

การออกแบบชุดหัวเคลือบผิวสำหรับระบบ พีวีดี คาโทดิกอาร์ค

A Design of Target Mounting Option for PVD Cathodic Arc System

นายจตุพร แสงทอง นายคมกฤษ ชูลีกาวิทย์ นายวิพล หิรัญนาโชด
ดร. กรุณา ตันวิสุทธิ ดร.พีระวัฒน์ สมนึก และ คุณสุรศักดิ์ สุรินทร์พงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
email: ikarisut@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และผลิต ชุดหัวเคลือบผิว สำหรับระบบ PVD Cathodic Arc โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตชุดหัวเคลือบผิวเองภายในประเทศเพื่อลดการนำเข้าและเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการเคลือบผิวในอนาคต ในโครงการได้มีการทำการศึกษาคู่มือของทางโรงงาน พบว่ามีส่วนประกอบทั้งสิ้น 15 ส่วน โดยในการทำงานจะทำการออกแบบและผลิตชิ้นส่วนหลักเองทั้งหมด 7 ชิ้น โดยทำการปรับปรุงในส่วนของระบบระบายความร้อนซึ่งพบว่ารูปแบบเดิมที่ทำจากโรงงานมีปัญหาในการเคลือบผิวในระบบ PVD เพราะพบว่าการระบายความร้อนเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอจึงพบว่า Target มีการสึกหรออย่างไม่สม่ำเสมอทั้งผิวหน้าและเปลี่ยนวัสดุในการผลิตชิ้นส่วนบางส่วนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ชุดหัวเคลือบผิว หลังทำการประกอบเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว ได้ทำการทดสอบการทำงานของชิ้นส่วนหลักเพื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของชุดหัวเคลือบผิวที่ผลิตขึ้นกับชุดเดิมที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งพบว่าชุดหัวเคลือบผิวที่ผลิตได้สามารถใช้งานได้และมีต้นทุนการผลิตถูกลงกว่าเดิมประมาณ 17%

คำสำคัญ: การออกแบบและผลิต, ระบบ PVD Cathodic Arc, ชุดหัวเคลือบผิว, ระบบระบายความร้อน

1. บทนำ

ระบบ Cathodic Arc จัดได้ว่าเป็นระบบ PVD ที่ดีและมีความเหมาะสมในการเคลือบเครื่องมือที่ใช้กันอย่างแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน ในระบบ Cathodic Arc จะอาศัยการ Arc โดยกระแสสูงและโวลต์ต่ำระเหยโลหะออกจากบริเวณที่ Arc Spot วิ่งผ่านอย่างรวดเร็วด้วยกลไกทางอุณหภูมิ ในขณะที่เดียวกันกระแสไฟฟ้าปริมาณมากที่จ่ายสู่หัวจ่ายจะทำให้เกิดไอออนของโลหะระเหยออกมาเป็นปริมาณมากมายมหาศาล นี่ทำให้ง่ายต่อการเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถลดอุณหภูมิในการชุบลงไปได้โดยอาศัยกระแสไฟฟ้าในการจัดโครงสร้างของฟิล์มแทน ระบบ Cathodic Arc

สามารถทำการชุบผิวเครื่องมือได้ตั้งแต่ 200°C ไปจนถึงประมาณ 450°C ตามแต่ละชนิดของวัสดุทำเครื่องมือ โดยตามปกติแล้ว เครื่องมือที่ทำจากเหล็กไฮสปีด (High Speed Steel, HSS) มักจะถูกทำการชุบในช่วงอุณหภูมิ $300 - 350^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นช่วงที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอบอ่อนของ HSS จึงไม่ทำให้เครื่องมือตัดเจาะที่ทำจาก HSS เสียความแข็งแรงไป [1]

นอกจากนี้ยังสามารถใช้สนามไฟฟ้าจัดเรียงเนื้อฟิล์มสารบนชิ้นงานโลหะได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นงานเครื่องมือที่เป็นโลหะหรือ Cermets ที่นำไฟฟ้าและข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งของ Cathodic Arc ในการเคลือบผิวเครื่องมือคือการที่ Cathodic Arc มีปริมาณไอออนสูงจึงง่ายต่อการเหนี่ยวนำโดย

กระแสไฟฟ้าทำให้สามารถเคลือบผิวงานเครื่องมือหลายชนิดที่มีลักษณะที่ซับซ้อน เช่น End – Mill หรือดอกสว่านได้ทั่วถึงดีกว่าระบบ PVD ส่วนใหญ่

