Received: Oct 16, 2021 Revised: Dec 21, 2021 Accepted: Dec 25, 2021

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและการสึกหรอของผิวเคลือบด้วยวิธีการพ่นเคลือบแบบ HVOF บนใบมีดเกี่ยวข้าว

INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING FRICTION COEFFICIENT AND WEAR CHARACTERISTICS OF HVOF-SPRAYED COATINGS ON RICE HARVESTER BLADES

รณฤทธิ์ ขึงภูเขียว[1] วรวีร์ ปัญญาคำ[2*] ดุสิต สิงห์พรหมมาศ[3] นุชริน ทองพูล[4] วรรณวดี สุขแจ่ม[5] และ สุพจน์ สระทองหลาง[6]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

[2,3]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

[4,5,6]สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Ronnarit Khuengphukhiao[1] Voravee Punyakum[2*] Dusit Singpommat[3] Nucharin Thongpool[4] Vanvadee Sukchaem[5] and Suphot Srathonglang[6]

[1]Department of Integrated Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology

[2,3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Krungthep

[4,5,6]Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep

Corresponding Author: e-mail *voravee.p@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของบนใบมีดเกี่ยวข้าว ปัจจัยที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย น้ำหนักกด และวัสดุเคลือบ โดยทดสอบการสึกหรอด้วยวิธีการพินออนดิส (ASTM G99) ซึ่งในการทดสอบมีน้ำหนักกด 3 ระดับ ได้แก่ 20, 40 และ 60 นิวตัน ส่วนวัสดุเคลือบที่ใช้ ได้แก่ ใบมีดเกี่ยวข้าวแบบไม่เคลือบผิว และใบมีดเกี่ยวข้าวเคลือบด้วย NiSiCrFeB, WC-Co/NiSiCrFeB, WC-Co และ WC-Cr_3C_2-Ni ซึ่งเคลือบด้วยการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูง (HVOF) ผลการศึกษาพบว่า ผิวเคลือบมีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอของใบมีดเกี่ยวข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) โดยมีค่า f-value สูงกว่าปัจจัยน้ำหนักกด แสดงให้เห็นว่าผิวเคลือบมีผลมากกว่าน้ำหนักกด อย่างมีนัยสำคัญต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอของใบมีดเกี่ยวข้าว

คำสำคัญ: ใบมีดเกี่ยวข้าว, การสึกหรอ, สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

Abstract

The objective of this research was to investigate factors affecting wear and friction coefficient of rice harvester blades. The studied factors included loading weight and coating materials. Wear testing was conducted using the pin-on-disc method (ASTM G99) with three loading weight levels: 20, 40, and 60 N. The coating materials consisted of uncoated rice harvester blades and blades coated with NiSiCrFeB, WC-Co/NiSiCrFeB, WC-Co, and WC-Cr_3C_2-Ni using High-Velocity Oxygen Fuel (HVOF) thermal spray coating process. The results indicated that coating surfaces significantly affected the friction coefficient and wear rate of rice harvester blades (p-value < 0.05), with a higher f-value compared to the loading weight factor. This demonstrates that coating surfaces had a significantly greater impact than loading weight on both friction coefficient and wear rate of rice harvester blades.

