

เครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแนวรัศมี 2 ตำแหน่ง

Radial Wear Resistance Tester of Two Positions

ปริญญา ศรีสัตยกุล¹, พิษณุ ทองขาว², โอริส มณีสาย³, ไพบุญ หายมนต์⁴ และ ธิดาธิป หารชุมพล⁵

^{1,3,4}สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร

E-mail: ¹parinya.sr@mail.rmutk.ac.th, ³oris.m@mail.rmutk.ac.th, ⁴paiboon.h@mail.rmutk.ac.th

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: pitsanu.t@rmutp.ac.th

⁵สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและออกแบบแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

1061 ซอยอิสราภาพ 15 ถนนอิสราภาพ แขวงหิรัญบุรี เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร E-mail: thiphaans@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแนวรัศมี 2 ตำแหน่ง ภายใต้มาตรฐานการทดสอบ ASTM G99 (Block-on-Disk) และ ASTM G77 (Block-on-Ring) หลักการทำงานสำคัญของเครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแนวรัศมี 2 ตำแหน่ง คือ การใช้ล้อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 170 mm และความหนา 25.4 mm ทำการทดสอบการสึกหรอภายใต้น้ำหนักกดขนาด 10-100 g ในการทดสอบการสึกหรอสามารถดำเนินการทดสอบได้พร้อมกันทั้ง 2 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งบนหน้างาน และตำแหน่งบนขอบวงแหวน ผลลัพธ์จากการทดสอบเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแนวรัศมี 2 ตำแหน่ง พบว่า เครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแนวรัศมี 2 ตำแหน่ง มีประสิทธิภาพสอดคล้องตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM G99 และ ASTM G77

คำสำคัญ: แนวรัศมี, ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ, มาตรฐาน ASTM

Abstract

This research designed and built the radial wear resistance tester of two positions based on the ASTM G99 (Block-on-disk) and ASTM G77 (Block-on-ring) testing standard. The main working function of radial wear resistance tester of two positions was that the steel-wheel diameter of 170 mm and thickness of 25.4 mm for was tested on the applied loads of 10-100 g. The wear testing could simultaneously perform the two positions, namely, the face-plate position and the ring-edge position. The result showed that the

efficiency of the tester was accordant with the ASTM G99 and ASTM G77 testing standard.

Keywords: Radial, wear resistance, ASTM testing standard.