ชุดหัวเคลือบผิวเป็นชิ้นส่วนหลักชิ้นส่วนหนึ่งในระบบการเคลือบผิวแบบ PVD Cathodic Arc ซึ่งทำหน้าที่จับยึดเป้าสารเคลือบผิว (Target) ซึ่งอุปกรณ์ส่วนนี้ในปัจจุบันต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในราคาค่อนข้างสูง ในโครงการนี้จึงจะทำการศึกษาออกแบบ และผลิตชุดหัวเคลือบผิวขึ้น ด้วยการศึกษารูปแบบของอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในโรงงาน โดยจะทำการปรับปรุงในส่วนของระบบระบายความร้อนเนื่องจากพบว่ารูปแบบเดิมที่ทำจากโรงงานมีปัญหาในการเคลือบผิวในระบบ PVD เพราะพบว่าการระบายความร้อนเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอจึงพบว่า Target มีการสึกหรออย่างไม่สม่ำเสมอทั้งผิวหน้า หลังทำการประกอบเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว จะทำการทดสอบการทำงานของชิ้นส่วนหลักเพื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของชุดหัวเคลือบผิวที่ผลิตขึ้นกับชุดเดิมที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

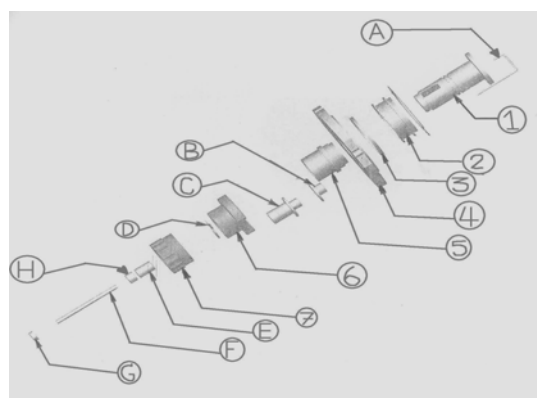
2. การออกแบบชุดหัวเคลือบผิว

ในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบชุดหัวเคลือบผิว PVD ในระบบ Cathodic Arc โดยคำนึงถึงความแข็งแรง ความง่ายต่อการซ่อมบำรุงรักษา ความปลอดภัยในการปฏิบัติงานและประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ Cathodic Arc ตามหลักการทางวิศวกรรม

ในการสร้างชุดหัวเคลือบผิว PVD Cathodic Arc มีชิ้นส่วนต่างๆ ทั้งหมด 15 ชิ้น (แสดงในรูปที่ 1) ดังนี้

1. ชิ้นที่ 1 ตัวใส่ Target
2. ชิ้นที่ 2 วงแหวนสนามไฟฟ้า
3. ชิ้นที่ 3 ฉนวนไฟฟ้า (1)
4. ชิ้นที่ 4 หน้าแป้นยึดอุปกรณ์
5. ชิ้นที่ 5 ฉนวนไฟฟ้า (2)
6. ชิ้นที่ 6 อุปกรณ์ยึดจับ
7. ชิ้นที่ 7 ผาคลอบ

8. ชิ้น A ก้านเคาะ
9. ชิ้น B ฉนวนไฟฟ้า
10. ชิ้น C Solenoid
11. ชิ้น D ตัวยึดกับชิ้นงานที่ 1
12. ชิ้น E แม่เหล็ก
13. ชิ้น F แกนกลิ้งเกลียว
14. ชิ้น G น๊อค
15. ชิ้น H อุปกรณ์ยึดจับแม่เหล็ก



รูปที่ 1 แสดงชิ้นส่วนต่างๆ ของ Cathodic Arc

โดยชิ้นส่วนที่ 1-7 คือชิ้นส่วนหลักซึ่งจะทำการผลิตขึ้น โดยรายละเอียดในการผลิตจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

