

พฤติกรรมด้านไทรบอโลยีของผิวสัมผัสระหว่างเหล็กทำพิมพ์และเหล็กกล้าไร้สนิมโดยการ จำลองการทำงานบนเครื่องแบบ Ball-on-disk

Tribological Behavior of Tool Materials against Stainless Steel Workpiece Material in a Ball-on-disk Model Wear Device

วารุณี เปรมาณนท์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ.ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 02-470-9209 โทรสาร 02-872-9080 E-mail: varunee.pre@kmutt.ac.th

Varunee Premonond

Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's University of Technology Thonburi

91 Pracha-u-tid Rd. Bangmod Tungkrui Bangkok 10140 Thailand

Tel 02-470-9209 Fax 02-872-9080 E-mail: varunee.pre@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การสึกหรอที่เกิดในแม่พิมพ์ปั๊มโลหะเป็นปัญหาสำคัญที่รู้จักกันอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิม การสึกหรอจะเกิดขึ้นค่อนข้างเร็วและรุนแรง ซึ่งการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจกับกลไกของการสึกหรอที่เกิดขึ้นทำได้ยากและค่าใช้จ่ายสูง งานวิจัยนี้ทำการจำลองการสึกหรอด้วยอุปกรณ์แบบ Ball-on-disk โดยใช้ Ball ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดออสเทนนิค (SUS304) Disk ทำจากวัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์ 4 ชนิดคือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (S45C) เหล็กเครื่องมือเกรด SKD11 (JIS) เหล็กไฮสปีด (SKH51) และทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ทำการชุบแข็งเหล็ก 3 ชนิดแรกตามสภาพการทำงานทั่วไป การทดสอบทั้งที่สภาวะไม่มีการหล่อลื่น และใช้สารหล่อลื่น 3 ชนิดคือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันแร่พื้นฐาน (Based oil) และน้ำมันสังเคราะห์ TDN81(CASTROL) จากผลการทดสอบพบว่า การหล่อลื่นมีผลเป็นอย่างมากต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและอัตราการสึกหรอ รองลงมาคือวัสดุทำพิมพ์ โดยในกรณีที่ไม่ใช้สารหล่อลื่นพบว่า วัสดุทำพิมพ์ที่มีความแข็งสูงจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ ปริมาณการสึกหรอวัดได้สูงสุดบน Disk ที่ทำจากวัสดุทำพิมพ์ที่มีความแข็งต่ำที่สุดและไม่ใช้สารหล่อลื่น การหล่อลื่นมีอิทธิพลต่ออัตราการสึกหรอมากกว่าชนิดของวัสดุทำพิมพ์โดยที่สารหล่อลื่นทั้ง 3 ชนิดสามารถลดอัตราการสึกหรอได้มากกว่า 99% เมื่อเทียบกับการไม่ใช้สารหล่อลื่น โดยที่น้ำมันสังเคราะห์ช่วยลดการสึกหรอได้มากที่สุด รองลงมาคือน้ำมันแร่ และน้ำมันมะพร้าวตามลำดับ WC ที่มีความแข็งสูงที่สุดสามารถลดอัตราการสึกหรอได้ 62.76% เมื่อเทียบกับ S45C ที่มีความแข็งน้อย

ที่สุดกรณีที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น และลดได้ 71.12% 72.31% ในกรณีที่ใช้ น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันแร่ตามลำดับ และเมื่อหล่อลื่นด้วยน้ำมันสังเคราะห์ตรวจไม่พบการสึกหรอเกิดขึ้นเลยในระยะเคลื่อนที่สัมผัสที่ทำการทดสอบคือ 1175 เมตร