Keywords: rice harvester blades, wear, friction coefficient

บทนำ

ในภาคการเกษตรของประเทศไทย การเก็บเกี่ยวข้าวเป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตและต้นทุนของเกษตรกร รถเกี่ยวข้าวได้กลายเป็นเครื่องจักรกลที่มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในกระบวนการนี้ อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญที่เกษตรกรต้องเผชิญคือการสึกหรอของใบมีดเกี่ยวข้าว ซึ่งต้องมีการเปลี่ยนบ่อยครั้ง ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นและการหยุดชะงักในกระบวนการเก็บเกี่ยว การแก้ปัญหาการสึกหรอของใบมีดเกี่ยวข้าวได้รับความสนใจจากนักวิจัยทั่วโลก โดยมีกลุ่มนักวิจัยของ Kang, Cheema and Singla (2014); Kang, Grewal, Jain, & Kang, (2012); Karoonboonyanan, Salokhe, & Niranatlumpong, (2007) นำวิธีการเคลือบผิวด้วยวิธีต่างๆ เพื่อนำมาปรับปรุงสมบัติทางกลของผิวเคลือบของใบมีดเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร เช่น การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูง การพ่นเคลือบแบบอาร์ค การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนแบบพลาสม่า การพ่นเคลือบด้วยปืนจุดระเบิด และการชุบโครเมียม โดยทำการเคลือบบนใบมีดโรตารี ซึ่งช่วยการปรับปรุงการต้านทานการสึกหรอให้มีอายุการใช้งานมากขึ้น ส่วนงานวิจัยกลุ่มของ Cooke (2019), Lima, Ferraresi, & Reis, (2014) และ Niranatlumpong, Sukhonket, & Nakngoenthong (2013) ปรับปรุงใบมีดตัดอ้อยโดยการใช้วิธีการชุบแข็งด้วยความร้อน การชุบโครเมียม การพ่นเคลือบแบบอาร์ค การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนแบบพลาสม่า การเชื่อมแบบฟลักซ์คอร์ และการพ่นพอกด้วยการอาร์คไฟฟ้า ในส่วนของงานวิจัย Karoonboonyanan et al., (2007), Khuengpukheiw, Saikaew, & Wisitsoraat, (2021) และ Niranatlumpong et al., (2013) ได้แนะนำการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูงมาใช้ในการปรับปรุงใบมีดเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรเพื่อช่วยเพิ่มการต้านทานการสึกหรอ และสมบัติทางกลได้ดีกว่าการเคลือบแบบอื่นๆ

นักวิจัยกลุ่มหนึ่งได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางกลของการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูง (Ruiz-Luna et al., 2014) ทำการศึกษาปัจจัยของกระบวนการเคลือบผิวด้วยการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูง ได้แก่ การไหลของเชื้อเพลิง, การไหลของออกซิเจน และระยะของการพ่นเคลือบ การเคลือบผิวที่ระยะของการพ่นเคลือบที่ 250 ถึง 300 ไมคอน รูพรุน ความเครียด และความเค้น อยู่ในระดับที่ต่ำ ในส่วนของ (Ham, Kreethi, Kim, Yoon, & Lee, 2021) ใช้วัสดุเคลือบ WC-12Co, WC-10Co-4Cr และ Cr_3C_2–25NiCr ซึ่งพบว่า ผิวเคลือบ WC-12Co ให้ความเครียดต่ำ, ผิวเคลือบของ Cr_3C_2–25NiCr ให้เปอร์เซ็นต์รูพรุนต่ำ ในส่วนของผิวเคลือบ WC-10Co-4Cr ให้การต้านทานแรงดึงสูง Khuengpukheiw et al., (2021) ได้ศึกษาปัจจัยจากวัสดุเคลือบและความหนาของผิวเคลือบ โดยจากการศึกษา พบว่า วัสดุเคลือบผิวและความหนาของผิวเคลือบมีสมบัติทางกลเปลี่ยนแปลงไปตามตามวัสดุเคลือบและความหนาของผิวเคลือบ Nitesh Vashishtha, S. G., Sapate, J. S. Gahlot, (2018) ปัจจัยน้ำหนักกด และความเร็วในการทดสอบการสึกหรอ พบว่า การสึกหรอของผิวเคลือบและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักกด ที่เพิ่มขึ้นและความเร็วรอบที่ต่ำ เห็นได้ว่า วัสดุเคลือบและน้ำหนักกด มีผลต่อการเคลือบผิวด้วยการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูงมีผลต่อการสึกหรอและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

ดังนั้น การเพิ่มอายุการใช้งานของใบมีดเกี่ยวข้าวมีความสำคัญอย่างยิ่งในภาคเกษตรกรรมช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยว งานวิจัยนี้จึงมุ่งหาแนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติของใบมีดเกี่ยวข้าวโดยใช้วิธีการเคลือบด้วยวิธีการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูง (HVOF) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ใบมีดเกี่ยวข้าวแบบไม่เคลือบผิวและเคลือบผิวด้วยวัสดุเคลือบ ได้แก่ NiSiCrFeB, WC-Co/NiSiCrFeB, WC-Co และ WC-Cr_3C_2-Ni แล้วนำมาทำการทดสอบการสึกหรอทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบพินออนดิส (ASTM G99) โดยใช้น้ำหนักกด 20, 40 และ 60 นิวตัน ความเร็วรอบ 0.24 เมตรต่อวินาที เวลาทดสอบ 60 นาที เพื่อจำลองสภาวะการใช้งานจริงของใบมีดเกี่ยวข้าว

