

การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอด้วยการทดสอบ Pin-on-Disc กับสภาวะไร้การหล่อลื่น A Study the Wear Behavior of Pin-on-Disc Testing on Dry lubricant condition

ปริญญ์ ศรีสัตยกุล¹ ภาณุเดช แสงสีคำ² สุธรรม ศิวาวุธ³ และ ธิดาธิป หารชุมพล⁴

^{1,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

⁴ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและออกแบบแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

E-mail: parinya.sr@mail.rmutk.ac.th¹ panudech.s@mail.rmutk.ac.th²

sutham.s@mail.rmutk.ac.th³ และ thidathip.ha@bsru.ac.th⁴

Received 20 Sep 2020 Revised 10 Nov 2020 accepted 15 Nov 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอด้วยการทดสอบ Pin-on-Disc ตามมาตรฐาน ASTM G99 กับสภาวะไร้การหล่อลื่น ในการทดลองเชิงสถิติ นั้น เป็นการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิง แฟกทอเรียล มีพารามิเตอร์สำคัญ 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ น้ำหนักกด คือ 1, 2 กิโลกรัม ความเร็วรอบ คือ 400, 800 รอบต่อนาที และเวลา คือ 5, 10, 15 นาที วัสดุชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดลองมี 4 ประเภท ได้แก่ ผิวชิ้นงานทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ผิวชิ้นงานเคลือบไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) ผิวชิ้นงานเคลือบไทเทเนียมอลูมิเนียมซิลิกอนไนไตรด์ (TiAlSiN) และผิวชิ้นงานเคลือบไทเทเนียมอลูมิเนียมซิลิกอนโครเมียมไนไตรด์ (TiAlSiCrN) บทสรุปสุดท้ายของงานวิจัย พบว่า พฤติกรรมการสึกหรอโดยส่วนใหญ่ มีลักษณะเป็นร่องรอยที่เกิดขึ้นจากการไถ ซึ่งถือเป็นลักษณะการสึกหรอแบบยึดติด

Abstract

This research was studies the wear behavior by Pin-on-Disc testing of ASTM G99 standard. In statistical experiments, were applied the factorial experiment design. Three important parameters were the applied load of 1, 2 kg, the speed of 400, 800 rpm, and the time of 5, 10, 15 min. Four specimen films were tungsten carbide (WC), Titanium nitride (TiN), titanium aluminum silicon nitride (TiAlSiN), and titanium aluminum silicon chromium nitride (TiAlSiCrN). Summarily, the wear behavior characteristics was mostly exhibited that the sliding trace such as abrasive wear.

บทนำ

ปัจจุบัน เครื่องมือสำหรับงานตัดเฉือนวัสดุโลหะ ได้แก่ เม็ดมีด ดอกสว่าน และ มีดกัด เป็นต้น มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิต โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งมีการนำเครื่องมือตัดเหล่านี้เข้ามาประยุกต์ใช้งาน แต่เมื่อใช้งานไปเป็นเวลานานแล้ว เครื่องมือตัดจะเกิดการสึกหรอตามอายุการใช้งาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในกระบวนการตัดไม่มีประสิทธิภาพ จึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีพื้นผิวเชิงวิศวกรรม (Surface Engineering Technology) ซึ่งเทคโนโลยีการปรับปรุงพื้นผิวโลหะ ได้แก่ การเคลือบผิวด้วยไอระเหยทางฟิสิกส์ (Physical Vapor Deposition : PVD) และการเคลือบผิวด้วยไอทางเคมี (Chemical Vapor Deposition : CVD) เป็นต้น ซึ่งเป็นกระบวนการดังกล่าวเหล่านี้ ช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ (Wear Resistance) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G99 เป็นการจำลองสถานการณ์การทดสอบการสึกหรอ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอระหว่างผิวสัมผัส (Interface) โดยเฉพาะวัสดุโลหะ-โลหะ วัสดุซึ่งเหมือนกับกระบวนการตัดเฉือนโลหะ ดังนั้นจึงมีความสอดคล้องสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตด้วยกระบวนการตัดเฉือนในงานอุตสาหกรรมการผลิตโดยทั่วไป ทั้งลักษณะผิวคู่สัมผัสเคลื่อนที่เป็นรูปแบบเชิงเส้นและแบบเชิงมุมด้วย โดยมีการศึกษาวิจัยในอดีตที่ผ่านมากันอย่างแพร่หลาย เบญจ