คำสำคัญ : ไทรบอโลยี, ความเสียดทาน, การสึกหรอ, เหล็กทำพิมพ์

Abstract

Wear is a well known problem in metal stamping die, especially on the die working with stainless steel workpiece, which wear rate are severe. The study on wear phenomena on actual process consumes high cost and time. The model study of wear "Ball – on – Disk" technique was employed throughout this work. Ball made from Stainless steel austenetic grade (SUS304). Disk made from 4 types of tool materials which are commonly used in stamping die industry; medium carbon steel (S45C), cold work tool steel (SKD11), high speed steel (SKH51) and tungsten carbide (WC). The first three types of material were hardened to optimum conditions for each type. Tests were carried out with and without lubricant. Three types of lubricants were selected; coconut oil, mineral oil and synthetic oil (CASTROL-TDN81). The results had shown that coefficient of friction and wear rate were highly influenced by lubrication, considering that the effect of

material types is not dominating. All types of lubricant can reduced wear rate higher than 99% comparing to that without lubricant. Synthetic oil was proved to be the best lubricant. Mineral oil has better performance than coconut oil. Wear rate of WC, a maximum hardness material, was 62.76% less than that of S45C material for similar condition of dry sliding. In the event when using coconut oil and mineral oil, the percentage of wear rate that can be reduced on WC comparing to that on S45C were 71.12 and 72.31 subsequently. Wear was not detected on WC disk when working under synthetic oil for sliding distance of 1175 m.

Keywords : Tribology, Wear, Friction, Tool steel

1. บทนำ

งานปั๊มขึ้นรูปโลหะจัดเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยงานปั๊มขึ้นรูปครอบคลุมถึงหลายกระบวนการ เช่นงานตัดขาด (Blanking) งานลากขึ้นรูปลึก (Deep drawing) งานพับ (Bending) งานขึ้นรูปทรงอื่นๆ (Forming) เป็นต้น ทั้งหมดนี้เป็นกระบวนการที่มีต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากการทำงานต้องใช้แม่พิมพ์ และเครื่องจักรที่มีราคาแพง จากสภาวะการแข่งขันทำให้ต้องลดต้นทุนที่เกิดขึ้น การควบคุมกลไกของความเสียหายและการสึกหรอที่ผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานและแม่พิมพ์เป็นส่วนหนึ่งที่จะลดต้นทุนในส่วนของแม่พิมพ์ ลดจำนวนของเสียที่จะเกิดขึ้นจากการผลิตโดยการควบคุมกลไกของความเสียหายและการสึกหรอ เพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับกระบวนการผลิต

การสึกหรอ เป็นความเสียหายที่เกิดจากการขัดสีของพื้นผิวคู่สัมผัส ดังนั้นการลดปริมาณการสึกหรอทำได้โดยการปรับสภาวะผิวสัมผัสให้เหมาะสม และแยกผิวสัมผัสเช่นการใช้สารหล่อลื่น เพื่อให้เข้าใจกลไกของการสึกหรอ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเสียหายและกลไกของการหล่อลื่น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบและวัดค่าที่เกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากลไกทางไตรบอโลยี (Tribology) ที่รวม 3 แขนงที่เกี่ยวข้องคือ ความเสียหาย การหล่อลื่นและการสึกหรอ โดยใช้เครื่องไตรบอมิเตอร์ ที่จำลองกลไกการเสียดสีของพื้นผิวคู่สัมผัสโดยไม่เกิดค่าใช้จ่ายสูงกับแม่พิมพ์จริงที่มีราคาแพง การทดสอบมุ่งเน้นกลไกการสึกหรอที่เกิดกับวัสดุทำพิมพ์ที่ใช้ทั่วไปและสารหล่อลื่นที่มีอยู่ในท้องตลาด กับวัสดุชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดออสเทนติก (SUS304) เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าวัสดุนี้เกิดการเชื่อมยึดได้ดีกับวัสดุหลายอย่างซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการนำไปสู่อัตราการสึกหรอสูงของวัสดุทำพิมพ์ ทำการวัดการสึกหรอจากปริมาณที่หายไปของวัสดุแผ่นจาน และอัตราการสึกหรอซึ่งเป็นสัดส่วนของปริมาตรการสึกหรอต่อระยะเคลื่อนที่สัมผัส [1]

2. ประเภทของกลไกการสึกหรอ

การสึกหรอที่เกิดจากการเคลื่อนที่สัมผัสของโลหะ เป็นกลไกที่มีความซับซ้อน มีปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้องมาก การศึกษาเพื่ออธิบายกลไกในการเกิดและการขยายตัวของการสึกหรอของโลหะมีมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน [2-4] ซึ่งแสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบหลายๆอย่างที่เข้ามาเกี่ยวข้อง สามารถแบ่งเป็นกลไกหลักได้ 4 กลไก คือ