3. การผลิตชุดหัวเคลือบผิว PVD Cathodic Arc

3.1 การผลิตชิ้นส่วนหลัก

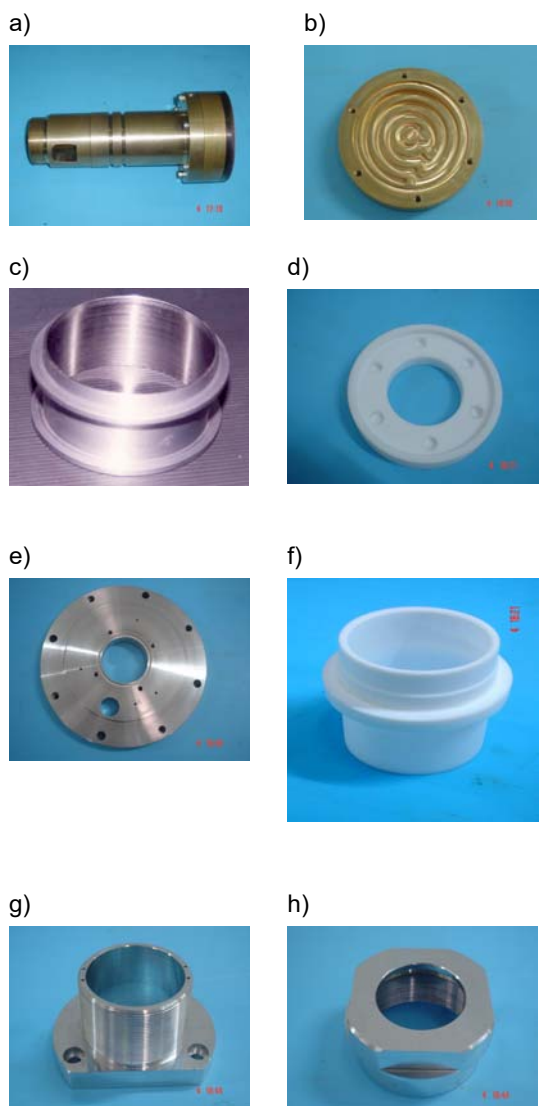
ในโครงการนี้ทำการผลิตชิ้นส่วนหลักทั้งสิ้น 7 ชิ้น รูปของชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้นแสดงในรูปที่ 2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1. ชิ้นที่ 1 ตัวใส่ Target

ชิ้นส่วนนี้ผลิตจากทองเหลือง จะทำหน้าที่ใส่ Target ซึ่งมีความสำคัญค่อนข้างมากในชุดเคลือบผิว เนื่องจากเป็นตัวควบคุมสถานะของ Target ขณะเคลือบ ชิ้นส่วนนี้ได้มีการออกแบบส่วนหล่อเย็นขึ้นใหม่ให้มีร่องระบายความร้อนเป็นลักษณะวนรอบเพื่อช่วยให้การระบายความร้อนทั่วถึงขึ้นเพื่อแก้ปัญหาที่พบในชุดหัว

เคลือบปัจจุบัน โดยชิ้นงานที่ผลิตได้แสดงในรูปที่ 2

a) และ b)



รูปที่ 2 ภาพแสดง a) ตัวใส่Target โดยรวม b) ร่องระบายความร้อนในส่วนหล่อเย็นของตัวใส่ Target c)วงแหวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้า d)ฉนวนไฟฟ้า(1) e) หน้าแป้นยึดอุปกรณ์ f) ฉนวนไฟฟ้า(2) g) อุปกรณ์ยึดจับ h)ฝาครอบ

3.1.2 ชั้นที่ 2 วงแหวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ชิ้นงานชิ้นนี้เป็นวัสดุ เหล็ก JIS S45C มีหน้าที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในชุดหัวเคลือบผิว Cathodic Arc โดยจะต้องนำไปทำการชุบเคลือบผิวชิ้นงานก่อนที่จะทำการเคลือบ เพราะป้องกันการเกิดสนิม

3.1.3 ชั้นที่ 3 ฉนวนไฟฟ้า (1)

ชิ้นงานทำจากวัสดุ เทฟลอน มีหน้าที่ ป้องกันไฟฟ้าภายในระบบ Cathodic Arc และมีหน้าที่ยึดกับชิ้นงานที่ 3 และชิ้นงานที่ 4 เข้าด้วยกัน

3.1.4 ชั้นที่ 4 หน้าแป้นยึดอุปกรณ์

ชิ้นงานชิ้นนี้เป็นวัสดุ อลูมิเนียม (Al) มีหน้าที่ยึดอุปกรณ์และชิ้นงานต่างๆ และปัญหาที่พบก็คือเนื่องจากชิ้นงาน หน้าแป้นยึดอุปกรณ์ มีอยู่ด้วยกัน 2 หน้า แล้วแต่ละหน้าจะมีรูปแบบไม่เหมือนกันจึงทำให้ยากต่อการผลิต

