

อิทธิพลของอุณหภูมิอบคืนตัวที่มีต่ออายุการใช้งานของมีดตัดโคนอ้อย

An Influence of Tempering Temperature on the Tool Life of Sugarcane Base Cutter Blades

ณภัทร อินทนนท์* ศักดาฤทธิ สง่าลี สิทธิพร สิทธิบุตร และ ประพันธ์ ยาวาระ

Naphatara Intanon Sakdalit Sangalee Sitthiporn Sitthibut and Praphan Yawara

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40000

Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus,

Khon Kaen Province, Thailand 40000

*Corresponding author: naphatara.in@rmuti.ac.th

Received 25 November 2021, Accepted 29 March 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของการอบคืนตัว (Tempering Temperature) ที่มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดตัดโคนอ้อย วัสดุที่ใช้ในการศึกษาได้แก่มีดตัดโคนอ้อยที่ผลิตจากสแตนเลสเกรด 420 J2 (SUS420J2) จำนวน 22 ใบ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ เครื่องทดสอบความแข็งแบบยูนิเวอร์แซล (Universal Hardness Tester) เครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy Impact test) และเครื่องทดสอบการสึกหรอชนิดจานหมุน (Pin – on – Disc) และการทดสอบใช้งานจริงโดยใช้รถตัดอ้อย ยี่ห้อจอห์น เดียร์ (John Deere) รุ่น CH570 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานโลหะวิทยา (Metallurgical Microscope) และอุณหภูมิการอบคืนตัวที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ คือที่ระดับ 350 และ 450 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของการอบคืนตัวไม่มีผลทำให้ค่าความแข็งแตกต่างกัน แต่ทำให้ค่าความทนทาน (Toughness) มีความแตกต่างกัน และอุณหภูมิที่สูงกว่า จะช่วยทำให้ความบกพร่องแบบเส้น (Dislocation) และจุดบกพร่อง (Imperfection) ของผลึกลดลง ซึ่งการลดลงของความบกพร่องแบบเส้น และจุดบกพร่องนี้ ส่งผลทำให้การสึกหรอลดลงด้วย ลักษณะของโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันทำให้การสึกหรอแตกต่างกันทั้งในห้องปฏิบัติการและจากการทดสอบใช้งานจริง

คำสำคัญ: มีดตัดโคนอ้อย การสึกหรอ ค่าความแข็ง ค่าความทนทาน การอบคืนตัว

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the influence of tempering temperature on the tool life of sugarcane base cutter blades. The 22 base cutters blade that made from stainless steels 420J2 grade was used to investigate. The universal hardness tester, Charpy impact testing machine and pin – on – disc wear tester were conducting in this study. The metallurgical microscope was used to analysis microstructure of the blades. The John Deere Model CH570 was used in the fields test. The results showed that tempering temperature does not had influenced to the hardness of the blades, but it was influenced

to the toughness and reduced dislocation and imperfection of crystallization. The reduction of wear was due to the decrease of dislocation and imperfection of crystallization. The different of crystallization was due to different of the wear on the laboratory and on fields testing.

Keywords: Sugarcane Base Cutter Blades, Wear, Harness, Toughness Tempering

บทนำ

ประเทศไทย เป็นประเทศผู้ส่งออกน้ำตาลอันดับ 2 ของโลก [1] โดยในปี 2562 ทั่วโลกผลิตน้ำตาลทรายดิบได้ 179.7 ล้านตัน และประเทศไทยผลิตได้ประมาณ 14.556 ล้านตัน หรือประมาณร้อยละ 8.1 ของผลผลิตน้ำตาลทั่วโลก โดยผลผลิตของประเทศไทยเป็นอันดับ 4 ของโลก รองจาก อินเดีย บราซิล และสหภาพยุโรป ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลผลิตน้ำตาลส่วนใหญ่จะถูกใช้ในประเทศ ทำให้ประเทศที่ส่งออกน้ำตาลเป็นอันดับหนึ่งของโลก ได้แก่ บราซิล และรองลงมาคือประเทศไทย โดยปริมาณน้ำตาลที่มีการส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ คิดเป็นทั้งหมด 56.0 ล้านตัน (ร้อยละ 31.16 ของผลผลิตทั้งหมด) และประเทศไทยส่งออกประมาณ 10.64 ล้านตัน (ร้อยละ 19.0 ของปริมาณน้ำตาลที่ส่งออกทั้งหมด และคิดเป็นร้อยละ 81 ของปริมาณที่ผลิตน้ำตาลในประเทศ) ส่วนประเทศที่มีการนำเข้าน้ำตาลมากที่สุดของโลก ได้แก่ อินโดนีเซีย รองลงมา ได้แก่ จีน และสหรัฐอเมริกา ตามลำดับ ซึ่งจากปริมาณการผลิต การส่งออก และการนำเข้าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรมน้ำตาลของไทยมีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตอ้อย ที่เป็นวัตถุดิบของน้ำตาลพบว่า บราซิล เป็นประเทศที่มีต้นทุนการผลิตต่ำสุด โดยมีต้นทุนการผลิตประมาณ 890 - 900 บาทต่อตัน ที่ประเทศไทยมีต้นทุนการผลิต ประมาณ 970 - 980 บาท สูงกว่า บราซิล ประมาณ 100 บาทต่อตัน หากประเทศไทย สามารถลดต้นทุนการผลิตต่อตันให้เท่ากับบราซิลได้ ก็จะเป็นการเพิ่มศักยภาพของการแข่งขันให้สูงมากขึ้น