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาน้ำหนักกดที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและการสึกหรอของบนใบมีดเกี่ยวข้าว
2. เพื่อศึกษาวัสดุเคลือบผิวด้วยการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูง (HVOF) ที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและการสึกหรอของบนใบมีดเกี่ยวข้าว

ขอบเขตของการวิจัย

1. วัสดุฐานรองของชิ้นตัวอย่างทดสอบใช้ใบมีดเกี่ยวข้าวใช้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 1095 ขนาดความกว้าง *76 มิลลิเมตร ความสูง 83 มิลลิเมตร และความหนา 2 มิลลิเมตร* และผิวเคลือบของใบมีดเกี่ยวข้าวทำการศึกษาสมบัติทางกลผิวเคลือบชิ้นตัวอย่างทดสอบ ได้แก่ การสูญเสียของผิวเคลือบ และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

2. วัสดุพ่นเคลือบผิวชิ้นตัวอย่างทดสอบและใบมีดเกี่ยวข้าว ได้แก่ NiSiCrFeB, WC-Co/NiSiCrFeB, WC-Co และ WC-Cr_3C_2-Ni

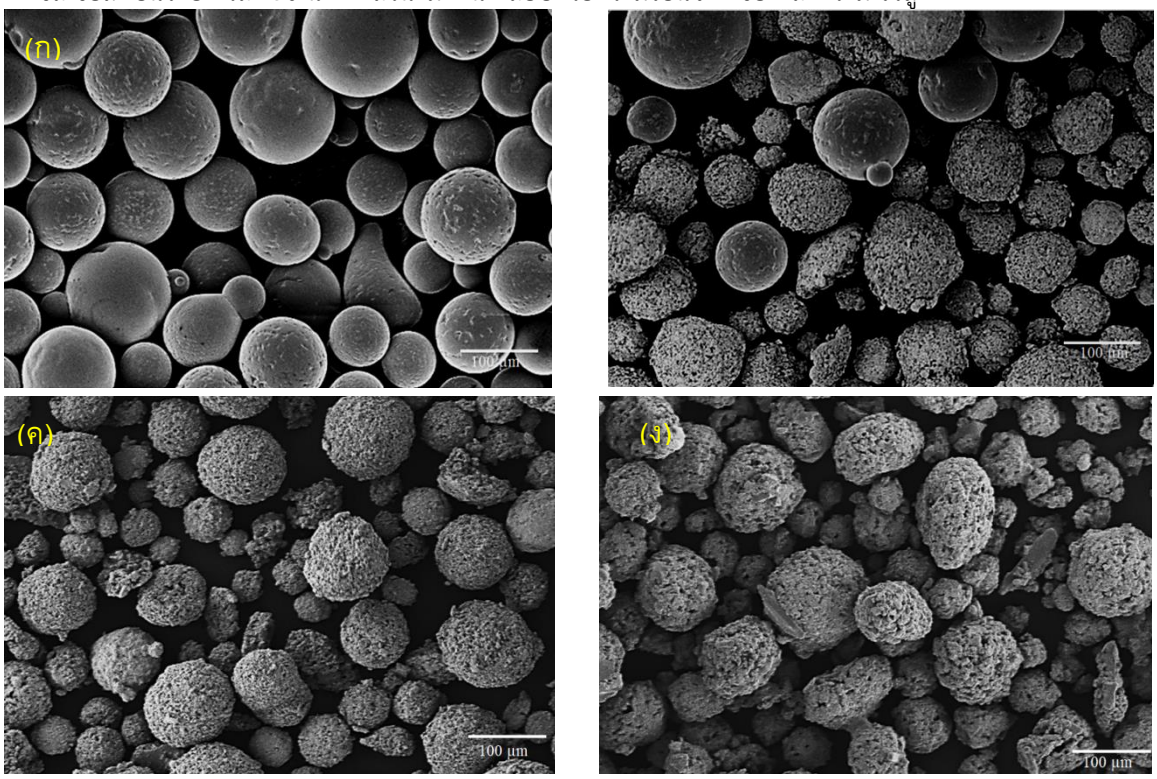
3. ใบมีดเกี่ยวข้าวทำการทดสอบการสึกหรอด้วยเครื่อง Universal Friction and Wear Tester (Jinan Yihua Tribology Testing Co., Ltd., MMW-1A) โดยใช้วิธีการทดสอบการสึกหรอแบบพินออนดิส (pin-on-disc) และใช้พินเป็นเหล็กกล้าเกรด 45C ในการทดสอบการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G99 ตามแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งใช้น้ำหนักกด 3 ระดับ คือ 20, 40 และ 60 นิวตัน

