

การจำลองการทำงานบนเครื่อง Ball-on-Disk เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางไตรบอโลยี ในงานขึ้นรูปโลหะแผ่น

Ball-on-Disk simulation to study tribological behavior in sheet metal forming

ภาสพิรุพห์ ศรีสำเร็จ^{1*} และ ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี²

Bhadpiroon Sresomroneg^{1*} and Natchanun Angsuseranee²

บทคัดย่อ

การทดสอบด้วยวิธี Ball-on-Disk ตามมาตรฐาน ASTM G99 ถูกใช้ในการจำลองการขึ้นรูปโลหะเพื่อศึกษาสมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสเหล็กกล้าเครื่องมือเย็นกับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษการทดสอบใช้เงื่อนไขเดียวกับการขึ้นรูปโลหะโดยขึ้นทดสอบบอลขนาด 6 มิลลิเมตร ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือเย็นเกรด SKD11 (JIS)ชุบแข็งได้ค่าความแข็งเท่ากับ 59 HRCค่าความหยาบผิว Raเท่ากับ 0.0574 ไมโครเมตร แผ่นจานทดสอบขนาด 30 มิลลิเมตร ทำจากเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษเกรด SPFC 980Y (JIS) ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างผิวคู่สัมผัสที่ใช้ในการทดสอบกำหนดให้เท่ากับความเร็วที่ใช้ในการขึ้นรูปโลหะเท่ากับ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที แรงกระทำระหว่างผิวคู่สัมผัสเท่ากับ 10 นิวตัน ทำการทดสอบทั้งกรณีใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่น ผลการทดสอบพบว่าสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดสอบช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายได้มากกว่า 6 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใช้สารหล่อลื่น ผลจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่ลดลงส่งผลให้ปริมาณการสึกหรอของบอล SKD11 ลดลงด้วย

คำสำคัญ : การจำลองการทำงาน Ball-on-Disk ไตรบอโลยี ขึ้นรูปโลหะ

Abstract

Ball-on-Disk testing by ASTM G99 standard was used to simulate metal forming for studying the tribological behavior between the contacting surfaces of cold work tool steel and advanced high strength steel. The tests used same conditions as metal forming processes by diameter of the ball is 6 mm and made from cold work tool steel grade SKD11 (JIS) with harden 59 HRC and surface roughness Ra is 0.0574 μm . Diameter of the disk is 30 mm made from advanced high strength steel grade SPFC 980Y (JIS). The relative sliding speed between contacting surface is 10 mm/s as same as metal forming velocity. Value of the force at contacting surface is 10 N. The tests perform with lubricant and no lubricant. The results have shown that lubrication could reduce the value of friction coefficient more than 6 times when compared with the case of no lubricant and the reduction of friction coefficient could effect to the wear volume of SKD11 ball to be reduced.

Keywords : Simulation, Ball-on-Disk, Tribology, Metal forming

¹ ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมินนทบุรี 11000

¹ Tool and Die Technology Center, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi, 11000, Thailand

² สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี ปทุมธานี 12000

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Pathumthani University, Pathumthani, 12000, Thailand

* Corresponding author. E-mail: b.sresomroeng@gmail.com

บทนำ

ไตรบอโลยี (Tribology) มาจากคำในภาษากรีกว่า “Tribos” ซึ่งหมายถึงการถู หรือการขัดสี ปัจจุบันไตรบอโลยี เป็นศาสตร์ของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความเสียดทาน (friction) การหล่อลื่น (lubrication) และการสึกหรอ (wear) ของพื้นผิววัสดุที่มีการเคลื่อนที่สัมผัสกัน ดังนั้นการศึกษาไตรบอโลยี จึงเป็นการศึกษาและประยุกต์ใช้ความรู้เชิงประจักษ์ในเรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเสียดทาน การหล่อลื่น และการสึกหรอซึ่งปัจจุบันมีการศึกษาทางด้านนี้อย่างกว้างขวางในแง่ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยเฉพาะเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน ลดต้นทุนการผลิต ในภาคอุตสาหกรรม