ต้นทุนการผลิตอ้อยที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ ต้นทุนของการเก็บเกี่ยวและการขนส่ง โดยต้นทุนในการตัดจะมีค่าประมาณ 190 บาทต่อตัน และต้นทุนการขนส่งประมาณ 100 บาทต่อตัน โดยหากเกษตรกรเลือกใช้การตัดอ้อยโดยใช้รถตัดอ้อยของโรงงานน้ำตาล ทางโรงงานจะมีรถขนส่งให้บริการด้วย โดยคิดค่าใช้จ่ายรวมเป็น 290 บาทต่อตัน เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของต้นทุนการตัดอ้อยโดยใช้รถตัดอ้อยขนาดใหญ่ นั่นก็คือ ราคาของมิถดัต ซึ่งมิถดัตที่ใช้ในรถตัดอ้อยขนาดใหญ่นั้นมี 2 ประเภท คือ มิถดัตโคนอ้อย และไบมิถดัตโคนอ้อย โดยไบมิถดัตโคนอ้อยนั้นจะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่า เพราะต้องมีการสัมผัสและเสียดสีกับพื้นดินที่ใช้เป็นพื้นที่ปลูกอ้อย ปัจจุบันต้นทุนเฉลี่ยของมิถดัตโคนอ้อย จะอยู่ประมาณ 2 บาทต่อตัน ซึ่งถ้าพิจารณาผลผลิตอ้อยในปีเพาะปลูก พ.ศ.2560/61 และ พ.ศ.2561/62 จะพบว่า จะมีต้นทุนที่เป็นส่วนของมิถดัตโคนอ้อยทั้งหมดประมาณ 270 และ 262 ล้านบาท ตามลำดับ (ปริมาณอ้อยฤดูกลางเพาะปลูกปี พ.ศ.2560/61 อยู่ที่ 134.93 ล้านตัน ปี พ.ศ. 2561/62 อยู่ที่ 130.97 ล้านตัน) [2] และที่สำคัญก็คือ มิถดัตโคนอ้อยที่มีการใช้งานในปัจจุบันนี้ เป็นมิถดัตโคนอ้อยที่นำเข้ามาจากต่างประเทศเกือบทั้งหมด ทำให้มีเงินไหลออกไปต่างประเทศและจากที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทำให้ประเทศขาดองค์ความรู้เกี่ยวกับการผลิตและการพัฒนาสมบัติต่าง ๆ ของมิถดัตโคนอ้อย ทำให้ไม่สามารถผลิตมิถดัตขึ้นมาใช้เองได้ และส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมต้นทุนของมิถดัตโคนอ้อยได้ และจะส่งผลต่อต้นทุนของการเก็บเกี่ยวและต้นทุนการผลิตโดยรวมต่อไป ซึ่งจะมีผลกระทบต่อขีดความสามารถทางการแข่งขันของประเทศในระยะยาว

วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตมิถดัตโคนอ้อยนั้น เป็นวัสดุที่เรียกว่า เหล็กสปริง (Spring Steels) ซึ่งเป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของคาร์บอน (C) อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง มีความแข็งแรงสูง ทนต่อการบิดงอได้ดี และกลับสู่สภาพเดิมได้โดยไม่เสียรูป ดังนั้นเหล็กสปริงนี้จึง เหมาะสมสำหรับการผลิตเครื่องมือตัด (Cutting tools) ที่ต้องรับแรงกระแทกอยู่เสมอ มิถดัตโคนอ้อยที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มีค่าความแข็งอยู่ในระดับปานกลาง (45 - 50 HRC) [3] ซึ่งทำให้อายุการใช้งานที่สั้น โดยจะ