4. ทำการชั่งน้ำใบมีดเกี่ยวข้าวก่อน-หลังทดสอบด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลทศนิยม 3 ตำแหน่ง แล้วนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert 7.0

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การจัดเตรียมชิ้นงานและวัสดุเคลือบ

ใบมีดตัดเกี่ยวข้าวก่อนนำไปพ่นเคลือบด้วยความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูงรุ่น TAFA JP-5000 HP โดยทำการพ่นด้วยทรายเพื่อให้ผิวของใบมีดเกี่ยวข้าวเกิดความขรุขระผิว แล้วนำมาทำความสะอาดผิวก่อนเคลือบ ในขณะที่วัสดุเคลือบที่ใช้ในการพ่นเคลือบด้วยความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูงใช้วัสดุเคลือบ 4 ชนิด ได้แก่ NiSiCrFeB, WC-Co/NiSiCrFeB, WC-Co และ WC-Cr_3C_2-Ni ซึ่งแสดงตามภาพที่ 1 (ก-ง) วัสดุเคลือบที่นำมาใช้เคลือบผิวผ่านการอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วนำมาพ่นเคลือบด้วยความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูง



ภาพที่ 1 วัสดุคลือบผิว (a) NiSiCrFeB, (b) WC-Co/NiSiCrFeB (c) WC-Co และ (d) WC-Cr_3C_2-Ni

2. การทดสอบสมบัติทางกล

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการสึกหรอในงานวิจัยนี้คือ เครื่อง Universal Friction and Wear Tester (Jinan Yihua Tribology Testing Co., Ltd., MMW-1A) ดังภาพที่ 2 โดยใช้วิธีการทดสอบการสึกหรอแบบพินออนดิส (ASTM G99) ซึ่งชิ้นตัวอย่างเป็นใบมีดเกี่ยวข้าวลักษณะการทดสอบตามภาพที่ 2 และพินเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด 45C เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตร เงื่อนไขการทดสอบการสึกหรอแบบพินออนดิส น้ำหนักกด 3 ระดับ คือ 20, 40 และ 60 นิวตัน ความเร็วรอบ 0.24 เมตรต่อนาที และระยะเวลาทดสอบ 60 นาที การทดสอบการสึกหรอได้ผลของสมบัติทางกล ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสูญเสียของผิวเคลือบ ข้อมูลของการสูญเสียของผิวเคลือบได้จากการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบการสึกหรอของชิ้นใบมีดเกี่ยวข้าว แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสูญเสียของผิวเคลือบของชิ้นตัวอย่างทดสอบ ได้ตามสมการที่ 1 แล้วมาวิเคราะห์ผลด้วยวิธี ANOVA

