

การศึกษาชนิดของฟิล์มเคลือบแข็งและความแข็งแรงของวัสดุ
ที่ส่งผลต่อปริมาณการสึกหรอ โดยการทำงานด้วยวิธี Ball-on-disk

The study type of Hard Film Coating and Strength of Materials to Wear Volume

By Ball-on-disk technique

คมกริช ละวรรณวงษ์¹ ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเร้ง² วารุณี เปรมานนท์³

Komgrit Lawanwong, Bhadpiroon Sresomroeng, Varunee Premanond

¹ สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมการออกแบบแม่พิมพ์ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110,

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยปทุมธานี อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000 ³ ภาควิชาเครื่องมือและวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กทม. 10140

E-mail : Komgrit.law@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับชนิดของการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็ง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในงานแม่พิมพ์ปั๊มโลหะในปัจจุบัน เนื่องจากการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งจะช่วยเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ ในงานวิจัยนี้จึงทำการจำลองการสึกหรอบนเครื่อง Tribometer โดยทำการจำลองด้วยวิธี Ball-on-disk ซึ่ง Disk ทำจากวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง 3 เกรด คือ SAPH 440, SPFH 590 และ SPFC 780 หนา 2 mm และ Ball ทำจากเหล็กเครื่องมืองานเย็น (SKD11-JIS) ชุบแข็งก่อนเคลือบ 60 ± 2 HRC ซึ่งบอลจะมีทั้งแบบไม่เคลือบผิวและเคลือบผิวด้วยกรรมวิธี TiAlN, TiN และ TiCN-CVD ทำการวิจัยภายใต้สภาวะไม่ใช้สารหล่อลื่นและควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ทุกการทดลองใช้น้ำหนักกดเท่ากันคือ 10N ความเร็วคงที่ 10 cm/s ผลการวิจัยพบว่าเมื่อค่าความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้นพบแนวโน้มมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสสูง และเมื่อผิวฟิล์มเคลือบที่มีความแข็งแรงสูงทำให้ความสามารถในการต้านการเปลี่ยนรูปถาวรมีค่ามากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจึงต่ำและสามารถต้านทานการสึกหรอได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก การสึกหรอ, เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง, การเคลือบผิว

Abstract

This research considered various types of coating on tool surface which was regularly practiced in modern stamping industries due to the ability to increase wear resistance. The model studied of friction “Ball-on-disk” technique was employed through out this work. The disks were made from high tensile steel grade SAPH 440, SPFH 590 and SPFC 780 of 2 mm thicknesses. The steel balls of 6 mm in diameter were made from tool steel grade JIS SKD11 hardened before coated film to 60 ± 2 HRC. Ball surface conditions for this research were non-coated, TiAlN, TiN and TiCN-CVD coated film. The experiments were conducted under dried condition and controlled temperature at 25 °C. The normal load of 10 N and sliding speed of 10 cm/s were used for all experiments. The results showed that high strength of steel causes high friction coefficient. High hardness of thin film coating causes high resistance to plastic deformation, low friction coefficient and low specific wear rate.

