

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการให้ความร้อนซ้ำต่อสมบัติทางไตรบอโลยี ของฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiN และ TiCN

Study on the Influence of Reheat Temperature on Tribological Properties of H-DLC, TiN and TiCN Coating Films

รัตติยา ropic ญัฏฐนันท์ มุลสระดู่*

ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ จ.กรุงเทพฯ 10140

อีเมล: nutthanun.moo@kmutt.ac.th*

Rattiya Robsuek, Nutthanun Moolsradoo*

Department of Production Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thung Khru, Bangkok 10140

E-mail: nutthanun.moo@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้คือศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการให้ความร้อนซ้ำที่ส่งผลต่อสมบัติทางไตรบอโลยีของฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiN และ TiCN ชิ้นงานทำจากวัสดุทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ ถูกเคลือบด้วยฟิล์ม H-DLC โดยกระบวนการ Plasma based ion implantation (PBII) ส่วนฟิล์มเคลือบ TiN และ TiCN ถูกเคลือบด้วยกระบวนการ Physical Vapour Deposition (PVD) ฟิล์มทั้งหมดถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C แล้วปล่อยให้เย็นตัวในเตา แล้วจึงนำไปอบซ้ำที่ 200°C ปล่อยให้เย็นตัวในเตา และ 300°C แล้วปล่อยให้เย็นตัวในเตาตามลำดับ เป็นระยะเวลาช่วงละ 1 ชั่วโมง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบทดสอบด้วยเครื่อง Tribometer แบบ ball on disk ผลการทดลองพบว่าฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ผ่านการอบซ้ำที่ 200°C และ 300°C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำเท่ากับ 0.05 และ 0.06 ตามลำดับ ส่วนฟิล์มเคลือบ TiN และ TiCN แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบซ้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดความเค้นภายในชั้นฟิล์ม และจะเสียหายที่อุณหภูมิการอบซ้ำ 300°C

คำหลัก สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, สมบัติทางไตรบอโลยี, อุณหภูมิการให้ความร้อนซ้ำ

Abstract

This research aimed to study the influence of reheat temperature on the tribological properties of H-DLC, TiN and TiCN films. Tungsten carbide samples were coated with H-DLC film deposited by Plasma based ion implantation (PBII) process. TiN and TiCN films were deposited by Physical Vapour Deposition (PVD) process. All films were heated at a temperature of 100°C and cool in furnace, then reheated at temperature of 200°C and cool in furnace, then 300°C and cool in furnace, respectively. Heat time was 1 hour. Friction coefficient of films was measured by Tribometer with ball on disk type. The results found that H-DLC film reheated at 200°C and 300°C had a low friction coefficient of 0.05 and 0.06, respectively. TiN and TiCN films were shown friction coefficient increase with increasing of reheat temperature due to internal stress in the films, and failed at reheat temperature of 300°C.

Keywords: Friction coefficient, Tribology property, Reheat temperature

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้จะพบว่า พิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เช่น TiC, TiCN, TiAlN, CrN, DLC และอื่นๆ ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมโทรศัพท์มือถือ และ อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องมือทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟิล์มเคลือบ DLC ซึ่งมีจุดเด่นในเรื่องความแข็งของฟิล์มมาก (High hardness) สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ (Low friction coefficient) ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ และการกัดกร่อนดี (Good wear and corrosion resistance) [1-4] อย่างไรก็ตามปัญหาของฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆนั้น เมื่อมีการใช้งานในสภาวะที่อุณหภูมิสูง มักจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าความเค้นภายในของฟิล์มเคลือบมีค่าสูงขึ้น และสมบัติของฟิล์มเคลือบเมื่อได้รับความร้อนเปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานที่มีสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูง อาจเกิดความเสียหายขึ้นได้

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการให้ความร้อนเข้าสู่ต่อสมบัติทางไทรบอโลยีซึ่งหมายถึงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiN และ TiCN โดยที่แผ่นชิ้นงานทำจากวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ถูกนำมาเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiN และ TiCN จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในเตา หลังจากนั้นนำชิ้นงานเดิมไปอบอีกครั้งที่ 200°C และ 300°C ตามลำดับ โดยใช้เงื่อนไขการอบเหมือนเดิม ฟิล์มเคลือบที่ได้จะถูกนำมาทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้วยเครื่องทดสอบ Tribometer แบบ Ball on disk

2. การดำเนินการทดลอง

2.1 การเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงานทำจากวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm ถูกเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiN และ TiCN ซึ่งฟิล์มเคลือบ H-DLC ใช้กระบวนการเคลือบแบบ Plasma based ion

implantation (PBII) โดยมีความหนาฟิล์มเท่ากับ 500 nm ส่วนฟิล์มเคลือบ TiN และ TiCN ใช้กระบวนการเคลือบแบบ Physical Vapour Deposition (PVD) ด้วยวิธี Sputtering โดยมีความหนาชั้นฟิล์ม $\approx 3 \mu\text{m}$ สมบัติทางกลของฟิล์มเคลือบแสดงในตารางที่ 1 และ atomic content ของฟิล์มเคลือบแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของฟิล์มเคลือบ [7]