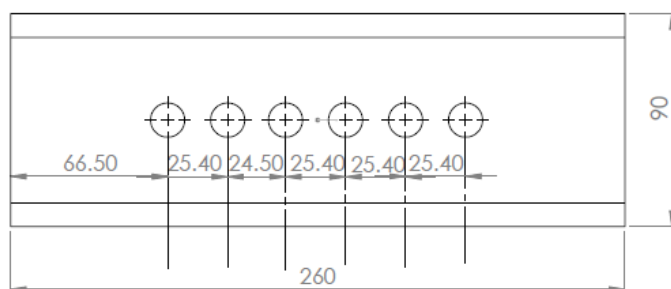
ตัดอ้อยได้ประมาณ 800 ตัน ต่อ 1 ชุด [4] หากสามารถพัฒนาเม็ดตัดโคนอ้อยให้มีอายุการใช้งานที่สูงขึ้นได้ก็จะเป็นการลดต้นทุนของกระบวนการเก็บเกี่ยวอ้อยได้ ซึ่งวัสดุที่มีค่าความแข็งที่สูง มีความต้านทานต่อการสึกหรอ และนิยมนำมาใช้ทำเครื่องมือตัดที่นอกเหนือจากเหล็กสปริงทั่วไปแล้ว ได้แก่ สแตนเลส ในกลุ่ม มาร์เทนซิติก (Martensitic stainless) โดยเฉพาะเกรด JIS 420J2 ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการทำเครื่องมือตัด อย่างไรก็ตาม สแตนเลสนี้มีค่าความแข็งหลังการอบชุบ (Quenching) ที่สูงโดยมีค่าความแข็งหลังอบชุบประมาณ 58-60 HRC [5] แต่ในสภาพที่แข็งในระดับนี้จะมีค่าความเปราะสูง หากได้รับแรงกระแทกอาจทำให้แตกหักได้ ซึ่งวิธีการลดความเปราะที่นิยมอย่างหนึ่งคือการอบคืนตัว (Tempering) ซึ่งการอบคืนตัวจะทำให้ค่าความแข็งลดลงเล็กน้อย แต่มีค่าความเหนียวเพิ่มมากขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาถึงอุณหภูมิของการอบคืนตัวที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเหล็กสแตนเลสเกรด 420J2 ซึ่งผลิตเป็นเม็ดตัดโคนอ้อย เพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้น และทดสอบการใช้งานเพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาเม็ดตัดโคนอ้อยต่อไป

วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ (Material)

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีองค์ประกอบที่สำคัญ ตามตารางที่ 1 ผลิตโดยบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือที่ได้มาตรฐาน โดยกระบวนการผลิตหลักประกอบด้วย การเจาะรู และขึ้นรูปคม หลังจากนั้นนำไปชุบแข็ง ด้วยอุณหภูมิ 1020 °C และทำการอบคืนตัว ที่ระดับ 350 °C และ 450 °C ทั้งนี้เพราะในระดับดังกล่าวเป็นระดับที่ให้ความแข็ง และความเหนียวอยู่ในระดับที่สูงกว่าระดับอื่น [5] ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ชิ้นงานทั้งสิ้น 22 ชิ้น ชุดที่ 1 จำนวน 11 ชิ้น นำไปอบคืนตัวที่ระดับ 350 °C โดยเพิ่มความร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนถึง 350 °C และคงไว้ที่ระดับนั้น นาน 30 นาที ชุดที่ 2 จำนวน 11 ชิ้น นำไปอบคืนตัว ที่ระดับอุณหภูมิ 450 °C และคงอุณหภูมิไว้ 30 นาที เช่นเดียวกัน หลังจากนั้น ทำการสุ่มเลือกมากลุ่มละ 1 ชิ้น เพื่อนำไปตัดสำหรับทดสอบความทนทาน ที่เหลือ นำไปวัดค่าความแข็ง ชั่งน้ำหนัก และนำไปทดสอบตัดอ้อย ตามกระบวนการที่กำหนดไว้ หลังจากทดสอบใช้งานแล้ว นำแต่ละชิ้นมาตัด เพื่อให้ได้ขนาด และนำไปทดสอบการสึกหรอในห้องปฏิบัติการ ขนาดของชิ้นงาน และภาพของชิ้นงานที่ได้รับจากโรงงานผู้ผลิต เป็นดังภาพที่ 1