Keywords: Wear, High strength steel, Surface Coating

1. บทนำ

ปัจจุบันเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (High tensile strength steel) ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงสูงๆ เช่น ชิ้นส่วน CHASIS และระบบช่วงล่าง ของรถยนต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดน้ำหนักให้กับตัวรถ โดยเริ่มมีการนำเหล็กกลุ่มนี้เข้ามาเป็นวัตถุดิบ แต่ปัญหาที่ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์พบ คือ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเป็นวัตถุดิบที่มีความแข็ง ขึ้นรูปยาก และที่สำคัญคือเกิดการยึดติดจับตัวกับผิวแม่พิมพ์ (Adhesion) ได้ง่าย โดยเฉพาะแม่พิมพ์ที่ทำจากเหล็กเครื่องมือเกรดทั่วไป เช่น เกรด (JIS) SKD11 เศษวัสดุที่ยึดติดกับผิวแม่พิมพ์จะมีความแข็งสูงมาก และจะขูดผิวชิ้นงาน ส่งผลให้เกิดรอยขูดบนชิ้นงาน (Scratch or galling) ทำให้คุณภาพของชิ้นงานไม่สามารถยอมรับได้ การแก้ปัญหาในปัจจุบันทำได้ด้วยการเคลือบผิวแม่พิมพ์ด้วยฟิล์มแข็งชนิดต่างกันด้วยวิธีการลองผิดลองถูก เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงของเหล็กแม่พิมพ์และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง อย่างไรก็ตามการเคลือบผิวแม่พิมพ์ด้วยฟิล์มแข็งเป็นการเพิ่มต้นทุนแม่พิมพ์ที่นับว่าเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นในการพิจารณาเลือกใช้ชนิดของฟิล์มแข็งควรพิจารณาอย่างรอบคอบ เนื่องจากปัจจุบันในประเทศไทยก็มีผู้ประกอบการที่สามารถเคลือบผิวแม่พิมพ์ได้หลายแห่งทั้งที่เป็นของต่างชาติ ของคนไทย และการร่วมทุนระหว่างต่างชาติและคนไทย และยังมีฟิล์มแข็งให้เลือกหลากหลายชนิดทั้งที่เคลือบด้วยกรรมวิธีไอเคมี (CVD) และไอกายภาพ (PVD) ซึ่งในแต่ละกรรมวิธีจะมีค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการพิจารณาเพื่อเลือกใช้ชนิดของฟิล์มที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของประเด็นดังกล่าว จึงจะทำการศึกษาพฤติกรรมทางด้านไทรบอโลยีของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงกับฟิล์มแข็งเคลือบผิวแม่พิมพ์ชนิดต่างๆ โดยการทดสอบจะดำเนินการทั้งโดยใช้เครื่องทดสอบความเสียดทานและปริมาณการสึกหรอ กับเครื่องทดสอบเฉพาะทาง (Tribometer) การทำการทดสอบขึ้นรูปชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงที่มีขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ โดยจะทำให้ทราบถึงชนิดของฟิล์มแข็งเคลือบผิวแม่พิมพ์หรือการปรับสภาพผิว ที่เหมาะสมสำหรับ

การขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง โดยไม่ทำให้เกิดการยึดติดผิวแม่พิมพ์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยบนชิ้นงาน

1.1. การเคลือบผิวในงานขึ้นรูปโลหะ (Surface coating in Metal forming)

เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของผิวชิ้นงานและแม่พิมพ์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งทำได้โดยการปรับส่วนผสมและโครงสร้างภายในของชิ้นงานนั้นๆหรือการนำเอาวัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมมาเคลือบลงบนผิวชิ้นงานช่วยปรับสภาพการทำงานให้เหมาะสม และเพิ่มขีดจำกัดในการทำงานในด้านต่างๆมากขึ้น เช่นลดความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสและเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ ตัวอย่างของการเคลือบผิวที่นิยมในปัจจุบันเช่น การเคลือบผิวด้วยไอเคมี (CVD) การเคลือบผิวด้วยไอกายภาพ (PVD) การทำไนไตรดิง (Nitriding) และการทำฮาร์ดโครม (Hard Chrome) เป็นต้น

1.1.1 การเคลือบผิวในงานขึ้นรูปโลหะ (Surface coating in Metal forming)

สำหรับการเคลือบผิวในงานขึ้นรูปโลหะเพื่อใช้ลดการสึกหรอและความเสียดทานที่ผ่านมามีงานวิจัยหลายฉบับที่วิจัยเกี่ยวกับการเคลือบผิวดังเช่นในปี 1987, Steinmann P.A. [1] ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติและความสัมพันธ์ระหว่างแรงในการเกาะยึด แรงเสียดทาน และการสึกหรอของสารเคลือบผิวหลายๆ ชนิดทั้งกรรมวิธี CVD และ PVD และในปี 2003, Bull S.J. [2] ได้ทำงานวิจัยที่ใกล้เคียงกับ Steinmann แต่เลือกทำเฉพาะผิวเคลือบแบบ TiCN ของทั้งกรรมวิธี CVD และ PVD ซึ่งกรรมวิธี PVD จะแบ่งเป็น 5 ประเภท โดยได้ทำการทดสอบหลาย คือทำการทดสอบการขีดข่วน (Scratch test) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเกาะยึดของผิวฟิล์ม ทำการทดสอบแบบลูกบอลบนแผ่นจานหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและอัตราการสึกหรอของฟิล์มแต่ละชนิด อีกทั้ง Steinmann P.A. ยังเปรียบเทียบกับค่าหาค่าด้วยการทดสอบ