วรรณ และคณะ (2552) [1] ศึกษาผลกระทบของความเร็วการไถลที่มีต่อพฤติกรรมการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ขึ้นรูปโดยวิธี MIM โดยใช้เครื่องทดสอบแบบ Pin-on-Disc ขึ้นทดสอบหมุด (Pin) และขึ้นทดสอบจาน (Disc) ผลิตจากวัสดุชนิดเดียวกันทำการทดสอบในสภาวะไร้สารหล่อลื่น (Dry Lubricant) ที่ภาวะกดคงที่ 1 MPa ในช่วงความเร็วการไถล 0.2-2.0 m/sec ทำการวิเคราะห์พื้นผิวการสึกหรอและเศษการสึกหรอโดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) และมาตรวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ผลการศึกษาพบว่า การสึกหรอแสดงลักษณะการหลุดลอกในลักษณะแผ่นซึ่งเกิดจากการสะสมของรอยร้าวใต้ผิว และขยายตัวกลายเป็นเศษการสึกหรอในลักษณะแผ่นพฤติกรรมการสึกหรอในช่วงความเร็วการไถลต่ำ 0.2-0.6 m/sec ควบคุมโดยกลไกการแนบติด (Adhesive) ในขณะที่พฤติกรรมในช่วงความเร็วการไถลสูง 0.6-2.0 m/sec ควบคุมโดยกลไกการขัดถู (Abrasive) และผลกระทบจากความร้อนที่ทำให้วัสดุอ่อนตัวลง นิตกร (2554) [2] ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิผิวสัมผัสต่อพฤติกรรมการสึกหรอของวัสดุอีพอกซีเรซิน (Epoxy-Resin) เติมนิลิกา (Silica) บดโดยใช้ชุดทดสอบแบบ Pin-on-Disc ในสภาวะไร้สารหล่อลื่น (Dry Lubricant) ในช่วงความเร็วการไถล 0.2-2.0 m/sec ที่ภาระแรงกด 70-200 N โดยที่อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวสัมผัส (Surface Bulk Temperature) ของขึ้นทดสอบแบบหมุดนั้น ประเมินค่าจาก

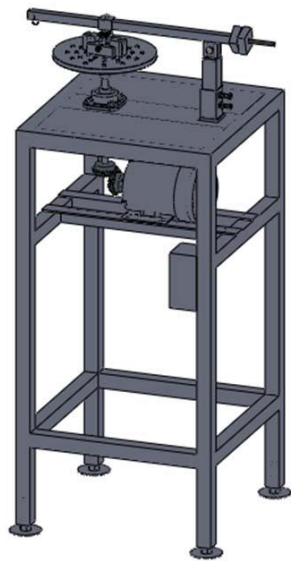
อุณหภูมิบนชิ้นงานทดสอบแบบหมุน ณ ตำแหน่ง 1 mm (Sink Temperature) จากผิวสัมผัสที่ความเร็วการไถลต่ำพบว่าการสึกหรอจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วการไถลที่สูงขึ้น จากนั้นเมื่อถึงจุดๆ หนึ่ง การสึกหรอที่เกิดขึ้นจะลดลงสาเหตุมาจากอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวสัมผัสที่เกิดขึ้นขณะที่เกิดการสึกหรอสะสมสูงขึ้นเกินอุณหภูมิจุดเปลี่ยนเนื้อแก้ว (Glass Transition Temperature) ทำให้สมบัติของอีพอกซีเรซินเปลี่ยนแปลงไป ทำให้บริเวณผิวสัมผัสอ่อนตัวลง ผลที่ได้พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวสัมผัสสอดคล้องกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวสัมผัสจริงโดยการสึกหรอที่เกิดขึ้นนั้น แบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ การสึกหรอแบบการขีดถูการสึกหรอแบบขีดถูร่วมกับการแตกหลุดของอนุภาคซิลิกา และการแตกหักของอีพอกซีเรซินที่อุณหภูมิต่ำ และการสึกหรอแบบขีดถูร่วมกับการแตกหลุดของอนุภาคซิลิกา และการแตกหักของอีพอกซีเรซินที่อุณหภูมิสูง ศุภชัย และคณะ (2555) [3] ออกแบบสร้างเครื่องทดสอบวัดความเสียหายตามรูปแบบมาตรฐาน The Special Test Jigs for Friction Measurements JIS K7125 มาประยุกต์ใช้ร่วมกับมาตรฐาน Clutch Facings for Automobiles JIS D4311 โดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิต (μ_s) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจลน์ (μ_k) ในสภาวะอุณหภูมิและภาระน้ำหนักที่แตกต่างกัน และใช้ตัวอย่างผ้าเบรก 3 ชนิดที่ได้รับการสนับสนุนจากภาคอุตสาหกรรมมาทำการทดสอบ และเปรียบเทียบกับ

