

การวิเคราะห์คุณลักษณะของมีดตัดโคนอ้อยที่นำเข้าจากต่างประเทศ ด้วยหลักวิศวกรรมย้อนรอย

An analysis of the traits of imported sugarcane base cutter blades by reverse engineering principle

ณภัทร อินทนนท์¹ ประพันธ์ ยาวระ^{1*} และ ฉัตรแก้ว สุริยะภา¹

¹คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, ประเทศไทย

Faculty of Technology Education, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen campus,
Thailand.

*Corresponding author. E-mail :Naphatara.in@rmu.ac.th, 0866356986

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่เปรียบเทียบคุณลักษณะ และประสิทธิภาพมีดตัดโคนอ้อยที่นำเข้าจากต่างประเทศและเป็นที่นิยมใช้งานในประเทศไทยในฤดูกาลผลิตปี 2562/2563 และการใช้เทคนิควิศวกรรมย้อนรอยเพื่อค้นหาชนิดของวัตถุดิบและกระบวนการผลิตที่ใช้ในการผลิตมีดดังกล่าว โดยมีที่ทำการศึกษานี้ครั้งนี้เป็นมีดที่นำเข้าจากต่างประเทศ จำนวน 3 ยี่ห้อ ๆ ละ 12 ใบ โดยนำเข้าจากประเทศออสเตรเลีย 1 ยี่ห้อ ใช้สัญลักษณ์ “P” และนำเข้าจากไต้หวัน 2 ยี่ห้อ ใช้สัญลักษณ์ “S” และ “K” เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานวัสดุ (Metallurgical microscope) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope :SEM) เครื่องทดสอบความแข็ง (Universal Hardness Tester) เครื่องทดสอบการดูดซับแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy impact test) และการทดสอบใช้งานจริงร่วมกับรถตัดอ้อยยี่ห้อ John Deere รุ่น CH570 ในเขตพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ ผลการศึกษพบว่า มีดตัดโคนอ้อยยี่ห้อ “S” มีประสิทธิภาพโดยรวมสูงสุด รองลงได้แก่ยี่ห้อ “P” และ “K” โดยมี 1 ชุด สามารถตัดอ้อยได้เฉลี่ย 750, 680 และ 650 ต้นตามลำดับ และมีทั้ง 3 ยี่ห้อ มีสมบัติเชิงกลที่ไม่แตกต่างกัน โดย มีความแข็งเฉลี่ยระหว่าง 44 – 47 HRC ค่าความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกอยู่ระหว่าง 7 – 12 J และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ทั้ง 3 ยี่ห้อ ผลิตมาจากเหล็กในกลุ่มเหล็กสปริง เกรดมาตรฐาน SAE9260 หรือ JIS: SUP6,SUP7 เช่นเดียวกัน ซึ่งมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ ซิลิกอน (Si) ร้อยละ 1.2 – 2.0 และแมงกานีส (Mn) ร้อยละ 0.9 – 1.3 และการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกสามารถสรุปได้ว่าการใช้กระบวนการทางความร้อน (Heat treatment process) ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพการทำงานแตกต่างกัน

คำสำคัญ : มีดตัดโคนอ้อย วิศวกรรมย้อนรอย โครงสร้างผลึก เหล็กสปริง

Abstract

The purpose of this study was to compare the characteristics and the efficiency of sugarcane base cutter blades that are imported from abroad and are popular in Thailand in the 2019/2020 production season and the use of reverse engineering techniques to find out the types of raw materials and manufacturing processes. The cutter blades that were used in the

investigation were 3 brands, 12 of each, one imported from Australia named "P" and two imported from Taiwan named "S" and "K". The analytical instruments consist of Metallurgical Microscope, Scanning Electron Microscope (SEM), Universal Hardness Tester, and Charpy Impact Test. The cutter blades were installed in the sugarcane harvester, John Deere model CH570, and harvested the sugarcane in Chaiyaphum province to evaluate overall performance. The results showed that The "S" brand has the highest overall efficiency followed by brands "P" and "K", with 1 set of knives capable of cutting sugarcane on average 750, 680, and 650 tons respectively. All of the cutter blades had the same mechanical properties, with average hardness between 44 - 47 HRC, and toughness between 7 - 12 J. The chemical composition analysis found that all of the brands are made of spring steel, standard grade SAE9260 or JIS: SUP6, SUP7, in which the important elements are Silicon (Si) 1.2 - 2.0 %wt. and Manganese (Mn) 0.9 - 1.3 %wt. The microstructure analysis has shown that the heat treatment process was used in the manufacturing process to improve mechanical properties and it causes a difference in overall performance.

Keywords: Sugar cane base cutter blades, Reverse engineering, Microstructure, Spring steel

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลยังเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของไทย และมีความผันผวนอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เพราะนอกจากสภาวะการณ์ในประเทศแล้ว สถานการณ์ต่างประเทศก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อดูแลและอุปทานของตลาดทั่วโลก ในปีการผลิต 2563/64 เกิดปัญหาฝนแล้งผลผลิตน้ำตาลมีเพียง 7.4 ล้านตัน อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมน้ำตาลของไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพ สามารถแข่งขันได้เนื่องจากต้นทุนการผลิตยังอยู่ในระดับต่ำ คิดเป็นอันดับ 2 ของโลกรองจากบราซิล [1] แต่ในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงทางอุตสาหกรรมเกิดขึ้นทั่วโลก ระบบการเกษตรเปลี่ยนจากการใช้แรงงานคนมาเป็นการใช้เครื่องจักร ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาผลกระทบที่เกิดจากการขาดแคลนแรงงาน โดยเฉพาะในกระบวนการเก็บเกี่ยวอ้อย ที่ขาดแคลนแรงงานอย่างหนัก [2] เมื่อระบบการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงก็กระทบต่อต้นทุนในการดำเนินงานด้วย โดยต้นทุนการผลิตอ้อยที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ต้นทุนของการเก็บเกี่ยวและการขนส่ง โดยต้นทุนในการตัดจะมีค่าประมาณ 190 บาทต่อตัน และต้นทุนการขนส่งประมาณ 100 บาทต่อตัน โดยหาก

