

การศึกษาอิทธิพลของฟิล์มเคลือบคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC) ที่มีผลต่อการต้านทาน
การสึกหรอของดอกสว่านขนาดเล็ก

Study on the Influence of Diamond-Like Carbon (DLC) Film on Wear Resistance of
Small Drill

วรโชติ หรือตระกูล¹, นพนันท์ ธนบริบูรณ์พงศ์¹, สิริวิ สุภาคดี¹, Shuichi Watanabe²
และ ณัฐนันท์ มุลสระดู^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กทม. 10140

² Department of Systems Engineering, Nippon Institute of Technology, Saitama, JAPAN, 345-0826
*ติดต่อ: nutthanun.moo@kmutt.ac.th, โทรศัพท์ 02-470-8554, โทรสาร 02-470-8557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของฟิล์มเคลือบคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC) ที่มีผลต่อการต้านทานการสึกหรอของดอกสว่านขนาดเล็กที่ทำจากวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ ซึ่งทำการเจาะบนเหล็กกล้าไร้สนิม Duplex Stainless Steel 2205 หนา 2 มิลลิเมตร ดอกสว่านขนาด 1 มิลลิเมตร ถูกเคลือบด้วยฟิล์ม Conventional DLC (DLC), H-DLC, Si-O-DLC และ Si-N-DLC ด้วยกระบวนการ Plasma-based Ion Implantation (PBII) ที่ความหนาฟิล์มเคลือบเท่ากับ 500 นาโนเมตร ผลการวิจัยพบว่าฟิล์มเคลือบ H-DLC และ Si-N-DLC ช่วยเพิ่มการต้านทานการสึกหรอของดอกสว่านได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าความแข็งของผิวฟิล์มมาก เท่ากับ 12.2 GPa และ 11.1 GPa ตามลำดับ ทั้งนี้ฟิล์มเคลือบที่มีความแข็งสูง จะรับแรงที่มากระทำบนฟิล์มและดอกสว่านได้ดี

คำหลัก: การต้านทานการสึกหรอ, ฟิล์มเคลือบคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC), การเคลือบผิว, ดอกสว่านขนาดเล็ก

Abstract

This research was to study the influence of Diamond-Like Carbon (DLC) films on wear resistance of tungsten carbide small drills in the drilling of Duplex Stainless Steel 2205 with 2 mm thickness. The small drills with 1 mm diameter were coated by conventional DLC (DLC), H-DLC, Si-O-DLC and Si-N-DLC films and deposited by Plasma-based Ion Implantation (PBII) method. The total deposited thickness of all films was approximately 500 nm. It was found that H-DLC and Si-N-DLC films were shown high wear resistance of coated drills. This is due to high film hardness of 12.2 GPa and 11.1 GPa, respectively. The higher hardness of films results in easily supporting the load on the film and drill.