แบบวงแหวน (Ring test) อีกด้วย ซึ่งชี้ให้เห็นถึงข้อดีและข้อเสียของกรรมวิธีการเคลือบผิวทั้งสองแบบและลักษณะการนำไปใช้งานที่เหมาะสมของฟิล์มแต่ละชนิดในปี 2000, วารุณี เปรมาพันธ์ [3] ได้ทำการจำลองการสึกหรอด้วยอุปกรณ์แบบ Ball-on-disk โดยใช้ Ball ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด ออสเทนติก (SUS304) Disk ทำจากวัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์ 4 ชนิดคือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (S45C) เหล็กเครื่องมือเกรด SKD11 (JIS) เหล็กไฮสปีด (SKH51) และ ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ทำการชุบแข็งเหล็ก 3 ชนิดแรกตามสภาพการทำงานทั่วไป การทดสอบทำทั้งสภาวะไม่มีการหล่อลื่น และใช้สารหล่อลื่น 3 ชนิดคือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันแร่ พื้นฐาน (Based oil) และน้ำมันสังเคราะห์ TDN81(CASTROL) จากผลการทดสอบพบว่า การหล่อลื่นมีผลเป็นอย่างมากต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและอัตราการสึกหรอ รองลงมาคือวัสดุทำพิมพ์ โดยในกรณีที่ไม่ใช้สารหล่อลื่นพบว่า วัสดุทำพิมพ์ที่มีความแข็งสูงจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ ปริมาตรการสึกหรอวัดได้สูงสุดบน Disk ที่ทำจากวัสดุทำพิมพ์ที่มีความแข็งต่ำที่สุดและไม่ใช้สารหล่อลื่น การหล่อลื่นมีอิทธิพลต่ออัตราการสึกหรอมากกว่าชนิดของวัสดุทำพิมพ์โดยที่สารหล่อลื่นทั้ง 3 ชนิดสามารถลดอัตราการสึกหรอได้มากกว่า 99% เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารหล่อลื่น โดยที่น้ำมันสังเคราะห์ช่วยลดการสึกหรอได้มากที่สุด รองลงมาคือน้ำมันแร่ และน้ำมันมะพร้าวตามลำดับ WC ที่มีความแข็งสูงที่สุดสามารถลดอัตราการสึกหรอได้ 62.76% เมื่อเทียบกับ S45C ที่มีความแข็งน้อยที่สุดกรณีที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น และลดได้ 71.12% 72.31% ในกรณีที่ใช้ น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันแร่ตามลำดับ และเมื่อหล่อลื่นด้วยน้ำมันสังเคราะห์ตรวจไม่พบการสึกหรอเกิดขึ้นเลยในระยะเคลื่อนที่สัมพัทธ์ที่ทำการทดสอบคือ 1,175 เมตร ฌฎฐนันท์ มูลสระคู [4] ได้ทำการทดสอบเพื่อศึกษากลไกทางไตรโบโลยี (Tribology) โดยทำการทดลองแบบลูกบอลบนแผ่นจาน หาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของคู่สัมผัสระหว่างลูกบอลเหล็ก กับแผ่นจานที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวแม่พิมพ์ 7 ชนิด ที่มีความแข็งอยู่ในช่วง 500-3800 HV โดยทำการทดสอบแบบไม่ใช้สารหล่อลื่น และภายใต้สารหล่อลื่น ได้ผลว่าการหล่อลื่นมีผลต่อค่า