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้การทดสอบเกี่ยวกับความสามารถในการต้านทานการสึกหรอนั้นต่อภาคอุตสาหกรรม จึงมีการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอเฉพาะทางกันอย่างแพร่หลาย คมกริช และคณะ [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับชนิดของการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็ง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในงานแม่พิมพ์ปั๊มโลหะในปัจจุบัน เนื่องจากการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ 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 ซึ่งบอลจะมีทั้งแบบไม่เคลือบผิว และเคลือบผิวด้วยด้วยกรรมวิธี TiAlN, TiN และ TiCN-CVD ทำการวิจัยภายใต้สภาวะไม่ใช้สารหล่อลื่นและควบคุมอุณหภูมิที่ 25°C ทุกการทดลองใช้น้ำหนักกดเท่ากัน คือ 10 N ความเร็ววงที่ 10 cm/s ผลการวิจัยพบว่าเมื่อค่าความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้นพบแนวโน้มมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างผิวคู่สัมผัสสูง และเมื่อผิวฟิล์มเคลือบที่มีความแข็งสูงทำให้ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปถาวรมีค่ามากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจึงต่ำและสามารถต้านทานการสึกหรอได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดารารัตน์ [2] ได้ศึกษาอัตราการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดมาร์เทนซิติค AISI 440Cและเหล็กกล้าเครื่องมือเย็น AISI D2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอัตราการสึกหรอ และ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4
Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคกับอัตราการสึกหรอของเหล็กกล้าทั้งสองชนิดภายหลังการชุบแข็งและการอบคืนไฟ โดยทำการทดสอบความต้านทานการสึกหรอด้วยเครื่องพินออนดิสก์โดยใช้แรงกด 10 และ 50 N เป็นระยะทาง 1000 m ตรวจสอบน้ำหนักที่สูญเสียบนจากการทดสอบการสึกหรอ ตรวจสอบผิวชิ้นงานภายหลังการทดสอบการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ และหาอัตราการสึกหรอจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียบนกับระยะทางที่ทดสอบ จากการทดสอบการสึกหรอพบว่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบมีค่าลดลงตามอุณหภูมิอบคืนไฟของหมุดที่เพิ่มขึ้น สุรตน์ และคณะ [3] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอด้วยหลักการไหลของพื้นผิววัสดุที่ต้องการทดสอบสัมผัสกับพื้นผิววัสดุคู่สัมผัสที่ต้องการศึกษา ซึ่งเป็นหลักการของวิธีการทดสอบแบบ Block-on-Ring ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM G77 โดยขอบเขตของโครงการ กำหนดความเร็วรอบของการทดสอบได้ 30-120 rpm สามารถปรับตั้งเวลาของการหยุดการเดินเครื่องได้อัตโนมัติ สามารถรับน้ำหนักที่ใช้ถ่วงสำหรับการทดสอบได้ในช่วงระหว่าง 1-20 kg และพิถีพิถันความเผื่อของน้ำหนักที่ตกลงบนชิ้นทดสอบอยู่ในช่วง ± 0.1 kg โดยทดสอบด้วยวัสดุ 3 ชนิดคือ UHMWPE, PTFE และ Martensitic Stainless Steel ผลจากการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอพบว่า เครื่องสามารถปรับตั้ง ความเร็วรอบของการทดสอบ ปรับตั้งเวลาให้เครื่องหยุดการทดสอบอัตโนมัติ สามารถรับน้ำหนักที่ใช้ถ่วงสำหรับการทดสอบและพิถีพิถันความเผื่อของน้ำหนักที่ตกลงบนชิ้นทดสอบได้ตามขอบเขตของโครงการ ซึ่งจากการทดสอบน้ำหนักที่ถ่วงเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ตกลงบนชิ้นทดสอบพบว่า น้ำหนักที่ตกลงบนชิ้นทดสอบมีค่าอยู่ในพิถี ± 0.1 kg และสามารถทำการทดสอบการสึกหรอของวัสดุได้ทั้ง 3 ชนิดข้างต้น พิรญา [4] ได้ศึกษาพฤติกรรมการเกิดออกซิเดชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกหล่อ 26Cr-16Ni ที่อุณหภูมิ 800 900 และ 1000°C ในอากาศแห้งและอากาศเปียก โดยเทคนิค Thermal Gravimetric Analysis (TGA) เวลา 100 hr เปรียบเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกหล่อ AISI 309 และเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกรีดเย็น AISI 309 ที่อุณหภูมิ 900°C เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกหล่อ 26Cr-16Ni มีความต้านทานการเกิดออกซิเดชันสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกหล่อและรีดเย็น AISI 309 ทั้งในอากาศแห้งและอากาศเปียก เนื่องจากมีปริมาณโครเมียมและนิกเกิลสูงกว่า อัตราการเกิดออกซิเดชันในอากาศแห้งมีค่าต่ำกว่าอัตราการเกิดออกซิเดชันในอากาศเปียก ธนวัฒน์ และคณะ [5] ได้ทำการสร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอแบบไถล (POD: RL-I) ภายใต้อาณัติมาตรฐานการทดสอบ ASTM G99-05 โดยมีหลักการการทำงานคือใช้ลูกบอลทดสอบอลูมินาขนาด 6 mm กดลงบนชิ้นทดสอบขนาด 25×25×6 mm ที่ถูกติดตั้งอยู่ในชุดจานหมุนทำการเพิ่มน้ำหนักกดจากค้อนน้ำหนักมาตรฐาน (100-

1,000 g) แล้วทดสอบโดยการหมุนเพื่อให้ผิวชิ้นงานถูกขัดถูจนเกิดเป็นร่องใช้มอเตอร์ขนาด 0.25 HP ขับเคลื่อนผ่านชุดควบคุมการทำงานที่สามารถกำหนดระยะทางและความเร็วการทดสอบได้ทำการทดสอบที่รัศมี 3 mm ความเร็วการทดสอบเชิงเส้นเท่ากับ 0.07 m/s หรือ 233 rpm ที่ระยะทางทดสอบต่างๆ สรุปได้ว่าเครื่องทดสอบ POD:RL- I ให้ผลการทดสอบไปในทางเดียวกันกับมาตรฐานการทดสอบ ASTM G99-05 โดยมีต้นทุนกระบวนการทดสอบเท่ากับ 27.10 บาทต่อหนึ่งครั้งกระบวนการทดสอบ และสำหรับการทดสอบและวิเคราะห์ผิวเคลือบแข็งพบว่า ผิวเคลือบแข็งที่สามารถต้านทานต่อการสึกหรอที่ดีที่สุดคือ ทังสแตนคาร์ไบด์-โคบอลต์, นิกเกิล-โครเมียมอัลลอยและเหล็กกล้าไร้สนิม 420 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแปรผันตรงกับค่าความแข็งของวัสดุ

ในปัจจุบันเครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอในประเทศไทย ยังมีความหลากหลายสำหรับการทดสอบไม่ครอบคลุมตามความต้องการใช้งานมากนัก รวมทั้งเมื่อต้องการใช้งานก็จะต้องดำเนินการออกแบบสร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอขึ้นมาใหม่ จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้เล็งเห็นปัญหาสำคัญนี้เช่นเดียวกัน จึงมีแนวความคิดที่จะดำเนินการจัดตั้งศูนย์การทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอขึ้นเพื่อให้เป็นศูนย์การทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอครบวงจรในประเทศไทย จากความต้องการใช้บริการเครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานจากทางรัฐบาลหรือเอกชน จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นนี้ ทางคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญจึงมีแนวความคิดที่จะดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแอร์ซีมี 2 ตำแหน่งขึ้นมาให้ได้ตามมาตรฐานการทดสอบวัสดุ ASTM

2. การดำเนินงานวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแอร์ซีมี 2 ตำแหน่งนั้น จะมีชิ้นส่วนหลักๆ ที่มีความสำคัญต่อหลักการทำงานตามมาตรฐานการทดสอบวัสดุ ASTM ของเครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแอร์ซีมี 2 ตำแหน่ง (ดังแสดงในรูปที่ 1) ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

หมายเลข 1 คือ Lubricant Container เป็นถาดรองเศษวัสดุที่หลุดหรือกระเด็นในขณะที่ทำการทดสอบ

หมายเลข 2 คือ Block-on-disc Lever เป็นชุดอุปกรณ์แขนกดชิ้นงานทดสอบ (Specimen) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM G99

หมายเลข 3 คือ Dead Load เป็นค้อนถ่วงน้ำหนัก สำหรับออกแรงกดวัสดุทดสอบ (Specimen)

บทความวิจัย

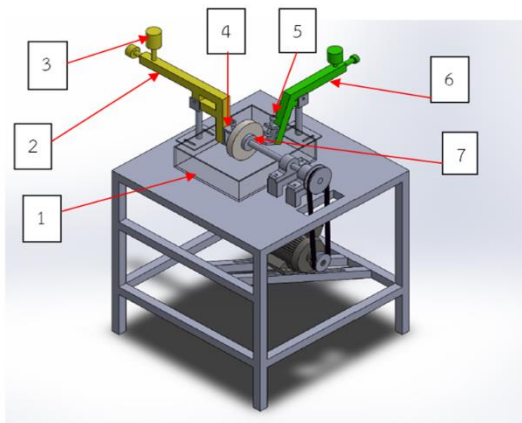
การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4
Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

หมายเลข 4 คือ Block-on-ring Lever เป็นชุดอุปกรณ์แขนกด
ชิ้นงานทดสอบ (Specimen) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM G77

หมายเลข 5 คือ Block-on-ring Holder เป็นอุปกรณ์จับยึดวัสดุ
ทดสอบ (Specimen) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM G77

หมายเลข 6 คือ Block-on-disc Holder เป็นอุปกรณ์จับยึดวัสดุ
ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM G99

หมายเลข 7 คือ Wheel เป็นล้อโลหะที่ใช้หมุนขับเคลื่อน
ทดสอบ (Specimen)



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนหลักสำคัญของเครื่องทดสอบความสามารถ
ในการต้านทานการสึกหรอแวนริศมี 2 ตำแหน่ง

การประกอบเครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการ
สึกหรอแวนริศมี 2 ตำแหน่งนั้น จะมีชิ้นส่วนหลักๆ ที่มีความสำคัญของ
เครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแวนริศมี 2
ตำแหน่ง (ดังแสดงในรูปที่ 2) ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

หมายเลข 1 คือ Block-on-ring Lever เป็นชุดอุปกรณ์ และ
แขนกดชิ้นงานทดสอบ (Specimen) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM
G77

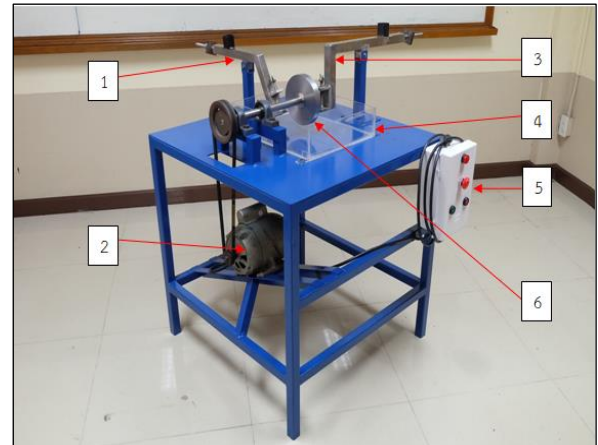
หมายเลข 2 คือ Motor ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ามาเป็น
พลังงานกลในการขับเคลื่อน