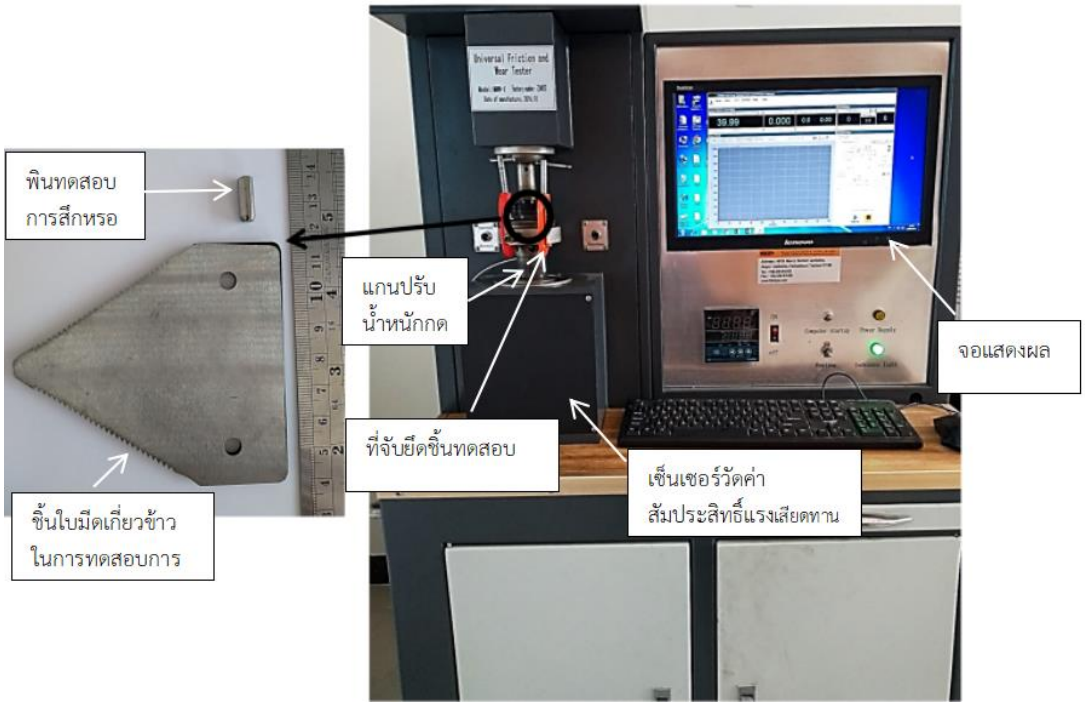
$$vl = \frac{wl}{\rho} \quad (1)$$

โดยที่ vl คือ การสูญเสียของผิวเคลือบ (mm^3), wl คือ น้ำหนักที่สูญเสีย (g) และ p คือ ความหนาแน่นของผิวเคลือบ ($g{\cdot}mm^3$)

ขั้นตอนในการทำการทดสอบสึกหรอ มีดังนี้

2.1 นำชิ้นใบมีดเกี่ยวข้าวตัวอย่างชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบการสึกหรอแล้วบันทึกผล

2.2 นำชิ้นใบมีดเกี่ยวข้าวมาวางบนช่องทดสอบ ตามภาพที่ 2 แล้วปรับไปที่แกนปรับน้ำหนักกดที่น้ำหนักกด 20, 40 และ 60 นิวตัน ความเร็วรอบ 0.24 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาในการทำการทดสอบ 60 นาที ตั้งค่าตามเงื่อนไขในการทดสอบบนหน้าจอแสดงผลทำการทดสอบ แล้วนำชิ้นชิ้นใบมีดเกี่ยวข้าวทำการชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบการสึกหรอ แล้วนำมาคำนวณหาค่าการสูญเสียของผิวเคลือบ ตามสมการที่ 1 ในขณะเดียวกันทำการบันทึกผลของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ได้หลังจากการทดสอบการสึกหรอ

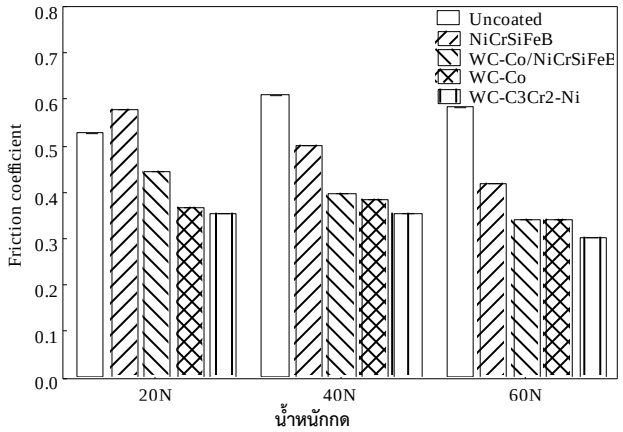


ภาพที่ 2 เครื่อง Universal Friction and Wear Tester (Jinan Yihua Tribology Testing Co., Ltd., MMW-1A)

ผลการดำเนินการ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสึกหรอและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของผิวเคลือบบนใบมีดเกี่ยวข้าวที่เคลือบด้วยวิธีการพ่นเคลือบด้วยความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูง (HVOF) โดยพิจารณาปัจจัยหลักสองประการได้แก่ น้ำหนักกด และวัสดุเคลือบ

1. สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของใบมีดเกี่ยวข้าวแบบไม่เคลือบผิว, เคลือบด้วย NiSiCrFeB, WC-Co/NiSiCrFeB, WC-Co และ WC-Cr_3C_2-Ni



ภาพที่ 3 กราฟสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของใบมีดเกี่ยวข้าวแบบไม่เคลือบผิว, เคลือบด้วย NiSiCrFeB, WC-Co/NiSiCrFeB, WC-Co และ WC-Cr_3C_2-Ni