เกษตรกรเลือกใช้การตัดอ้อยโดยใช้รถตัดอ้อยของโรงงานน้ำตาล ทางโรงงานจะมีรถขนส่งให้บริการด้วย โดยคิดค่าใช้จ่ายรวมเป็น 290 บาท ต่อตัน ทำให้ต้นทุนการเก็บเกี่ยวสูงถึง 2,150 บาทต่อไร่ [3] ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของต้นทุนการตัดอ้อยโดยใช้รถตัดอ้อยขนาดใหญ่ นั่นก็คือ ราคาของมีดตัด ซึ่งมีดตัดที่ใช้ในรถตัดอ้อยขนาดใหญ่มี 2 ประเภทคือมีดตัดโคนอ้อย และใบมีดสับท่อน โดยใบมีดตัดโคนอ้อยนั้นจะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่า เพราะต้องมีการสัมผัส และเสียดสีกับพื้นดิน ทราบ รวมไปถึงก้อนหิน และตอไม้ที่อยู่ในไร่ด้วย มีดตัดอ้อยส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ เพราะการผลิตในประเทศยังมีน้อย และการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการผลิตนั้นยังมีไม่มากนัก เนื่องจากเป็นเรื่องใหม่ และมีการใช้งานเป็นฤดูกาล ปัจจุบันต้นทุนเฉลี่ยของมีดตัดโคนอ้อย จะอยู่ประมาณ 2 บาทต่อตัน ซึ่งถ้าพิจารณาผลผลิตอ้อยในปีเพาะปลูก 2564/65 มีอ้อยทั้งหมด 92,070,668.975 ตัน คิดเป็นอ้อยตัดสด 66,951,734.425 ตัน ซึ่งในจำนวนนี้ ถ้าคิดเป็นอ้อยที่ตัดโดยใช้รถตัดอ้อยร้อยละ 70 จะมีอ้อยที่ตัดโดยใช้รถตัดประมาณ 46,866,000 ตัน โดยมีต้นทุนที่เป็นส่วนของมีดตัดโคนอ้อยทั้งหมดประมาณ

93,732,000 บาท ซึ่งถือว่ามียุทธศาสตร์สูง และมีต้นทุนต่ำ
น้อยที่มีการใช้งานในปัจจุบันนี้ เป็นมิติที่นำเข้ามาจาก
ต่างประเทศเกือบทั้งหมด ทำให้มีเงินไหลออกไป
ต่างประเทศ และที่สำคัญทำให้ประเทศขาดองค์ความรู้
ในการผลิตและการพัฒนา สมบัติต่าง ๆ ของมิติ ทำให้
ไม่สามารถผลิตมิติขึ้นมาใช้เองได้ และส่งผลให้ไม่
สามารถควบคุมต้นทุนของมิติได้และส่งผลต่อการ
ควบคุมต้นทุนการผลิตน้อยและน้ำตาต่อไป และอาจ
เป็นผลกระทบต่อการขีดความสามารถทางการแข่งขันของ
ประเทศในระยะยาว

การพัฒนาการผลิตชิ้นส่วนที่มีใช้อยู่แล้วใน
ท้องตลาดให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าเดิม มีเทคนิคที่
นิยมนำมาใช้คือกระบวนการวิศวกรรมย้อนกลับ
(Reverse engineering) [4] ซึ่งในกรณีการผลิตมิติตัด
โคนน้อยนี้ จะเริ่มต้นตั้งแต่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี
(Chemical component) การวิเคราะห์โครงสร้างทาง
จุลภาค (Micro Structure) ที่เป็นผลมาจาก
กระบวนการผลิต (Processing) และส่งผลต่อสมบัติ
(Properties) และ สมรรถนะ (Performance) ตาม
หลักการของทางวัสดุศาสตร์ ซึ่งการศึกษาด้วยวิธีการ
วิศวกรรมแบบย้อนกลับนี้จะทำให้การผลิต และพัฒนา
มิติตัดโคนน้อยได้อย่างรวดเร็ว ไม่เสียเวลาลองผิดลอง
ถูกเพราะเป็นการต่อยอดจากงานเดิมที่มีอยู่แล้ว

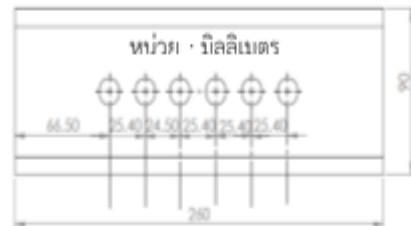
จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษา
องค์ประกอบทางเคมี โครงสร้าง สมบัติเชิงกลและอายุ
การใช้งานของมิติตัดโคนน้อยที่เป็นที่นิยมอยู่ใช้งานอยู่
ในฤดูกาลผลิต 2563/64 เพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับ
การผลิตและพัฒนา สมบัติเชิงกลของมิติตัดโคนน้อย
ภายในประเทศ โดยเลือกยี่ห้อที่เป็นที่นิยมและมีการใช้
งานในทุกพื้นที่ของการปลูกน้อยและผลิตจากบริษัทที่มี
ความน่าเชื่อถือที่มีการผลิตต่อกันมานานหลายปี

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุ

มิติตัดโคนน้อยที่ใช้ในการศึกษานี้มี 3
ยี่ห้อ โดยมียี่ห้อที่นำเข้าจากออสเตรเลีย 1 ยี่ห้อ (ให้
สัญลักษณ์เป็น P) นำเข้าจากไต้หวัน 2 ยี่ห้อ โดยเป็น
ยี่ห้อที่นำเข้าโดยผู้ผลิตเอง 1 ยี่ห้อ (ให้สัญลักษณ์เป็น K)

และนำเข้าด้วยตัวแทนจำหน่าย 1 ยี่ห้อ (ให้สัญลักษณ์
เป็น S) โดยทั้งหมดเป็นมิติที่มีจำหน่ายในฤดูกาลผลิต
น้อย 2563/64 แต่ละยี่ห้อจะใช้ยี่ห้อละ 12 ใบ รวมมิติที่
ทำการศึกษาทั้งสิ้น 36 ใบ ใบมิติของแต่ละยี่ห้อที่นำมา
ศึกษานั้นมีขนาดและรูปทรงเป็นดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขนาดของมิติตัดโคนน้อย



ภาพที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของมิติที่นำมาใช้ในการ
การศึกษา (ก)ยี่ห้อ “P” จากออสเตรเลีย (ข) ยี่ห้อ “S”
จากไต้หวัน และ (ค) ยี่ห้อ “K” จากไต้หวัน