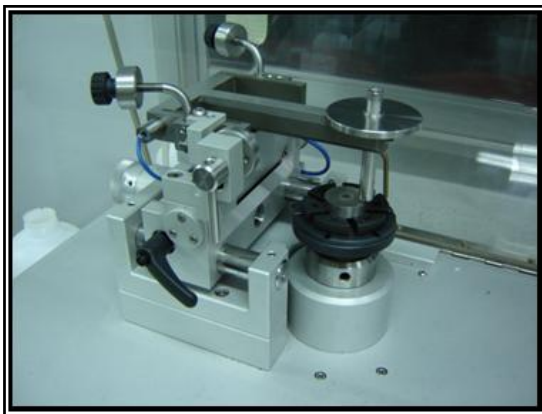
สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าการไม่ใช้สารหล่อลื่น และผิวเคลือบที่มีความแข็งสูง มีแนวโน้มทำให้ความสามารถในการหล่อลื่นดี มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าผิวเคลือบที่มีความแข็งน้อยกว่า จิราพร ศรีประเสริฐ [5] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับสภาพผิวและการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งชนิดต่าง ๆ โดยทำการจำลองการสึกหรอโดยใช้เครื่อง Tribometer แบบ Ball-on-disk ซึ่ง Disk หรือ แผ่นจาน ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดออสเทนติก (SUS304) ส่วน Ball ทำจากเหล็กเครื่องมืองานเย็น (SKD11-JIS) ซึ่งบอลจะมีทั้งแบบไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วย TiCN (TiN/TiCN-Double layer) กรรมวิธี PVD, TiCN (TiC/TiCN/TiN-Multilayer) กรรมวิธี CVD, iC กรรมวิธี CVD และปรับสภาพผิวด้วย VC กรรมวิธี TD ซึ่งการทดสอบทำในสภาวะไม่มีการหล่อลื่น จากผลการทดสอบพบว่า การปรับสภาพผิวและชนิดของฟิล์มแข็งเคลือบผิวไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน แต่การปรับสภาพผิวและฟิล์มแข็งเคลือบผิวทุกชนิดจะช่วยลดอัตราการสึกหรอลงได้เมื่อแรงดันสัมผัสมีค่าน้อยกว่า 1,100 MPa โดยจะช่วยลดอัตราการสึกหรอได้ถึง 64.1-99.7% เมื่อเทียบกับกรณีไม่เคลือบผิว แต่เมื่อแรงดันสัมผัสมีค่าสูงกว่านั้น ฟิล์มแข็ง TiCN (Multilayer)-CVD และ TiC-CVD มีแนวโน้มจะใช้ได้ในกรณีที่แรงดันสัมผัสมีค่าสูงถึง 1,380 MPa แต่ประสิทธิผลในการลดอัตราการสึกหรอจะมีน้อยลงเมื่อค่าแรงดันสัมผัสเพิ่มขึ้น แต่ฟิล์มแข็ง TiCN (Double layer)-PVD และการปรับสภาพผิวด้วย VC-TD ไม่เหมาะสมกับกรรมวิธีขึ้นรูปที่มีค่าแรงดันสัมผัสเกิน 1,100 MPa โดยประมาณ เนื่องจากเกิดการหลุดลอกของชั้นฟิล์ม และอนุภาคดังกล่าวขูดผิวชิ้นงาน ทำให้เร่งอัตราการสึกหรอให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการเลือกการปรับสภาพผิวหรือชนิดของฟิล์มแข็งเคลือบผิวให้เหมาะสมกับกรรมวิธีขึ้นรูปจำเป็นต้องทราบค่าแรงดันสัมผัสที่เกิดขึ้นกับผิวแม่พิมพ์ในขณะที่ขึ้นรูปชิ้นงานแต่ละกรรมวิธี นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกหลายฉบับ[6], [7], [8], [9] ที่นำไปสู่ฐานข้อมูลและการสร้างแนวคิดการนำไปใช้ให้เหมาะสมกับงาน จากงานวิจัยหลายฉบับสรุปผลให้เห็นว่า สารเคลือบผิวแม่พิมพ์และสารหล่อลื่น

ที่นำมาใช้ให้คุณสมบัติที่ดีในเรื่องป้องกันการเกิดการยึดติดกับวัสดุผิวชิ้นงาน สามารถลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ซึ่งจัดเป็นข้อมูลที่สำคัญในการเลือกใช้สารเคลือบผิวแม่พิมพ์ในงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งผลการทดสอบจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ศึกษามานั้นสามารถใช้เป็นแนวทางการวิจัยในศาสตร์ด้านนี้ต่อไปในอนาคตได้เป็นอย่างดี

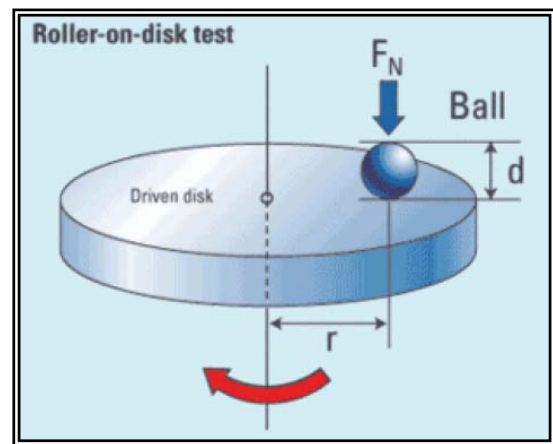
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองบนเครื่องไทรบอมิเตอร์ดังรูปที่ 1 เพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์ และทำการทดสอบด้วยวิธี Ball-on-disk ตามมาตรฐาน (ASTM G133-95)[10] มีหลักการทำงานดังในรูปที่ 2 การวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) สามารถคำนวณได้โดยตรงจากสมการที่ 1 โดยที่ μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน F คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่ และ N คือแรงตั้งฉากหรือแรงกดวัตถุคู่สัมผัสเข้าหากัน