จากภาพที่ 3 เห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของใบมีดเกี่ยวข้าวแบบไม่เคลือบผิวและผิวเคลือบ WC-Co มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดที่น้ำหนักกด 40 นิวตัน ในขณะที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำสุดที่น้ำหนักกด 20 นิวตัน แสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 20 นิวตันไป 40 นิวตัน แล้วลดลงเมื่อเพิ่มน้ำหนักกด เป็น 60 นิวตัน ในส่วนของใบมีดเกี่ยวข้าวเคลือบด้วย NiSiCrFeB และ WC-Co/NiSiCrFeB แสดงแนวโน้มลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเมื่อน้ำหนักกด เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดที่น้ำหนักกด 20 นิวตัน และลดลงเรื่อยๆ เมื่อน้ำหนักกด เพิ่มขึ้นเป็น 40 และ 60 นิวตัน ในขณะที่ใบมีดเกี่ยวข้าวเคลือบด้วย WC-Cr_3C_2-Ni แสดงแนวโน้มลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอย่างชัดเจนเมื่อน้ำหนักกด เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดที่น้ำหนักกด 20 นิวตัน และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อน้ำหนักกด เพิ่มขึ้นเป็น 40 และ 60 นิวตัน เมื่อเทียบกับวัสดุเคลือบอื่นๆ พบว่า มีการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ชัดเจนที่สุด

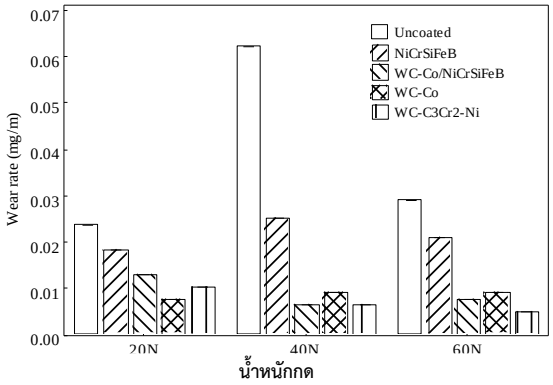
โดยสรุป วัสดุเคลือบที่แตกต่างกันส่งผลให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของใบมีดเกี่ยวข้าวมีลักษณะแตกต่างกันภายใต้น้ำหนักกด ที่ต่างกัน โดยเฉพาะวัสดุเคลือบด้วย WC-Cr_3C_2-Ni ที่แสดงแนวโน้มการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอย่างชัดเจนเมื่อน้ำหนักกด เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการลดแรงเสียดทานในการใช้งานที่มีน้ำหนักกด สูง

2. อัตราการสึกหรอของใบมีดเกี่ยวข้าวแบบไม่เคลือบผิว, เคลือบด้วย NiSiCrFeB, WC-Co/ NiSiCrFeB, WC-Co และ WC-Cr_3C_2-Ni

จากภาพที่ 4 เห็นได้ว่าค่าอัตราการสึกหรอของใบมีดเกี่ยวข้าวแบบไม่เคลือบผิวและใบมีดเกี่ยวข้าวเคลือบด้วย NiCrSiFeB พบว่า อัตราการสึกหรอที่สูงอยู่ที่น้ำหนักกด 40 นิวตัน และอัตราสึกหรอต่ำที่สุดอยู่ที่น้ำหนักกด 20 นิวตัน ในส่วนของใบมีดเกี่ยวข้าวที่เคลือบด้วย WC-Co มีอัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักกด เพิ่มขึ้น ในขณะที่ผิวเคลือบ WC-C_3Cr_2-Ni มีอัตราการสึกหรอลดลงตามน้ำหนักกด ที่เพิ่มมาขึ้น และใบมีดเกี่ยวข้าวเคลือบด้วย WC-Co/ NiCrSiFeB มีอัตราการสึกหรอสูงสุดที่น้ำหนักกด 20 นิวตัน และอัตราการสึกหรอต่ำสุดที่ 40 นิวตัน

จากภาพที่ 3 และ ภาพที่ 4 เห็นได้ว่าใบมีดเกี่ยวข้าวที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอสูงสุดที่น้ำหนักกด 40 นิวตัน และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอต่ำสุดที่น้ำหนักกด 20 นิวตัน ในส่วนของผิวเคลือบ WC-C_3Cr_2-Ni มีอัตราการสึกหรอและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงตามน้ำหนักกด