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษานี้มีการวิเคราะห์ร้อยละของ
ธาตุ ที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ทดสอบสมบัติเชิงกล
ซึ่งในการศึกษานี้จะทำการทดสอบค่าความแข็ง
(Hardness) ความทนทาน (Toughness) และความ
ต้านการสึกหรอ (Wear resistance) และทดสอบ
สมรรถนะโดยนำไปตัดน้อยในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ
รายละเอียดของการวิเคราะห์และการทดสอบ มีดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์ธาตุที่องค์ประกอบทำโดย
การส้อมมิติตัดโคนน้อยแต่ละยี่ห้อขึ้นมา 1 ใบ เสร็จแล้ว
นำไปตัดให้ได้ขนาด 10x 15 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องตัด
แบบเส้นลวด ขัดผิวด้านที่จะใช้งานให้เรียบ และนำเข้า
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning

electron microscope : SEM) เพื่อวิเคราะห์หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบโดยเทคนิค การวิเคราะห์องค์ประกอบ ทางเคมีด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy dispersive X-Ray spectroscopy: EDS)

2.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (Micro structure) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ทางโลหะวิทยา (Metallurgical microscope) โดยนำชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยเครื่องตัดแบบเส้นลวด มาขัดผิวชิ้นงานให้เรียบ ตามขั้นตอนของการตรวจสอบโครงสร้างวัสดุเสร็จแล้วกัดเปิดผิวชิ้นงานด้วยกรด เพอร์ริกคลอไรด์ (Fe_3Cl) เป็นเวลา 10 วินาที ตามด้วยกรดไนตริก (HNO_3) 10 วินาที และล้างกรดด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เสร็จแล้วล้างด้วยน้ำสะอาด และขัดผิวด้วยผ้าสักหลาด ก่อนนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์



ภาพที่ 3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

2.2.3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล

1) การทดสอบความแข็ง (Hardness)

มีดทุกใบจะถูกนำไปวัดค่าความแข็ง ด้วยเครื่องวัดค่าความแข็ง (Universal hardness tester) ในการศึกษาครั้งนี้วัดความแข็งแบบ Rockwell scale C (HRC)

2) ค่าความทนทาน (Toughness) ทำโดยสุ่มใบมีดขึ้นมาอีห่อละ 1 ใบ แล้วนำไปตัดตามขวางด้วยเครื่องตัดแบบเส้นลวด ให้มีความกว้าง 10 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นทดสอบขนาด $10 \times 90 \times 4$ มิลลิเมตร โดยในการทดสอบครั้งนี้ใช้ห่อละ 4 ชิ้น หลังจากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรง

กระแทกแบบ ชาร์ปี (Charpy impact test) ยี่ห้อ Wolpert โดยใช้ตุ้มน้ำหนัก 30 กิโลกรัม (kgf.) การทดสอบในครั้งนี้ต้องการที่จะเปรียบเทียบค่าการดูดซับของชิ้นงานทดสอบเท่านั้นจึงไม่ได้มีการบอกชิ้นงานตามมาตรฐานการทดสอบแบบชาร์ปีโดยทั่วไป [5]

3) การทดสอบความต้านทานการสึกหรอ (Wear resistance) โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการตัดขนาดประมาณ 10×15 มิลลิเมตร มาขัดผิวให้เรียบให้ได้ตามมาตรฐานของการทดสอบ [6] ทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ และนำไปขึงน้ำหนักด้วยเครื่องขึงน้ำหนักชนิด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง เสร็จแล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอชนิด Pin on disc โดยใช้น้ำหนักกด 1 kg. (10N) ความเร็วรอบในการทดสอบ มี 2 ระดับคือ 200 และ 300 รอบต่อนาที ระยะทางในการทดสอบเท่ากับ 10,000 เมตร ส่วนที่เป็น disc เป็นกระดาดทรายชนิด Silicon carbide ที่มีความละเอียด 800 และ 1000 (เบอร์ 800 และ 1000) การทดสอบจะใช้กระดาดทราย 1 แผ่น ต่อ 1 ครั้งของการทดสอบ เมื่อครบระยะตามที่กำหนดไว้ นำชิ้นงานออกมาทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ และขึงน้ำหนักด้วยเครื่องขึงน้ำหนัก เสร็จแล้วคำนวณหาค่าน้ำหนักที่หาย ต่อพื้นที่ของชิ้นงาน ไปของแต่ละชิ้น



ภาพที่ 4 เครื่องทดสอบการสึกหรอ ชนิด Pin-on-disc

2.2.4 การทดสอบสมรรถนะ

ในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการทดสอบมีดครั้งละ 1 ยี่ห้อ โดยนำมีดอีห่อละ 10 ใบ มาขึงน้ำหนัก พร้อมเขียนหมายเลขกำกับลงบนมีดแต่ละใบ เสร็จแล้วนำไปติดตั้งในรถตัดอ้อยยี่ห้อ John Deer รุ่น CH 570

และทำการตัดอ้อยในไร่อ้อย จนกว่า มีดจะหมดอายุการใช้งาน บันทึกน้ำหนักอ้อยที่ตัดได้ และหลังจากนั้น นำมีดมาทำความสะอาดและชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง เปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังการใช้งาน

3. ผลการศึกษา

3.1 องค์ประกอบทางเคมี

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมีดตัดทั้ง 3 ยี่ห้อ ผลเป็นดังนี้ ยี่ห้อ P มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ เหล็ก (Fe) ซิลิกอน (Si) แมงกานีส (Mn) และคาร์บอน โดยมีสัดส่วนเท่ากับ 96.77, 1.78, 1.17 และ 0.25 %wt ตามลำดับ



ภาพที่ 5 รถตัดอ้อยที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 6 การติดตั้งใบมีดในรถตัดอ้อย

ยี่ห้อ K ธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ เหล็ก (Fe) ซิลิกอน (Si) แมงกานีส (Mn) และโครเมียม (Cr) โดยมีสัดส่วน เท่ากับ 96.70, 1.21, 0.97 และ 0.20 %wt ตามลำดับ มีคาร์บอน 0.33 %

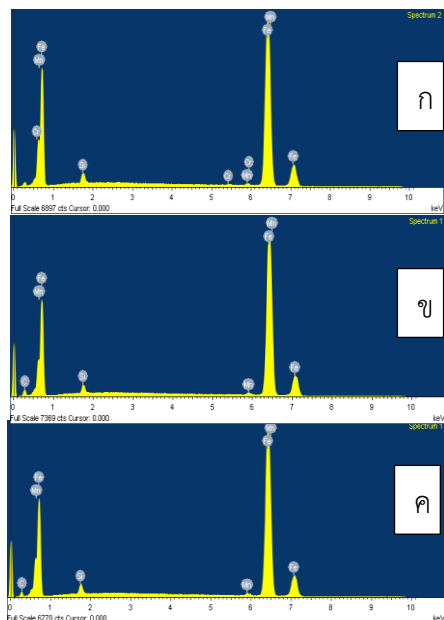
ยี่ห้อ S ธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ เหล็ก (Fe) ซิลิกอน (Si) และแมงกานีส (Mn) โดยมีสัดส่วน เท่ากับ 97.07, 1.36 และ 1.07 %wt ตามลำดับ มีคาร์บอน 0.4%