การขึ้นรูปโลหะ (metal forming) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของชิ้นงานโลหะให้เป็นไปตามที่ต้องการโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าแม่พิมพ์หรือตาย (die) ควบคุมการไหลตัวของเนื้อโลหะที่ต้องการขึ้นรูป เช่น กระบวนการพับขึ้นรูป (bending) ดังภาพที่ 1 โดยผิวของวัสดุชิ้นงานโลหะที่ต้องการขึ้นรูปจะเคลื่อนที่สัมผัสกับผิวของตายระหว่างการขึ้นรูป ดังนั้นไตรบอโลยีจึงมีความสำคัญกับงานขึ้นรูปโลหะ ทำให้มีการศึกษาพฤติกรรมทางไตรบอโลยีในงานขึ้นรูปโลหะจำนวนมากด้วยเช่นกัน

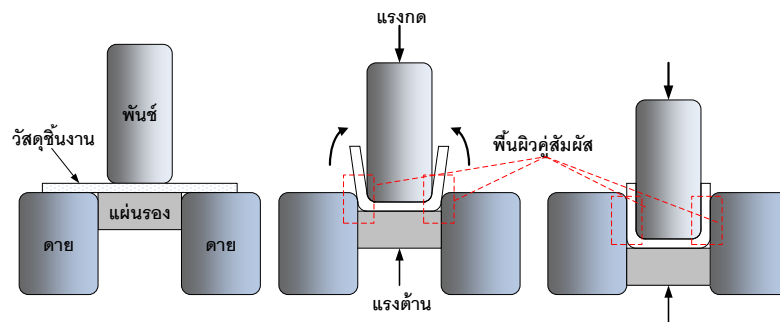


Figure 1 การไหลตัวของวัสดุชิ้นงานกับการเคลื่อนที่สัมผัสของผิวคู่สัมผัสในกระบวนการพับขึ้นรูปด้วย

การศึกษาทางไตรบอโลยีในงานขึ้นรูปโลหะมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถขึ้นรูปวัสดุชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปได้สำเร็จตามที่ได้ออกแบบไว้ รวมถึงเพื่อยืดอายุการใช้งานแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป ที่ผ่านมามีการศึกษาพฤติกรรมทางไตรบอโลยีในงานขึ้นรูปโลหะ เช่น การศึกษาพฤติกรรมทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสฟิล์มบางเคลือบแข็ง (hard thin film coating) ที่เคลือบบนเหล็กกล้าเครื่องมือกับชิ้นงานโลหะแผ่น [1] ทั้งนี้เพื่อนำผลการศึกษาดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (high strength steel; HSS) และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษ (advanced high strength steel; AHSS) [2-4] ซึ่งผลการศึกษาจาก [1] ช่วยให้สามารถเลือกฟิล์มเคลือบแข็งที่เหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปได้รวมถึงเป็นแนวทางแก่ผู้พัฒนาฟิล์มเคลือบแข็งได้นำไปพัฒนามสมบัติของฟิล์มเคลือบแข็งให้สามารถเข้ากับงานขึ้นรูปโลหะได้ ซึ่งจะเห็นได้จากงานวิจัยของผู้พัฒนาฟิล์มเคลือบแข็ง ผู้พัฒนาวิธีการปรับสภาพผิว หรือผู้พัฒนาสารหล่อลื่น มีการทดสอบทางไตรบอโลยีเพื่อยืนยันสมบัติทางไตรบอโลยีของฟิล์มเคลือบแข็งที่ตนได้พัฒนาขึ้น [5-10] กับการใช้งานในด้านต่างๆ

การทดสอบทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสที่ต้องการศึกษา สามารถทำได้หลายวิธีตามมาตรฐาน ASTM เช่น การทดสอบเพื่อวัดการสึกหรอแบบขัดสีด้วยทรายและล้อยาง (Dry sand/rubber wheelabrasion test) ตามมาตรฐาน ASTM G65 [11] ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อดูลักษณะและวัดปริมาณการสึกหรอของชิ้นทดสอบ ด้วยการใส่ล้อยางหมุนบนชิ้นทดสอบโดยระหว่างการทดสอบทรายแห้งจะถูกปล่อยผ่านผิวคู่สัมผัสด้วยอัตราการไหลที่กำหนดการทดสอบ