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

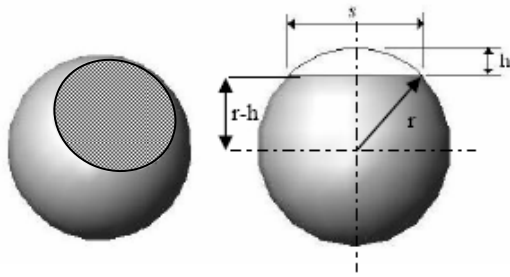


รูปที่ 1 การทดสอบด้วยวิธี Ball-on-disk [4] บนเครื่องไทรบอมิเตอร์



รูปที่ 2 หลักการทำงานของ Ball-on-disk

ในการทดสอบ ใช้แผ่นจานแทนวัสดุชิ้นงาน และบอลจำลองแทนวัสดุทำแม่พิมพ์พิมพ์ การวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นที่ปริมาณการสึกหรอของบอล เพื่อเปรียบเทียบศึกษาและถึงพฤติกรรมการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับวัสดุทำพิมพ์ที่เคลือบผิวต่างชนิดกัน แต่เนื่องจากแผ่นจานมีความแข็งน้อยกว่าบอล การสึกหรอจึงเกิดขึ้นที่แผ่นจาน จึงได้ทำการกำหนดระยะเพื่อเปลี่ยนรอบบนแผ่นจาน เพื่อรักษาสภาพของค่าแรงดันที่จุดสัมผัส (Contact pressure) โดยกำหนดค่าขนาดความกว้างของรอยที่เกิดขึ้นที่แผ่นจานต้องไม่เกิน 600 ไมโครเมตร โดยกำหนดให้แผ่นจาน (Disk) ทำจากวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด SAPH 440, SPFH 590 และ SPFC 780 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นจานคือ 25 มม. หนา 2 มม. ส่วนบอลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ทำจากเหล็กเครื่องมืองานเย็น (JIS; SKD11) ชุบแข็ง 60 ± 2 HRC บอลจะมีทั้งเคลือบผิวและไม่เคลือบผิว โดยผิวเคลือบมีดังนี้คือ TiAlN, TiN และ TiCN-CVD ซึ่งระยะ s ของบอลสามารถวัดได้โดยตรงจากการใช้กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) และระยะ h สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ปริมาณการสึกหรอที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 และอัตราการสึกหรอสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 ทำการทดสอบที่สภาวะไม่ใช้สารหล่อลื่น ความเร็วเชิงเส้นคงที่ตลอดการทดลอง 10 ซม./วินาที ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3 ภาพจำลองบอล SKD11 ที่เกิดรอยสึก

$$h = \frac{8r - \sqrt{64r^2 - 16s^2}}{8} \quad (1)$$

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

$$k = \frac{V}{F_N S} \quad (3)$$

V , Wear volume [mm³]

s , Wear track diameter [mm]

h , Wear Height [mm]

r , Ball radius [mm]

k , Specific wear rate [mm³/Nm]

F_N , Normal load [N]

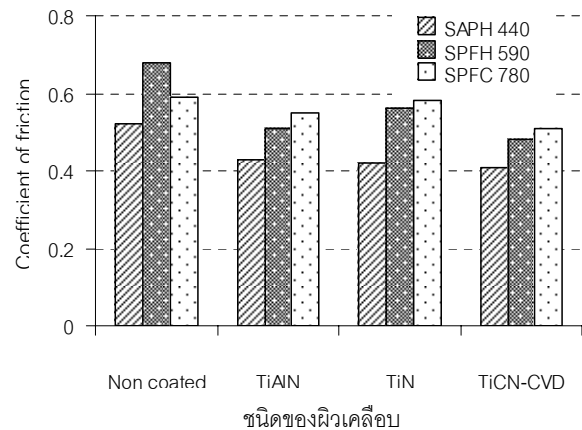
S , Sliding distance [m]