ที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ผิวเคลือบ NiCrSiFeB และ WC-Co/NiCrSiFeB มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงตามน้ำหนักกด ที่เพิ่มมาขึ้น แต่ในขณะของอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ NiCrSiFeB สูงสุดที่น้ำหนักกด 40 นิวตัน และมีอัตราการสึกหรอต่ำสุดที่น้ำหนักกด 20 นิวตัน ส่วนของผิวเคลือบของ WC-Co/NiCrSiFeB อัตราการสึกหรอมากสุดที่น้ำหนักกด 20 นิวตัน พบว่า มีอัตราการสึกหรอต่ำสุดที่น้ำหนักกด 40 นิวตัน



ภาพที่ 4 อัตราการสึกหรอของใบมีดเกี่ยวข้าวแบบไม่เคลือบผิว, เคลือบด้วย NiSiCrFeB, WC-Co/ NiSiCrFeB และ WC-Co

การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อประเมินผลกระทบของปัจจัยผิวเคลือบและน้ำหนักกดต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอของใบมีดเกี่ยวข้าว ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นตามตารางที่ 1 และ 2 พบว่า ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงให้เห็นว่าปัจจัยวัสดุเคลือบมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.000697 < 0.05) ในขณะที่ปัจจัยของน้ำหนักกด ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ (p-value = 0.132719 > 0.05) นอกจากนี้ ค่า F-value ของปัจจัยวัสดุเคลือบ (15.98181) สูงกว่าปัจจัยของน้ำหนักกด (2.627154) อย่างชัดเจน ซึ่งบ่งชี้ว่าวัสดุเคลือบมีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากกว่าน้ำหนักกด อย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของผลการวิเคราะห์ของอัตราการสึกหรอ ผลการวิเคราะห์แสดงแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน โดยปัจจัยวัสดุเคลือบมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.019391 < 0.05) ในขณะที่ปัจจัยน้ำหนักกด ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ (p-value = 0.429532 > 0.05) เช่นเดียวกับกรณีของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ค่า F-value ของปัจจัยวัสดุเคลือบ (5.551274) สูงกว่าปัจจัยน้ำหนักกด (0.940957) อย่างมีนัยสำคัญ

ผลการวิเคราะห์นี้ชี้ให้เห็นว่า วัสดุเคลือบมีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่น้ำหนักกด ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอ และผิวเคลือบ WC-Cr_3C_2-Ni แสดงแนวโน้มการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอเมื่อน้ำหนักกดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 ตารางวิเคราะห์ ANOVA สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของใบมีดเกี่ยวข้าว

Source	*SS*	*df*	*MS*	*f-value*	*p-value*
วัสดุเคลือบ	*0.118466*	*4*	*0.029616*	*15.98181*	*0.000697*
น้ำหนักกด	*0.009737*	*2*	*0.004868*	*2.627154*	*0.132719*
Error	*0.014825*	*8*	*0.001853*		
Total	*0.143028*	*14*			

ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ ANOVA อัตราการสึกหรอของใบมีดเกี่ยวข้าว

Source	*SS*	*df*	*MS*	*F-value*	*P-value*
วัสดุเคลือบ	*0.002097*	*4*	*0.000524259*	*5.551274*	*0.019391*
น้ำหนักกด	*0.000178*	*2*	*8.88634E-05*	*0.940957*	*0.429532*
Error	*0.000756*	*8*	*9.44394E-05*		
Total	*0.00303*	*14*			

สรุปผลและการอธิปราย

การศึกษานี้เพื่อศึกษาน้ำหนักกด และวัสดุเคลือบผิวด้วยการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนจากเชื้อเพลิงความเร็วสูง (HVOF) ที่มีผลต่อการสึกหรอและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของบนใบมีดเกี่ยวข้าวข้อสรุปดังต่อไปนี้