2.1 การสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear)

เกิดจากการสัมผัสกันของผิวโลหะ มีแรงดันขนาดที่มากพอจนทำให้เกิดการเชื่อมเยื่อระหว่างผิว เมื่อเกิดการเคลื่อนที่สัมผัสจึงทำให้เกิดการฉีกขาดของวัสดุใดวัสดุหนึ่ง การสึกหรอแบบนี้จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัสดุที่สัมผัสกัน และพื้นที่ที่เกิดการสัมผัสของโลหะ ดังนั้นถ้ามีการหล่อลื่นที่มีประสิทธิภาพสามารถกันการสัมผัสของผิวโลหะ ก็จะเกิดการสึกหรอแบบนี้ได้น้อย

2.2 การสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear)

การสูญเสียเนื้อของวัสดุเกิดจากการขีดของอนุภาคที่แข็งกว่า ซึ่งอาจเกิดจากเศษของชิ้นงานที่หลุดออก ผ่านการขัดสีจนอนุภาคแข็งขึ้นจากกลไกของความเครียดแข็ง (Strain hardening) หรืออนุภาคแข็งที่ติดมากับสารหล่อลื่นที่มีสิ่งเจือปน ขูดบนผิวแม่พิมพ์ คุณสมบัติของวัสดุทำพิมพ์ที่ป้องกันการสึกหรอประเภทนี้คือ ค่าความแข็ง วัสดุที่มีความแข็งมากจะมีโอกาสเกิด Abrasive wear น้อย

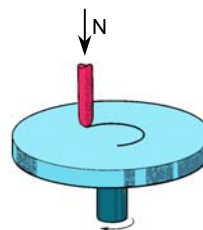
2.3 การสึกหรอแบบสึกกร่อน (Corrosive Wear)

ส่วนมากเกิดจาก Tribo-chemical reaction [5] ผิวของวัสดุทั้งชิ้นงานและแม่พิมพ์มักมีชั้นบางๆ ของออกไซด์ปกคลุมผิว ซึ่งถ้ามีความหนาและแรงยึดเกาะไม่สูงพอ มีโอกาสที่จะแตกออกเมื่อถูกเสียดสี ทำให้การสึกหรอที่กำลังจะเกิดทวีความรุนแรงขึ้น นอกจากนี้ความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีแบบแห้ง คือไม่มีการใช้สารหล่อลื่น จะเป็นปัจจัยสำคัญตัวหนึ่งที่จะทำให้เกิดการสร้างฟิล์มออกไซด์บางๆ ขึ้นอีกบนผิวซึ่งจะแตกออกเมื่อถูกเสียดสี เร่งความรุนแรงของการสึกหรอ [6]

2.4 การสึกหรอแบบล้า (Fatigue Wear)

กลไกนี้เกิดมากในภาวะที่รับแรงกระทำแบบซ้ำ ทำให้เกิดรอยแตกระดับจุลภาคภายใต้ผิวโลหะ ช่องว่างเกิดการขยายตัวภายใต้การรับภาระอย่างต่อเนื่อง จนถึงตำแหน่งวิกฤตที่ช่องว่างขยายไปชนกัน เกิดการแตกออกเป็นเกร็ดหรือชิ้นของผิวโลหะ ซึ่งบางที่เรียกว่าการสึกหรอแบบแยกชั้น (Delamination wear)

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง



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

รูปที่ 1 หลักการทำงานของ ball-on-disk

เครื่องไทรบอมิเตอร์แบบ Ball-on-Disk [7] มีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 1 กำหนดแรงกด (Normal, N) คงที่บนบอล ส่วนที่แผ่นจานหมุนติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงบิด แรงเสียดทาน (F) คำนวณได้จากแรงบิดคูณรัศมีการหมุนของบอลบนแผ่นจาน ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) จึงสามารถวัดได้โดยตรงจากสมการที่ 1