3. การวิเคราะห์ผลการวิจัย

3.1 อิทธิพลของฟิล์มเคลือบที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายดังรูปที่ 4 พบว่าบอลที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิวเมื่อทดสอบกับทั้งสามวัสดุ พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสูงกว่าบอลที่เคลือบผิว ส่วนในกรณีบอลเคลือบผิวพบว่าบอลที่เคลือบผิวด้วยฟิล์ม TiCN-CVD มีสัมประสิทธิ์ความเสียหายต่ำกว่าฟิล์มเคลือบชนิดอื่นอยู่เล็กน้อยและเมื่อพิจารณาจากชนิดของวัสดุทดสอบพบว่าวัสดุ SPFC 780 ซึ่งมีค่าความแข็งแรงสูงที่สุด มีแนวโน้มให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสูงกว่าวัสดุชนิดอื่น ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าอิทธิพลของค่าความแข็งแรงของวัสดุส่งผล

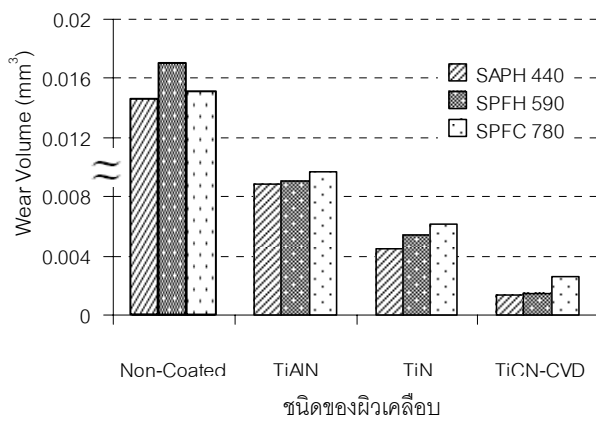
ต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเนื่องจากวัสดุที่มีค่าแข็งแรงสูง การเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุขณะทำการทดสอบเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ทำให้ผิวของบอลพบการสึกหรอมากกว่าวัสดุ SAPH 440 และ SPFH 590 และเมื่อบอลเกิดการสึกหรอวัสดุก็จะสัมผัสกันมากขึ้นส่งผลให้ต้องใช้แรงในการเคลื่อนที่สูง ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจึงเกิดขึ้นสูงตามไปด้วย



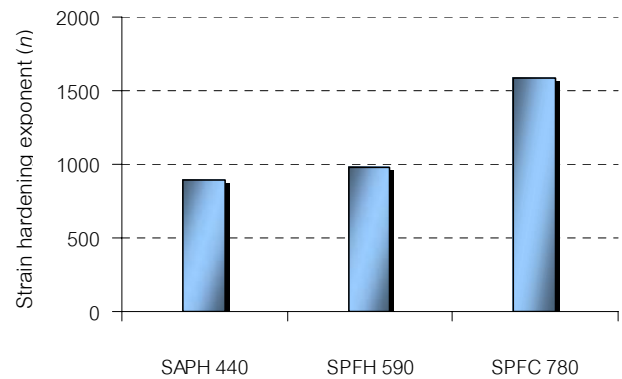
รูปที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับบอลที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ

3.2 ผลการศึกษาหาค่าปริมาณการสึกหรอ

หลังทำการทดสอบด้วยวิธี Ball-on-disk สามารถหาปริมาณการสึกหรอของบอลเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด JIS; SKD11 ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้แผ่นดิสก์เป็นวัสดุ SPFC 780 อัตราการสึกหรอจะมากกว่ากรณีแผ่นดิสก์ที่ใช้วัสดุ SAPH 440 และ SPFH 590 ทั้งนี้เพราะวัสดุที่ใช้ทำแผ่นดิสก์มีความแข็งแรงมากในระหว่างทำการทดสอบรอยขีดที่เกิดขึ้นบนดิสก์และบอลก็จะขยายใหญ่ขึ้นส่งผลให้ค่า Contact pressure ระหว่างผิวคู่สัมผัสสูงขึ้น ปริมาณการสึกหรอจึงเพิ่มขึ้นนั่นเอง



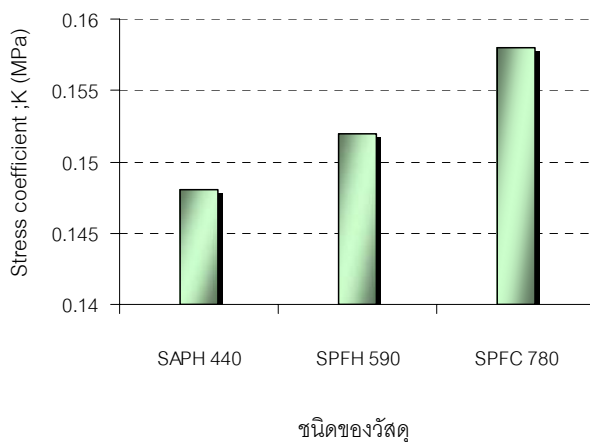
รูปที่ 5 ปริมาณการสึกหรอ



รูปที่ 7 ค่า Stress coefficient (K)

