

การสึกหรอของผิวคู่สัมผัสระหว่าง SKD11 ที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304

จิราพร ศรีประเสริฐ¹ อนรรฆม์ ชันชะชวณะ² วารุณี เปรมานนท์³
และ พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์⁴

Abstract

Sriprasird, J., Khantachawana, A., Premanond, V. and Kaewtatip, P.
Wear behavior of contacting between thin film coating on SKD11 ball and
304 stainless steel disk
Songklanakarin J. Sci. Technol., 2007, 29(6) : 1591-1598

Wear is a well known problem in metal stamping die, especially on the die working with stainless steel workpiece, in which wear rate is severe. This research considered various types of material coating on tool surface which were regularly practised in modern stamping industry due to the ability to increase wear resistance. The model study of friction "Ball-on-disk" technique was employed throughout this work. The disk was made from stainless steel austenitic grade (SUS304). The ball was made from cold work tool steel, SKD11 (JIS) and was hardened to 60 ± 2 HRC. Ball surface conditions selected for this work were non-coated, coated by TiC-CVD, TiCN (TiC/TiCN/TiN Multilayer)-CVD and TiCN (TiN/TiCN Double layer)-PVD, and

Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Tongkru, Bangkok 10140 Thailand.

¹วศ.บ. (เครื่องมือและวัสดุ) ²D.Eng. (Materials Science and Engineering) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ³Ph.D. (Manufacturing and Mechanical Engineering) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ ⁴D.Eng. (Mechanical Engineering) รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Corresponding e-mail: varunee.pre@kmutt.ac.th

รับต้นฉบับ 10 ตุลาคม 2549 รับลงพิมพ์ 7 กันยายน 2550

treated by VC-TD. Tests were carried out without lubricant. The results show that the coating film and the surface treatment has no effect on the friction coefficient but it can reduce wear rate by 64.1-99.7% at contact pressure condition less than 1,100 MPa. At the higher level of contact pressure, only 2 types of coating, TiCN (Multilayer)-CVD and TiC-CVD, can reduce wear rate. The other two, which are TiCN (Double layer)-PVD coating film and a surface treatment by VC-TD process, on the contrary increase the rate of wear significantly. This is due to delamination of coating film at high contact pressure. The coating particles of high hardness accelerate wear phenomenon on the tool surface. Therefore, proper selection of tool surface condition depends on level of contact pressure generated in the process.

Key words : tribology, friction, wear, wear rate, coating film

บทคัดย่อ

จิราพร ศรีประเสริฐ อนุธรรม ชันชะชวณะ วารุณี เปรมานนท์ และ พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์
การสึกหรอของผิวคู่สัมผัสระหว่าง SKD11 ที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ กับ
เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2550 29(6) : 1591-1598