ตารางที่ 1 ร้อยละของธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ

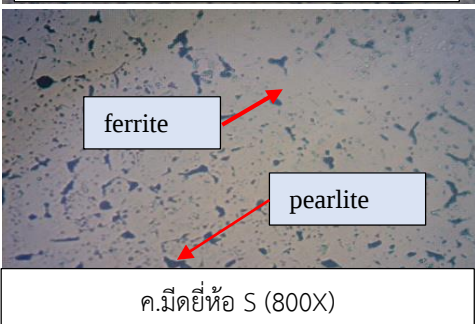
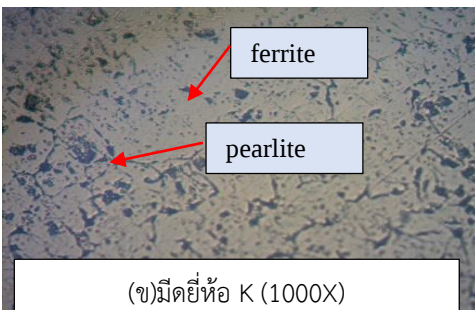
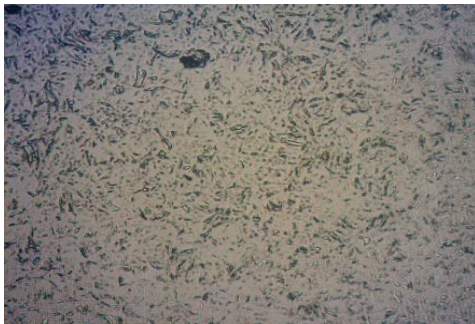
ยี่ห้อ	สัดส่วนโดยน้ำหนักของธาตุ(%wt)				
	Fe	Mn	Si	Cr	C
P	96.77	1.17	1.78		0.25
S	97.07	1.07	1.36		0.4
K	96.70	0.97	1.21	0.2	0.33

3.2 โครงสร้างจุลภาค

จากการวิเคราะห์พื้นผิวของชิ้นงานเบื้องต้นพบว่าแต่ละยี่ห้อผ่านกระบวนการทางความร้อนมาแล้ว สังเกตได้จากผิวที่เป็นสีดำและมีคราบสนิมเกิดเป็นจุดๆ ทั่วทั้งใบมีด เมื่อพิจารณาโครงสร้างผลึกพบว่า มีดยี่ห้อ “P” จะมีเกรนขนาดใหญ่ และธาตุที่เป็นองค์ประกอบอื่นกระจายอยู่ทั่วไป เป็นลักษณะทั่วไปของโครงสร้างจุลภาคเป็นแบบ bainite [7] คือ ส่วนยี่ห้อ “K” และ “S” จะมีลักษณะผิวเรียบสีจางและมีจุดดำ กระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างแบบ pearlite + ferrite [8]



ภาพที่ 7 องค์ประกอบของมีดแต่ละยี่ห้อ (ก) ยี่ห้อ “P” (ข)ยี่ห้อ “K” (ค) ยี่ห้อ “S”



ภาพที่ 8 โครงสร้างจุลภาค

3.3 สมบัติเชิงกล

3.1 ความแข็ง (Hardness)

ในการศึกษาครั้งนี้จะวัดค่าความแข็งของใบมีดที่ทำการศึกษาทั้งหมด คือ ยี่ห้อละ 12 ใบ ๆ ละ 3 จุดเสร็จแล้วหาค่าเฉลี่ยของแต่ละใบ รายละเอียดของค่าความแข็งเป็นดังตารางที่ 2 และภาพที่ 9

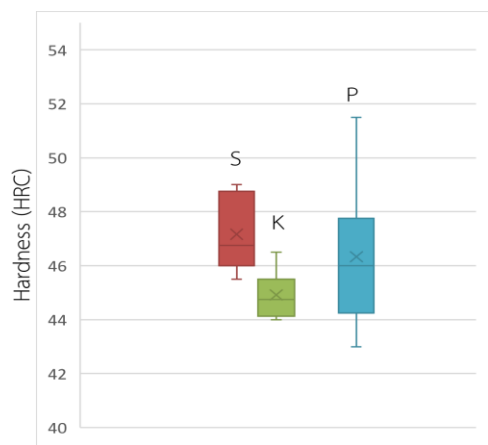
3.2 ความทนทาน (Toughness)

การศึกษาค้นคว้าทดสอบความทนทานโดย การวัดค่าการดูดซับพลังงานที่ขึ้นงานแต่ละชิ้นสามารถรับได้ก่อนเกิดการแตกหัก ค่าที่สูงจะหมายถึงสามารถดูดซับพลังงานกระแทกได้ดีกว่า โอกาสที่จะแตกหักจาก

การกระแทกต่ำกว่าชิ้นงานที่มีค่าการดูดซับต่ำ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าความแข็งของใบมีด

ใบที่	ความแข็งของใบมีดยี่ห้อ (HRC)		
	"S"	"K"	"P"
1	46	44	44
2	46	45.5	48
3	49	44	49
4	46.5	44.5	46.5
5	46	44	45
6	47.5	45	51.5
7	48	45.5	47
8	47	46	46
9	45.5	44.5	43
10	49	45	46
11	49	46.5	44
12	46.5	44.5	46
เฉลี่ย	47.17	44.92	46.33



ภาพที่ 9 กราฟเปรียบเทียบความแข็ง

ตารางที่ 3 ค่าดูดซับพลังงานแรงกระแทก

ยี่ห้อ	ค่าการดูดซับพลังงานแรงกระแทก (J)				
	ชั้น ที่1	ชั้น ที่2	ชั้น ที่3	ชั้น ที่4	เฉลี่ย
K	8	9	8	8	8.25
S	8	7.6	7.8	7.6	7.7
P	8	7.4	8	7.6	7.75