3.3 อิทธิพลคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่มีต่อการสึกหรอ

ในหัวข้อนี้ได้ทำการวิเคราะห์และอภิปรายถึงอิทธิพลคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่มีต่อการสึกหรอ ในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นค่า Stress coefficient (K) ของวัสดุมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความแข็งแรง โดยวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงจะมี Stress coefficient สูงด้วยเช่นกัน ส่วนค่า Strain hardening exponent (n) ดังรูปที่ 7 เป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงอัตราการเกิด Strain hardening ของวัสดุหลังจากผ่านการขึ้นรูปเย็นโดยวัสดุที่มีค่า n สูงจะเกิด Strain hardening ได้มาก หรือมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมาก หลังการขึ้นรูปนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่พบว่าวัสดุ SPFC 780 ที่มีค่า K และ n สูงที่สุดเมื่อทำการจำลองบนวัสดุดังกล่าวจึงมีปริมาณการสึกหรอมากที่สุด

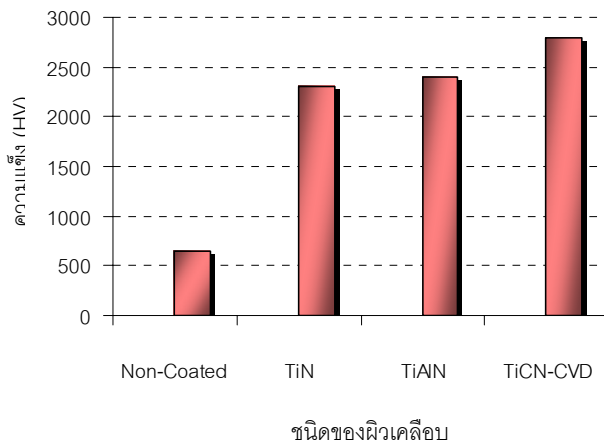


รูปที่ 6 ค่า Strain hardening exponent (n)

3.4 อิทธิพลค่าความแข็งของฟิล์มเคลือบที่ส่งผลต่อปริมาณการสึกหรอ

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลค่าความแข็งของผิวเคลือบ เมื่อความแข็งแรงของผิวเคลือบมากขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายมีแนวโน้มน้อยลงแสดงในรูปที่ 4 เนื่องจากวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายต่ำกว่าวัสดุที่อ่อนกว่า เพราะการที่ความแข็งแรงของผิวมีค่ามาก จะทำให้ความสามารถในการต้านการเปลี่ยนรูปถาวรมีค่ามากขึ้น การเปลี่ยนรูปที่ตำแหน่งตรงจุดสัมผัสกันจึงเกิดขึ้นน้อย ทำให้ขนาดของพื้นที่สัมผัสจริง (Real contact area) มีค่าน้อยกว่าถึงแม้พื้นที่สัมผัสเสมือน (Apparent contact area) จะไม่แตกต่างกันก็ตาม ดังนั้นถ้าพื้นที่สัมผัสจริงน้อย แรงเสียดทานที่เครื่องมือวัดได้ก็จะน้อยลง หรือค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่วัดได้ก็จะน้อยลงนั่นเอง เมื่อพิจารณาจากฟิล์มชนิดต่างๆ โดยเห็นว่า TiCN-CVD มีค่าความแข็งแรงสูงสุด ส่วน TiAlN และ TiN มีค่าความแข็งแรงค่อนข้างใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่เคลือบผิวพิจารณาจากข้อมูลค่าความแข็งแรงของผิวเคลือบในแต่ละชนิดดังแสดงในรูปที่ 8 อธิบายได้ว่าค่าความแข็งแรงเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอที่เกิดขึ้น โดยกรรมวิธีการเพิ่มความแข็งแรงที่ผิวของแม่พิมพ์ ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง จากทฤษฎีการสึกหรอได้กล่าวไว้ [11] วัสดุใดที่มีความแข็งแรงมากกว่าจะสามารถทนต่อการสึกหรอได้ดีกว่าวัสดุที่มีความแข็งแรงที่น้อยกว่า ดังนั้นกรณีที่ไม่มีการเคลือบผิว เครื่องมือจะมีความแข็งแรงน้อยที่สุด จึงเกิดอัตราการ

