

อิทธิพลพารามิเตอร์กระบวนการสปัตเตอริงต่อค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นในงานเคลือบผิว MoC

Influences of Sputtering Coating Parameters on Elastic Modulus of MoC Coatings

มานิตย์ ชิมิตา¹ และ ปริญญา ศรีสัตยกุล²

¹มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

²มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

*ติดต่อ: manitt@sau.ac.th, โทรศัพท์ 08074500-27 ต่อ 123, โทรสาร 02-8074528

บทคัดย่อ

ตะขอทอวนเป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญอย่างมากในเครื่องทอวนซึ่งผลิตจากวัสดุสแตนเลส ในการปรับปรุงคุณภาพตะขอทอวนจะเป็นการวิเคราะห์เพื่อยืนยันความถูกต้องอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับอิทธิพลพารามิเตอร์ของกระบวนการสปัตเตอริงในการเคลือบผิวโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (DOE) สามพารามิเตอร์ในการเคลือบผิวโมลิบดีนัมคาร์ไบด์ (MoC) บนตะขอทอวนประกอบไปด้วย กระแสไฟฟ้ากระแสตรง, แรงดันก๊าซและอัตราส่วนระหว่างก๊าซอาร์กอนกับก๊าซอะเซทิลีน เพื่อวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมต่อค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่น ผลการวิเคราะห์พบว่า พารามิเตอร์ทั้งสามมีอิทธิพลต่อค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นในการเคลือบผิวโมลิบดีนัมคาร์ไบด์ (MoC) บนตะขอทอวน ผลลัพธ์สุดท้ายของงานวิจัยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเคลือบผิวโมลิบดีนัมคาร์ไบด์ (MoC) บนตะขอทอวนนั้น เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นสูงสุด คือ กระแสไฟฟ้ากระแสตรง 0.35 A, แรงดันก๊าซ 0.01 mbar และอัตราส่วนระหว่างก๊าซอาร์กอนกับก๊าซอะเซทิลีน 1.5

1. บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตตอวนถือเป็นธุรกิจหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อเศรษฐกิจโลก ประเทศไทยมีการส่งออกตอวนเพิ่มมากขึ้นถึง 129,308.30 ล้านบาท หรือ 3,204,200 ตัน เครื่องทอวนจะสามารถผลิตตอวนที่มีคุณภาพได้ก็ต่อเมื่อชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องทอวนมีคุณภาพที่ดี ชิ้นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญ คือ ตะขอทอวน (Upper Hook) ปัจจุบันตะขอทอวนมีปัญหาเกี่ยวกับการสึกหรอที่ผิวด้านในของตะขอทอวน ส่งผลให้ตอวนที่ผลิตออกมามีคุณภาพไม่ตรงตามความต้องการ

การเคลือบผิวชิ้นส่วนทางกลต่างๆ ถือเป็นหนึ่งวิธีการในการปรับปรุงคุณภาพผิวบนตะขอทอวนได้ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวนี้สามารถใช้ปรับปรุงคุณภาพผิวและสมบัติการต้านทานการสึกหรอได้ การเคลือบผิวด้วยโมลิบดีนัมถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีต่างๆ กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งโมลิบดีนัมถือเป็นส่วนหนึ่งของโลหะผสมที่มีความสำคัญอย่างมากในการนำมาใช้กับงานที่ต้องการสมบัติการต้านทานการสึกหรอของสแตนเลส นอกจากนี้แล้ว สมบัติเชิงกลสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติทางเคมี ของโมลิบดีนัมก็มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่ากันในการใช้งานกับการต้านทานการสึกหรอ การต้านทานการแตกร้าว และการต้านทานการกัดกร่อน การเคลือบผิวโมลิบดีนัมยังสามารถใช้ได้หลากหลายวิธีการ ได้แก่ ดี.ซี. และ อาร์.เอฟ.แมกนีตรอนสปัตเตอริง รวมไปถึงเทคนิคการเคลือบสภาวะสูญญากาศ พี.วี.ดี (PVD) อื่นๆ มากมาย ซึ่งวิธีการ ดี.ซี.แมกนีตรอนสปัตเตอริงเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้งานกันมาก

ค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่น หรือค่ายังส์โมดูลัสสภาพยืดหยุ่น (Young's modulus: E) เป็นสมบัติวัสดุที่ใช้อธิบายถึงสภาพยืดหยุ่นหรือสภาพการล้าตัวของวัสดุ ซึ่งสมบัตินี้ไม่ใช่สมบัติค่าความแข็ง (Hardness) ผลตอบสนองเกี่ยวกับผลลัพธ์ของการแทนที่ภาระแรงที่ได้รับ (Load-displacement) จะแสดงถึงภาระแรงของช่วงสภาพยืดหยุ่น (elastic-plasticity) สมการสภาพยืดหยุ่นที่ใช้ในการเชื่อมโยงความสัมพันธ์กับข้อมูลช่วงไม่มีภาระแรง (unloading) สิ่งเหล่านี้สามารถกำหนดค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นของวัสดุที่นำมาทดสอบได้ ค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นสามารถคำนวณได้โดยผลหารของความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) ซึ่งเป็นสัดส่วนกันจากเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (stress-strain curve) ดังแสดงได้ในรูปแบบสมการที่ 1

$$E = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{(P/A)}{(x/l)} \quad (1)$$