Keywords: wear resistance, Diamond-Like Carbon (DLC) film, coating, small drill

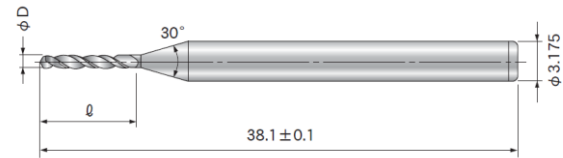
AMM-248

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการตัดปาดผิว (Metal Removal Process) มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจาะรูบนวัสดุโลหะ อย่างไรก็ตาม ในการเจาะวัสดุบางชนิดที่มีสมบัติเฉพาะเช่น มีความเหนียวหรือความแข็งสูง มักจะส่งผลให้ดอกสว่านมีการสึกหรอได้ง่าย นอกจากนั้น ขนาดของดอกสว่านที่มีขนาดเล็ก ซึ่งต้องใช้ความเร็วรอบที่สูงนั้น จะส่งผลให้เกิดการตัดเฉือนที่รุนแรงจนเกิดความร้อนสูงมาก ซึ่งจะยิ่งเร่งให้เกิดการสึกหรอของดอกสว่านมากขึ้น จึงได้มีการนำเอาฟิล์มเคลือบผิวชนิดต่างๆ มาประยุกต์ใช้กับงานเจาะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟิล์มเคลือบ DLC ซึ่งเป็นฟิล์มเคลือบคาร์บอน Amorphous ซึ่งมีโครงสร้างระหว่างเพชร (Diamond) แกรไฟต์ (Graphite) และโพลิเมอร์ (Polymer) ซึ่งประกอบด้วยไฮบริดไอโซชัน sp^3 และ sp^2 เป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้มีสมบัติคือความแข็งสูง สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ ทนการสึกหรอและการกัดกร่อนได้ดี [1] งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของดอกสว่านที่ผ่านการเคลือบผิวฟิล์ม DLC ทั้งหมด 4 ชนิดคือ Conventional DLC (DLC), H-DLC, Si-N-DLC และ Si-O-DLC ด้วยกระบวนการเคลือบผิวแบบ Plasma-based ion implantation (PBII) และนำมาเจาะบนแผ่นชิ้นงานที่ทำจากวัสดุ Duplex Stainless Steel 2205 การประเมินผลเพื่อศึกษาอิทธิพลของฟิล์มเคลือบ DLC ที่มีผลต่อการต้านทานการสึกหรอของดอกสว่านนั้น จะประเมินจากขนาดของดอกสว่านที่เปลี่ยนไป และขนาดของรูหลังการเจาะที่จำนวน 300 รู

2. การดำเนินการทดลอง

ดอกสว่านที่ใช้ในการทดลอง ทำจากวัสดุ Tungsten carbide ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) 1 มิลลิเมตร และความยาว Flute length (l) เท่ากับ 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ดอกสว่านที่ใช้ในการทดลอง

ดอกสว่านถูกเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ DLC ด้วยกระบวนการ Plasma based ion implantation (PBII) จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ Conventional DLC (DLC), H-DLC, Si-N-DLC และ Si-O-DLC ความหนาฟิล์มเคลือบทุกชนิดฟิล์มประมาณ 500 นาโนเมตร รายละเอียดและสมบัติของฟิล์มเคลือบแสดงดังตารางที่ 1-3 วัสดุชิ้นงานที่ทำการทดลองเจาะคือ เหล็กกล้าไร้สนิม Duplex Stainless Steels 2205 หนา 2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 รายละเอียดของฟิล์มชนิดต่างๆ [2-3]

Film types	Added-elements	Gaseous mixture
Conventional DLC	-	C_2H_2
H-DLC	Hydrogen	$C_2H_2+H_2$
Si-O-DLC	Silicon+Oxygen	$C_2H_2+TMS+O_2$
Si-N-DLC	Silicon+Nitrogen	$C_2H_2+TMS+N_2$

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของฟิล์มชนิดต่างๆ [4]

Film types	Gas flow (sccm)	Relative atomic content (at.%)		
		C	Si	O / N
Conventional DLC	-	-	-	-
H-DLC	2:1	-	-	-
Si-O-DLC	14:1:2	57	34	9 (O)
Si-N-DLC	14:1:2	69	23	8 (N)

AMM-248

ตารางที่ 3 สมบัติของฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ [5-6]

Films	Hardness (GPa)	Friction coefficient (μ)	Internal stress (GPa)
Conventional DLC	9.8	0.07	2.85
H-DLC	12.2	0.07	1.32
Si-O-DLC	10.0	0.04	0.15
Si-N-DLC	11.1	0.05	1.02

ดอกสว่านทั้งหมดทำการทดลองเจาะด้วยเครื่อง CNC machining ที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบ/นาที อัตราการป้อน 150 มิลลิเมตรต่อนาที จำนวนรูเจาะ 300 รู และเจาะโดยไม่ใช้สารหล่อลื่น