การสึกหรอที่เกิดในแม่พิมพ์ปั๊มโลหะเป็นปัญหาสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิม การสึกหรอจะเกิดขึ้นค่อนข้างเร็วและรุนแรง งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการปรับสภาพผิวและการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในงานแม่พิมพ์ปั๊มโลหะในปัจจุบัน เนื่องจากการปรับสภาพผิวและการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ ซึ่งการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจกลไกของการสึกหรอที่เกิดขึ้นนั้นทำได้ยากและมีค่าใช้จ่ายสูง งานวิจัยนี้จึงทำการจำลองการสึกหรอโดยใช้เครื่อง Tribometer แบบ Ball-on-disk โดย Disk หรือ แผ่นจาน ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดออสเทนนิค (SUS304) ส่วน Ball ทำจากเหล็กเครื่องมืองานเย็น (SKD11-JIS) ชุบแข็ง 60 ± 2 HRC ซึ่งบอลจะมีทั้งแบบไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วย TiCN (TiN/TiCN-Double layer) กรรมวิธี PVD, TiCN (TiC/TiCN/TiN-Multilayer) กรรมวิธี CVD, TiC กรรมวิธี CVD และปรับสภาพผิวด้วย VC กรรมวิธี TD ซึ่งการทดสอบทำในสภาวะไม่มีการหล่อลื่น โดยจะเป็นการทดสอบเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการพิจารณาเลือกใช้การปรับสภาพผิวหรือชนิดของฟิล์มแข็งเคลือบผิวที่เหมาะสม จากผลการทดสอบพบว่า การปรับสภาพผิวและชนิดของฟิล์มแข็งเคลือบผิวไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน แต่การปรับสภาพผิวและฟิล์มแข็งเคลือบผิวทุกชนิดจะช่วยลดอัตราการสึกหรอลงได้เมื่อแรงดันสัมผัสมีค่าน้อยกว่า 1,100 MPa โดยจะช่วยลดอัตราการสึกหรอได้ถึง 64.1-99.7% เมื่อเทียบกับกรณีไม่เคลือบผิว แต่เมื่อแรงดันสัมผัสมีค่าสูงกว่านั้น ฟิล์มแข็ง TiCN (Multilayer)-CVD และ TiC-CVD มีแนวโน้มจะใช้ได้ในกรณีที่แรงดันสัมผัสมีค่าสูงถึง 1,380 MPa แต่ประสิทธิภาพในการลดอัตราการสึกหรอจะมีน้อยลง เมื่อค่าแรงดันสัมผัสเพิ่มขึ้น แต่ฟิล์มแข็ง TiCN (Double layer)-PVD และการปรับสภาพผิวด้วย VC-TD ไม่เหมาะสมกับกรรมวิธีขึ้นรูปที่มีค่าแรงดันสัมผัสเกิน 1,100 MPa โดยประมาณ เนื่องจากเกิดการหลุดลอกของชั้นฟิล์มและอนุภาคดังกล่าวหลุดผิวชิ้นงาน ทำให้เร่งอัตราการสึกหรอให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการเลือกการปรับสภาพผิวหรือชนิดของฟิล์มแข็งเคลือบผิวให้เหมาะสมกับกรรมวิธีการขึ้นรูป จำเป็นต้องทราบค่าแรงดันสัมผัสที่เกิดขึ้นกับผิวแม่พิมพ์ในขณะขึ้นรูปชิ้นงานแต่ละกรรมวิธี

การชุบเคลือบผิวได้เกิดขึ้นกว่า 30 ปีมาแล้ว โดยในช่วงแรกยังไม่มียานวิจัยเกิดขึ้นมากนัก แต่จะเป็นการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการของผู้ผลิตเอง และในช่วง 20 ปี

ที่ผ่านมาแม้จะมีงานวิจัยเกิดขึ้นมากมาย แต่งานวิจัยดังกล่าวจะเน้นศึกษาคุณสมบัติของชนิดของฟิล์มเคลือบผิวและการปรับสภาพผิว เช่น การทดสอบการขีดข่วน เปรียบเทียบ

ความสามารถในการเกาะยึดของผิวฟิล์ม (Steinmann และคณะ, 1987; Bull และคณะ, 2003b; Te Hua Fang และคณะ, 2004) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มเคลือบผิว (Bull และคณะ, 2003a) การศึกษาเวลาและอุณหภูมิของกระบวนการที่มีผลต่อความหนาชั้นฟิล์ม (Sen, 2005) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและอัตราการสึกหรอของการเคลือบผิวและการปรับสภาพผิวอยู่บ้าง โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องไทรโบมิเตอร์ (Bull และคณะ, 2003b; Polcar และคณะ, 2005a; Polcar และคณะ, 2005b; Sen, 2005) โดยทำการชุบเคลือบผิวลงบนวัสดุที่ทำให้ความคงทนของชั้นฟิล์มได้ดี และในประเทศไทยเองยังมีงานวิจัยในเรื่องของการชุบผิวน้อยมาก โดยในปี 2547 ญัตตินันท์ ได้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยใช้เครื่องทดสอบไทรโบมิเตอร์ แบบ Ball-on-disk โดยทำการเคลือบผิว และปรับสภาพผิวลงบนวัสดุแม่พิมพ์ SKD11 ทดสอบกับวัสดุชิ้นงาน SUS304 ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้มีประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมมาก เนื่องจากสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น เพื่อใช้ในการเลือกชนิดของฟิล์มเคลือบผิวหรือการปรับสภาพผิวที่เหมาะสมกับแม่พิมพ์ภายใต้ค่าแรงดันสัมผัสที่กำหนด นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ร่วมมือกับโรงงานอุตสาหกรรมโดยทำการชุบเคลือบผิวลงบนแม่พิมพ์จริงเพื่อหาชนิดของฟิล์มเคลือบผิวหรือการปรับสภาพผิวที่เหมาะสมกับกระบวนการนั้นๆ (ปกรณ์, 2549; บัญชา และคณะ, 2548) ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้จะทำการทดสอบเพื่อศึกษากลไกทางไทรโบโลยี (tribology) ซึ่งได้แก่ ความเสียดทานและการสึกหรอ โดยใช้เครื่องไทรโบมิเตอร์ที่จำลองการเสียดสีของพื้นผิวคู่สัมผัสโดยไม่เกิดค่าใช้จ่ายสูงเหมือนกับแม่พิมพ์จริงที่มีราคาแพง โดยจะเป็นการทดสอบเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการพิจารณาเลือกใช้ฟิล์มเคลือบ หรือการปรับสภาพผิวที่เหมาะสม การทดสอบมุ่งเน้นการสึกหรอที่เกิดกับวัสดุทำพิมพ์ SKD11 ที่ผ่านการปรับสภาพผิวและเคลือบผิวด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ ที่เหมาะกับงานแม่พิมพ์ขึ้นรูปวัสดุชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค (SUS304) โดยจะทำการวัดการสึกหรอจากปริมาตรที่หายไปของวัสดุบอลและอัตราการสึกหรอซึ่งเป็นอัตราส่วนของปริมาตร การสึกหรอต่อระยะเคลื่อนที่สัมผัส (Bhushan, 2001) ภายใต้แรงดันสัมผัส (Contact pressure) ต่างๆ