สึกหรอมากที่สุดส่งผลให้อายุการใช้งานลดลง ส่วนเครื่องมือที่เคลือบผิว มีความแข็งของผิวมากกว่าทำให้มีอัตราการสึกหรอน้อยกว่าซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี [3]



รูปที่ 8 อิทธิพลของค่าความแข็ง (HV) ของผิวเคลือบที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

4. สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้เน้นศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมทางด้านไทรบอโลยี (สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน) ของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงสามเกรด คือ SAPH 440, SPFH 590, SPFC 780 กับผิวฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆที่มีอยู่ประเทศไทย หลังทำการวิจัยแล้วสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

- 1 วัสดุที่มีค่าความแข็งแรงสูงมีแนวโน้มที่จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสสูง
- 2 วัสดุที่มีคุณสมบัติความแข็งแรงสูงในระหว่างทำการทดสอบรอยขีดจะเกิดมากกว่าวัสดุที่อ่อน การสึกหรอจึงเกิดมาก
- 3 ผิวฟิล์มเคลือบมีความแข็งแรงสูง ทำให้ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปถาวรมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้พื้นที่สัมผัสจริงน้อย ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจึงต่ำ
- 4 ฟิล์มเคลือบที่มีความแข็งแรงสูงสามารถต้านทานการสึกหรอได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] P.A. Steinmann, "Adhesion Testing By The Scratch Test Method: The Influence of Intrinsic and Extrinsic Parameters on The Critical Load", *Journal of Thin Solid Films*, Vol. 154, Issues 1-2, 1987, pp. 333-349.
- [2] S.J. Bull, "Properties and performance of commercial TiCN coating. Part 2: tribological performance", *Journal of Surface & Coating Technology*, Vol. 163-164, 2003, pp. 507-514.
- [3] วารุณี เปรมมานนท์, "พฤติกรรมด้านไทรบอโลยีของผิวสัมผัสระหว่างเหล็กทำพิมพ์และเหล็กกล้าไร้สนิมโดยการจำลองการทำงานบนเครื่องแบบ Ball-on-disk", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18 ขอนแก่น 18-20 ตุลาคม. 2547, หน้า 1-5.
- [4] ณัฐนันท์ มูลสระคู, พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์, อนรรฆ ชันชะชนะ และ วารุณี เปรมมานนท์ "การศึกษาพฤติกรรมด้านไทรบอโลยีของผิวคู่สัมผัสระหว่างบองเหล็กกล้ากับผิวเคลือบ" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19 ภูเก็ต 19-21 ตุลาคม. 2547, หน้า 41
- [5] จิราพร ศรีประเสริฐ, อนรรฆ ชันชะชนะ, วารุณี เปรมมานนท์ และ พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ "การสึกหรอของผิวคู่สัมผัสระหว่าง SKD11 ที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มชนิดต่าง ๆ กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304" *Songklanakarin journal of Science and Technology*.
- [6] คมกริช ละวรรณวงษ์, พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์, วารุณี เปรมมานนท์ และ กฤษณ์ ประสงค์เจริญ "ชนิดของการเคลือบและปรับสภาพผิวแม่พิมพ์ที่มีผลต่อกรรมวิธีการลากขึ้นรูปลึงเหล็กกล้าไร้สนิม" *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.ปีที่ 30, ฉบับที่ 3, กรกฎาคม - กันยายน. 2550.*
- [7] B. Podgornik and S. Hogmark, 'Surface modification to improve friction and galling properties of forming tools', *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 174, 2006, pp. 334-341.

- [8] B. Podgornik, S. Hogmark and O. Sandberg, 'Proper coating selection for improved galling performance of forming tool steel', *WEAR*, Vol. 261. 2006, pp.15–21.
- [9] B. Sresomroeng, V. Premanond, P. Kaewtathip and A. Khantachawana, 'The influences of die clearance on spring-back of high strength steel in U-bending process', paper presented at *The 21st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, 19–21 October, 2007, Pattaya, Thailand.
- [10] ASTM G133-95, "Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear", p.523-536.
- [11] J.A. Schey, "Tribology in Metalworking", The American Society for Metals, USA, 1984.