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 (ก) ขนาดของชิ้นงาน (ข) ลักษณะของชิ้นงาน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของ Stainless SUS420J2

ธาตุองค์ประกอบ	C	Si	Mn	Cr	Fe
ร้อยละโดยน้ำหนัก(wt. %)	0.36	1.0	1.0	13.6	84.04

2.2 การทดสอบ (Methodology)

2.2.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลในห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษาครั้งนี้มีการทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ของชิ้นงานก่อนการทดสอบการใช้งานจริง ได้แก่การทดสอบค่าความแข็ง (Hardness) โดยใช้ เครื่องทดสอบค่าความแข็งแบบ Universal hardness tester ยี่ห้อ HUATEC รุ่น HBRVU -187.5 การทดสอบใช้ Rockwell Scale C (HRC) โดยแต่ละชิ้นจะมีการวัดค่าความแข็ง 3 จุด คือ บริเวณปลายมีดทั้งสองด้าน และ บริเวณตรงกลางอีก 1 จุด และหาค่าความแข็งเฉลี่ยของแต่ละชิ้น

การทดสอบค่าความทนทาน (Toughness) โดยใช้เครื่องทดสอบแบบ Charpy (Charpy impact test) ยี่ห้อ Wolpert โดยใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 30 kgf ชิ้นงานที่นำมาทดสอบ จะสุ่มชิ้นมาจากแต่ละกลุ่ม ๆ ละ 1 ชิ้น เสร็จแล้ว ทำการตัดตามความกว้างของชิ้นงาน ให้มีขนาด 10 × 90 มม.

การทดสอบการสึกหรอ ในการศึกษาครั้งนี้ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบการสึกหรอที่สร้างขึ้น โดยเป็นเครื่องทดสอบการสึกหรอชนิด pin on disc ทั้งนี้ดำเนินการทดสอบให้สอดคล้องกับมาตรฐานการทดสอบของ ASTM [6] โดยมีเงื่อนไขของการทดสอบเป็นดังนี้ คือ น้ำหนักกด 1 kg (10N) ความเร็วรอบในการทดสอบ มี 2 ระดับคือ 200 และ 300 รอบต่อ นาที ระยะทางในการทดสอบเท่ากับ 10,000 เมตร (รัศมีของจุดกึ่งกลางชิ้นทดสอบ 6.65 cm จำนวนรอบของการทดสอบ 24000 รอบ) ส่วนที่เป็น disk เป็นกระดาดทรายชนิด silicon carbide ที่มีความละเอียด 800 และ 1000 (เบอร์ 800 และ 1000) การทดสอบจะใช้กระดาดทราย 1 แผ่น ต่อ 1 ครั้งของการทดสอบ ชิ้นงานที่จะทดสอบ มีการตัดให้มีขนาดประมาณ 10 × 15 mm ด้วยเครื่องตัดแบบเส้นลวด (Wire cut) การทดสอบเริ่มจากการทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียด 0.0001 g บันทึกข้อมูลเก็บไว้ และหลังจากการทดสอบเสร็จทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ทิ้งไว้ให้แห้ง และชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง เสร็จแล้วคำนวณหาค่าน้ำหนักที่หายไปของชิ้นงาน ไปของแต่ละชิ้น เครื่องทดสอบที่ใช้การทดสอบสมบัติเชิงกลเบื้องต้นของชิ้นงานในครั้งนี้ แสดงในรูปที่ 2 (ก) – (ค)

2.2.2 การทดสอบใช้งาน

ในการทดสอบการใช้งาน ทำการทดสอบการใช้งานที่ อำเภอคอนสาร จังหวัดชัยภูมิ โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง จำกัด โดยรถที่ใช้ในการทดสอบ เป็นรถยี่ห้อ John Deere รุ่น CH 570 ภาพรถที่ใช้ในการทดสอบ และการติดตั้งมีดสำหรับการทดสอบเป็นดังภาพที่ 3 ก. และ ข.