ผลทดสอบจากเครื่อง Pin-on-Disc ที่ผ่านการทดสอบโดยบริษัทฯ ผู้ผลิตผ้าเบรก ซึ่งผลการทดสอบของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด สะท้อนให้เห็นว่าผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทดสอบทั้ง 2 รูปแบบ มีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน โดย Pin-on-Disc ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่สูงกว่าเครื่อง Friction Testing เท่ากับ 19.56% และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายมีแนวโน้มที่จะแปรผันตามอุณหภูมิ นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตจะมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจลน์จะมีความแตกต่างกันมากขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะความดันสูง ภาณุพงษ์ และคณะ (2560) [4] ได้ศึกษาการออกแบบแขนกดทดสอบการสึกหรอแบบ Pin-on-Disc ที่มีเครื่องขับเคลื่อนเป็นจานหมุน และศึกษาหลักการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ผิวชิ้นงานทดสอบถูกเตรียมตามมาตรฐาน ASTM G99-04 (2014) ลักษณะของชุดแขนกดน้ำหนัก และจานหมุนทดสอบแยกออกจากกัน น้ำหนักทดสอบถูกวางไว้ในแนวเดียวกับหัวกดที่มีทิศทางตั้งฉากกับชิ้นงานทดสอบ การสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีเงื่อนไขในการทดสอบที่ความเร็วรอบ 80, 160 rpm น้ำหนักกด 200, 400, 600 g และมีระยะทดสอบ 600 m ผลการทดสอบพบว่าชิ้นงานทดสอบมีร่องการสึกหรอที่ปรากฏเป็นวงรัศมีคงที่ ค่าอัตราการสึกหรอที่ได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นของปริมาตรที่หายไปกับระยะทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักกด และความเร็วรอบของ