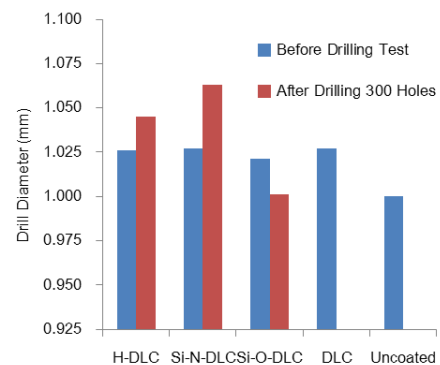
การประเมินผลการทดลองนั้น จะประเมินจากขนาดของดอกสว่านที่เปลี่ยนไปหลังการเจาะจำนวน 300 รู และขนาดของรูเจาะที่ได้ ที่รูเจาะ 1, 60, 150, และ 300 ตามลำดับ ด้วยกล้อง Optical microscope

3. ผลการทดลอง

3.1 อิทธิพลของผิวเคลือบ DLC ที่ส่งผลต่อการสึกหรอของดอกสว่าน

จากผลการทดลองด้วยการเจาะจำนวน 300 รูดังรูปที่ 2 นั้น พบว่า ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วย Conventional DLC และดอกสว่านที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวไม่สามารถทำการเจาะครบ 300 รูได้ นั่นคือเกิดการแตกหักระหว่างการเจาะ ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มเคลือบ Conventional DLC มีความแข็งค่อนข้างต่ำคือ 9.8 GPa มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อนข้างสูงเท่ากับ 0.07 และโดยเฉพาะอย่างยิ่งมีค่าความเค้นภายในที่สูงมาก จึงทำให้ ไม่สามารถทนการตัดเฉือนดังกล่าวได้ จนทำให้เกิดการแตกหักระหว่างการทดลอง ไม่สามารถทำการเจาะได้ครบ 300 รู ส่วนดอกสว่านที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว Uncoated ก็

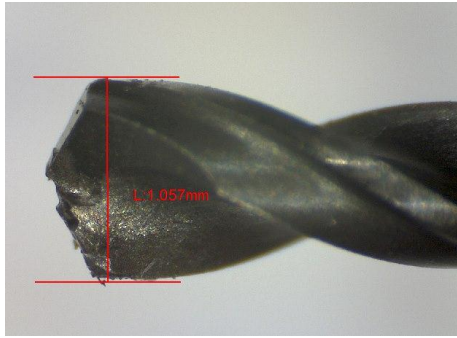
เช่นเดียวกัน เกิดการแตกหักระหว่างการเจาะ เนื่องจากไม่สามารถทนการตัดเฉือนดังกล่าวได้ นอกจากนั้น พบว่าฟิล์มเคลือบ H-DLC และ Si-N-DLC ช่วยเพิ่มการต้านทานการสึกหรอของดอกสว่านได้ นั่นคือเจาะครบ 300 รู เนื่องจากมีค่าความแข็งของผิวฟิล์มมาก เท่ากับ 12.2 GPa และ 11.1 GPa ตามลำดับ ทั้งนี้ฟิล์มเคลือบที่มีความแข็งสูง จะรับแรงที่มากระทำบนฟิล์มและดอกสว่านได้ดี



รูปที่ 2 ขนาดของดอกสว่านชนิดต่างๆก่อนและหลังทำการเจาะจำนวน 300 รู

นอกจากนั้นพบว่าดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วย H-DLC และ Si-N-DLC นั้นมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นหลังการเจาะครบ 300 รู ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากการยึดติดของวัสดุชิ้นงานบนดอกสว่าน จนทำให้ขนาดของดอกสว่านมีขนาดเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 3 และยิ่งไปกว่านั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำการเจาะ ยังอาจจะเร่งให้เกิดการหลอมของชิ้นงานติดบนดอกสว่าน จนทำให้รูที่ได้หลังการเจาะ 300 รู มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นด้วยเช่นกัน ส่วนดอกสว่าน Si-O-DLC ซึ่งเกิดการสึกหรอโดยทำให้ดอกสว่านมีขนาดเล็กลงทั้งที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและค่าความเค้นภายในค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าความแข็งของฟิล์มที่ค่อนข้างน้อย