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 2 (ก) เครื่องทดสอบความแข็ง (ข) เครื่องทดสอบความเหนียว และ (ค) เครื่องทดสอบการสึกหรอ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 (ก) รถตัดอ้อย John Deere CH570 และ (ข) การติดตั้งใบมีด

ผลการวิจัย

3.1 สมบัติเชิงกล

- ความแข็ง (Hardness)

ค่าความแข็งของชิ้นงานในการศึกษาครั้งนี้ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 มีอุณหภูมิอบคืนไฟ 350 °C จะมีค่าความแข็งระหว่าง 49.00 - 54.17 HRC โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ย 51.78 HRC และกลุ่มที่ 2 ที่มีอุณหภูมิอบคืนไฟ ที่ 450 °C มีค่าความแข็งระหว่าง 48.50 HRC ถึง 55.17 HRC และมีค่าความแข็งเฉลี่ย 51.67 HRC โดยชิ้นงานแต่ละชิ้นมีรายละเอียดของค่าความแข็งแสดงในตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 น้ำหนักและค่าความแข็งของชิ้นงานชุดที่ 1 (อบคืนตัวที่ 350 °C)

ชั้นที่	น้ำหนัก (กรัม)	ความแข็ง (HRC)			ความแข็งเฉลี่ย (HRC)
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	
1	608.00	56.50	54.00	52.00	54.17
2	608.00	57.00	51.00	54.50	54.17
3	609.00	51.00	51.00	52.00	51.33
4	613.00	49.00	52.00	52.50	51.17
5	612.00	48.00	49.00	50.00	49.00
6	612.00	51.00	54.00	55.00	53.33
7	612.00	57.00	50.00	51.00	52.67
8	612.00	53.00	50.50	48.00	50.50
9	612.00	50.50	52.00	51.00	51.17
10	612.00	49.00	53.00	49.00	50.33
เฉลี่ย	611.00	52.20	51.65	51.50	51.78

- ค่าความเหนียว (Toughness) ของชิ้นงาน

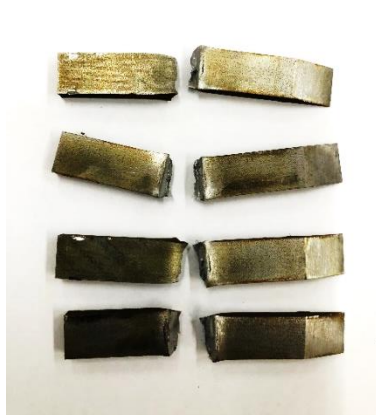
การทดสอบความทนทาน (Toughness) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าการดูดซับพลังงานกระแทกของชิ้นงาน จากผลการทดสอบพบว่า ชิ้นงานในกลุ่มที่ 2 มีค่าการดูดซับพลังงานเฉลี่ยสูงกว่า ค่าการดูดซับพลังงานเฉลี่ยของชิ้นงานกลุ่มที่ 1 โดยชิ้นงานที่มีค่าการดูดซับพลังงานที่สูงจะหมายถึงชิ้นงานมีความทนทานมากกว่า การแตกหักที่เกิดขึ้นจากการกระแทกจะมีน้อยกว่า รายละเอียดของค่าการดูดซับพลังงาน เป็นดังตารางที่ 4 และลักษณะของชิ้นงานหลังการทดสอบเป็นดังภาพที่ 4

ตารางที่ 3 น้ำหนักและค่าความแข็งของชิ้นงานชุดที่ 2 (อบคืนตัวที่ 450 °C)

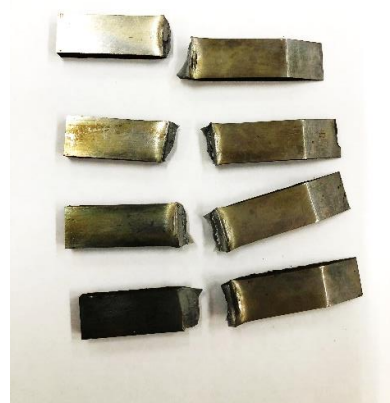
ชิ้นที่	น้ำหนัก (กรัม)	ความแข็ง (HRC)			ความแข็งเฉลี่ย (HRC)
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	
1	607.00	53.00	57.00	51.00	53.67
2	614.00	54.00	55.00	56.50	55.17
3	610.00	54.00	48.50	52.00	51.50
4	615.00	45.00	50.50	51.00	48.83
5	609.00	55.00	56.00	52.00	54.33
6	613.00	48.00	58.00	47.50	51.17
7	613.00	53.00	60.00	41.50	51.50
8	609.00	51.50	52.00	54.00	52.50
9	609.00	48.50	46.00	54.00	49.50
10	612.00	48.00	48.00	49.50	48.50
เฉลี่ย	611.10	51.00	53.10	50.90	51.67