ในการศึกษางานวิจัยนี้ จะเป็นการพิสูจน์ถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์กระบวนการสปีดเตอริงต่อค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นในงานเคลือบผิว MoC เพื่อปรับปรุงคุณภาพตะขอทอวาน ตะขอทอวาน (ดังแสดงในรูปที่ 1) ที่ติดตั้งในเครื่องทอวาน (ดังแสดงในรูปที่ 2) ซึ่งการปรับปรุงตะขอทอวานด้วยวิธีการนี้ จะสามารถช่วยเพิ่มอายุการใช้งานให้กับตะขอทอวานได้



รูปที่ 1 ตะขอทอวาน



รูปที่ 2 เครื่องทอวาน

2. การดำเนินงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เป็นการปรับปรุงสมบัติการต้านทานการสึกหรอของตะขอทอวาน โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์กระบวนการเคลือบสปีดเตอริงด้วยสารเคลือบ MoC ที่ส่งผลให้ค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นสูงสุด ซึ่งพารามิเตอร์กระบวนการเคลือบสปีดเตอริงด้วยสารเคลือบ MoC ได้แก่ กระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC current : A), แรงดันก๊าซ (Pressure : B) และอัตราส่วนระหว่างก๊าซอาร์กอนกับก๊าซอะเซทิลีน ($\text{Ar}/\text{C}_2\text{H}_2$: C) โดยมีช่วงระดับพารามิเตอร์ตามหลักการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^3 คือ 0.35 A, ถึง 0.45 A, 0.004 mbar ถึง 0.008 mbar, and 0.5 ถึง 1.5 ตามลำดับ และเก็บข้อมูลซ้ำ (Replicates) จำนวน 4 ค่า เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่จะนำมาทำการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมเชิงสถิติ

 ตารางที่ 1 การทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^3

| Parameters | | | Elastic |
|----------------|--------------|--------------------------------------|----------|
| DC current (A) | Pressure (B) | $\text{Ar}/\text{C}_2\text{H}_2$ (C) | Modulus |
| 0.35 | 0.004 | 0.5 | 132.0085 |
| 0.45 | 0.004 | 0.5 | 138.7367 |
| 0.35 | 0.010 | 0.5 | 140.6359 |

| | | | |
|------|-------|-----|----------|
| 0.45 | 0.010 | 0.5 | 135.9676 |
| 0.35 | 0.004 | 1.5 | 163.8313 |
| 0.45 | 0.004 | 1.5 | 178.1612 |
| 0.35 | 0.010 | 1.5 | 173.4653 |
| 0.45 | 0.010 | 1.5 | 169.9104 |
| 0.35 | 0.004 | 0.5 | 162.1914 |
| 0.45 | 0.004 | 0.5 | 153.7299 |
| 0.35 | 0.010 | 0.5 | 160.5343 |
| 0.45 | 0.010 | 0.5 | 162.9460 |
| 0.35 | 0.004 | 1.5 | 151.8734 |
| 0.45 | 0.004 | 1.5 | 145.3368 |
| 0.35 | 0.010 | 1.5 | 147.0829 |
| 0.45 | 0.010 | 1.5 | 155.9516 |
| 0.35 | 0.004 | 0.5 | 144.2263 |
| 0.45 | 0.004 | 0.5 | 137.9023 |
| 0.35 | 0.010 | 0.5 | 139.5426 |
| 0.45 | 0.010 | 0.5 | 142.7249 |
| 0.35 | 0.004 | 1.5 | 145.9736 |
| 0.45 | 0.004 | 1.5 | 147.0015 |
| 0.35 | 0.010 | 1.5 | 138.2293 |
| 0.45 | 0.010 | 1.5 | 145.8124 |
| 0.35 | 0.004 | 0.5 | 174.3389 |
| 0.45 | 0.004 | 0.5 | 198.5884 |
| 0.35 | 0.010 | 0.5 | 196.5919 |
| 0.45 | 0.010 | 0.5 | 185.1923 |
| 0.35 | 0.004 | 1.5 | 178.9481 |
| 0.45 | 0.004 | 1.5 | 166.7417 |
| 0.35 | 0.010 | 1.5 | 157.5006 |
| 0.45 | 0.010 | 1.5 | 154.2517 |