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เครื่องไทรโบมิเตอร์แบบ Ball-on-disk (ASTM G133-95) มีหลักการทำงานดังแสดงใน Figure 1 กำหนดแรงกด (normal load, N) คงที่บนบอล โดยบอลจะยึดไว้กับคานที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงเสียดทาน (F) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) จึงสามารถคำนวณได้โดยตรงจากสมการที่ 1

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (1)$$

ลูกบอลและแผ่นจานมีขนาดตามมาตรฐาน ASTM G135-95 โดยแผ่นจาน (Disk) ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm หนา 5-9 mm ส่วนบอลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm ทำจากเหล็กเครื่องมืองานเย็น (SKD11) ชุบแข็ง 60 ± 2 HRC รายละเอียดแสดงใน Table 1 ทดสอบภายใต้สภาวะการเสียดสีโดยไม่มีการหล่อลื่น ใช้น้ำหนักกด (normal load) 1, 5 และ 10 N เพื่อที่จะให้สามารถแปรเป็นแรงดันสัมผัส (contact pressure) ในช่วงกว้างที่ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดในงานขึ้นรูปโลหะได้ ซึ่งน้ำหนักกดทั้ง 3 ระดับ จะทำให้ได้ค่าแรงดันสัมผัส 640, 1,095 และ 1,380 MPa ตามลำดับ และใช้ความเร็วเชิงเส้นคงที่ตลอดการทดลอง 100 mm/s

ในการทดสอบ ใช้แผ่นจานแทนวัสดุชิ้นงานและบอลจำลองวัสดุทำพิมพ์ การวิเคราะห์จะมุ่งเน้นที่การสึกหรอของ

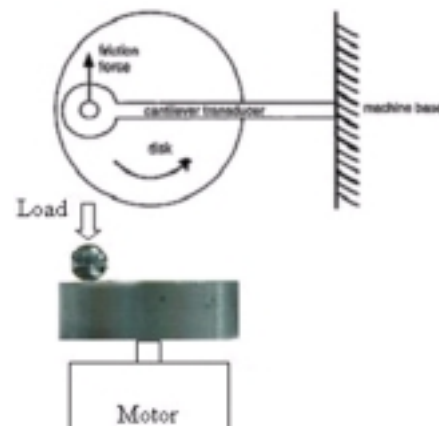


Figure 1. Schematic diagram of ball-on-disk tribometer. (Schey, 1984)

Table 1. Microhardness (HV) of coating film and treated surface.

Coating film and treated surface	Microhardness* (HV)
Non-coated	707.7
TiCN (TiN/TiCN) - PVD	2500
TiCN (TiC/TiCN/TiN) - CVD	2900
TiC - CVD	3800
VC - TD	3022

* : Microhardness of non-coated tool was obtained from measurement but those of coating film and treated surface were obtained from manufacturer.