จานหมุน ลักษณะของความกว้างร่องการสึกหรอจะมีความกว้างเพิ่มขึ้นตามระยะทดสอบที่ระยะทดสอบ 600 m มีค่าอัตราการสึกหรอมากที่สุด 8.97×10^4 , 19.0×10^4 m/mm³ ของความเร็วรอบจานหมุน 80, 160 rpm ตามลำดับ ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคและกลไกของร่องการสึกหรอที่สังเกตจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า ร่องการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ปรากฏมีการเปลี่ยนรูปแบบการ รอยขีด และอนุภาคที่หลุดออกบนร่องผิวสึกหรอ ปรากฏการณ์นี้สอดคล้องกับตามพฤติกรรมการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิม จึงสรุปได้ว่าแผนกทดสอบการสึกหรอแบบ Pin-on-Disc ที่สร้างขึ้นสามารถใช้ทดสอบการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จะเป็นการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G99 โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบกันระหว่างวัสดุผิวชิ้นงาน 4 รูปแบบ ได้แก่ ผิวชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ผิวชิ้นงานเคลือบไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) ผิวชิ้นงานเคลือบไทเทเนียมอลูมิเนียมซิลิกอนไนไตรด์ (TiAlSiN) และผิวชิ้นงานเคลือบไทเทเนียมอลูมิเนียมซิลิกอนโครเมียมไนไตรด์ (TiAlSiCrN) เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับการวิเคราะห์อายุการใช้งาน (Tool Life) วัสดุเชิงวิศวกรรมของงานอุตสาหกรรมการผลิตต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ในกระบวนการทำงานวิจัยนี้ ขั้นตอนแรกจะเป็นการจัดเตรียมกระบวนการทดลองเกี่ยวกับการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอด้วยการทดสอบ Pin-on-Disc ตามมาตรฐาน ASTM G99 กับสภาวะไร้อากาศหล่อลื่นนั้น โดยเริ่มจากการเตรียมผิวชิ้นงานทดสอบกับชิ้นงานวัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ด้วยกระบวนการเคลือบผิวด้วยไอระเหยทางฟิสิคส์ (Physical Vapor Deposition : PVD) กับเทคนิคแคโทดิกอาร์ค (Cathodic Arc) ซึ่ง ชิ้นงานวัสดุ WC เป็นทั้งวัสดุผิวชิ้นงานทดสอบ (Specimen) และผิวชิ้นงานทดสอบรองรับสารเคลือบ (Substrate) อีก 3 ผิวเคลือบ ได้แก่ ผิวเคลือบ TiN ผิวเคลือบ TiAlSiN และผิวเคลือบ TiAlSiCrN จากนั้นชิ้นงานที่มีผิวงานที่แตกต่างกันทั้ง 4 รูปแบบเหล่านี้มีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด $12.7 \times 12.7 \times 3.18$ mm จะถูกนำมาดำเนินการทดลองกับเครื่องทดสอบการสึกหรอ Pin-on-Disc ตามมาตรฐาน ASTM G99 โดยใช้เข็มกด (Pin) เป็นวัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 mm ดังแสดงรายละเอียดโครงสร้างของเครื่องทดสอบการสึกหรอได้ในรูปที่ 1



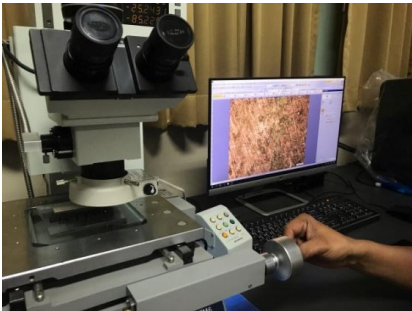
รูปที่ 1 ผิวเคลือบ TiN, TiAlSiN และ TiAlSiCrN

รูปแบบการทดลองในการศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment : DOE) ด้วยเทคนิคการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Experiment) ที่มีพารามิเตอร์สำคัญในการศึกษา 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ น้ำหนักกด (Applied Load : AL) คือ 1, 2 kg ความเร็วรอบ (Speed : S) คือ 400, 800 rpm และเวลา (Time : T) คือ 5, 10, 15 min โดยมีค่าเกี่ยวกับน้ำหนักที่สูญเสีย (Weight Loss : WL) เป็นผลตอบสนองที่ใช้ในการศึกษา (Response) และดำเนินการเก็บข้อมูลซ้ำ (Replicates) จำนวน 5 ครั้ง

การเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษานี้จะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ตามวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เชิงสถิติ (Statistical Analysis) ตามหลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (DOE) ด้วยเทคนิคการทดลองเชิงแฟกทอเรียล โดยจะใช้เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.001 g ยี่ห้อ Sartorius รุ่น GD2102 (ดังแสดงในรูปที่ 2) สำหรับการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับน้ำหนักที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาในการทดลองตามแผนการทดลอง ส่วนข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์พื้นผิวของวัสดุ (Material Surface Analysis) เป็นการตรวจสอบลักษณะการสึกหรอบริเวณผิวด้วยกล้องไมโครสโคป ยี่ห้อ Olympus รุ่น STM6 (ดังแสดงในรูปที่ 3) ด้วยกำลังขยาย 20 เท่า (20X) เพื่อศึกษาลักษณะของรอยสึกหรอบริเวณผิววัสดุจากการทดสอบการสึกหรอที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาในการทดลองตามแผนการทดลอง



รูปที่ 2 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.001 g ยี่ห้อ Sartorius รุ่น GD2102