ด้วยวิธีบล็อกบนแผ่นวงแหวน(Block-on-Ring)ตามมาตรฐาน ASTM G77[12]วัสดุชิ้นทดสอบที่ต้องการวัดความต้านทานการสึกหรอระหว่างผิวคู่สัมผัส จะถูกทำเป็นบล็อกหรือวงแหวนขึ้นกับผู้ทดสอบพิจารณา โดยการทดสอบจะให้วงแหวนหมุนด้วยความเร็วที่กำหนด ขณะที่บล็อกจะถูกกดลงบนวงแหวนหมุนด้วยแรงตั้งฉากกับผิวสัมผัส การทดสอบด้วยวิธีหมุดบนแผ่นจานหรือบอลบนแผ่นจาน(Pin-on-Disk หรือ Ball-on-Disk) ตามมาตรฐาน G99 [13] ซึ่งเป็นการทดสอบการสึกหรอของผิวคู่สัมผัสอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับนิยมนื่องจากเตรียมชิ้นทดสอบง่าย คือเตรียมเป็นแท่งหมุดที่มีปลายเป็นรัศมี และแผ่นจานวงกลม การทดสอบจะให้แผ่นจานหมุนด้วยความเร็วที่กำหนด โดยมีหมุดกดด้วยแรงที่ต้องการใช้ในการทดสอบกระทำตั้งฉากลงบนแผ่นจานหมุน การทดสอบที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการทดสอบในลักษณะที่ผิวคู่สัมผัสของชิ้นทดสอบเคลื่อนที่ลักษณะเชิงมุมทั้งนี้ยังมีการทดสอบทางไทรบอโลยีในลักษณะผิวคู่สัมผัสเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นด้วย ซึ่งผลการทดสอบทั้งเชิงมุมและเชิงเส้นต่างให้ผลการทดสอบในลักษณะเดียวกัน

จากงานวิจัยที่ผ่านมา เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทางไทรบอโลยีมาใช้เพื่อประเมินและอธิบายพฤติกรรมทางไทรบอโลยีในงานด้านต่างๆ แต่ไม่ได้อธิบายวิธีการทดสอบเพื่อให้ได้มาซึ่งผลการทดลอง ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายวิธีการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมทางไทรบอโลยีด้วยการจำลองการทำงาน โดยเลือกวิธีการทดสอบแบบBall-on-Disk ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM G99 ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่สะดวกโดยใช้ไทรบอมิเตอร์ อีกทั้งยังง่ายต่อการเตรียมชิ้นทดสอบของผิวคู่สัมผัส ซึ่งผลที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อประโยชน์ในงานขึ้นรูปโลหะแผ่นตามเงื่อนไขเกี่ยวกับการจำลองได้

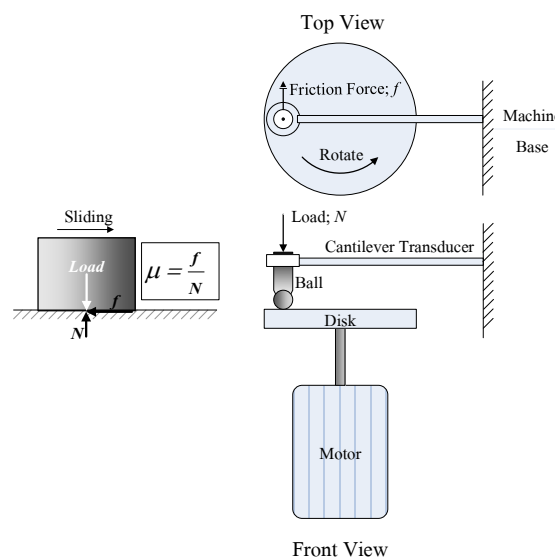


Figure 2 หลักการทำงานของไทรบอมิเตอร์ ตามมาตรฐาน ASTM G99

การทดสอบทางไทรบอโลยี

หลักการทดสอบ Ball-on-Disk

Ball-on-Disk เป็นวิธีการทดสอบเพื่อศึกษาการสึกหรอของผิวคู่สัมผัสที่เคลื่อนที่สัมผัสกันโดยการทดสอบจะดูลักษณะของการสึกหรอ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัส โดยหน่วยวัดที่ใช้กำหนดอยู่ในระบบมาตรฐาน S1 การทดสอบแต่ละครั้งต้องใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 2 ชิ้นที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมทางไทรบอโลยีระหว่างผิว