บอล เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมที่เกิดกับวัสดุทำพิมพ์ที่มีการชุบเคลือบผิวต่างชนิดกัน แต่เนื่องจากแผ่นงานมีความแข็งน้อยกว่าบอล การสึกหรอจึงเกิดขึ้นที่แผ่นงานได้ง่าย ทำให้ขนาดของร่องที่บอลเคลื่อนที่บนแผ่นงานนั้นมีค่ามากขึ้น อาจจะทำให้ค่าแรงดันสัมผัสเปลี่ยนไปได้ ดังนั้นเพื่อรักษาสถานะของค่าแรงดันสัมผัส จึงได้ทำการจำกัดขนาดความกว้างของร่องไม่ให้เกิน 600 ไมโครเมตร

นำบอลมาทำการตรวจสอบการสึกหรอ โดยการนำบอลมาถ่ายรูปเพื่อวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยสึกหรอ (ระยะ s จาก Figure 2) ที่หายไป แล้วนำไปคำนวณหาปริมาตรการสึกหรอ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 หรือสมการที่ 3

$$v = \pi h^2 \left(r - \frac{h}{3} \right) \tag{2}$$

หรือ
$$v = \pi h \left[\frac{s^2}{8} + \frac{h^2}{6} \right] \tag{3}$$

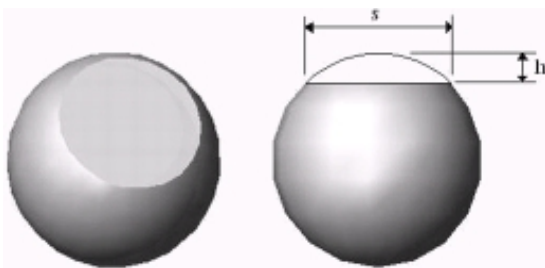


Figure 2. Realistic dimensional modeling for wear geometry (on ball).

V คือ ปริมาตรการสึกหรอ (mm³)

r คือ รัศมีของลูกบอล (mm)

s คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรอยสึก (mm)

h คือ ระยะจากส่วนโค้งของลูกบอลถึงรอยสึก (mm) หาได้จากสมการที่ 4

$$h = \frac{8r - \sqrt{64r^2 - 16s^2}}{8} \tag{4}$$

อัตราการสึกหรอ เป็นอัตราส่วนของปริมาตรการสึกหรอต่อระยะเคลื่อนที่สัมผัส ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$\text{Wear rate} \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{m}} \right) = \frac{\text{Wear volume}(\text{mm}^3)}{\text{Sliding distance}(\text{m})} \tag{5}$$

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

อิทธิพลของการปรับสภาพผิว และการเคลือบผิวที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวคู่สัมผัสระหว่างวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับเหล็กเครื่องมืองานเย็น SKD11 ที่ไม่ได้ทำการชุบเคลือบผิว เปรียบเทียบกับบอลที่ผ่านการปรับสภาพผิว และเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งชนิดต่างๆ ในสถานะที่ไม่มีการหล่อลื่น แสดงใน Figure 3 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจน เมื่อนำไปคำนวณทางสถิติ ผลทางสถิติแสดงให้เห็นว่าบอลที่ผ่านการปรับสภาพผิวและเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งชนิดต่างๆ และค่าแรงดันสัมผัสไม่มีอิทธิพลที่ชัดเจนต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การสึกหรอของวัสดุทำพิมพ์

ตัวอย่างปริมาณการสึกหรอของบอล SKD11-Non coated แสดงใน Figure 4 จะเห็นได้ว่าปริมาณการสึกหรอจะแปรผันตามระยะเคลื่อนที่สัมผัส และค่าแรงดันสัมผัส เนื่องจากการเคลื่อนที่สัมผัสภายใต้ค่าแรงดันสัมผัสที่มากขึ้น ทำให้เกิดการยึดติดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการสึกหรอมากขึ้น ซึ่งการสึกหรอของบอลที่ปรับสภาพผิว และเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งชนิดต่างๆ ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน

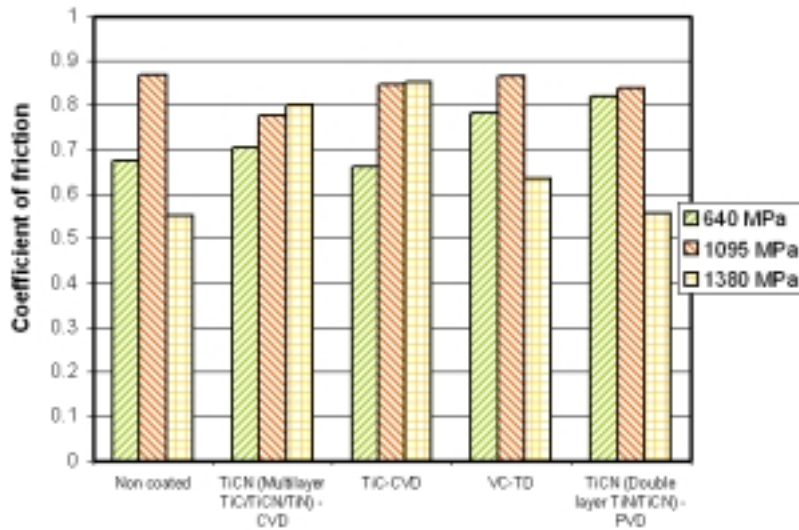


Figure 3. Coefficient of friction.

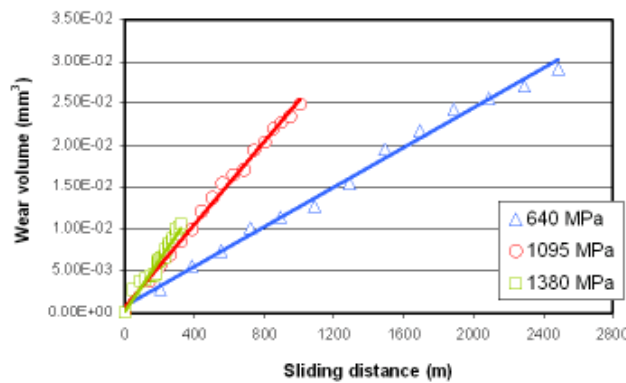


Figure 4. Wear volume of SKD11-Non-coated ball.

อิทธิพลของการชุบเคลือบผิวที่มีต่ออัตราการสึกหรอของผิวคู่สัมผัสระหว่าง SUS304 และ SKD11

เมื่อทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสึกหรอของแม่พิมพ์ และค่าแรงดันสัมผัส ของผิวคู่สัมผัสระหว่าง SUS304 และ SKD11 ดังแสดงใน Figure 5 จะเห็นว่าอัตราการสึกหรอจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงดันสัมผัสสูงขึ้น และจะเห็นได้ว่ากรณีที่แรงดันสัมผัสมีค่าน้อยกว่า 1,100 MPa บอลที่ปรับสภาพผิวและเคลือบผิวด้วยฟิล์มทุกชนิดจะช่วยลดอัตราการสึกหรอได้ แต่กรณีที่แรงดันสัมผัสมีค่าสูงขึ้นกว่านั้น บอลที่ปรับสภาพผิวและเคลือบผิวด้วยฟิล์มบางชนิดเกิดการสึกหรอเพิ่มมากขึ้นกว่ากรณีไม่ได้เคลือบผิว ดังนั้นเพื่อให้เห็นแนวโน้มชัดเจนยิ่งขึ้น จะทำการพิจารณา

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสึกหรอกับชนิดของการปรับสภาพผิว และการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งชนิดต่างๆ สำหรับแต่ละค่าแรงดันสัมผัสแยกออกจากกัน ดังแสดงใน Figure 6-8

อิทธิพลของการปรับสภาพผิวและการเคลือบผิวที่มีผลต่ออัตราการสึกหรอ แสดงใน Figure 6-8 พบว่ากรณีที่แรงดันสัมผัสมีค่าไม่มากนัก คือ 640 MPa (Figure 6) การปรับสภาพผิวและการเคลือบผิวด้วยฟิล์มทุกชนิดจะช่วยลดอัตราการสึกหรอได้อย่างชัดเจน การเคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ TiCN (Multilayer)-CVD จะช่วยลดอัตราการสึกหรอได้มากที่สุด โดยลดอัตราการสึกหรอได้ถึง 99.7% ส่วนฟิล์มเคลือบ TiC-CVD จะช่วยลดอัตราการสึกหรอได้

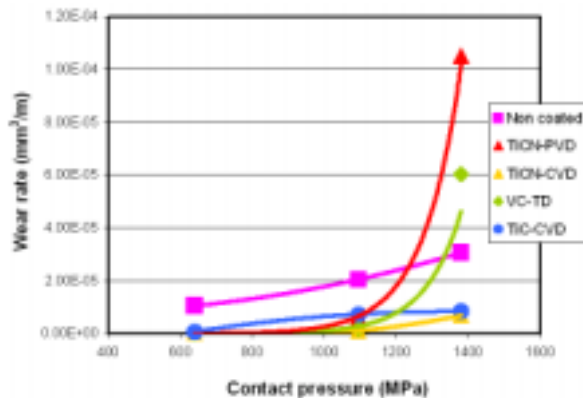


Figure 5. The influence of contact pressure on wear rate of coating surface.