รูปที่ 3 กล้องไมโครสโคป ยี่ห้อ Olympus รุ่น STM6

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติเกี่ยวกับ
ชั้นงาน WC

Source	DF	SS	MS	F-Value	P-Value
Model	11	0.000006	0.000001	12.85	< 0.001*
A	1	0.000000	0.000000	1.39	0.244
S	1	0.000002	0.000002	34.78	< 0.001*
T	2	0.000001	0.000001	15.06	< 0.001*
A*S	1	0.000000	0.000000	5.28	< 0.026*
A*T	2	0.000001	0.000001	12.74	< 0.001*
S*T	2	0.000001	0.000001	13.37	< 0.001*
A*S*T	2	0.000001	0.000000	8.77	< 0.001*
Error	48	0.000002	0.000000		
Total	59	0.000008			

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติเกี่ยวกับ
ชั้นงาน TiN

Source	DF	SS	MS	F-Value	P-Value
Model	11	0.000014	0.000001	13.05	< 0.001*
A	1	0.000001	0.000001	11.10	< 0.001*
S	1	0.000005	0.000005	50.13	< 0.001*
T	2	0.000002	0.000001	7.92	< 0.001*
A*S	1	0.000000	0.000000	0.84	0.364
A*T	2	0.000002	0.000001	10.07	< 0.001*
S*T	2	0.000002	0.000001	11.74	< 0.001*
A*S*T	2	0.000002	0.000001	10.99	< 0.001*
Error	48	0.000005	0.000000		
Total	59	0.000018			

ผลการวิจัย

ในการวิเคราะห์เชิงสถิตินั้น เริ่มตั้งแต่การพิจารณาเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือของข้อมูล (Data Reliability) จากค่า R^2 (R-Square) ซึ่งมีค่าสูงมากถึง 74.65%, 74.93%, 75.22% และ 72.54% สำหรับชั้นงาน WC, TiN, TiAlSiN และ TiAlSiCrN ตามลำดับ นั้นหมายความว่า ข้อมูลที่ดำเนินการเก็บรวบรวมตามแผนการทดลองเชิงสถิติเหล่านี้ ซึ่งมีการดำเนินการเก็บข้อมูลซ้ำ (Replicates) จำนวน 5 ครั้ง มีความน่าเชื่อถือเหมาะสำหรับการวิเคราะห์เชิงสถิติ โดยผลการวิเคราะห์เชิงสถิติเกี่ยวกับการทดลองการทดสอบการสึกหรอด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอ Pin-on-Disc ตามมาตรฐาน ASTM G99 กับชั้นงาน WC, TiN, TiAlSiN และ TiAlSiCrN นั้น สามารถแสดงได้ในดังตารางที่ 1-4

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติเกี่ยวกับชั้นงาน
TiAlSiN

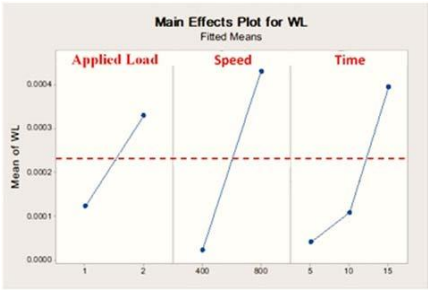
Source	DF	SS	MS	F-Value	P-Value
Model	11	0.000005	0.000000	13.24	< 0.001*
A	1	0.000000	0.000000	0.16	0.691
S	1	0.000001	0.000001	22.99	< 0.001*
T	2	0.000001	0.000001	14.37	< 0.001*
A*S	1	0.000000	0.000000	0.64	0.428
A*T	2	0.000001	0.000001	14.54	< 0.001*
S*T	2	0.000001	0.000000	12.63	< 0.001*
A*S*T	2	0.000001	0.000001	19.41	< 0.001*
Error	48	0.000002	0.000000		
Total	59	0.000007			

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติเกี่ยวกับ
ชิ้นงาน TiAlSiCrN