3.1.5 ชั้นที่ 5 ฉนวนไฟฟ้า (2)

เป็นวัสดุที่ทำจาก เทฟลอน มีหน้าที่สำคัญคือ เป็นตัวป้องกันไฟฟ้าเพื่อไม่ให้เกิดการอาร์คกับชิ้นส่วนอื่นๆ และทำหน้าที่ยึดกับชิ้นงานที่ 4 เข้าด้วยกันซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวฉนวนไฟฟ้าที่อยู่ภายใน

3.1.6 ชั้นที่ 6 อุปกรณ์ยึดจับ

ชิ้นงานชิ้นนี้เป็นวัสดุที่ทำจาก อลูมิเนียม (Al) จะมีหน้าที่ยึดกับชิ้นงานที่ 4 ซึ่งเป็นแป้นยึดอุปกรณ์ และชิ้นงานชิ้นนี้จะประกอบเข้ากับชิ้นงานที่ 7 ด้วย

3.1.7 ชั้นที่ 7 ฝาครอบ

ชิ้นงานชิ้นนี้เป็นวัสดุที่ทำจาก อลูมิเนียม (Al) ซึ่งมีหน้าที่ คือ เป็นตัวครอบชิ้นงานซึ่งจะประกอบเข้ากับชิ้นงานทดสอบในชั้นที่ 6 เป็นขั้นตอนสุดท้าย

3.2 การประกอบชุดหัวเคลือบผิว

เมื่อได้ชิ้นส่วนครบทั้ง 15 ชิ้น ได้ทำการประกอบชุดหัวเคลือบผิวโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 นำชิ้นงานทุกชิ้นไปทำการเช็ดน้ำอะซิโตนก่อนเข้าเตาทุกครั้ง เพื่อที่จะทำความสะอาดก่อน เพราะไม่เช่นนั้นแล้วจะทำให้การเคลือบผิวจะไม่ค่อยดี

3.2.2 เมื่อเสร็จจากขั้นตอนที่ 1 ก็จะต้องนำชิ้นงานทั้งหมดมาทำความสะอาดอีกครั้งโดยใช้น้ำยา

Wenol และเช็ดด้วยอะซิโตนซ้ำอีกครั้งเพื่อทำการจัดตั้งสกรูประกอบ

3.2.3 จากนั้นก็ทำการประกอบโดยนำชิ้นงานที่ 4 วางกับกล่องที่ไว้สำหรับประกอบชุดหัวเคลือบก่อน

3.2.4 จากนั้นทำการประกอบชิ้นงานที่ 1 กับชิ้นงานที่ 3 เข้าด้วยกัน แล้วนำไปใส่ในชิ้นงานที่ 4 จากนั้นจึงนำชิ้นงานที่ 5 ประกอบเข้ากับชิ้นงานที่ 1 และ 3 เข้าด้วยกัน จากนั้นนำชุดก้านเคาะมาทำการประกอบกับชิ้นงานที่ 4 ต่อไป

3.2.5 เมื่อทำการประกอบตั้งข้างต้นแล้วเราก็นำชิ้นงานที่ 6 เข้ากับตัวชิ้นงานที่ 4 แล้วจึงนำชิ้นงานที่ 7 ประกอบตามอีกที จากนั้นนำชุดก้านแม่เหล็กประกอบเข้าไปในรูของชิ้นงานที่ 1 แล้วกลับด้านหัวมาทำการประกอบชิ้นงานที่ 2 ก็เป็นอันเสร็จสิ้น(ดูรูปที่ 3)



รูปที่ 3 ภาพแสดงชุดหัวเคลือบผิวหลังทำการประกอบเสร็จ

4. การทดสอบประสิทธิภาพของชุดหัวเคลือบผิว

ชุดหัวเคลือบที่ผลิตขึ้นได้ถูกนำไปผ่านการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบรอยรั่ว

การทดสอบรอยรั่วเพื่อตรวจดูว่าภายตัวใส่ Target มีการรั่วของน้ำหรือไม่ ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4 โดยการผ่านน้ำที่มีแรงดันเท่ากับน้ำของถัง