1. ใบมีดเกี่ยวข้าวที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอสูงสุดที่น้ำหนักกด 40 นิวตัน และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอต่ำสุดที่น้ำหนักกด 20 นิวตัน ในส่วนของผิวเคลือบ WC-C_3Cr_2-Ni มีอัตราการสึกหรอและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงตามน้ำหนักกด ที่เพิ่มมาขึ้น ในขณะที่ผิวเคลือบ NiCrSiFeB และ WC-Co/NiCrSiFeB มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงตามน้ำหนักกด ที่เพิ่มมาขึ้น แต่ในขณะของอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบ NiCrSiFeB สูงสุดที่น้ำหนักกด 40 นิวตัน และมีอัตราการสึกหรอต่ำสุดที่น้ำหนักกด 20 นิวตัน ส่วนของผิวเคลือบของ WC-Co/NiCrSiFeB อัตราการสึกหรอมากสุดที่น้ำหนักกด 20 นิวตัน พบว่า มีอัตราการสึกหรอต่ำสุดที่น้ำหนักกด 40 นิวตัน

2. การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อประเมินผลกระทบของปัจจัยผิวเคลือบและน้ำหนักกด ต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและอัตราการสึกหรอของใบมีดเกี่ยวข้าว ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นตามตารางที่ 1 และ 2 พบว่า ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงให้เห็นว่าปัจจัยวัสดุเคลือบมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.000697 < 0.05) ในขณะที่ปัจจัยของน้ำหนักกด ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ (p-value = 0.132719 > 0.05) นอกจากนี้ ค่า F-value ของปัจจัยวัสดุเคลือบ (15.98181) สูงกว่าปัจจัยของน้ำหนักกด (2.627154) อย่างชัดเจน ซึ่งบ่งชี้ว่าวัสดุเคลือบมีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากกว่าน้ำหนักกด อย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของผลการวิเคราะห์ของอัตราการสึกหรอ ผลการวิเคราะห์แสดงแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน โดยปัจจัยวัสดุเคลือบมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.019391 < 0.05) ในขณะที่ปัจจัยน้ำหนักกด ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ (p-value = 0.429532 > 0.05) เช่นเดียวกับกรณีของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ค่า F-value ของปัจจัยวัสดุเคลือบ (5.551274) สูงกว่าปัจจัยน้ำหนักกด (0.940957) อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

Cooke, K. O. (2019). Tribological Performance of Hardfaced / Thermally Sprayed Coatings for Increased Wear Resistance of Cutting Blades Used in Harvesting Sugarcane. *Annals of Agricultural & Crop Sciences*, *4*(1), 1–7.

Ham, G. S., Kreethi, R., Kim, H. jun, Yoon, S. hoon, & Lee, K. A. (2021). Effects of different HVOF thermal sprayed cermet coatings on tensile and fatigue properties of AISI 1045 steel. *Journal of Materials Research and Technology*, *15*, 6647–6658.

Kang, A. S., Cheema, G. S., & Singla, S. (2014). Wear behavior of hardfacings on rotary tiller blades. *Procedia Engineering*, *97*, 1442–1451.

Kang, A. S., Grewal, J. S., Jain, D., & Kang, S. (2012). Wear behavior of thermal spray coatings on rotavator blades. *Journal of Thermal Spray Technology*, *21*(2), 355–359.

Karoonboonyanan, S., Salokhe, V. M., & Niranatlumpong, P. (2007). Wear resistance of thermally sprayed rotary tiller blades. *Wear*, *263*, 604–608.

Khuengpukheiw, R., Saikaew, C., & Wisitsoraat, A. (2021). Wear resistance of HVOF sprayed NiSiCrFeB, WC-Co/NiSiCrFeB, WC-Co, and WC-Cr_3C_2-Ni rice harvesting blades. *Materials Testing*, *63*(1), 62–72.

Lima, A. C., Ferraresi, V. A., & Reis, R. P. (2014). Performance analysis of weld hardfacings used in the sugar/alcohol industry. *Journal of Materials Engineering and Performance*, *23*(5), 1823–1833.

Niranatlumpong, P., Sukhonket, C., & Nakngoenthong, J. (2013). Wear resistant surface treatment of pulverizer blades. *Wear*, *302*(1–2), 878–881.

Nitesh Vashishtha, S. G. Sapate, J. S. Gahlot, P. B. (2018). Effect of Tribo-Oxidation on Friction and Wear Behaviour of HVOF. *Tribology Letters*, *66*(56), 11-19.

Ruiz-Luna, H., Lozano-Mandujano, D., Alvarado-Orozco, J. M., Valarezo, A., Poblano-Salas, C. A., Trápaga-Martínez, L. G., Muñoz-Saldaña, J. (2014). Effect of HVOF processing parameters on the properties of NiCoCrAlY coatings by design of experiments. *Journal of Thermal Spray Technology*, *23*(6), 950–961.