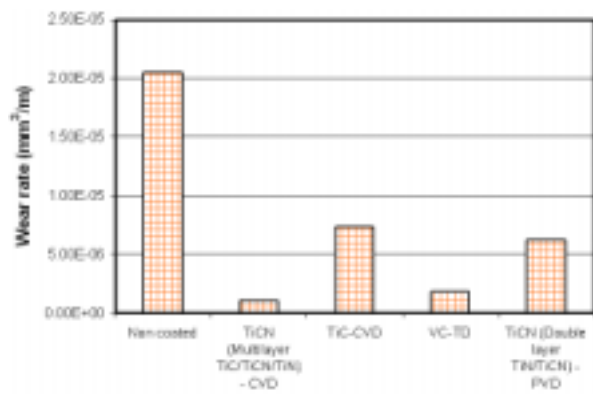


Figure 7. Wear rate under contact pressure 1,095 MPa

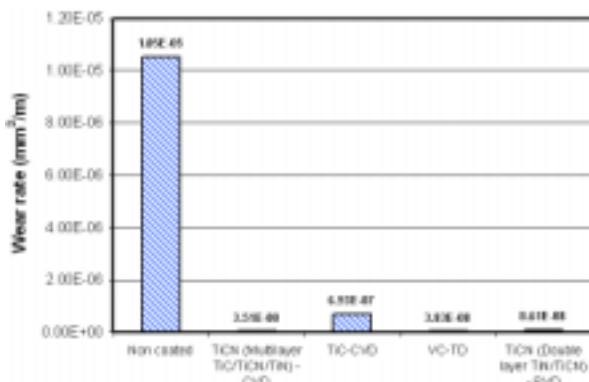


Figure 6. Wear rate under contact pressure 640 MPa

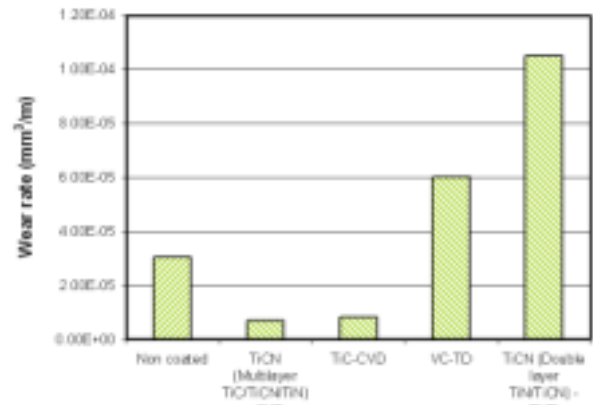


Figure 8. Wear rate under contact pressure 1,380 MPa

น้อยที่สุด แต่ก็ยังลดอัตราการสึกหรอได้ถึง 93.4% เมื่อเทียบกับกรณีไม่เคลือบผิว

และเมื่อค่าแรงดันสัมผัสเพิ่มขึ้นเป็น 1,095 MPa (Figure 7) พบว่าการปรับสภาพผิวและการเคลือบผิวด้วยฟิล์มทุกชนิดยังสามารถลดอัตราการสึกหรอได้อย่างชัดเจนเช่นเดียวกัน แต่สัดส่วนการลดอัตราการสึกหรอจะไม่มากเท่ากรณีแรงดันสัมผัส 640 MPa โดยในกรณีนี้ฟิล์มเคลือบ TiCN (Multilayer)-CVD ยังคงทำให้อัตราการสึกหรอลดลงมากที่สุดเหมือนเดิม นั่นคือสามารถลดอัตราการสึกหรอได้ถึง 95% ส่วนฟิล์มเคลือบ TiC-CVD นั้นสามารถช่วยลดอัตราการสึกหรอได้น้อยที่สุดในกรณีนี้ แต่ก็ยังลดอัตราการสึกหรอได้ถึง 64.1% เมื่อเทียบกับกรณีไม่เคลือบผิว