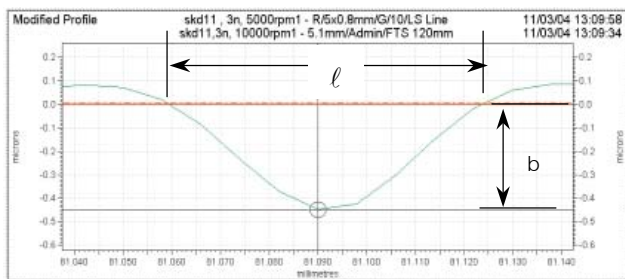
บอลทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.35 มม ส่วนแผ่นจาน (Disk) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม หนา 8 มม ทำจากวัสดุแม่พิมพ์ โดยใช้วัสดุ 4 ชนิดคือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (S45C) ชูบแข็ง เหล็กเครื่องมืองานเย็น (SKD11) ชูบแข็ง เหล็กกล้าความเร็วสูง (SKH51) ชูบแข็ง และเหล็กทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) โดยมีค่าความแข็งตามตารางที่ 1 สภาวะการทดสอบกำหนด 4 แบบ คือทดสอบโดยไม่ใช้สารหล่อลื่น และทดสอบภายใต้สารหล่อลื่น 3 ชนิด คือ น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ (CASTROL-TDN81) น้ำมันแร่พื้นฐาน (Mineral oil) และน้ำมันมะพร้าว (Coconut oil) ใช้แรงกด (Normal load) และความเร็วยรอบของจานคงที่ตลอดการทดลองคือแรงกดขนาด 10 นิวตัน และความเร็วยรอบของจาน 10 cm/s

ตารางที่ 1 ค่าความแข็งของวัสดุจานกลม

วัสดุทำพิมพ์ (Disc)	ความแข็ง(HRC)
เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (S45C)	54
เหล็กเครื่องมืองานเย็น (SKD11)	60
เหล็กกล้าความเร็วสูง (SKH51)	63
เหล็กทังสเตนคาร์ไบด์ (WC-K10)	69

ในการทดสอบ ใช้บอลแทนวัสดุชิ้นงานและแผ่นจานกลมจำลองวัสดุทำพิมพ์ การวิเคราะห์จะมุ่งเน้นที่การสึกหรอของแผ่นจานกลมเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมที่เกิดกับวัสดุทำพิมพ์ต่างชนิด แต่เนื่องจากบอลมีความแข็งน้อยกว่าจานกลม การสึกหรอจึงเกิดขึ้นที่บอลเร็วกว่าที่จาน จึงทำการกำหนดจำนวนรอบในการเปลี่ยนบอล เพื่อรักษาสภาวะของค่าแรงดันที่จุดสัมผัส (Contact pressure) โดยกำหนดให้ทำการเปลี่ยนบอลเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยสึกอยู่ระหว่าง 0.9-1.1 μm

นำแผ่นจานมาทำการตรวจสอบการสึกหรอด้วยเครื่องวัดความเรียบผิวแบบเข็มลากโดยทำการวัดรัศมีที่หายไป ตัวอย่างผิวที่ได้จากการวัดหลังการทดสอบแสดงในรูปที่ 2 แล้วนำไปคำนวณหาปริมาตรการสึกหรอซึ่งจะคำนวณจากพื้นที่ของร่องสึกหรอแล้วคูณกับความยาวเส้นรอบวงกลม โดยคำนวณจากสมการตั้งสมการที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนแผ่นจาน

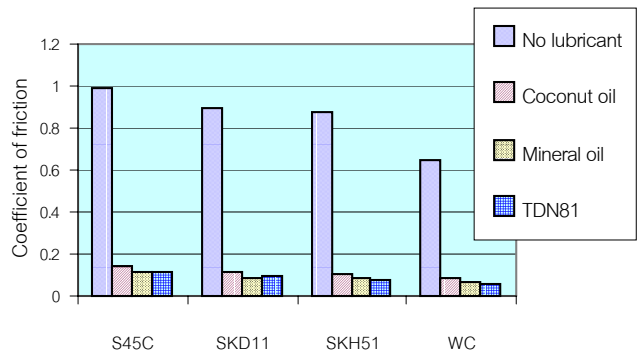
$$V = \frac{\pi R S}{2} \quad \text{----- (2)}$$