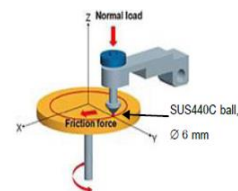
Film type	Hardness (GPa)	Roughness (Ra)
TiCN	31	0.06
TiN	29.8	0.06
H-DLC	12.2	0.04

ตารางที่ 2 ค่า atomic content percentage ของฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ

Film types	Atomic content percentage (at.%)		
	Ti	N	C
TiCN	67.79	28.30	3.91
TiN	67.60	32.40	-

2.2 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ฟิล์มเคลือบที่ได้ทั้งก่อนและหลังการอบซ้ำที่อุณหภูมิ 100°C, 200°C และ 300°C จะถูกนำมาทำการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้วยเครื่อง Tribometer แบบ Ball on disk ในการทดลองจะใช้บอลที่ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SUS440 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm น้ำหนักกด (Normal load) เท่ากับ 3 N ความเร็วเชิงเส้นเท่ากับ 3.14 cm/s จำนวนรอบในการหมุนทดสอบเท่ากับ 1,500 รอบ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 1

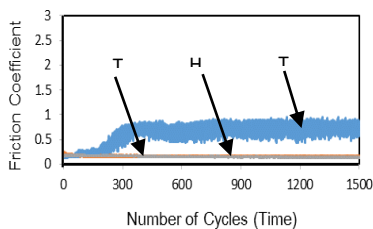


รูปที่ 1 การทดสอบ Ball on

3. ผลการทดลอง

3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบชนิดต่าง ๆ

รูปที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ทดสอบภายใต้อุณหภูมิห้องของฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiN และ TiCN ที่ไม่ผ่านการอบ จากการทดลองพบว่า ฟิล์มเคลือบ H-DLC มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุด เท่ากับ 0.15 รองลงมาคือ TiN และ TiCN ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.20 และ 0.75 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มเคลือบ H-DLC มีค่าความเรียบผิวน้อยที่สุด ดังตารางที่ 1 จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อยที่สุด ส่วนฟิล์มเคลือบ TiN ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีความแข็งสูงอีกทั้งยังมีไนโตรเจนในปริมาณที่มาก ซึ่งช่วยทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำลง ดังตารางที่ 2

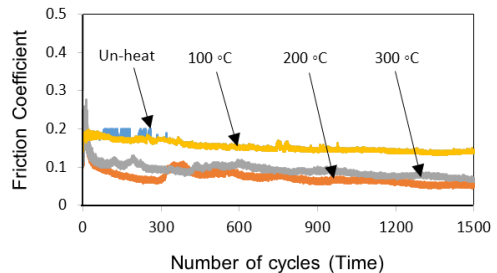


รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบที่ไม่ผ่านการอบ

3.2 อิทธิพลของอุณหภูมิจากการให้ความร้อนซ้ำที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC

จากรูปที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100°C แล้วอบซ้ำที่ 200°C และ 300°C ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100°C และอบซ้ำที่ 200°C และ 300°C มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.16, 0.05 และ 0.06 ตามลำดับ ผลดังกล่าวพบว่า เมื่อฟิล์มเคลือบถูกให้ความร้อนจากการอบซ้ำที่ 200°C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำลง อาจจะเนื่องจาก

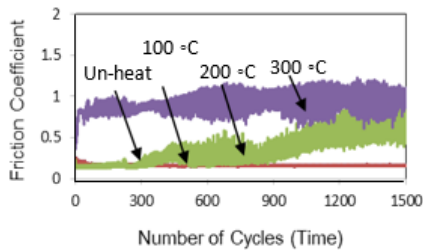
การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน [6] บนชั้นผิวฟิล์ม ซึ่งออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น [9] ทำให้บนชั้นฟิล์มที่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวมีสมบัติที่ลื่นขึ้น จนส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำลง และยังคงสามารถรักษาสสมบัติของฟิล์มได้ถึงอุณหภูมิอบซ้ำที่ 300°C



รูปที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ผ่านและไม่ผ่านการอบซ้ำ

3.3 อิทธิพลของอุณหภูมิจากการให้ความร้อนซ้ำที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiN

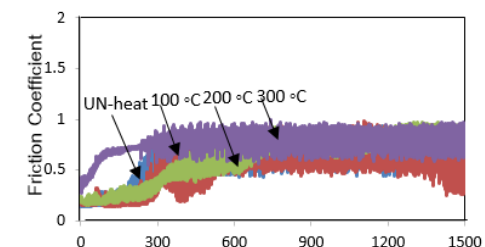
รูปที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiN ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100°C แล้วอบซ้ำที่ 200°C และ 300°C ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiN ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100°C และอบซ้ำที่ 200°C และ 300°C มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.2, 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ ผลดังกล่าวสามารถระบุได้ว่า ฟิล์มเคลือบ TiN เมื่อได้รับความร้อนจากการอบซ้ำ จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มมากขึ้น อาจจะเป็นเนื่องจากการเกิดความเค้นภายในชั้นฟิล์มที่มากขึ้น [9] แต่ยังคงสามารถรักษาสสมบัติของฟิล์มได้ถึงอุณหภูมิอบซ้ำที่ 200°C และฟิล์มจะเกิดความเสียหายเมื่อผ่านการอบซ้ำอีกครั้งที่ 300°C



รูปที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiN ที่ผ่านและไม่ผ่านการอบซ้ำ

3.4 อิทธิพลของอุณหภูมิจากการให้ความร้อนซ้ำที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiCN

จากรูปที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiCN ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100°C แล้วอบซ้ำที่ 200°C และ 300°C ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiCN ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100°C และอบซ้ำที่ 200°C และ 300°C มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.5, 0.55 และ 0.8 ตามลำดับ นอกจากนั้นผลดังกล่าวยังสามารถระบุได้ว่า ฟิล์มเคลือบ TiCN เมื่อได้รับความร้อนจากการอบซ้ำ จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มมากขึ้น อาจจะเป็นเนื่องจากการเกิดความเค้นภายในชั้นฟิล์มที่มากขึ้น [9] แต่ยังคงสามารถรักษาสสมบัติของฟิล์มได้ถึงอุณหภูมิอบซ้ำที่ 200°C และฟิล์มจะเกิดความเสียหายเมื่อผ่านการอบซ้ำอีกครั้งที่ 300°C



รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiCN ที่ผ่านและไม่ผ่านการอบซ้ำ

4. สรุป

จากผลการทดลองพบว่าฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ผ่านการอบซ้ำที่อุณหภูมิ 200°C และ 300°C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำเท่ากับ 0.05 และ 0.06 ตามลำดับ และต่ำกว่าฟิล์ม H-DLC ที่ไม่ผ่านการอบ ทั้งนี้เนื่องจากเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ชั้นผิวฟิล์ม ส่วนฟิล์มเคลือบ TiN และ TiCN พบว่า เมื่อได้รับความร้อนจากการอบซ้ำ จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเกิดความเค้นภายในชั้นฟิล์มที่มากขึ้น และฟิล์มจะเกิดความเสียหายเมื่อผ่านการอบซ้ำอีกครั้งที่ 300°C

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ได้สนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นทุนวิจัยหมวดเงินอุดหนุนที่ได้รับการจัดสรรจากรัฐ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการศึกษาวิจัย

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] Cruz, R., Rao, J., Rose, T., Lawson, K. and Nicholls, J.R. (2006). DLC-ceramic multilayers for automotive applications, *Diamond and Related Materials*, vol. 15, November-December 2006, pp. 2055-2060.
- [3] Shirakura, A., Nakaya, M., Koga, Y., Kodama, H., Hasebe, T. and Suzuki, T. (2006). Diamond-like carbon films for PET bottles and medical applications, *Thin Solid Films*, vol. 494, January 2006, pp. 84-91.

- [4] Dillon, R.O., Woollam, J.A. and Katkanant. (1984). Use of Raman scattering to investigate disorder and crystallite formation in as-deposited and annealed carbon films, *Physical Review B*, vol. 29, 1984, pp. 3482-3489.
- [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.
- [7] Sresomroeng, B., Premanond, V., Kaewtatip, P., Khantachawana, A., Koga, N. and Watanabe, S. (2010). Anti-adhesion performance of various nitride and DLC films against high strength steel in metal forming operation, *Diamond and Related Materials*, vol. 19, January 2010, pp. 833-836.
- [8] ญาณี กลั่นภูมิศรี, ณัชชา ขุนศิริมา, รชฏ เจริญธรรม, Shuichi Watanabe, ญัฐนันท์ มุลสระคู่, 2557, การศึกษาอิทธิพลของความร้อนที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ ฟิล์มเคลือบคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC) (Study on the Influence of Thermal on Friction Coefficient of Diamond-Like Carbon (DLC) Film), การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 28, 15-17 ตุลาคม, ขอนแก่น
- [9] Fahline, D.E., Master, C.B. and Salaman, N.J. (1991). Thin film stresses from nonspherical substrate bending measurement, *Journal of Vacuum Science and Technology*, Vol. A 9, pp. 2483-2487