หมายเลข 3 คือ Block-on-disc Lever เป็นชุดอุปกรณ์แขนกด
ชิ้นงานทดสอบ (Specimen) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM G99

หมายเลข 4 คือ Lubricant Container เป็นถาดรองเศษวัสดุ
ที่หลุดหรือกระเด็นในขณะที่ทำการทดสอบ

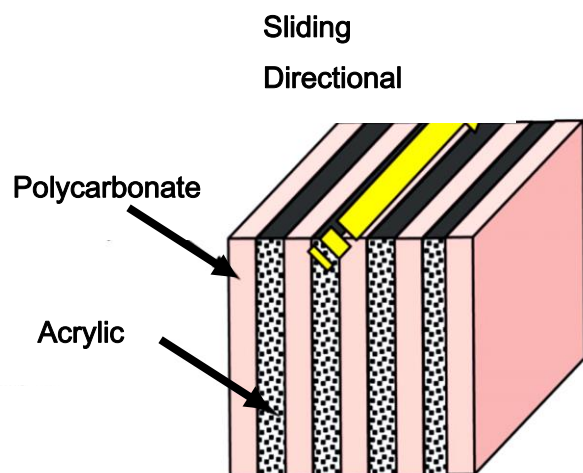
หมายเลข 5 คือ Electric Control และ Timer ซึ่งเป็น
ชุดควบคุมไฟฟ้าและชุดควบคุมเวลาในการทำงาน ทำหน้าที่กำหนดเวลา
การทำงานและการหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติ

หมายเลข 6 คือ Wheel เป็นล้อโลหะที่ใช้หมุนขับเคลื่อน
ทดสอบ (Specimen)



รูปที่ 2 เครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ
แวนริศมี 2 ตำแหน่ง

ในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยต่อมาภายหลังจากการสร้าง
เครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแวนริศมี 2
ตำแหน่งเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง
ทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแวนริศมี 2 ตำแหน่ง
กำหนดให้สภาวะในการทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึก
หรอมีความเร็วรอบ (Speed) 450 rpm และน้ำหนักในการกด (Applied
Load) 100 g กับชิ้นงานทดสอบวัสดุผสมในลักษณะแซนด์วิช (Sandwich)
ระหว่างอะคริลิก (Acrylic) กับโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate : PC)
ขนาด 35 × 35 × 25 mm ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยมีการทดสอบ
ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ 2 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4
ตามวัตถุประสงค์ของการสร้างเครื่องทดสอบความสามารถในการ
ต้านทานการสึกหรอแวนริศมี 2 ตำแหน่ง

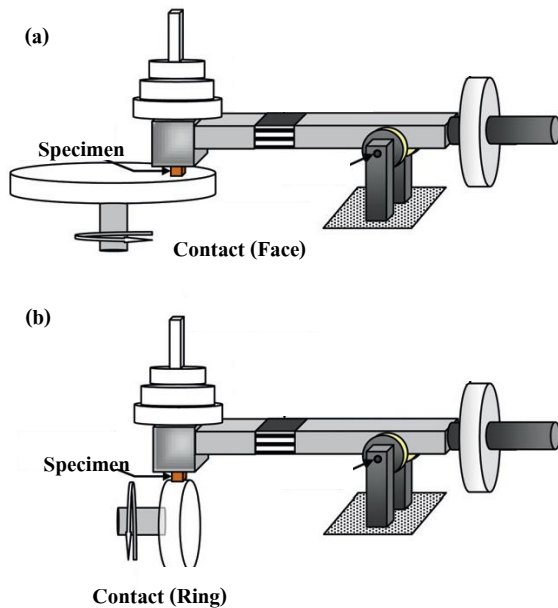


รูปที่ 3 ชิ้นงานทดสอบลักษณะแซนด์วิช (Sandwich)