- S คือ พื้นที่ $\frac{2}{3} \times l \times b \text{ mm}^2$
- V คือ ปริมาตรการสึกหรอ (m^3)
- l คือ ความกว้างปากร่องสึก (μm)
- b คือ ความลึกของร่องสึก (μm)
- R คือ รัศมีของการหมุนบอล (mm)

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

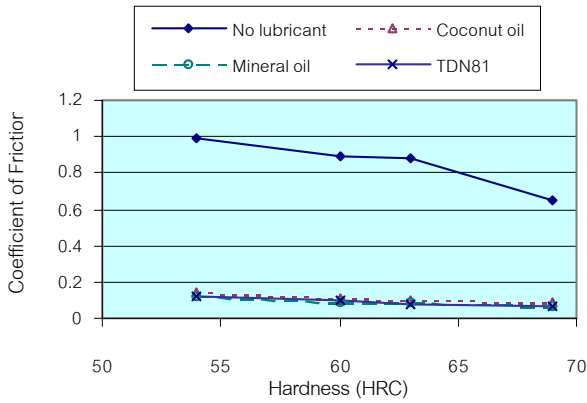
4.1 อิทธิพลของชนิดวัสดุและสารหล่อลื่นที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ผลการทดสอบในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมและวัสดุทำพิมพ์ที่สภาวะการหล่อลื่นต่างกัน พบว่าค่าความเสียดทานที่เกิดขึ้นกับเหล็กทำพิมพ์แต่ละชนิดมีค่าต่างกัน ในกรณีที่ไม่มีสารหล่อลื่นจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงที่สุดสำหรับทุกวัสดุทำพิมพ์ ทั้งนี้เนื่องมาจากในสภาวะนี้ โลหะเกิดการสัมผัสกันโดยตรง เกิดการยึดติด (Adhesion) สูง เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ต้องมีแรงที่มากพอในการเอาชนะแรงยึดติดแยก 2 ผิวออกจากกัน จึงเป็นที่มาของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูง นอกเหนือจากนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานอย่างต่อเนื่อง ยังส่งผลให้กระบวนการยึดติดเกิดได้มากขึ้นและแข็งแรงขึ้น [6] ในส่วนของการทำงานภายใต้การหล่อลื่นด้วยของเหลว สัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่าลดลง เนื่องจากสารหล่อลื่นเป็นฟิล์มเข้าไปกั้นอยู่ระหว่างผิวโลหะ ทำให้มีบริเวณของการเกิดการยึดติดน้อยลงและยังช่วยในส่วนของกระบวนการระบายความร้อนด้วย จากกราฟพบว่าน้ำมันมะพร้าวมีแนวโน้มในการลดค่าความเสียดทานได้น้อยกว่าสารหล่อลื่นอีก 2 ชนิดคือน้ำมันแร่และน้ำมันสังเคราะห์ ซึ่งสาเหตุมาจากสมบัติของตัวสารหล่อลื่น ความคงทนของฟิล์มน้ำมันภายใต้แรงกดมีค่าไม่เท่ากัน เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของน้ำมันแต่ละชนิด น้ำมันสังเคราะห์ TDN81 มีการเติมสารปรุงแต่งรับแรงกดอยู่ด้วย ดังนั้นจึงมีเสถียรภาพของฟิล์มสูงกว่าน้ำมันอีก 2 ชนิด โอกาสในการแตกของฟิล์มและเกิดการสัมผัสโดยตรงระหว่างผิวโลหะจึงมีน้อยกว่า ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำลงเล็กน้อย



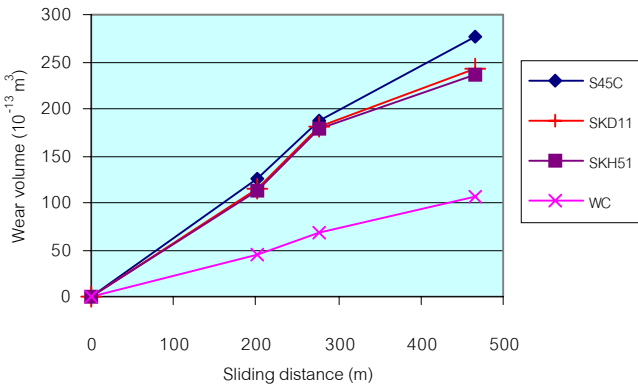
รูปที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

