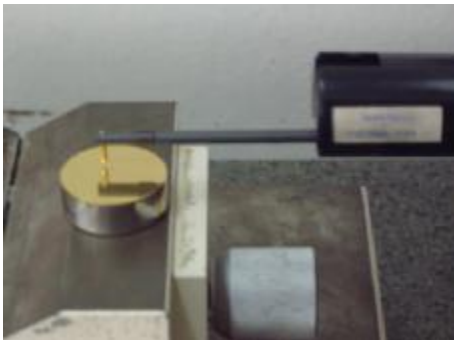
2.2.9เคลือบผิว TiN ใช้เวลาในการเคลือบ 30 นาที

2.2 การทดสอบชั้นงาน TiN

ชั้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวจะถูกนำไปทดสอบสมบัติพื้นฐานของผิวเคลือบได้แก่ ความเรียบผิว ความหนา หลังจากนั้นจึงนำไปทดสอบหาสมบัติการเกาะยึด

2.2.1 การทดสอบความเรียบผิว (Roughness Test)

ชั้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวโดยใช้ความดันในการเคลือบชั้น interlayer ต่าง ๆ ถูกส่งมาทดสอบความเรียบผิวด้วยเครื่อง Taylor Hobson Series 2 (ดูรูปที่ 1) ความดันละ 12 ชั้น โดยการทดสอบต้องมีการทำความสะอาดชั้นงานเพื่อกำจัดสิ่งปลอมปนอื่นซึ่งอาจทำให้ผลของความเรียบผิวที่ได้ไม่แม่นยำด้วย โดยแต่ละชั้นงานจะทำการวัดความเรียบผิวในสองทิศทางที่ตั้งฉากกันเพื่อดูความสม่ำเสมอของความเรียบผิวของผิวเคลือบที่ได้



รูปที่ 1 ภาพแสดงการทดสอบความเรียบผิว

2.2.2 การทดสอบความหนาของชั้นฟิล์ม

ชั้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวโดยใช้ความดันในการเคลือบชั้น interlayer ต่าง ๆ ถูกส่งมาทดสอบความหนาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope : SEM)

ความดันละ 4 ชั้นงาน โดยเตรียมชั้นงานโดยทำการตัดขวางฟิล์ม TiN เป็น 4 ส่วนโดยตัดด้วยเครื่อง wire cut ตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางสองเส้นที่ตั้งฉากกันเพื่อตรวจสอบความหนาที่บริเวณทั้ง 4 เพื่อดูความสม่ำเสมอของความหนาของผิวเคลือบ



รูปที่ 2 ภาพแสดงการทดสอบด้วยเครื่องไตรโบมิเตอร์

2.2.4 การทดสอบการเกาะยึด

ชั้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวโดยใช้ความดันในการเคลือบชั้น interlayer ต่าง ๆ ถูกส่งมาทดสอบสมบัติการเกาะยึด (ดูรูปที่ 2) ความดันละ 5 ชั้น โดยในโครงการนี้จะทดสอบการยึดเกาะตัวของฟิล์มโดยประยุกต์ใช้เครื่อง ไตรโบมิเตอร์ โดยให้แรงกดผ่าน หัวกดที่มีความแข็งสูงกว่าชั้นงานที่จะได้รับการทดสอบ (เลือกใช้หัวกดเพชร) ให้กดที่ผิวชั้นงานแล้วควบคุมให้ชั้นงานเคลื่อนที่ผ่านหัวกด ด้วยความเร็วคงที่ คุณสมบัติด้านการยึดเกาะจะอธิบายด้วยขนาดของแรงที่มากที่สุดที่ชั้นงานได้รับ ก่อนที่ชั้นฟิล์มจะเกิดการหลุดร่อนจากการถูกหัวกดขูด ซึ่งจะนำค่าแรงสุดท้ายไปอธิบายถึงความสามารถ ในการยึดเกาะของผิวเคลือบ

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การทดสอบความเรียบผิว

ในการทดสอบความเรียบผิวของชั้นงานได้ทำการทดสอบในสองทิศทางที่ตั้งฉากกันโดยเรียกว่า แนวแกน X- Y โดยค่าเฉลี่ยความเรียบผิวของชั้นงานที่ได้จากการเคลือบด้วยความดันในการเคลือบชั้น

interlayer ต่างแสดงในตารางที่ 1 (แสดงความเรียบผิว ด้วยค่า Ra)

Interlayer pressure (Pa)	Raแกน X (μm)	Raแกน Y (μm)	Raเฉลี่ยXY (μm)
0.01	0.0428	0.0465	0.0446
0.05	0.0442	0.0339	0.03905
0.1	0.0420	0.0317	0.0365
0.5	0.0333	0.0348	0.0340
1	0.0423	0.0417	0.042