Source	DF	SS	MS	F-Value	P-Value
Model	11	0.000005	0.000000	11.53	< 0.001*
A	1	0.000001	0.000001	15.69	< 0.001*
S	1	0.000002	0.000002	60.75	< 0.001*
T	2	0.000000	0.000000	0.20	0.819
A*S	1	0.000000	0.000000	1.63	0.207
A*T	2	0.000001	0.000001	18.03	< 0.001*
S*T	2	0.000000	0.000000	5.22	< 0.009*
A*S*T	2	0.000000	0.000000	0.91	0.409
Error	48	0.000002	0.000000		
Total	59	0.000007			

ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติเกี่ยวกับชิ้นงาน WC ตามหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ทั้งในส่วนอิทธิพลหลัก (Main Effect) กับอิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ (Interaction) ดังแสดงตารางที่ 1 พบว่า พารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ น้ำหนักกด (A) ความเร็ว (S) และเวลา (T) มีอิทธิพลต่อน้ำหนักที่สูญเสีย (WL) ของชิ้นงาน WC, TiN, TiAlSiN และ TiAlSiCrN อย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากในการพิจารณาแต่ละเทอมทั้งอิทธิพลหลัก (Main Effect) กับอิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ (Interaction) โดยส่วนใหญ่แล้ว จะมีค่า P-value < α กล่าวคือ P-value < 0.05 ถึงแม้ว่าในการวิเคราะห์เชิงสถิติกับวัสดุชิ้นงานบางชนิดจะมีบางเทอมไม่มีอิทธิพล อาทิเช่น วัสดุชิ้นงาน WC จะมี

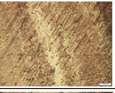
เทอมเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของพารามิเตอร์น้ำหนักกด (A) จะไม่มีอิทธิพลเนื่องจากมีค่า P-value > α กล่าวคือ 0.244 > 0.05 แต่เมื่อทำการพิจารณาเทอมเกี่ยวกับอิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์แปดแปด 2 พารามิเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นเทอม A*S และ A*T หรือแม้แต่เทอมเกี่ยวกับอิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์แปดแปด 3 พารามิเตอร์ คือ A*S*T ก็ตาม เทอมทั้งหมดดังกล่าวเหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักที่สูญเสีย (WL) อย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ น้ำหนักกด (A) ความเร็ว (S) และ เวลา (T) มีอิทธิพลต่อน้ำหนักที่สูญเสีย (WL) ของชิ้นงาน WC, TiN, TiAlSiN และ TiAlSiCrN อย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยลักษณะอิทธิพลของพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์เหล่านี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะอิทธิพลของพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์

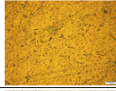
ผลการวิเคราะห์พื้นผิววัสดุชิ้นงาน WC, TiN, TiAlSiN และ TiAlSiCrN ภายหลังจากการทดสอบการสึกหรอ ดังแสดงในตารางที่ 5, 6, 7 และ 8 พบว่าลักษณะการสึกหรอเป็นชนิดเดียวกัน คือ การสึกหรอแบบไถล (Abrasive Wear) ร่วมกันกับการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear) แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักกด และ/หรือ เพิ่มความเร็วรอบแล้ว ลักษณะการสึกหรอที่ปรากฏจะมีอัตราการสึกหรอสูงเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องสัมพันธ์กันกับลักษณะอิทธิพลของพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 4)

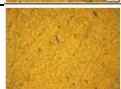
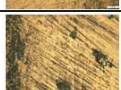
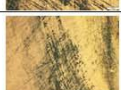
ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์พื้นผิววัสดุชิ้นงาน WC

น้ำหนักกด (kg)	เวลา (min)	ความเร็วรอบ (rpm)	พื้นผิว ก่อนทดสอบ	พื้นผิว หลังการทดสอบ
1	5	400		
	10	400		
	15	400		
2	5	400		
	10	400		

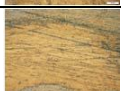
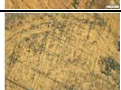
1	5	400		
	10	800		
	15	800		
2	5	800		
	10	800		
	15	800		

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์พื้นผิววัสดุชิ้นงาน TiN

น้ำหนักกด (kg)	เวลา (min)	ความเร็วรอบ (rpm)	พื้นผิว ก่อนทดสอบ	พื้นผิว หลังการทดสอบ
1	5	400		
	10	400		
	15	400		
2	5	400		
	10	400		