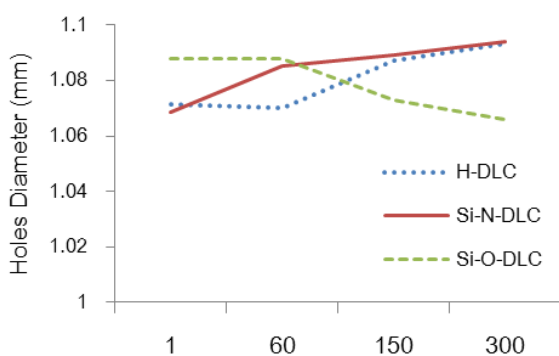
AMM-248



รูปที่ 3 ดอกสว่านที่ผ่านการเคลือบด้วย H-DLC หลังการเจาะที่ 300 รอบ

3.2 อิทธิพลของผิวเคลือบ DLC ที่ส่งผลต่อขนาดของรูเจาะ

จากผลการทดลองด้วยการเจาะจำนวน 300 รอบ รูปที่ 4 นั้น พบว่าแนวโน้มขนาดของรูเจาะไปในทิศทางเดียวกันกับขนาดของดอกสว่านที่วัดได้ดังรูปที่ 2 นั่นคือ ดอกสว่านที่เคลือบด้วย H-DLC และ Si-N-DLC หลังการเจาะที่ 300 รอบ จะส่งผลให้ขนาดของรูเจาะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับขนาดของดอกสว่านที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้น ดอกสว่านที่เคลือบด้วย Si-O-DLC แล้วทำการเจาะ จะส่งผลให้ขนาดของรูเจาะมีแนวโน้มเล็กลง ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของดอกสว่านที่วัดได้



รูปที่ 4 ขนาดของรูเจาะหลังทำการเจาะจำนวน 300 รอบ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของฟิล์มเคลือบคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC) ที่มีผลต่อการต้านทานการสึกหรอของดอกสว่านขนาดเล็กนั้น ผล

การทดลองพบว่าฟิล์มเคลือบ H-DLC และ Si-N-DLC นั้นสามารถช่วยลดการสึกหรอของดอกสว่านได้ โดยสามารถทำการเจาะครบ 300 รอบ ในขณะที่ฟิล์มเคลือบ Si-O-DLC นั้นดอกสว่านเกิดการสึกหรอและรูเจาะมีขนาดเล็กลง ส่วนฟิล์มเคลือบ Conventional DLC ไม่สามารถช่วยลดการสึกหรอของดอกสว่านได้ ทั้งนี้เนื่องจากความแข็งค่อนข้างต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อนข้างสูงและค่าความเค้นภายในฟิล์มสูงมาก

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ทุนอุดหนุน (ทุน ว.1) ประจำปีงบประมาณ 2557 รหัสโครงการ 2557A30602294

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kwak, S.C.H., Wang, J. and Chu, P.K. (2005). Surface energy, wettability, and blood compatibility phosphorus doped diamond-like carbon films, *Diamond and Related Materials*, vol. 14, January 2005, pp. 78-85.
- [2] Moolsradoo, N. and Watanabe, S. (2010). Modification of tribological performance of DLC films by means of some elements addition, *Diamond and Related Materials*, vol. 19, January 2010, pp. 525-529.
- [3] Moolsradoo, N., Abe, S. and Watanabe, S. (2011). Thermal stability and tribological performance of DLC-Si-O films, *Advanced in Materials Science and Engineering*, vol. 2011, Article ID 483437.
- [4] Jongwannasiri, C., Li, X. and Watanabe, S. (2013). Improvement of thermal stability and tribological performance of Diamond-Like Carbon composite thin films, *Advanced*

AMM-248

Science and Applications, vol. 4, 2013, pp. 630-636.

[5] Moolsradoo, N. and Watanabe, S. (2010). Modification of tribological performance of DLC films by means of some elements addition, *Diamond and Related Materials*, vol. 19, January 2010, pp. 525-529.

[6] Moolsradoo, N., Abe, S. and Watanabe, S. (2011). Thermal stability and tribological performance of DLC-Si-O films, *Advanced in Materials Science and Engineering*, vol. 2011, Article ID 483437.