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ตามหลักการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^3 ดังแสดงในตารางที่ 1 และผลการวิเคราะห์เชิงสถิติ ANOVA (Analysis of Variance) ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า อิทธิพลหลัก (Main Effect) ของพารามิเตอร์แรงดันก๊าซ (Pressure : B) และอัตราส่วนระหว่างก๊าซอาร์กอนกับก๊าซอะเซทิลีน (Ar/C_2H_2 : C) มีผลต่อค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่น เนื่องจากค่า P-value < 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC current : A) ไม่มีผลต่อค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่น แต่เมื่อทำการพิจารณาผลกระทบร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์กระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC current : A) มีผลแผดแผงร่วมกับพารามิเตอร์อื่นต่อค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่น จึงไม่สามารถที่จะตัดพารามิเตอร์นี้ออกจากการพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสมได้ ความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์มีค่าสูงมาก โดยดูได้จากค่า $R^2 = 0.8867$ นั้นหมายความว่า ความน่าเชื่อถือของข้อมูลสูงมากถึง 88.67% ค่าสัมประสิทธิ์ R^2 ถือเป็นสัดส่วนระหว่างความแปรปรวนทั้งหมดของกระบวนการกับความแปรปรวนของผลตอบสนอง สิ่งนี้สามารถใช้ในการอธิบายรูปแบบกระบวนการของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ได้ [8]

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ ANOVA

Factorial Fit: Elastic Modulus versus DC current, Pressure, Ar/C2H2

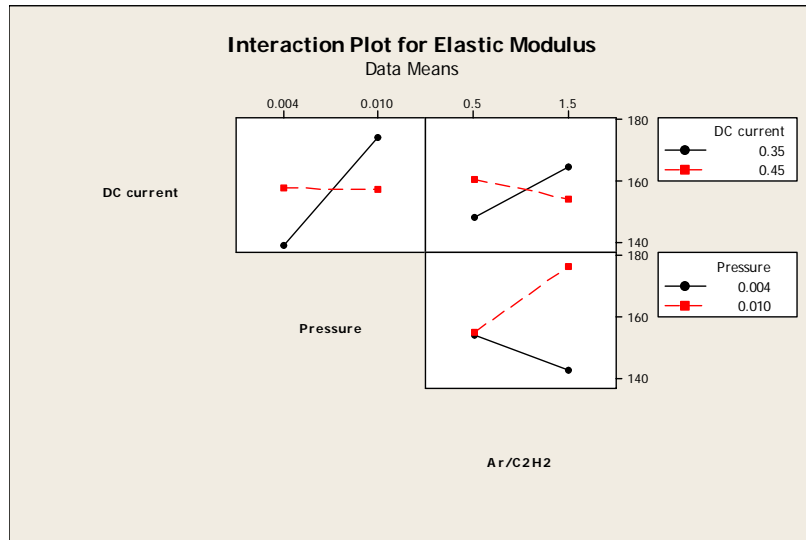
Estimated Effects and Coefficients for Elastic Modulus (coded units)

| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|-----------------------------|---------|---------|---------|--------|-------|
| Constant | | 157.060 | 1.194 | 131.57 | 0.000 |
| DC current | 0.888 | 0.444 | 1.194 | 0.37 | 0.713 |
| Pressure | 17.354 | 8.677 | 1.194 | 7.27 | 0.000 |
| Ar/C2H2 | 5.075 | 2.538 | 1.194 | 2.13 | 0.044 |
| DC current*Pressure | -17.942 | -8.971 | 1.194 | -7.52 | 0.000 |
| DC current*Ar/C2H2 | -11.469 | -5.735 | 1.194 | -4.80 | 0.000 |
| Pressure*Ar/C2H2 | 16.488 | 8.244 | 1.194 | 6.91 | 0.000 |
| DC current*Pressure*Ar/C2H2 | 4.205 | 2.103 | 1.194 | 1.76 | 0.091 |

S = 6.75265 PRESS = 1945.53
 R-Sq = 88.67% R-Sq(pred) = 79.86% R-Sq(adj) = 85.37%

พารามิเตอร์ทั้งหมดในกระบวนการสปีดเตอริงรวมไปถึงผลกระทบร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในเชิงสถิติ สามารถกำหนดสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการได้ [8] โดยสามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงผลกระทบร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ (Interaction effect plot) ดังแสดงในรูปที่ 3

เมื่อทำการพิจารณากราฟแสดงผลกระทบร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ (Interaction effect plot) ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการสปีดเตอริงงานเคลือบผิว MoC บนตะขอทอวนที่ทำให้ค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นสูงสุด คือ กระแสไฟฟ้ากระแสตรง 0.35 A, แรงดันก๊าซ 0.01 mbar และอัตราส่วนระหว่างก๊าซอาร์กอนกับก๊าซอะเซทิลีน 1.5



รูปที่ 3 กราฟแสดงผลกระทบบรรวมกันระหว่างพารามิเตอร์ (Interaction effect plot)

4. การอภิปรายผล

ในการศึกษาการเคลือบ MoC ด้วยกระบวนการสปัตเตอริงบนตะขอทอวนสำหรับเครื่องทอวน เพื่อพิสูจน์เกี่ยวกับอิทธิพลพารามิเตอร์กระบวนการสปัตเตอริงต่อค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นโดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (DOE) สภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์กระบวนการสปัตเตอริงจากการวิเคราะห์ คือ กระแสไฟฟ้ากระแสตรง 0.35 A, แรงดันก๊าซ 0.01 mbar และอัตราส่วนระหว่างก๊าซอาร์กอนกับก๊าซอะเซทิลีน 1.5