ตารางที่ 4 ค่าพลังงานแรงกระแทก (Impact Energy : J)

กลุ่มที่	ค่าพลังงานแรงกระแทกของแต่ละตัวอย่าง (J)				
	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	ชิ้นที่ 4	ค่าเฉลี่ย
กลุ่มที่ 1	8.00	9.00	8.00	8.00	8.25
กลุ่มที่ 2	9.80	10.00	8.80	9.20	9.45



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทก (ก) อบคืนตัวที่ 350°C (ข) ชุดที่ 2 อบคืนตัวที่ 450°C

- การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

การศึกษารอบของชิ้นงานทั้งสองกลุ่มที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยการวัดน้ำหนักที่ลดลงต่อหน่วยพื้นที่ พบว่า น้ำหนักที่ลดลงต่อหน่วยพื้นที่ของชิ้นงานกลุ่มที่ 1 (อบคั้นไฟที่ 350 °C) มีค่าต่ำกว่า โดยมีค่าเฉลี่ย $1.63 \times 10^{-4} \text{ g/mm}^2$ และ น้ำหนักที่ลดลงต่อหน่วยพื้นที่เฉลี่ยของชิ้นงานกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.07 \times 10^{-4} \text{ g/mm}^2$ รายละเอียดของน้ำหนักที่ลดลงของแต่ละชิ้นงานเป็นดังตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 น้ำหนักของชิ้นงานกลุ่มที่ 1 (อบคั้นตัวที่ 350 °C)

ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ขนาด (mm)		พื้นที่(mm ²)	น้ำหนักที่ หายไป (g)	น้ำหนักที่ลดลงต่อพื้นที่ (g/mm ²)
	ก่อน	หลัง	กว้าง	ยาว			
1	5.2816	5.2570	11.05	17.58	194.2590	2.46×10^{-2}	1.27×10^{-4}
2	7.9679	7.9397	10.08	15.81	159.3648	2.82×10^{-2}	1.77×10^{-4}
3	5.0701	5.0455	11.03	15.46	170.5238	2.46×10^{-2}	1.44×10^{-4}
4	5.2413	5.2179	10.21	17.40	177.6540	2.34×10^{-2}	1.32×10^{-4}
5	5.5491	5.5223	11.03	17.22	189.9366	2.68×10^{-2}	1.41×10^{-4}
6	8.4182	8.3893	10.83	17.71	191.7993	2.89×10^{-2}	1.51×10^{-4}
7	7.7680	7.7434	10.04	15.47	155.3188	2.46×10^{-2}	1.58×10^{-4}
8	8.2645	8.2387	10.98	15.29	167.8842	2.58×10^{-2}	1.54×10^{-4}
9	5.2082	5.1851	11.28	15.99	180.3672	2.31×10^{-2}	1.28×10^{-4}
10	4.7115	4.6852	10.15	15.86	160.9790	2.63×10^{-2}	1.63×10^{-4}
เฉลี่ย	6.34804	6.3224	10.668	16.379	174.8087	2.56×10^{-2}	1.47×10^{-4}

ตารางที่ 6 น้ำหนักของชิ้นงานกลุ่มที่ 2 (อบคั้นตัวที่ 450 °C)

ชิ้นที่	น้ำหนัก (g)		ขนาด (mm)		พื้นที่(mm ²)	น้ำหนักที่ ลดลง (g)	น้ำหนักที่ลดลงต่อพื้นที่ (g/mm ²)
	ก่อน	หลัง	กว้าง	ยาว			
1	4.3357	4.2944	11.10	15.04	166.9440	4.13×10^{-2}	2.47×10^{-4}
2	4.3728	4.3383	10.05	15.03	151.0515	3.45×10^{-2}	2.28×10^{-4}
3	4.7174	4.6839	11.03	15.24	168.0972	3.35×10^{-2}	1.99×10^{-4}
4	4.6989	4.6699	11.19	15.03	168.1857	2.90×10^{-2}	1.72×10^{-4}
5	4.5623	4.5321	10.06	15.03	151.2018	3.02×10^{-2}	2.00×10^{-4}
6	4.7592	4.7193	11.05	15.31	169.1755	3.99×10^{-2}	2.36×10^{-4}
7	4.4311	4.4063	10.21	14.95	152.6395	2.48×10^{-2}	1.62×10^{-4}
8	4.5148	4.4895	10.06	15.06	151.5036	2.53×10^{-2}	1.67×10^{-4}
9	4.1479	4.1187	10.15	15.05	152.7575	2.92×10^{-2}	1.91×10^{-4}
10	4.5077	4.4752	10.15	15.02	152.453	3.25×10^{-2}	2.13×10^{-4}
เฉลี่ย	4.5048	4.4728	10.505	15.076	158.4009	3.202×10^{-2}	2.017×10^{-4}