1	1 5	400		
	5	800		
	1 0	800		
	1 5	800		
2	5	800		
	1 0	800		
	1 5	800		

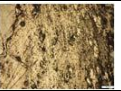
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์พื้นผิววัสดุชิ้นงาน
TiAlSiN

1	1 0	400		
	1 5	400		
	5	800		
	1 0	800		
2	1 5	800		
	5	800		
	1 0	800		
	1 5	800		

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์พื้นผิววัสดุชิ้นงาน
TiAlSiCrN

น้ำหนักกด (kg)	เวลา (min)	ความเร็วรอบ (rpm)	พื้นผิว ก่อนทดสอบ	พื้นผิว หลังการทดสอบ
1	5	400		
	1 0	400		
	1 5	400		
2	5	400		

น้ำหนักกด (kg)	เวลา (min)	ความเร็วรอบ (rpm)	พื้นผิว ก่อนทดสอบ	พื้นผิว หลังการทดสอบ
1	5	400		
	1 0	400		
	1 5	400		

2	5	400		
	10	400		
	15	400		
1	5	800		
	10	800		
	15	800		
2	5	800		
	10	800		
	15	800		

สรุปผลการวิจัย

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเกี่ยวกับค่าน้ำหนักที่สูญเสีย (WL) ของชิ้นงานทดสอบวัสดุ WC, TiN, TiAlSiN และ TiAlSiCrN พบว่ามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ พารามิเตอร์ทั้ง 3 ได้แก่ น้ำหนักกด (A) ความเร็ว (S) และ เวลา (T) มีอิทธิพลต่อน้ำหนักที่สูญเสีย (WL) ของชิ้นงานทดสอบ อย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ลักษณะการสึกหรอบนพื้นผิวชิ้นงานด้วยกล้องไมโครสโคป กำลังขยาย 20 เท่า พบว่า ชิ้นงานทดสอบวัสดุ WC, TiN, TiAlSiN และ TiAlSiCrN มีการสึกหรอบริเวณผิวสัมผัสเป็น การสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการไถล (Abrasive Wear) ร่วมกันกับรูปแบบการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear) ซึ่งเกิดจากการถ่ายโอนเนื้อวัสดุของหัวกด (Pin) ไปยังพื้นผิวชิ้นงานทดสอบบางส่วนด้วยการขัดที่คู่ผิวสัมผัสกันจนเกาะยึดติดแน่นบนผิวของชิ้นงานทดสอบ โดยถือเป็นการโอนถ่ายเยื่อวัสดุบางๆ ของโครงสร้างวัสดุไปยึดติดบนพื้นผิวของชิ้นงานทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] เบญจวรรณ แสงวิเชียร และ ชาวสวน กาญจน์มัย. “ผลกระทบของความเร็ว การไถลต่อกลไกการสึกหรอของ เหล็กกล้าไร้สนิม 361L ผลิตด้วย กระบวนการฉีดขึ้นรูปผงโลหะ.” โครงการ ค ลั ง ค ว า ม ร ู้ ตี จี ทั ล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ปีที่ 22 ฉบับ ที่ 67 (กุมภาพันธ์ – เมษายน พ.ศ.2552)

[2] นิติกร นรภัยพิพาษา. 2554. “ผลกระทบของอุณหภูมิผิวสัมผัสที่มีผล ต่อพฤติกรรมการสึกหรอของอ็อกซีเร ซินเดมซิลิกาบด.” วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 2554.

- [3] ศุภชัย หล้าคำ และ กุลยศ สุวันทโรจน์.
2555. “การศึกษาสัมประสิทธิ์ความ
เสียดทานของผ้าเบรกโดยวิธีการ
ทดสอบทางเลือก.” วารสารวิชาการ
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 22
ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ.
2555)
- [4] ภาณุพงษ์ เพชรประดับ, นุชจิรา ดีแจ้
และ อมริศ มณีรุ่ง. “การ
ออกแบบแผนกชิ้นงานทดสอบการสึก
หรอบแบบ Pin on Disk และทดสอบ
กลไกการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิม
เกรด 304.”2561. วิทยาศาสตร์บูรพา.
ปีที่ 23 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม
พ.ศ.2561.