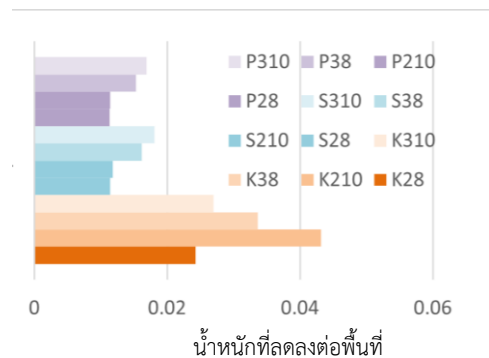
3.3 ความต้านทานการสึกหรอ

การทดสอบการสึกหรอโดยใช้เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบ Pin-on-disc จะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการยึดเหนี่ยวกันเนื้อวัสดุ เมื่อได้รับการเสียดสี ค่าที่สูงหมายถึงความสามารถในการยึดเหนี่ยวตัว อัตราการสึกหรอจะสูง รายละเอียดดังตารางที่ 4 และภาพที่ 10

ตาราง 4 น้ำหนักที่ลดลงต่อหน่วยพื้นที่ (g/cm^2)

		ความเร็ว 200rpm		ความเร็ว 300 rpm	
		#800	#1000	#800	#1000
K	1	0.0249	0.0461	0.032 8	0.027 5
	2	0.0236	0.0399	0.033 6	0.026 5
	3	0.0248	0.0425	0.034 5	0.026 8
	4	0.0237	0.0442	0.033 8	0.027 2
เฉลี่ย		0.024-	0.0432	0.033	0.0270
S	1	0.0111	0.0126	0.016 6	0.019 2
	2	0.0106	0.0118	0.015 7	0.0168
	3	0.0124	0.0115	0.015 6	0.0183

	4	0.0113	0.0114	0.016 8	0.0179
เฉลี่ย		0.0114	0.0118	0.016 2	0.018 1
P	1	0.0108	0.0118	0.015 7	0.016
	2	0.0119	0.0114	0.015 3	0.0178
	3	0.0113	0.0138	0.015 6	0.0165
	4	0.0115	0.0125	0.014 6	0.017 3
เฉลี่ย		0.0113 8	0.0114	0.015 3	0.0169



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบน้ำหนักที่ลดลงในการทดสอบ

3.4 การทดสอบสมรรถนะการใช้งาน

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานของมีดแต่ละยี่ห้อ ทดสอบโดยการนำมีดแต่ละยี่ห้อไปใช้งานจริง โดยกำหนดให้สภาวะการทดสอบคือสภาพพื้นดิน ความหนาแน่นของอ้อย เท่ากันในทุกการทดสอบ ซึ่งการทดสอบครั้งนี้ทำในเขตพื้นที่ อำเภอกอนสาร จังหวัดชัยภูมิ ฤดูกาลผลิต 2563/64 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5 – 7

ตารางที่ 5 มิตยี่ห้อ K ตัดอ้อยได้จำนวน 751 ต้น

No.	น้ำหนัก (g)			
	ก่อน	หลัง	ลดลง	ลดลง/ต้น
1	616	472	144	0.1917
2	616	472	144	0.1917
3	616	459	157	0.2091
4	621	460	161	0.2144
5	599	474	125	0.1664
6	623	469	154	0.2051
7	614	447	167	0.2224
8	631	476	155	0.2064
9	609	465	144	0.1917
10	614	459	155	0.2064
เฉลี่ย	615.9	465.3	150.6	0.2005

ตารางที่ 7 มิตยี่ห้อ P ตัดอ้อยได้ 730.4 ต้น

No.	น้ำหนัก (g)			
	ก่อน	หลัง	ลดลง	ลดลง/ต้น
1	647	508	139	0.1903
2	616	506	110	0.1506
3	629	507	122	0.1670
4	624	478	146	0.1999
5	624	509	115	0.1574
6	633	514	119	0.1629
7	633	489	144	0.1972
8	632	503	129	0.1766
9	624	517	107	0.1465
10	628	493	135	0.1848
เฉลี่ย	629	502.4	126.6	0.1733

ตารางที่ 6 มิตยี่ห้อ S ตัดอ้อยได้ 654 ต้น

No.	น้ำหนัก (g)			
	ก่อน	หลัง	ลดลง	ลดลง/ต้น
1	694	590	104	0.1590
2	694	578	116	0.1774
3	689	595	94	0.1437
4	689	599	90	0.1376
5	695	595	100	0.1529
6	695	579	116	0.1774
7	695	577	118	0.1804
8	695	564	131	0.2003
9	685	565	120	0.1835
10	690	570	120	0.1835
เฉลี่ย	692.1	581.2	110.9	0.1696

4.อภิปรายผล

จากผลของการศึกษาพบว่า เหล็กที่ใช้ทำมีดตัดโคนอ้อยของต่างประเทศนั้น มีองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ทุกยี่ห้อจัดอยู่ในกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.5 % [8] ซึ่งในกลุ่มนี้เหมาะกับการใช้เป็นอะไหล่ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล หากเทียบเคียงกับเหล็กเกรดมาตรฐานทั่วไป พบว่ามีองค์ประกอบใกล้เคียงกับเหล็ก S45C (JIS G4015) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญคือ Si และ Mn แล้วพบว่า Mn มีสัดส่วนใกล้เคียงกับเหล็ก S45C (0.6 – 0.9 %) แต่ Si ที่พบมีสัดส่วนที่สูงกว่า S45C ค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงพิจารณาเหล็กในกลุ่มที่มีซิลิกอน เป็นองค์ประกอบในระดับ 1.8 – 2.2 % พบว่าเหล็กเกรด SAE 9255 (JIS: SUP6, GB: 55Si2Mn) และเหล็กในกลุ่มเหล็กสปริง เช่น SAE 9260, 9262, SUP6, SUP7 หรือ DIN : 60 Si7, GB: 60Si2Mn เป็นเหล็กที่มีซิลิกอนอยู่ในช่วงดังกล่าว ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า วัสดุที่นำมาใช้ทำมีดนั้น เป็นเหล็กในกลุ่มเหล็กสปริง เกรดมาตรฐานคือ SAE926 หรือเกรด SUP6, SUP7 ที่เป็นเกรดมาตรฐานของญี่ปุ่น