คู่สัมผัสเพื่อเตรียมเป็นบอลกับแผ่นจาน วัสดุขึ้นทดสอบที่ถูกเตรียมเป็นบอลจะถูกจับยึดด้วยด้ามจับที่มีความแข็งแรงเพียงพอ ในการทดสอบด้ามจับบอลจะถูกยึดติดกับก้านทดสอบของเครื่องไทรบอมิเตอร์โดยมีแรงกด (Load; N) จากตุ้มน้ำหนักกดบอลลงบนชิ้นงานที่เตรียมเป็นแผ่นจาน ดังภาพที่ 2 ในการทดสอบจานหมุนด้วยต้นกำลังจากมอเตอร์ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ สามารถหาได้โดยตรงจากอัตราส่วนของแรงเสียดทานซึ่งเป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ระหว่างผิวคู่สัมผัสของขึ้นทดสอบ กับแรงกด N

การทดสอบ Ball-on-Disk ในงานขึ้นรูปโลหะ

การจำลองการทำงานด้วยวิธีBall-on-Disk เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางไทรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสในงานขึ้นรูปโลหะ วัสดุที่ใช้ในการทดสอบจะใช้วัสดุชนิดเดียวกับวัสดุที่ใช้ทำตายและวัสดุที่ต้องการขึ้นรูป เช่นในงานขึ้นรูปเย็นโลหะแผ่น วัสดุที่ใช้ทำตายนิยมใช้เหล็กกล้าเครื่องมือเย็นเกรด SKD11 (JIS) ชุบแข็งที่ค่าความแข็ง 60 ± 2 HRC โดยผิวแม่พิมพ์จะทำการขัดมัน (lapping) ดังนั้นบอลที่ใช้ทดสอบจะถูกเตรียมจากเหล็ก SKD11 ที่มีค่าความแข็ง และค่าความหยาบผิวเท่ากับตายที่ใช้ขึ้นรูป สำหรับโลหะแผ่นที่ต้องการขึ้นรูปจะถูกเตรียมเป็นแผ่นจาน

สำหรับบทความนี้เครื่องไทรบอมิเตอร์ Anton Paarถูกใช้ในการทดสอบพฤติกรรมทางไทรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสของ บอล SKD11 ความแข็ง 59 HRC มีค่าความหยาบผิวRaเท่ากับ0.0574ไมโครเมตร กับผิวคู่สัมผัสเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษ เกรด SPFC980Y มีลักษณะการทดสอบดังภาพที่ 3 บอลที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 มิลลิเมตร และขนาดของแผ่นจานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ30 มิลลิเมตร ความเร็วที่ใช้ในการหมุนของแผ่นจานกำหนดให้เท่ากับความเร็วที่ใช้ในการขึ้นรูปขึ้นงาน คือ 10 มิลลิเมตรต่อวินาที กำหนดระยะทางการทดสอบเท่ากับ 50 เมตรสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัส โดยมีแรงกระทำระหว่างผิวคู่สัมผัสที่ให้โดยตุ้มน้ำหนักขนาด 10 นิวตันทำการทดสอบทั้งกรณีใช้สารหล่อลื่นและไม่ใช้สารหล่อลื่น สารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดสอบเป็นสารหล่อลื่นที่ใช้ในงานขึ้นรูปโลหะที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปมีค่าความหนืด (viscosity) เท่ากับ60 มิลลิเมตรต่อวินาทีกำลังสอง ที่ 40 องศาเซลเซียส

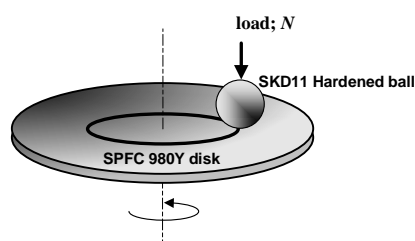


Figure 3 ขึ้นทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมทางไทรบอโลยีในการขึ้นรูปเหล็กเกรดSPFC 980Y

นอกจากการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสแล้ว ผิวคู่สัมผัสที่ผ่านการทดสอบสามารถนำมาวัดปริมาณการสึกหรอได้ สำหรับงานขึ้นรูปโลหะสนใจพิจารณาอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ดังนั้นการทดสอบครั้งนี้จึงสนใจปริมาณการสึกหรอของบอลซึ่งถูกจำลองเป็นวัสดุทำแม่พิมพ์โดยภาพที่ 4 แสดงลักษณะ และตัวแปรในการวัดบอลทดสอบเพื่อหาปริมาณการสึกหรอบอลจะถูกนำมาขยายรอยสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อถ่ายภาพและวัดรอยสึกหรอปริมาณการสึกหรอสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (1)

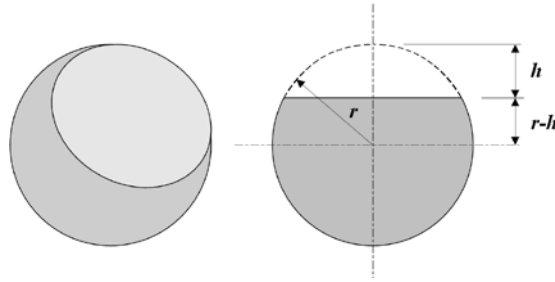


Figure 4 ลักษณะและตัวแปรในการวัดรอยสึกหรอของบอลทดสอบ

$$V = \pi h^2 \left(r - \frac{h}{3} \right) (1)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรการสึกหรอ [ลูกบาศก์มิลลิเมตร]

h คือ ความสูงของรอยสึกหรอ [มิลลิเมตร]

r คือ รัศมีของบอลทดสอบ [มิลลิเมตร]

สำหรับบทความนี้การทดสอบเพื่อหาปริมาตรการสึกหรอของเหล็กกล้าเครื่องมือเย็น SKD11 กับผิวคู่สัมผัสเหล็กกล้า SPFC 980Y จะกระทำกรณีไม่ใช้สารหล่อลื่นโดยที่ทุกๆระยะทางการหมุน 200 เมตร บอลจะถูกนำมาขยายรอยสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อถ่ายภาพและวัดรอยสึกหรอด้วยโปรแกรม MotiImages Plus 2.0 ML ปริมาตรการสึกหรอของบอล ซึ่งหาได้จากสมการที่ (1) จะถูกนำมาพล็อตเปรียบเทียบกับระยะทางการทดสอบ โดยการสึกหรอของบอลในการทดสอบจะเป็นในลักษณะเชิงเส้น ดังนั้นการทดสอบจะกระทำจนแนวโน้มของปริมาตรการสึกหรอเทียบกับระยะทางการทดสอบที่อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงมีค่าทางสถิติ R^2 หรือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.95 จึงหยุดการทดสอบ

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างผิวคู่สัมผัสเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 กับ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษเกรด SPFC 980Y ในภาพที่ 5 พบว่าสารหล่อลื่นช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างผิวคู่สัมผัสได้ตั้งแต่ช่วงแรกของบอลเคลื่อนที่โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเฉลี่ยเท่ากับ 0.069 ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างผิวคู่สัมผัสของชิ้นทดสอบทั้งสอง กรณีไม่ใช้สารหล่อลื่นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่การเคลื่อนที่ในช่วงแรกจนถึงระยะทาง 5 เมตร หลังจากนั้นจะคงที่ตลอดระยะทางการทดสอบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเฉลี่ยเท่ากับ 0.433 จากการทดสอบดังกล่าวพบว่า สารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดสอบช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายได้มากกว่า 6 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใช้สารหล่อลื่น