สุญญากาศที่ใช้ในการเคลือบผิวของโรงงาน พบว่าชิ้นส่วนที่ได้ทำการผลิตขึ้นมานั้นสามารถใช้งานได้และสามารถทนต่อแรงดันน้ำได้ดีโดยไม่มีรอยรั่วอะไรเกิดขึ้น



รูปที่ 4 ภาพแสดงการทดสอบรอยรั่ว

4.2 การทดสอบการประกอบเข้าภายในเตา

ชุดหัวเคลือบผิวที่ประกอบเสร็จสิ้นดังรูปที่ 3 ถูกนำไปประกอบเข้ากับถังสุญญากาศของโรงงาน (ดังรูปที่ 5) โดยมีการทดสอบ 2 ขั้นตอนคือขั้นที่ 1 ได้มีการทดสอบการรั่วโดยการเปิดปั๊มสุญญากาศโดยทำการทดลองที่บรรยากาศภายนอกที่อุณหภูมิประมาณ $28.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ และบรรยากาศภายในที่อุณหภูมิประมาณ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ และความชื้นที่ 75 % เราจะพบว่าใช้เวลาที่ 38 นาที ห้องสุบสามารถลดความดันได้ถึงความดันสุญญากาศ $6.5 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ ที่อุณหภูมิภายในเตา 200 องศาเซลเซียส แสดงว่าสามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่เกิดการรั่วซึมจากชิ้นงานของเรา จากนั้นทำการทดสอบขั้นที่ 2 คือ การทดสอบการ Arc โดยแสดงผลในรูปที่ 6 จากภาพจะพบว่าเห็น ล้ำ Plasma อยู่บริเวณรอบๆ Target และ Substrate โดยในการ Arc ใช้ Ti target ที่มีความหนา 25 mm. โดยให้ทำงานในช่วงความดัน 0.01 ถึง $> 1.0\text{ Pa}$ ซึ่งพบว่าสามารถใช้งานได้



รูปที่ 5 ถึงสุญญากาศที่ทำการทดสอบ

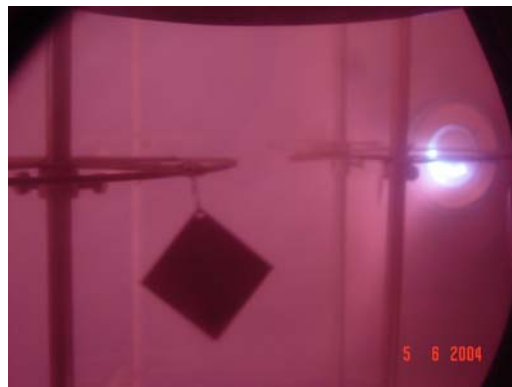


รูปที่ 6 แสดงการ Arc ที่เกิดขึ้นภายในเตา

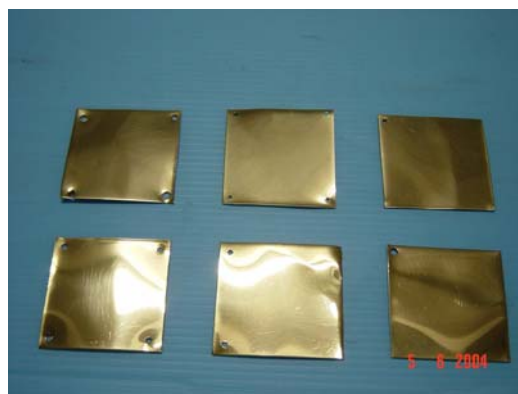
4.3 การทดสอบเคลือบผิวชิ้นงาน

เมื่อชุดหัวเคลือบผิวผ่านการทดสอบขั้นต้น ทั้งสองขั้นตอนอธิบายในหัวข้อ 4.1 และ 4.2 แล้วจึงมีการทดสอบเคลือบผิวชิ้นงานจริงโดยการประกอบชุดหัวเคลือบผิวเข้ากับถังสุญญากาศ จากนั้นทำการทำให้เป็นสุญญากาศ โดยทำได้ถึง 6.2×10^{-3} Pa ที่อุณหภูมิภายในเท่ากับ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายในระยะเวลา 40 นาที ซึ่งพบว่าไม่เกิดการรั่วซึม จากนั้นเริ่มทำการเคลือบผิวชิ้นงานด้วย TIN เป็นระยะเวลา 30 นาที พบว่าชุดหัวเคลือบผิวที่ผลิตขึ้นสามารถทำการเคลือบผิวได้ดี ภาพภายในถังเคลือบแสดงในรูปที่ 7 และภาพของชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวแสดงในรูปที่ 8 พบว่าผิวเคลือบ TIN ที่ได้เกาะติดชิ้นงานได้ดีและมีสีทองตามที่คาดไว้