เมื่อพิจารณาถึงขั้นตอนการผลิต โดยเริ่มพิจารณาจากผิวของมิตแต่ละยี่ห้อพบว่า แต่ละยี่ห้อจะมีสีด้าและมีคราบสนิมเกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่ามิตแต่ละยี่ห้อผ่านกระบวนการทางความร้อนมาแล้ว คือผ่านกระบวนการอบชุบ (Quenching) และอบคืนตัว (Tempering) มาแล้วสังเกตได้จากค่าความแข็งที่อยู่ในระดับสูง และค่าความทนทานไม่สูงมากนัก เมื่อผ่านกระบวนการอบชุบและอบคืนตัวมาแล้ว เมื่อนำไปส่องดูโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ ต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนโครงสร้างที่มาจากกระบวนการทางความร้อนด้วย จากลักษณะของโครงสร้างที่พบ ของมิตยี่ห้อ “S” และ “K” จะมีโครงสร้างแบบ Pearlite + Ferrite ส่วนยี่ห้อ “P” มีโครงสร้างเป็นแบบ Bainite แสดงให้เห็นว่า ในขั้นตอนของการอบชุบ ยี่ห้อ “S” และ “K” อัตราการเย็นตัวจะช้ากว่ายี่ห้อ “P” การเย็นตัวที่ช้ากว่าเนื่องมาจากความต้องการของผู้ผลิต หรืออาจเกิดจากขั้นตอนของการผลิตก็ได้ ตัวอย่างเช่นกระบวนการผลิตที่มีการเคลื่อนย้ายชิ้นงานก่อนที่จะจุ่มลงในสารชุบแข็ง มีระยะที่ห่างมากกว่าจะทำให้อุณหภูมิของชิ้นงานลดลงอย่างช้าๆ เพราะในช่วงของการเคลื่อนย้ายชิ้นงานการถ่ายเทความร้อนจากตัวมิตออกไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกโดยมีอากาศเป็นตัวกลางนั้นถือว่ามิตอัตราการเย็นตัวช้า หรือการชุบที่มีการจุ่มเฉพาะบริเวณคมของมิตแล้วยกขึ้น เพื่อปล่อยให้เกิดการถ่ายเทอุณหภูมิจากส่วนที่ยังร้อนกลับมายังคมมิต และมีไอน้ำล้อมรอบคมมิตก็ถือว่าการเย็นตัวช้าเช่นกัน [9] อย่างไรก็ตามทั้งสามยี่ห้อ ไม่มีโครงสร้างแบบ Martensitic ซึ่งเกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วแสดงให้เห็นว่าการอบชุบนั้นน่าจะเป็นการชุบแบบพ่นน้ำ หรือการชุบเฉพาะคมตัด

ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งของใบมีดแต่ละยี่ห้อพบว่าค่าความแข็งของยี่ห้อ “P”, “S” และ “K” มีค่าเป็น 46.33, 47.17 และ 44.5 HRC ตามลำดับ เมื่อทดสอบค่าความแตกต่างโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA) พบว่า $p\text{-value} = 0.007$ ซึ่งต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) หมายความว่าค่าความแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (รายละเอียดดังตารางที่ 8)

SOV	SS	df	MS	F	P
A	0.00340	2	0.00170	1627.14	<0.001
B	0.00005	1	0.00005	51.83	<0.001
C	0.00010	1	0.00010	94.33	<0.001
AB	0.00018	2	0.00009	88.42	<0.001
AC	0.00006	2	0.00003	30.48	<0.001
BC	0.00019	1	0.00009	88.79	<0.001
ABC	0.00047	2	0.00024	225.76	<0.001
Error	0.00047	36	0.00024	225.76	
Total	0.00450	47			

ตารางที่ 8 ความแปรปรวนของค่าความแข็ง

SOV	SS	df	MS	F	P-value
Between Groups	31.06	2	15.53	5.87	0.007
Within Groups	87.25	33	2.64		
Total	118.31	35			

ในกรณีค่าความทนทาน (Toughness) โดยทดสอบความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกนั้น ผลปรากฏว่ามิตยี่ห้อ “P”, “S” และ “K” มีค่าเฉลี่ยการดูดซับแรงกระแทกเท่ากับ 7.75, 7.7 และ 8.25J ตามลำดับ เมื่อทดสอบค่าความแตกต่างทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน พบว่า ค่า $p\text{-value}$ เท่ากับ 0.214 สูงกว่าค่านัยสำคัญ (0.05) หมายความว่าค่าความทนทานเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ความแปรปรวนของค่าความทนทาน

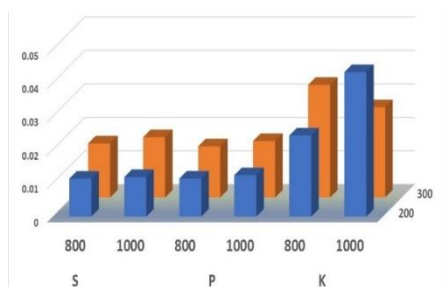
SOV	SS	df	MS	F	P-value
Between Groups	0.67	2	0.33	2.66	0.124
Within Groups	1.13	9	0.13		
Total	1.80	11			

เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานการสึกหรอที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่าการสึกหรอแตกต่างกันทั้งในกรณีที่กระดาษทรายามีความละเอียดแตกต่างกัน และกรณีที่ใช้ความเร็วรอบแตกต่างกัน ในการทดลองครั้งนี้เป็นการออกแบบการทดลองชนิดแฟกทอเรียลทั่วไป (General factorial) มีปัจจัยการทดลอง 3 ปัจจัย ปัจจัย A คือยี่ห้อของมิต มี 3 ระดับคือ S, P, K

ปัจจัย B คือความเร็วรอบ มี 2 ระดับคือ 200 และ 300 รอบต่อนาที และปัจจัย C ได้แก่ความละเอียดของกระดาษทราย มี 2 ระดับ คือ 800 และ 1000 ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าสถิติทดสอบของยี่ห้อของมิด $F_{2,36} = 1627.14$, $p\text{-value} = <0.001$ ความเร็วรอบ $F_{1,36} = 51.83$, $p\text{-value} = <0.001$ และกระดาษทราย $F_{1,36} = 94.33$, $p\text{-value} = <0.001$ หมายถึงความว่ายี่ห้อของมิด ความเร็วรอบ และกระดาษทราย มีอิทธิพลต่อการสึกหรอทั้งสิ้น โดยทำให้การลดลงของน้ำหนักของชิ้นงานทดสอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และปัจจัยรวมก็มีอิทธิพลต่อการลดลงของน้ำหนักของชิ้นงานหรือการสึกหรอของชิ้นงานเช่นเดียว