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบความ เรียบผิวของฟิล์ม TiN

4.2การทดสอบความหนาของชั้นฟิล์ม

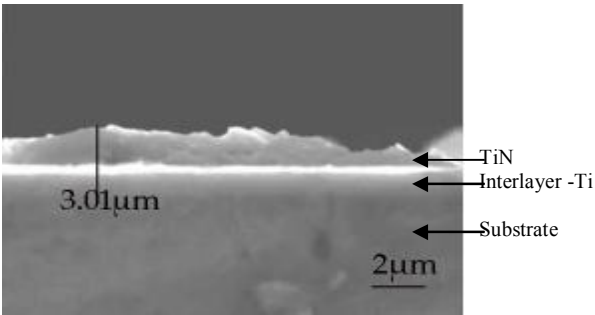
ผลการตรวจสอบความหนาของผิวเคลือบที่ได้จากการส่องภาคตัดขวางของชิ้นงานด้วยเครื่อง SEM แสดงในตารางที่ 2

Interlayer pressure (Pa)	ความหนาเฉลี่ยของผิวเคลือบ TiN (μm)
0.01 Pa	4
0.05 Pa	2.82
0.1 Pa	3.01
0.5 Pa	3.01
1 Pa	3.02

ตารางที่ 2 ตารางแสดงความหนาของฟิล์ม TiN

โดยความหนาของผิวเคลือบที่แสดงในตารางเป็นความหนารวมของชั้นinterlayer Ti และชั้น TiN ตัวอย่างภาพจากเครื่อง SEM แสดงในรูปที่ 3 โดยพบว่าผิวเคลือบที่ได้มีความหนาไม่สม่ำเสมอเท่าใดนัก ทั้งนี้คาดว่าอาจเนื่องมาจากความผิดพลาดในการเตรียมชิ้นงานก่อนการเคลือบเนื่องจากในการเตรียมชิ้นงานทั้ง 200 ชิ้นไม่สามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่องเนื่องจากอุปกรณ์ในการเตรียมชิ้นงานมีไม่เพียงพอ ซึ่ง

อาจส่งผลให้ความเรียบผิวของชิ้นงานก่อนเคลือบไม่เท่าเทียมกันทุกชิ้น



รูปที่ 3 ภาพแสดงภาคตัดขวางของฟิล์มTiN เมื่อเคลือบชั้น Interlayer-Ti ที่ความดัน0.5 Pa

4.3การทดสอบการเกาะยึด

ผลของสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบ TiN ที่เคลือบโดยใช้ความดันในการเคลือบชั้น Interlayer-Ti แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 3

Interlayer pressure (Pa)	สมบัติการเกาะยึด (N)
0.01	1.8
0.05	1.2
0.1	2.6
0.5	3.4
1	2.4

ตารางที่ 3 ตารางแสดงสมบัติการเกาะยึดของฟิล์ม TiN

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบที่เคลือบโดยใช้ความดันในการเคลือบชั้น Interlayer-Ti แตกต่างกันมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยเมื่อพิจารณาสมบัติการเกาะยึดในตารางที่ 3 ร่วมกับค่าความเรียบผิวพบว่าชั้นฟิล์มที่มีค่า Ra สูง(ความเรียบผิวไม่ดี) จะมีสมบัติการเกาะยึดที่ไม่ดีตามไปด้วยทั้งนี้เนื่องจากความเรียบผิวมีผลอย่างยิ่งต่อค่าความเสียดทานและความเค้นที่เกิดขึ้นในผิวเคลือบเมื่อได้รับแรงกดที่เท่ากัน กล่าวคือผิวที่ไม่เรียบจะส่งผลให้เกิดความเค้นเฉพาะที่สูงกว่าผิวที่เรียบ ดังนั้นผิวเคลือบที่มีค่า Raสูงจึงเกิดความเสียหายที่แรงที่ต่ำกว่าโดยผิวเคลือบที่ความดันเป็น 0.5 Paมีความเรียบที่สุด

และมีการเกาะยึดที่ดีที่สุด รองลงเป็นผิวเคลือบที่ความดัน 0.1 Pa ซึ่งมีความเรียบเป็นที่สอง และผิวเคลือบที่ความดัน 0.01 0.05 และ 1 Pa ซึ่งมีความเรียบผิวแย่กว่าก็มีสมบัติการเกาะยึดที่แย่กว่าตามไปด้วย อย่างไรก็ตามพบว่าผิวเคลือบที่ความดัน 0.01 Pa ซึ่งมีค่า Ra สูงที่สุดซึ่งคาดว่าควรจะมีสมบัติการเกาะยึดแย่ที่สุดกับเสี้ยนที่แรงสูงกว่าผิวเคลือบที่ความดัน 0.05 Pa ทั้งนี้คาดว่า เป็นอิทธิพลมาจากความหนาของผิวเคลือบเนื่องจาก เมื่อพิจารณาความหนาของผิวเคลือบพบว่าผิวเคลือบที่ความดัน 0.01 Pa มีความหนาเฉลี่ยสูงกว่าซึ่งอาจทำให้ผิวเคลือบที่ความดัน 0.01 Pa สามารถทนแรงกดได้ดีขึ้น