เมื่อทำการวิเคราะห์อิทธิพลของความแข็งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานพบว่าวัสดุที่มีความแข็งสูงจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับเหล็กกล้าไร้สนิมลดลงในทุกสภาวะของการหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 อิทธิพลของความแข็งแผ่นงานที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

4.2 การสึกกร่อนของวัสดุทำพิมพ์แต่ละชนิดในกรณีที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น



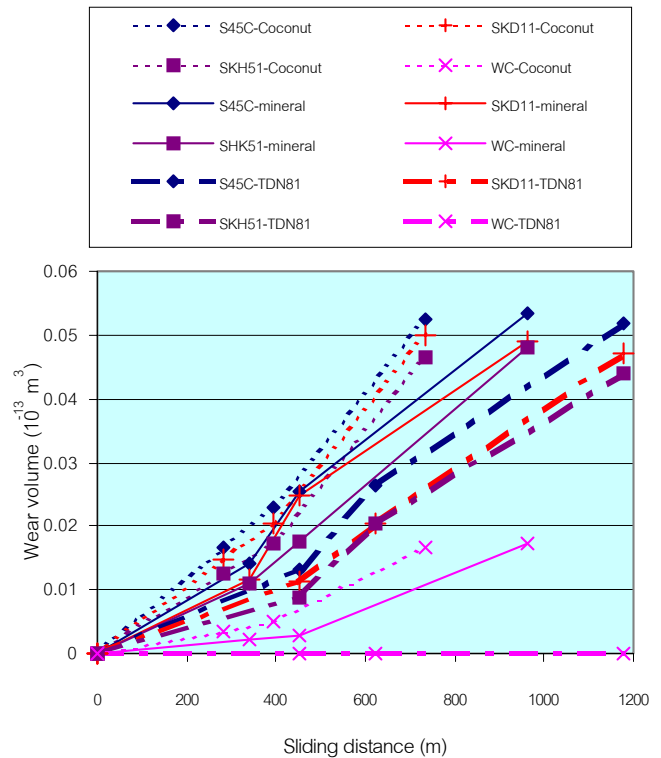
รูปที่ 5 การสึกกร่อนของวัสดุแต่ละชนิดกรณีที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น

ค่าการสึกกร่อนของแผ่นงานที่ระยะเคลื่อนที่สัมผัสต่างๆกัน ในสภาวะที่ไม่มีการหล่อลื่น (Dry condition) แสดงในรูปที่ 5 เมื่อระยะเคลื่อนที่สัมผัสเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณการสึกกร่อนเพิ่มมากขึ้น โดยมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรงกับวัสดุทุกชนิด S45C มีแนวโน้มการเกิดการสึกกร่อนเร็วที่สุด รองลงมาคือ SKD11 และ SKH51 ซึ่งมีแนวโน้มของการสึกกร่อนใกล้เคียงกัน ส่วน WC เป็นวัสดุที่เกิดการสึกกร่อนได้ช้าที่สุด

4.3 อิทธิพลของการหล่อลื่นที่มีต่อการสึกกร่อนของวัสดุทำพิมพ์

เมื่อทำการหมุนบอลบนแผ่นงานภายใต้สารหล่อลื่น 3 ชนิดพบว่าปริมาณการสึกกร่อนที่เกิดขึ้นบนแผ่นงานลดลงมากเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่