อย่างไรก็ตาม เมื่อค่าแรงดันสัมผัสสูงขึ้นถึง 1,380 MPa (Figure 8) ผลที่ได้กลับแตกต่างกับกรณีอื่นอย่างชัดเจน นั่นคือเฉพาะฟิล์ม TiCN (Multilayer)-CVD และฟิล์ม TiC-CVD เท่านั้นที่ช่วยลดอัตราการสึกหรอลงได้เมื่อเทียบกับกรณีไม่เคลือบผิว แต่จะลดลงในสัดส่วนที่น้อยลง นั่นคือลดลงเท่ากับ 77.6% และ 72.8% ตามลำดับ ในขณะที่การปรับสภาพผิวด้วย VC-TD และฟิล์มเคลือบ TiCN (Double layer)-PVD กลับทำให้อัตราการสึกหรอเพิ่มมากขึ้นหลายเท่าตัวเมื่อเทียบกับกรณีไม่เคลือบผิว ทั้งนี้สามารถอธิบายได้คือ ในขณะที่เกิดการเคลื่อนที่สัมผัสระหว่างผิวคู่สัมผัส ในกรณีที่แรงดันสัมผัสมีค่าสูงมากจะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มีค่าสูงมากขึ้น จะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่มีค่า

สูงมากขึ้น ซึ่งแรงเสียดทานดังกล่าวเป็นแรงเฉือนที่กระทำกับผิวที่ผ่านการปรับสภาพและผิวเคลือบ ซึ่งถ้าผิวดังกล่าวบางชนิดที่มีแรงยึดเหนี่ยวกับผิวแม่พิมพ์ (adhesive force between thin film and substrate) มีค่าน้อย จะทำให้การหลุดลอกเกิดขึ้นได้ง่าย ซึ่งการหลุดลอกของฟิล์มสามารถยืนยันได้ด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM) (แสดงใน Table 2) ซึ่งเห็นขอบระหว่างชั้นฟิล์มกับ substrate ได้ชัดเจน และเนื่องจากผิวที่หลุดออกมาเป็นอนุภาคของสารประกอบที่มีความแข็งสูงมากเมื่อเทียบกับความแข็งของผิวแม่พิมพ์ อนุภาคดังกล่าวจะขูดผิวแม่พิมพ์ทำให้อัตราการสึกหรอมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว


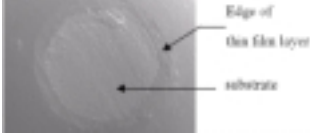
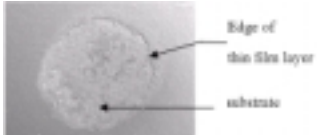
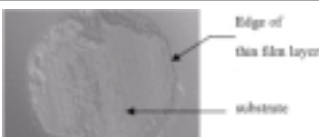
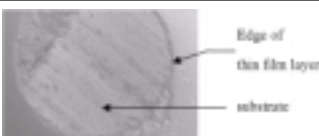
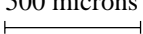
สรุปผลการทดลอง

ที่แรงดันสัมผัสน้อยกว่า 1,100 MPa บอลที่ผ่านการปรับสภาพผิว และเคลือบผิวด้วยฟิล์มทุกชนิด จะช่วยลดอัตราการสึกหรอลงได้ถึง 64.1-99.7% เมื่อเทียบกับกรณีไม่เคลือบผิว

การปรับสภาพผิวด้วย VC กรรมวิธี TD และการเคลือบผิวด้วยฟิล์ม TiCN (Double layer) กรรมวิธี PVD ไม่เหมาะสมกับกรรมวิธีขึ้นรูปที่มีค่าแรงดันสัมผัสเกิน 1,100 MPa โดยประมาณ

การเคลือบผิวด้วยฟิล์ม TiCN (Multilayer) กรรมวิธี CVD และ TiC กรรมวิธี CVD มีแนวโน้มจะใช้ได้กับ

Table 2. Microstructure of wear scars on balls under contact pressure 1,380 MPa.