อย่างไรก็เห็นว่าในโครงการนี้ยังไม่สามารถสรุปแนวโน้มของผลกระทบของความดันในการเคลือบของชั้น Interlayer-Ti ต่อสมบัติการเกาะยึดได้ ทั้งนี้เนื่องจากยังมีอิทธิพลของปัจจัยอื่นอันได้แก่ ความเรียบผิวและความไม่สม่ำเสมอของความหนาของผิวเคลือบ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติการเกาะยึดโดยความเรียบผิวและความไม่สม่ำเสมอของความหนาของผิวเคลือบนี้ เกี่ยวเนื่องอย่างมากกับความเรียบผิวของชิ้นงานก่อนการเคลือบซึ่งในโครงการนี้ยังไม่สามารถควบคุมได้ แม่นยำนักเนื่องจากเกิดปัญหาในขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

5. สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้ศึกษาผลกระทบของความดันที่แตกต่างกันในการเคลือบชั้นผิว interlayer-Ti ต่อคุณสมบัติการยึดเกาะตัวของผิวเคลือบ ไททาเนียมไนไตรด์ (TiN) โดยพบว่าเมื่อเคลือบชั้นไททาเนียม (Ti) ที่ระดับความดันต่างกันส่งผลให้คุณสมบัติการเกาะตัวของฟิล์มแตกต่างกันตามไปด้วย อย่างไรก็ตามพบว่าความเรียบผิวและความหนาของผิวเคลือบมีอิทธิพลต่อสมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบด้วยเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากตัวแปรทั้งสองนั้นนอกจากจะเปลี่ยนไปตามสภาวะการเคลือบชั้น interlayer-Tiแล้วยังขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานก่อนการเคลือบเป็นอย่างมาก ด้วย เนื่องจากในโครงการนี้เกิดปัญหาในขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนการเคลือบซึ่งทำให้ความเรียบผิวของ

ของชิ้นงานก่อนการเคลือบอาจไม่สม่ำเสมอจึงทำให้อิทธิพลของความดันในการเคลือบชั้น interlayer-Ti สมบัติการเกาะยึดของผิวเคลือบ TiN ที่พบไม่ชัดเจนและอาจไม่ใช่อิทธิพลที่แท้จริง เพื่อให้เข้าใจอิทธิพลดังกล่าวได้ชัดเจนขึ้นควรมีการศึกษาต่อเนื่องโดยมีกระบวนการควบคุมปัจจัยอื่นโดยเฉพาะปัจจัยในช่วงการเตรียมชิ้นงานที่แม่นยำเพื่อไม่ให้มีอิทธิพลแฝงของปัจจัยอื่นต่อสมบัติของผิวเคลือบ TiN

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์ และได้รับความร่วมมือจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ IPUS ร่วมกับ บริษัท รอยัล เอช จำกัด ได้ให้ทุนและสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์และได้รับความร่วมมือจาก คุณสุรศักดิ์ สุรินทร์พงษ์ บริษัท รอยัล เอช จำกัด คุณ เกศสินี จ้าวหิรัญพัฒน์ บริษัท รอยัล เอช จำกัด ที่ให้คำปรึกษาชี้แนวทางตลอดเวลาที่ทำการวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขในงานวิจัยและขอขอบคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ ที่อำนวยความสะดวกในการวิจัยทำให้โครงการนี้สำเร็จด้วยดีคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

ชีวารัตน์ ม่วงพัฒน์ เอกสารประกอบเรียนวิชา MEN 316 Advanced Material Engineering กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน.

สุรศักดิ์ สุรินทร์พงษ์ เอกสารประกอบคำบรรยาย “ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการชุบเคลือบผิวระบบ PVD”.

Burakowski, T., Wierzchon, T., “ Surface Engineering of Metals Principles, Equipment, Technologies” CRC Press, Boca Raton, 1999.

Chapman, B.m., 1980, Glow Discharge Processes
Sputtreing and Plasma Etching, New York, John-
Wiley and Sons, pp.177-270

Combadiere , L. and Machet, J., 1996, "Reactivev
Magnetron Sputtering Deposition of TiN film I.
Influence of the Substate Temperature on
Structure, Composition and orphology of the Film,"
Surface and Coatings Technohology, Vol.88 pp.
17-27.

Rohde, S.L., 1994 ASM Handbook : Surface
Engineering, Vol.5 Ohio, The Materials Information
Society, pp. 547-581.3

Savkoor, A.R., 1997, " Analysis of Mechanical
Wear", Proceedings from materials
solution'97 on Wear of Engineering Materials, 15 –
18 September Indianapolis, Indiana.