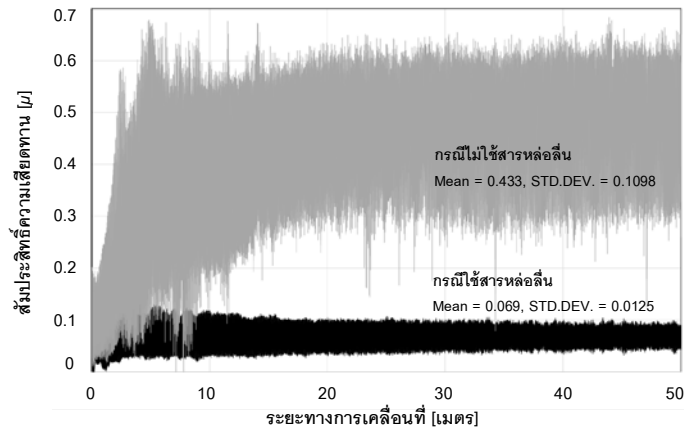


Figure 5 ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายด้วยวิธี Ball-on-Disk

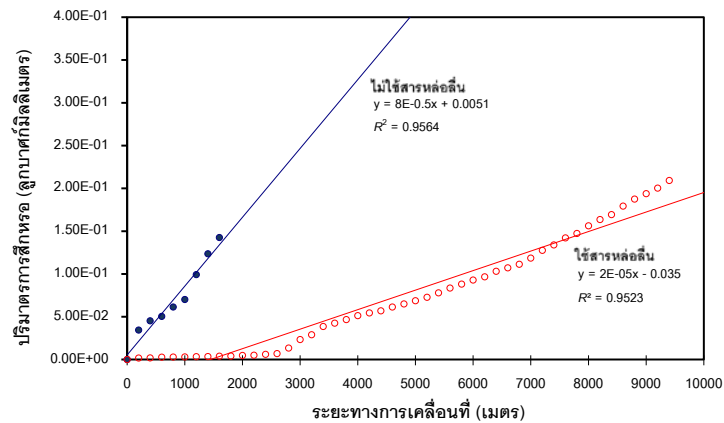


Figure 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรการสึกหรอกับระยะทางการทดสอบของบอล SKD11

จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรการสึกหรอของบอล SKD11 กับระยะทางการทดสอบในภาพที่ 6 พบว่าเส้นกราฟความสัมพันธ์ของปริมาตรการสึกหรอกับระยะทางการเคลื่อนที่ของบอลกรณีไม่ใช้สารหล่อลื่นมีความชันของเส้นกราฟสูงตั้งแต่ช่วงแรกของระยะทางการทดสอบ ซึ่งเมื่อทดสอบไปที่ระยะทาง 1,600 เมตรแนวโน้มความสัมพันธ์ของปริมาตรการสึกหรอกับระยะทางการทดสอบมีค่าทางสถิติ R^2 มากกว่า 0.95 ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ จึงหยุดการทดสอบ โดยกรณีการใช้สารหล่อซึ่งช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างผิวคู่สัมผัสได้มากกว่า 6 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใช้สารหล่อลื่นนั้น ประสิทธิภาพของสารหล่อลื่นช่วยลดปริมาตรการสึกหรอของบอล SKD11 ได้ตั้งแต่ระยะทางการทดสอบแรกจนถึงระยะทาง 2,600 เมตร หลังจากนั้นความชันของเส้นกราฟจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนค่าทดสอบทางสถิติ R^2 มากกว่า 0.95 ที่ระยะทางการทดสอบ 9,400 เมตร จึงหยุดการทดสอบเช่นกัน ดังนั้นสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดสอบสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างผิวคู่สัมผัสได้ส่งผลให้ปริมาตรการสึกหรอของบอล SKD 11 ลดลงด้วย

สรุป

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายการจำลองการทำงานบนเครื่อง Ball-on-Disk ตามมาตรฐาน ASTM G99 เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางไทรบอโลยีในงานขึ้นรูปโลหะแผ่น ระหว่างผิวคู่สัมผัสวัสดุทำแม่พิมพ์กับวัสดุขึ้นงาน ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบทางไทรบอโลยีสามารถนำไปเป็นข้อมูลเพื่อทำนายการขึ้นรูปโลหะได้ เช่น เพื่อใช้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสในการจำลองการขึ้นรูปโลหะด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method; FEM) เป็นต้นบนพื้นฐานตัวแปรของกระบวนการเดียวกันระหว่างการขึ้นรูปโลหะ การจำลองการทำงานบนเครื่อง Ball-on-Disk และ FEM นอกจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สามารถวัดได้โดยตรงแล้ว การทดสอบด้วยวิธีนี้ยังใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสารหล่อลื่นหรือการปรับสภาพผิวของชิ้นทดสอบแต่ละชนิดได้ด้วยการเปรียบเทียบปริมาตรการสึกหรอของชิ้นทดสอบ