Coating film and treated surface	Wear scars on balls
SKD11 Non-coated	
TiCN (Multilayer)-CVD	
TiC-CVD	
TiCN (Double layer)-PVD	
VC-TD	
Scale	500 microns 

กรณีที่แรงดันสัมผัส มีค่าสูงถึง 1,380 MPa แต่ประสิทธิภาพในการลดอัตราการสึกหรอจะน้อยลงเมื่อค่าแรงดันสัมผัสเพิ่มขึ้น

การเลือกใช้ฟิล์มแข็งเคลือบผิว หรือการปรับสภาพผิวให้เหมาะสมกับกรรมวิธีการขึ้นรูป จำเป็นต้องทราบค่าแรงดันสัมผัสที่เกิดขึ้นกับผิวแม่พิมพ์ในขณะที่ขึ้นรูปชิ้นงานแต่ละกรรมวิธี เพื่อจะได้เลือกใช้ได้อย่างเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และสถาบันไทยเยอรมัน (TGI) ที่สนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณในความร่วมมือน้ำใจที่ทางบริษัท U.T.T Engineering Co., Ltd. และบริษัท U.I. Engineering Co., Ltd. มอบให้ โดยให้การเอื้อเฟื้อเคลือบผิวชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย และให้ข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐนันท์ มูลสระคู่. 2548. การศึกษาพฤติกรรมด้านไดรบอลอย์ของผิวคู่สัมผัสระหว่างบอลเหล็กกล้ากับผิวเคลือบ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19 ภูเก็ต 19-21 ตุลาคม 2548, หน้า 1-5.
- บัญชา นันตะสุพรรณ มนตรี สำเภาเพชร และธีรทัศน์ พรยงยืน. 2548. การศึกษาเพื่อลดการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดโดยกรรมวิธีเคลือบผิว. โครงการงานปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ
- ปรกรณ์ ชูมรม. 2549. การยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ตัดเฉือนเหล็กเหนียวโดยการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ
- ปนัดดา นิรนาทลำพองศ์ ผกามาศ แซ่ห้วง วารุณี เปรมานนท์ สุรพล ราษฎร์นุ้ย สิทธิชัย วิโรจนูปถัมภ์ และ Pearce John T.H. 2545. การสึกหรอ. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, หน้า 9-36, 122-135.

วารุณี เปรมานนท์. 2547. พฤติกรรมด้านไดรบอลอย์ของผิวสัมผัสระหว่างเหล็กทำพิมพ์และเหล็กกล้าไร้สนิม โดยการจำลองการทำงานบนเครื่องแบบ Ball-on-disk. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 ขอนแก่น (18-20 ตุลาคม 2547), หน้า 1-5.

ASTM G133-95. Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear, p. 523-536.

Bhushan, B. 2001. Modern Tribology Handbook, CRC Press LLC, United State of America

Bull, S.J., Bhat, D.G. and Staia, M.H. 2003a. "Properties and performance of commercial TiCN coatings. Part 1 : coating architecture and hardness modeling". J. Surf. Coat. Technol. 163-164: 499-506.

Bull, S.J., Bhat, D.G. and Staia, M.H. 2003b. "Properties and performance of commercial TiCN coating. Part 2 : tribological performance", J. Surf. Coat. Technol. 163-164: 507-514.

Polcar, T., Kubart, T., Novak, R., Kopecky, L. and Siroky, P. 2005a. "Comparison of tribological behaviour of TiN, TiCN and CrN at elevated temperatures", J. Surf. Coat. Technol. 193(1-3): 192-199.

Polcar, T., Novak, R. and Siroky, P. 2005b. "The tribological characteristics of TiCN coating at elevated temperatures", J. Wear. 260(1-2): 40-49.

Schey, John A. 1984. Tribology in Metalworking. The American Society for Metals, United State of America

Sen, U. 2005. Friction and wear properties of thermo-reactive diffusion coatings against titanium nitride coated steels, J. Materials & Design. 26(2): 167-174.

Steinmann, P.A., Tardy, Y. and Hintermann, H.E. 1987. "Adhesion Testing By The Scratch Test Method: The Influence of Intrinsic and Extrinsic Parameters on The Critical Load", J. Thin Solid Films. 154(1-2): 333-349.

Te-Hua Fang and Sheng-rui Jian. 2004. "Nanomechanical properties of TiC, TiN and TiCN thin films using scanning probe microscopy and Nano-indentation", J. Surf. Sci. 228: 365-372.