ใช้สารหล่อลื่น ซึ่งสามารถอธิบายได้จากกลไกการยึดติด และความร้อนที่ส่งผลให้เกิดความเสียดทานสูง และส่งผลต่อเนื่องถึงอัตราการสึกกร่อนสูงด้วยเนื่องจากภาระที่เพิ่มขึ้นเพื่อเอาชนะแรงเสียดทานสูง การเกิดความร้อนยังส่งผลให้ความแข็งแรงของวัสดุทำพิมพ์ต่ำลง ซึ่งเป็นปัจจัยในการช่วยเร่งการเกิดและการขยายตัวของการสึกกร่อน จากรูปที่ 6 พบว่าน้ำมันสังเคราะห์ TDN81 ช่วยลดการสึกกร่อนของทุกวัสดุทำพิมพ์ได้มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุทั้งสเตนคาร์ไบด์ (WC) ที่ระยะเคลื่อนที่สัมผัส 1175 m การสึกกร่อนเกิดขึ้นน้อยมากจนไม่สามารถวัดเป็นตัวเลขได้ น้ำมันที่มีประสิทธิภาพในการลดการสึกกร่อนรองลงมาคือน้ำมันแร่ และที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในการทดลองนี้คือ น้ำมันมะพร้าว ในส่วนของวัสดุทำพิมพ์มีแนวโน้มเหมือนที่เกิดในการทดสอบโดยไม่ใช้สารหล่อลื่น คือ S45C เกิดการสึกกร่อนสูงที่สุด รองลงมาคือ SKD11 SKH51 และ WC ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยการหล่อลื่นมีอิทธิพลต่อปริมาณการสึกกร่อนมากกว่าวัสดุทำพิมพ์ ยกเว้น WC ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการสึกกร่อนได้สูงมาก



รูปที่ 6 การสึกกร่อนของวัสดุแต่ละชนิดกรณีที่ใช้สารหล่อลื่น 3 ชนิด

4.4 อิทธิพลของความแข็งที่มีต่ออัตราการสึกกร่อน

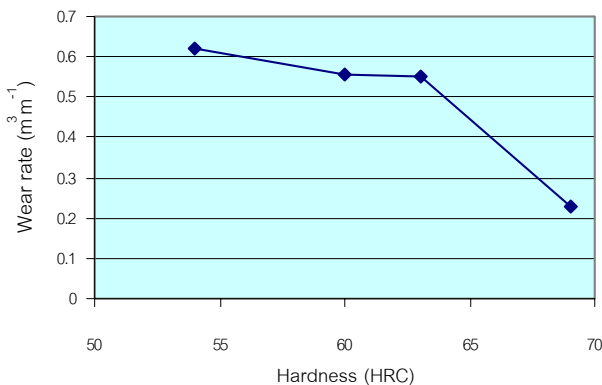
เมื่อทำการศึกษาอัตราการสึกกร่อนเปรียบเทียบอิทธิพลของชนิดวัสดุทำพิมพ์ และการหล่อลื่น แสดงผลในตารางที่ 2 และแสดงผลที่เกิดขึ้นเทียบกับความแข็งของวัสดุทำพิมพ์กรณีที่ไม่ใช้สารหล่อลื่นดังในรูปที่ 7 และกรณีใช้สารหล่อลื่นดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าวัสดุที่มีความแข็งสูงจะเกิดอัตราการสึกกร่อนต่ำ ทั้งกรณีใช้และไม่ใช้สารหล่อลื่น

อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตว่าวัสดุ S45C SKD11 และ SKH51 มีความแข็งแตกต่างกันพอสมควร แต่วัสดุทั้ง 3 ชนิดมีอัตราการสึกหรอไม่แตกต่างกันมาก ทั้งนี้สาเหตุน่าจะมาจากกลไกหลักของการสึกหรอในการทำงานแบบ Ball-on-Disk เป็นแบบ Adhesive wear ซึ่งปัจจัยทางด้านความแข็งไม่ใช่อิทธิพลหลักในการต้านทานการสึกหรอประเภทนี้ และวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมมีคุณสมบัติเฉพาะตัวทางด้านการเสียดสีสูง (high abrasiveness) และมีแนวโน้มในการเชื่อมเย็นกับวัสดุอื่นได้ดี [8] ดังนั้นการเลือกการเลือกกับคู่กับวัสดุที่มีความแข็งต่างกันมาก (เช่น WC) จะช่วยลดโอกาสในการเชื่อมเย็นขณะสัมผัส ลดอัตราการสึกหรอได้อย่างชัดเจน