ผลการทดสอบทางไทรบอโลยีด้วยเครื่องไทรบอมิเตอร์ ตามมาตรฐาน ASTM G99 ในการทดสอบครั้งนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. สารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมทางไทรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสเหล็กกล้าเครื่องมือเย็น SKD11 กับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษ SPFC 980Y ช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้มากกว่า 6 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใช้สารหล่อลื่น
2. สารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมทางไทรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสเหล็กกล้าเครื่องมือเย็น SKD11 กับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษ SPFC 980Y ช่วยลดปริมาณการสึกหรอของผิวทดสอบได้ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสที่ลดลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bhadpiroon Sresomroeng, Komgrit Lawanwong, Varunee Premanond, Ratchnee Hato, Pongpan Kaewtatip Anak Khanchawana and Nobuhiro Koga. 2009, "Tribological behaviour of thin film coatings against high strength steels", Int. J. Abrasive Technology, Vol. 2, No. 3, pp. 313-328.
- [2] B. Sresomroeng, V. Premanond, P. Kaewtatip, A. Khantachawana, N. Koga and S. Watanabe, 2010, "Anti-adhesion performance of various nitride and DLC films against high strength steel in metal forming operation", Diamond & Related Materials, Vol.19, pp.833-836.
- [3] Bhadpiroon Sresomroeng, Varunee Premanond, Pongpan Kaewtatip, Anak Khantachawana and Nobuhiro Koga, 2010, "Evaluation of Ti-Based Ceramic Coated Tools to Reduce Adhesion in U-Channel Forming Process of High Strength Steel", Steel Research int., Vol.81, No. 9, pp.829-932.
- [4] B. Sresomroeng, V. Premanond, P. Kaewtatip, A. Khantachawana, A. Kurosawa, N. Koga, 2011, "Performance of CrN radical nitrided tools on deep drawing of advanced high strength steel", Surface & Coatings Technology, Vol.205, pp.4198-4204.
- [5] F. Majdic, I. Velkavrh, M. Kalin, 2013, "Improving the performance of a proportional 4/3 water-hydraulic valve by using a diamond-like-carbon coating", Wear, Vol.297, pp.1016-1024.
- [6] J.M. Fildes, S.J. Meyers, C.P. Mulligan, R. Kilaparti, (2013), "Evaluation of the wear and abrasion resistance of hard coatings by ball-on-three-disk test methods - A case study", Wear, Vol. 302, pp.1040-1049.
- [7] A. Rokanopoulou, P. Skarvelis, G.D. Papadimitriou, (2016), "Improvement of the tribological properties of Al₂O₃ reinforced duplex stainless steel MMC coating by the addition of TiS₂ powder", Surface & Coatings Technology, Vol. 289, pp.144-149.

- [8] Yangyi Xiao, Wankai Shin, JingLuo, YijianLiao, (2014), "The tribological performance of TiN, WC/C and DLC coatings measured by the four-ball test", *Ceramics International*, Vol. 40, pp.6919–6925.
- [9] P. Carlsson, M. Olsson, (2006), "PVD coatings for sheet metal forming processes - a tribological evaluation", *Surface & Coatings Technology*, Vol. 200, pp.4654–4663.
- [10] B. Podgornik, M. Sedlacek, D. Mandrino, (2016), "Performance of CrN coatings under boundary lubrication", *Tribology International* Vol.96, pp.247–257.
- [11] ASTM International, 2000, "Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus", ASTM G99.
- [12] ASTM International, 2010, "Standard Test Method for Ranking Resistance of Materials to Sliding Wear Using Block-on-Ring Wear Test" ASTM G77.
- [13] ASTM International, 2000, "Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus", ASTM G99.