

## อิทธิพลพารามิเตอร์กระบวนการสปัตเตอร์ริงต่อค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นในงานเคลือบผิว MoC

### Influences of Sputtering Coating Parameters on Elastic Modulus of MoC Coatings

มานิตย์ ชิมิตา<sup>1</sup> และ ปริญญา ศรีสัตยกุล<sup>2</sup>

<sup>1</sup>มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

<sup>2</sup>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

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

#### บทคัดย่อ

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

#### 1. บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตทอวนถือเป็นธุรกิจหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อเศรษฐกิจโลก ประเทศไทยมีการส่งออกทอวนเพิ่มมากขึ้นถึง 129,308.30 ล้านบาท หรือ 3,204,200 ตัน เครื่องทอวนจะสามารถผลิตทอวนที่มีคุณภาพได้ก็ต่อเมื่อชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องทอวนมีคุณภาพที่ดี ชิ้นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญ คือ ตะขอทอวน (Upper Hook) ปัจจุบันตะขอทอวนมีปัญหาเกี่ยวกับการสึกหรอที่ผิวด้านในของตะขอทอวน ส่งผลให้ทอวนที่ผลิตออกมามีคุณภาพไม่ตรงตามความต้องการ

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

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

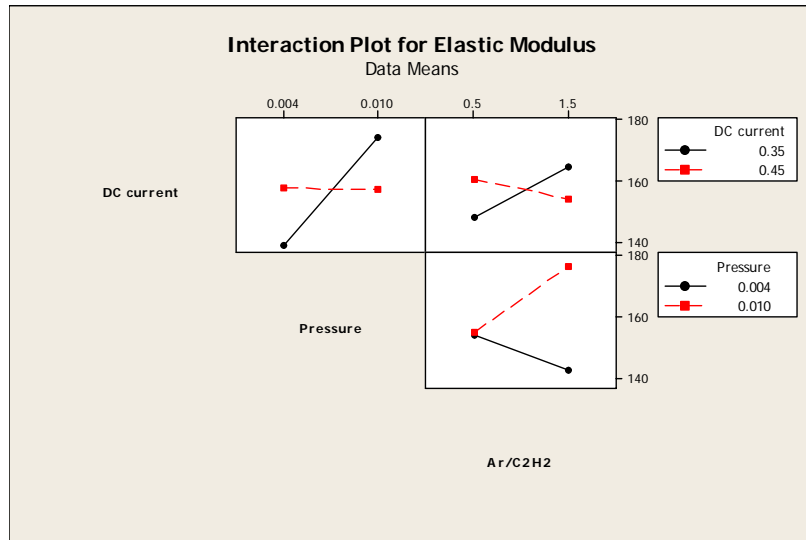
Estimated Effects and Coefficients for Elastic Modulus (coded units)

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 บนตะขอทอวอนที่ทำให้ค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นสูงสุด 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