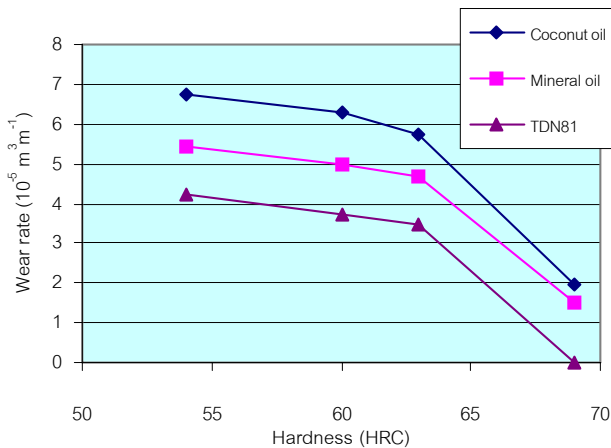
ตารางที่ 2 อัตราการสึกหรอ (หน่วย $\text{m}^3 \text{m}^{-1}$)

วัสดุ	No lubricant	Coconut oil	Mineral oil	TDN81
S45C	0.618	6.74×10^{-5}	5.43×10^{-5}	4.21×10^{-5}
SKD11	0.556	6.31×10^{-5}	5.00×10^{-5}	3.70×10^{-5}
SKH51	0.549	5.76×10^{-5}	4.66×10^{-5}	3.48×10^{-5}
WC	0.230	1.95×10^{-5}	1.50×10^{-5}	0*

* การทดสอบทำถึงระยะเคลื่อนที่สัมพัทธ์ 1175 m ไม่พบการสึกหรอ



รูปที่ 7 อิทธิพลของความแข็งวัสดุทำพิมพ์ที่มีต่ออัตราการสึกหรอ (กรณีไม่ใช้สารหล่อลื่น)



รูปที่ 8 อิทธิพลของความแข็งที่มีต่อปริมาตรการสึกหรอที่ระยะเคลื่อนที่สัมพัทธ์ 700 เมตรภายใต้สภาวะการหล่อลื่นด้วยของเหลว

5. บทสรุป

- ปัจจัยของการหล่อลื่นมีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและอัตราการสึกหรอมากกว่าชนิดของวัสดุทำพิมพ์
- สภาวะการทำงานที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำจะมีอัตราการสึกหรอต่ำด้วย
- การใช้สารหล่อลื่นช่วยลดอัตราการสึกหรอได้มากกว่า 99% เทียบกับไม่ใช้สารหล่อลื่น
- วัสดุทำพิมพ์ที่มีความแข็งสูงทำให้อัตราการสึกหรอลดลงทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้สารหล่อลื่น ดังแสดงค่าสรุปในตารางที่ 3 โดยทำการเปรียบเทียบกับวัสดุ S45C ซึ่งมีความแข็งน้อยที่สุดสำหรับงานนี้

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์การลดอัตราการสึกหรอเมื่อเทียบกับวัสดุ S45C

วัสดุ	No lubricant	Coconut oil	Mineral oil	TDN81
S45C	0	0	0	0
SKD11	10.00	6.33	7.86	12.10
SKH51	11.24	14.21	14.21	17.45
WC	62.76	72.31	72.31	100

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่สนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณนายเอกณัฐ เอกรัตนธัญ และนายวิทยา ทองประภา นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุที่ช่วยดำเนินการทดลองและทำการวัดตรวจเก็บผล

เอกสารอ้างอิง

- B.Bhushan, "Modern Tribology Handbook", CRN press, 2001.
- K. Wellinger and H.Breckel, "Deformation and Wear in the Impact of Metallic Workpieces", Wear Vol.13 (1969) p257-281.
- E.V.Heide, A.J.Veld and D.J.Schipper, "The Effect of Lubricant Selection on Galling in a Model Wear Test", Wear Vol. 251 (2001) p.973-979.
- M.A.Masen and M.B.Rooij, Abrasive Wear between Rough Surfaces in Deep Drawing", Wear Vol.256 (2004) p.639-646.
- J.A.Schey, "Tribology in Metal Forming; Friction, Lubrication and Wear", American Society for Metal, 1983.
- ปณิตดา นิรนาทล้ำพงศ์และคณะ, "การสึกหรอในงานอุตสาหกรรม" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.
- ASTM G133-95 "Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear" p523-536.
- Metals Handbook Vol.4 Forming, American Society of metal, 1969.