ตารางที่ 10 ความแปรปรวนของปัจจัยต่าง

SOV	SS	DF	MS	F	P
A	0.00340	2	0.00170	1627.14	<0.001
B	0.00005	1	0.00005	51.83	<0.001
C	0.00010	1	0.00010	94.33	<0.001
AB	0.00018	2	0.00009	88.42	<0.001
AC	0.00006	2	0.00003	30.48	<0.001
BC	0.00019	1	0.00009	88.79	<0.001
ABC	0.00047	2	0.00024	225.76	<0.001
Error	0.00047	36	0.00013		
Total	0.00450	47			

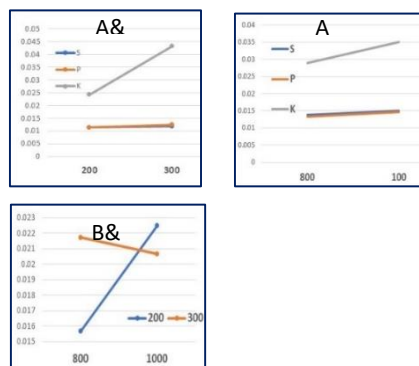


ภาพที่ 11 กราฟแสดงน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงาน

จากภาพที่ 11 พบว่า น้ำหนักที่หายไปของมิด ยี่ห้อ S และยี่ห้อ P มีค่าใกล้เคียงกันและต่ำกว่ายี่ห้อ K การสึกหรอจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบในการทดสอบเพิ่มขึ้นและค่าความละเอียดของกระดาษทรายก็ทำให้การสึกหรอแตกต่างกันในทุกชนิดของวัสดุและในทุกความเร็วรอบของการทดสอบ ซึ่งทำให้ค่าสถิติทดสอบมีความแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วม AB (ยี่ห้อของมิดกับความเร็วยี่ห้อ) พบว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น น้ำหนักที่ลดลงของมิด มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยน้ำหนักที่ลดลงของมิดยี่ห้อ S และ P มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ยี่ห้อ K จะมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างจากยี่ห้อ S และ P ในระดับมากซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับพฤติกรรมการสึกหรอทั่วไปที่เมื่อความเร็วของการสัมผัสเพิ่มชิ้นการสึกหรอก็เพิ่มขึ้นด้วยซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่เกิดการเสียดสีกัน [10]

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วม AC (ยี่ห้อของมิดกับความละเอียดของกระดาษทราย) พบว่า เมื่อกระดาษทรายมีความละเอียดเพิ่มขึ้น การสึกหรอของมิดเพิ่มขึ้นด้วยโดยยี่ห้อ K เป็นยี่ห้อที่มีการสึกหรอสูงกว่ายี่ห้ออื่น



ภาพที่ 12 แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วม

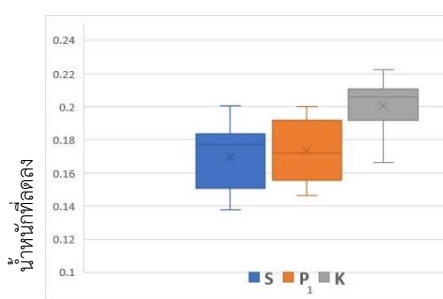
เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วม BC (ความเร็วรอบและความละเอียดของกระดาษทราย) พบว่า เมื่อใช้กระดาษทรายเบอร์ 800 ที่ระดับความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาทีที่มีการสึกหรอสูงกว่า แต่เมื่อเพิ่มความละเอียดของกระดาษทรายเป็นเบอร์ 1000 ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีการสึกหรอสูงกว่า แสดงถึงอิทธิพลของปัจจัยร่วม BC ที่มีต่อการทดลองในครั้งนี้ นอกจากนั้นยังพบว่า กรณีของยี่ห้อ K นั้น มีอิทธิพลร่วมของปัจจัย B (ความเร็วรอบ) และ ปัจจัย C (ความละเอียดของกระดาษทราย) โดยเมื่อเพิ่มความเร็วยี่ห้อ K จาก 200 รอบต่อนาที เป็น 300 รอบต่อนาที และเพิ่มความละเอียดของกระดาษทรายจากเบอร์ 800 เป็นเบอร์ 1000 จะทำให้การสึกหรอลดลง อย่างไรก็ตาม

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร่วมกับยี่ห้ออื่นๆ แนวโน้มแล้วพบว่าไปในทิศทางเดียวกัน คือ ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น น้ำหนักที่ลดลงมีค่าสูงขึ้น จึงทำให้ค่า p - value ของปัจจัยร่วมมีค่าต่ำกว่าระดับนัยสำคัญในทุกกรณี

เมื่อนำไปทดสอบใช้งานจริงในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ พบว่า ค่าการสึกหรอหรือน้ำหนักที่ลดลงต่อตันอ้อยของมิตแต่ละยี่ห้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($F_{2,27} = 8.35$, p -value = 0.001) และเมื่อพิจารณารายยี่ห้อพบว่ายี่ห้อ “S” มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่ลดลง หรือ การสึกหรอต่ำที่สุด รองลงมาได้แก่ยี่ห้อ “P” และ “K” ตามลำดับ (ตารางที่ 10 และภาพที่ 13)

ตารางที่ 11 ความแปรปรวนของสมรรถนะของมิต

SOV	SS	DF	MS	F	P-value
Between Groups	0.0057	2	0.0029	8.350	1
Within Groups	0.0092	27	0.0003		
Total	0.0149	29			



ภาพที่ 13 ค่าเฉลี่ยการสึกหรอต่อการตัดอ้อย 1 ตัน

จากผลของการทดสอบใช้งานจริงนี้พบว่า มีความสอดคล้องกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ยี่ห้อ K มีอัตราการสึกหรอสูงสุด ส่วนยี่ห้อ S และ P นั้นไม่มีความแตกต่างกัน การที่ยี่ห้อ K มีการสึกหรอสูงสุคนี้อาจเป็นผลของค่าความแข็งที่ต่ำกว่ายี่ห้ออื่น ทำให้เมื่อเกิดการเสียดสี อนุภาคของชิ้นงานสามารถหลุดออกได้

เร็วกว่า [11] ทำให้การสึกหรอสูงกว่ามิตยี่ห้ออื่นที่มีความแข็งสูงกว่า และสาเหตุที่ยี่ห้อ K ไม่เพิ่มความแข็งขึ้นมากกว่นี้ เพราะหากเพิ่มความแข็งโดยการเพิ่มส่วนผสมที่เป็นแมงกานีสสูงถึง 2% จะทำให้มิตมีความเปราะสูงมาก จนไม่สามารถใช้งานได้ [12]