บทความวิจัย

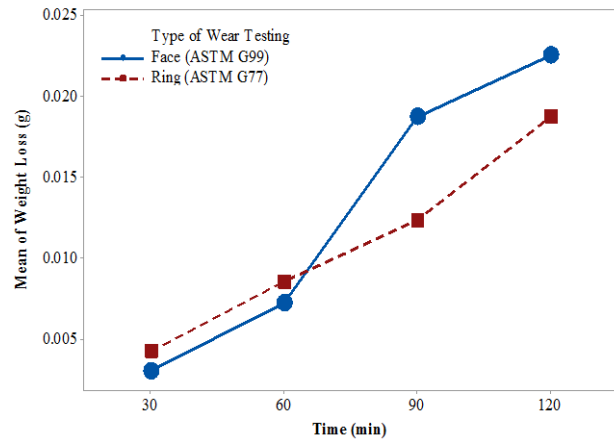
การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4

Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology



รูปที่ 4 การทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ 2 ตำแหน่ง
(a) หน้าจาน (b) ขอบวงแหวน

ผลลัพธ์จากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแนวรัศมี 2 ตำแหน่ง แสดงได้ดังรูปที่ 4 พบว่า การทดสอบทั้ง 2 ตำแหน่ง ได้แก่ พื้นที่สัมผัสหน้าจาน (Face) กับพื้นที่สัมผัสขอบวงแหวน (Ring) นั้น ค่าของน้ำหนักที่หายไป (Weight Loss) เนื่องมาจากการทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ จะมีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง (Linear Relationship) ในช่วง 30-60 min หลังจากผ่านเวลา ณ 60 min ไปแล้ว ค่าของน้ำหนักที่หายไป (Weight Loss) ของการทดสอบพื้นที่สัมผัสขอบวงแหวน (Ring) ก็ยังคงมีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง (Linear Relationship) อยู่ในขณะที่ค่าของน้ำหนักที่หายไป (Weight Loss) ของการทดสอบพื้นที่สัมผัสหน้าจาน (Face) จะแตกต่างกัน กล่าวคือ ณ ช่วงเวลา 30-60 min จะเกิดการสึกหรอเพิ่มสูงมากขึ้นจนลักษณะเส้นกราฟมีความชัน (Slope) มากกว่าเดิม แต่ ณ ช่วงเวลา 90-120 min การสึกหรอที่เกิดขึ้นจะเริ่มเพิ่มขึ้นปกติเหมือนกับช่วงเวลา ณ 30-60 min



รูปที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการทดสอบ 2 ตำแหน่ง ระหว่างหน้าจาน (Face) กับขอบวงแหวน (Ring)

3. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

เครื่องทดสอบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแนวรัศมี 2 ตำแหน่ง มีประสิทธิภาพเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM ทั้งรูปแบบการทดสอบมาตรฐาน ASTM G99 และ ASTM G77 จากการทดสอบประสิทธิภาพกับชิ้นงานทดสอบวัสดุผสมในลักษณะแซนด์วิช (Sandwich) ระหว่างอะคริลิก (Acrylic) กับโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate : PC) โดยบทสรุปจากการทดสอบดังกล่าวนี้พบว่า ค่าของน้ำหนักที่หายไป (Weight Loss) จะแปรผันตรงกับเวลาที่ใช้ในการทดสอบ (Time) กล่าวคือ เมื่อเวลาที่ใช้ในการทดสอบ (Time) เพิ่มมากขึ้น ก็จะส่งผลให้ค่าของน้ำหนักที่หายไป (Weight Loss) เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] คมกริช ณะวรรณวงษ์, ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเร็จ และวารุณี เปรมานนท์. การศึกษานิคมของฟิล์มเคลือบแข็งและความแข็งแรงของวัสดุที่ส่งผลต่อปริมาณการสึกหรอ โดยการทำงานด้วยวิธี Ball-on-disk. วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 20 ฉบับที่ 4. (2552).
- [2] ดารารัตน์ อาภาจิรสกุล. ความต้านทานการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติค AISI 440C และเหล็กกล้าเครื่องมือเย็น AISI D2. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2556).
- [3] สุรัตน์ วรรณศรี, สุรเชษฐ์ ช้อนกลิ่น และ นราธิภย์ บุตรชา. การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอ. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา. (2556).

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4
Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

- [4] พีรญา พิพัฒน์กุล. ความต้านทานการเกิดออกซิเดชันของเหล็กกล้าไร้สนิมอสเทนดิกที่มีโครเมียมร้อยละ 26 และนิกเกิลร้อยละ 16 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหะการและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2557).
- [5] ธนวัฒน์ อุปละ และคณะ. (2558). เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบไพล (POD: RL-I) และการวิเคราะห์ผิวเคลือบแข็ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. (2558).
- [6] ปนัดดา นิรนาทลาพงศ์ และ John PE. (2542). การสึกหรอในงานอุตสาหกรรมความรู้เบื้องต้นและการป้องกัน: Tribology. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.