นอกจากนี้ยังพบว่าสภาพของ Target ภายหลังการเคลือบมีการสึกหรอที่สม่ำเสมอขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบการหล่อเย็นที่ออกแบบขึ้นสามารถช่วยแก้ปัญหาการกระจายความร้อนไม่สม่ำเสมอได้



รูปที่ 7 ภาพแสดงการเคลือบผิวภายในห้องสุญญากาศ



รูปที่ 8 ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวโดยชุดหัวเคลือบที่ผลิตขึ้น

5. บทสรุป

ในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบและผลิตชุดหัวเคลือบผิวสำหรับระบบ PVD Cathodic Arc โดยได้มีการออกแบบระบบหล่อเย็นขึ้นใหม่โดยออกแบบให้รองรับการระบายความร้อนเป็นรูปขดหอยเพื่อให้การกระจายความร้อนทั่วถึงขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการสึกหรอที่ไม่สม่ำเสมอของ Target เมื่อใช้ชุดหัวเคลือบในปัจจุบัน

ชุดหัวเคลือบที่ผลิตขึ้นได้ถูกทดสอบการร้าว และได้ถูกทดสอบประสิทธิภาพการทำงานด้วยการประกอบเข้ากับถังเคลือบผิวของทางโรงงานและทำการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยผิวเคลือบ TiN ผลการทดสอบพบว่าชุดหัวเคลือบที่ผลิตขึ้นสามารถทนสภาวะการเคลือบผิวได้โดยไม่เกิดการร้าวซึม และชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวพบว่าผิวเคลือบ TiN มีการเกาะติดได้ดีและมีสีทองตามที่คาดไว้ นอกจากนี้ยังพบว่าสภาพของ Target ภายหลังการเคลือบมีการสึกหรอที่สม่ำเสมอขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบการหล่อเย็นที่ออกแบบขึ้นสามารถช่วยแก้ปัญหาการกระจายความร้อนไม่สม่ำเสมอได้

โครงการนี้จึงเป็นแนวทางในการสร้างหัวเคลือบผิวในระบบ Cathodic Arc ภายในประเทศได้ต่อไป โดยต้นทุนในการผลิตชุดหัวเคลือบในโครงการซึ่งใช้วัสดุและแรงงานภายในประเทศเป็นหลัก ประมาณ 40,000 บาท ซึ่งต่ำกว่าการนำเข้าจากต่างประเทศประมาณ 17%

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคุณเกศสิณี จ้าวหิรัญพัฒน์ ผู้จัดการทั่วไป บริษัท รอยแอล เอช จำกัด ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความคิดเห็นเกี่ยวกับการออกแบบชุดหัวเคลือบผิว สำหรับระบบพีวีดี คาโทดิกอาร์ค รวมทั้งเรื่องของระบบ PVD และจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ และสถานที่การทดสอบ

และผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาดุษฎี ประจำปี 2003 ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ทุนในการสนับสนุนในโครงการในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรศักดิ์ สุรินทร์พงษ์ เอกสารประกอบคำบรรยาย “ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการชุบเคลือบผิวระบบ PVD”

[2] Yarwood, J.; **High Vacuum Technique** London, Science Paperbacks 1967 Fourth Edition

[3] Ahmed, N.A.G.; **Ion Plating Technology: Developments and Applications.** Copyright by John Wiley and Sons Ltd. 1987

[4] Datta, P.K. and Gray, J.S.; **Surface Engineering Volume I: Fundamentals of Coatings.** The Royal Society of Chemistry 1993. Printed in Great Britain by Redwood Books Ltd., Trowbridge, Wiltshire

[5] Datta, P.K. and Gray, J.S.; **Surface Engineering Volume II : Engineering Applications.** The Royal Society of Chemistry 1993. Printed in Great Britain by Redwood Books Ltd., Trowbridge, Wiltshire

[6] Dugdale, R.A.; **Glow Discharge Material Processing** London, Mills and Boon Limited 1971

[7] Tadeusz Burakowski and Wierzbicki; **Surface Engineering of Metal.** CRC Press LLC, 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, Florida 33431

[8] www.Genco.com

[9] www.Floccast.com.au