5. สรุป

จากการใช้วิศวกรรมย้อนรอยเพื่อศึกษาข้อมูลของมิตตัดโคนอ้อยที่ผลิตโดยบริษัทต่างประเทศ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการเลือกใช้วัสดุและ กรรมวิธีการผลิตในประเทศ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีมากยิ่งขึ้นพบว่า วัสดุที่ใช้ในการผลิตนั้นสามารถเทียบได้กับเหล็กเกรดมาตรฐาน SAE 9260, 9262, (JIS :SUP6, SUP7) ซึ่งเหล็กในเกรดดังกล่าวเป็นเหล็กสปริง ที่นิยมนำมาใช้ผลิตเครื่องมือ และผลิตเป็นแท่นรถยนต์ เพราะเสียดคล้องกับการใช้งานโดยทั่วไป ที่นิยมนำเหล็กแท่นมาใช้ในการผลิตมิต ค่าความแข็งและความทนทานของเหล็กในกลุ่มเหล็กสปริงนี้ เนื่องมาจากเพราะอิทธิพลของธาตุแมงกานีสโดยเหล็กที่มีส่วนผสมแมงกานีสเพิ่มขึ้น 1 % จะทำให้ความเค้นแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น 100 นิวตัน/มม.² และองค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือซิลิกอนทำให้เหล็กมีความแข็งแรงทนต่อการเสียดสี เพิ่มค่าแรงดึง (Yield strength) ให้สูงขึ้นด้วย

จากการพิจารณาการสึกหรอจากใช้งานเทียบกับโครงสร้างของมิตแต่ละยี่ห้อพบว่า มิตยี่ห้อ “S” มีอัตราการสึกหรอต่ำที่สุด มีโครงสร้างผลึกที่ผ่านเป็นแบบ Ferrite + Pearlite ซึ่งเป็นผลมาจากการเย็นตัวในขั้นตอนของการชุบเป็นไปแบบช้า ๆ เช่นการชุบเฉพาะคมตัด หรือเป็นการฉีดยาน้ำหรือสารชุบ ไม่ใช้การจุ่ม แต่ในกรณีของยี่ห้อ “P” มีโครงสร้างเป็นแบบ Bainite ซึ่งโครงสร้างแบบนี้เกิดจากอัตราการเย็นตัวที่รวดเร็ว เป็นไปได้ว่า ในขั้นตอนของการชุบจะเป็นการจุ่ม หรือการฉีดยาน้ำในปริมาณมากผลิตในประเทศ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีมากยิ่งขึ้น พบว่า วัสดุที่ใช้ในการผลิตนั้นสามารถเทียบได้กับเหล็กเกรดมาตรฐาน SAE 9260, 9262, (JIS :SUP6, SUP7) ซึ่งเหล็กใน

เกรตดังกล่าวเป็นเหล็กสปริง ที่นิยมนำมาใช้ผลิตเครื่องมือ และผลิตเป็นแหวนรถยนต์ เพราะเหล็กในกลุ่มดังกล่าว มีความทนต่อแรงกระแทก ยืดหยุ่นได้ดี และต้านทานการสึกหรอได้ดี

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยวัฒน์ เชาว์เจริญสุข. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566 :อุตสาหกรรมน้ำตาล.(ออนไลน์) เข้าถึงเมื่อ 3 กุมภาพันธ์ 2565. จาก<https://www.krungsri.com/th/research/industry/industryoutlook/Agriculture/Sugar/IO/io-sugar-21>
- [2] กรุงเทพธุรกิจ.[อินเทอร์เน็ต]. สมาคมชาวไร่ อ้อย ร้องขอรับคนต่างด้าว แก้วกัญชากาแลนแรงงาน. เข้าถึงเมื่อ 30 มกราคม 2565. จาก <https://www.bangkokbiznews.com/news/984815>.
- [3] สุภาวดี เนินคณา. อ้อยโรงงาน. กลุ่มส่งเสริมการผลิตพืชไร่อุตสาหกรรม. เข้าถึงเมื่อ 30 มกราคม 2565. จาก [Http://www.agriman.doae.go.th](http://www.agriman.doae.go.th)
- [4] วิศรุต ภัคดิพันธ์, ชัชวาล สิริเจริญชัย, วีรวัฒน์ ทวีสกุลรัตน์ และเกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย. ศึกษาความเป็นไปได้ของการให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เป็นเครื่องมือวัดพิทกัต 3 มิติ. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555 17-19 ตุลาคม 2555 ชะอำ เพชรบุรี
- [5] Meyers Marc A, Chawla Krishan Kumar. Mechanical Behaviors of Materials. Prentice Hall. New Jersey, U.S.A. (1998).
- [6] ASTM G99-95, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin- on- Disk Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000.
- [7] S.N. Ojha. Microstructure Evolution and Origin of Surface Cracks Induced During Processing of Micro alloyed Steels. Proceedings of the 4th International Conference on Thermo- mechanical Simulation and Processing of Steels (SimPro ' 16), 10- 12 February 2016 : Ranchi, India.
- [8] Sylvester O. Omole , Akinlabi Oyetunji , Kenneth K. Alaneme and Peter A. Olubambi. Structural characterization and mechanical properties of pearlite – Enhanced micro- alloyed ductile irons. Journal of King Saud University – Engineering Sciences 32 (2020) 205–210.
- [9] ธาณี ทุมประเสน. การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุต่างชนิดกันที่เชื่อมด้วยวิธีเสียดทาน. วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2556.
- [10] Siam Global Lubricant, Co., Ltd. ลักษณะการเย็นตัวของ เหล็กชุบแข็ง ใน ของเหลว. [online] เข้าถึงเมื่อ 12 เมษายน 2565 จาก <http://www.sgl1.com/index.php?lay=show&ac=article&id=539373950>
- [11] Odabas D. Effects of Load and Speed on Wear Rate of Abrasive Wear for 2014 Al Alloy.IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 295 (2018) 012008
- [12] Mahesh, Vishwanath Koti, Kalyan Kumar Singh, Rabesh Kumar Singh.Experimental and statistical investigation on the wear and hardness behaviour of multiwalled carbon nanotubes reinforced copper nanocomposites, Wear, Volumes 500–501,202

- [13] ฉลอง ดอกยี่สุน, วชิราวุธ หอมทรัพย์.
มาตรฐานเหล็กในงานอุตสาหกรรม.[online]
เข้าถึงเมื่อ 12 เมษายน 2565 จาก
[http://www.rtc.ac.th/www_km/02/027/
225602/unit01.pp](http://www.rtc.ac.th/www_km/02/027/225602/unit01.pp)