-การสีกหรือจากการทดสอบใช้งาน

น้ำหนักที่ลดลงของชิ้นงานแต่ละชิ้นจะนำมาคำนวณค่าการสีกหรือน้ำหนักของอ้อยที่ตัดได้ ค่าการสีกหรือเฉลี่ยของชิ้นงานกลุ่มที่ 1 มีค่าประมาณ 99.1 กรัม เมื่อคิดค่าต่อน้ำหนักของอ้อยที่ตัดได้ จะมีค่าเฉลี่ยของการสีกหรือต่อตันอ้อยเท่ากับ 0.0826 กรัมต่อตันอ้อย และกลุ่มที่ 2 มีค่าการสีกหรือเฉลี่ย 88.3 กรัม และเมื่อคิดค่าการสีกหรือต่อตันอ้อยจะมีค่าเท่ากับ 0.0736 กรัมต่อตันอ้อย รายละเอียดของการสีกหรือของชิ้นงานแต่ละชิ้นเป็นดังตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 น้ำหนักที่ลดลงของมิตชุดที่ 1 (อบคั้นตัวที่ 350 °C) เมื่อตัดอ้อยได้ 1200 ตัน

ชั้นที่	น้ำหนัก (g)			น้ำหนักที่ลดลงต่อตันอ้อย (g/Ton)
	ก่อนตัด	หลังตัด	ลดลง	
1	608	525	83	0.0692
2	608	505	103	0.0858
3	609	515	94	0.0783
4	613	520	93	0.0775
5	612	500	112	0.0933
6	612	518	94	0.0783
7	612	506	106	0.0883
8	612	504	108	0.0900
9	612	512	100	0.0833
10	612	514	98	0.0817
เฉลี่ย	611.00	511.90	99.10	0.0826

ตารางที่ 8 น้ำหนักที่หายไปของมิตชุดที่ 2 (อบคั้นตัวที่ 450 °C) เมื่อตัดอ้อยได้ 1200 ตัน

ชั้นที่	น้ำหนัก (g)			น้ำหนักที่ลดลงต่อตันอ้อย (g/Ton)
	ก่อนตัด	หลังตัด	ลดลง	
1	607	520	87	0.0725
2	614	527	87	0.0725
3	610	526	84	0.0700
4	615	518	97	0.0808
5	609	524	85	0.0708
6	613	529	84	0.0700
7	613	525	88	0.0733
8	609	516	93	0.0775
9	609	518	91	0.0758
10	612	525	87	0.0725
เฉลี่ย	611.10	522.80	88.30	0.0736

วิจารณ์ผลการวิจัย

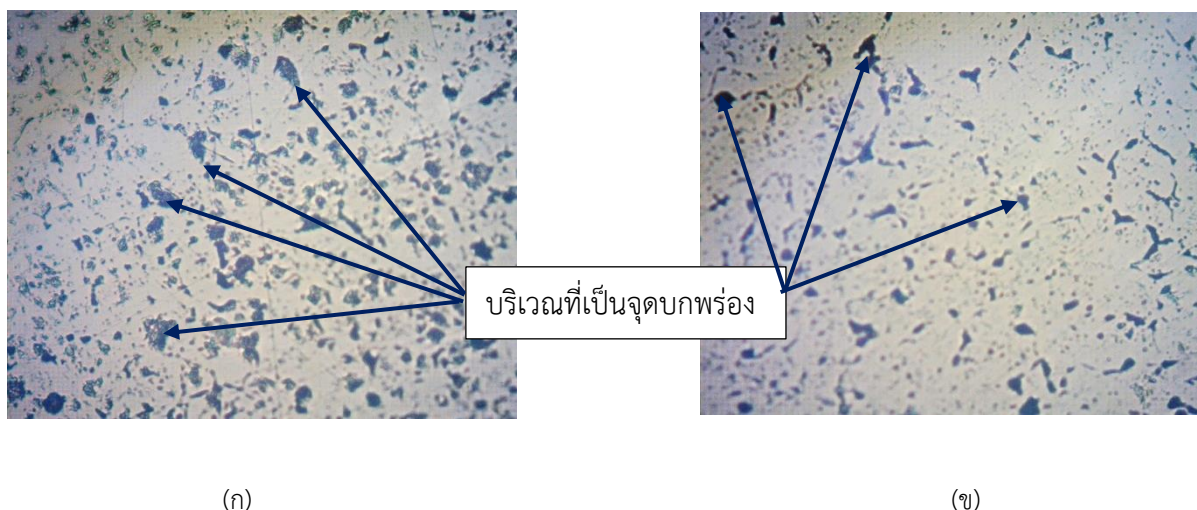
ค่าความแข็งของชิ้นงานทั้งสองกลุ่ม ไม่แตกต่างกัน

จากการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ โดยใช้สถิติทดสอบ t (t-test) ที่ระดับ α 0.05 พบว่า ค่าความแข็งของชิ้นงานทั้งสองกลุ่ม มีค่าไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 9) (ค่า $t = 0.129$ และ $p\text{-value} = 0.449$ สูงกว่าระดับนัยสำคัญ) หมายความว่า อุณหภูมิการอบคืนตัวที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งของชิ้นงาน ทั้งนี้เพราะวัตถุประสงค์หลักของการอบคืนตัวนั้น เป็นการคลายเครียด (Stress relief) หรือ ค่าความตึงตกค้าง (Residual stress) [7] มากกว่าที่จะเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของชิ้นงาน อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในการอบคืนตัว จะต้องไม่สูงถึงระดับอุณหภูมิที่จะทำให้เกิดผลึกใหม่ (Recrystallization)

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นงานทั้งสองกลุ่ม

กลุ่ม	n	$\bar{x}$	S.D.	df	t	p-value
กลุ่มที่ 1	10	51.784	3.004	18	0.129	0.449
กลุ่มที่ 2	10	51.667	5.238			

จากการทดสอบค่าความเหนียวของชิ้นงานด้วยสถิติทดสอบ t พบว่า ทั้งสองกลุ่มมีค่าความเหนียวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยชิ้นงานในกลุ่มที่ 2 มีค่าความเหนียวสูงกว่า (ตารางที่ 10) สาเหตุที่ทำให้กลุ่มที่ 2 มีค่าความเหนียวสูงกวานั้นเป็นเพราะ การอบที่อุณหภูมิที่สูงกว่า และมีระยะเวลานานกว่าจะทำให้ จำนวน dislocation ภายผลึกลดลง และจุดบกพร่องต่าง ๆ ลดลง ซึ่งเป็นผลทำให้ความเหนียวเพิ่มมากขึ้นซึ่งเมื่อพิจารณาโครงสร้างผลึกของชิ้นงานทั้งสองกลุ่ม จะพบว่า ชิ้นงานกลุ่มที่ 2 มี จุดบกพร่องต่ำกว่า (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ลักษณะของโครงสร้างภายใน (ก) ชิ้นงานกลุ่มที่ 1 (ข) ชิ้นงานกลุ่มที่ 2 (กำลังขยาย 500 เท่า)

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่าความเหนียวของชิ้นงานทั้ง 2 กลุ่ม

กลุ่ม	n	$\bar{x}$	S.D.	df	t	p-value
กลุ่มที่ 1	4	8.25	0.25	6	- 3.226	0.009
กลุ่มที่ 2	4	9.45	0.303			

เปรียบเทียบการสึกหรอ

การทดสอบการสึกหรอ ทั้งในห้องปฏิบัติการ และการจากการใช้งานจริง พบว่า การสึกหรอมีความแตกต่างกัน โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า ชิ้นงานกลุ่มที่ 2 มีการสึกหรอสูงกว่า ชิ้นงานกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (ตารางที่ 11) แต่ ในการทดสอบการใช้งานจริงพบว่า ชิ้นงานกลุ่มที่ 1 มีการสึกหรอสูงกว่าชิ้นงานกลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 (ตารางที่ 12) สาเหตุที่ การสึกหรอของชิ้นงาน จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการใช้งานจริง มีผลตรงกันข้าม เป็นผลมาจาก โครงสร้างผลึกของชิ้นงานกลุ่มที่ 2 มีจุดบกพร่องต่ำกว่า ทำให้บริเวณที่สัมผัสกับกระดาษทรายมีมากกว่า จึงเกิดการขัดสี (Abrasive) สูงกว่า และในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ที่มีแรงกดต่อหน่วยพื้นที่ค่อนข้างสูง ทำให้เกิดการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive) ร่วมอยู่ด้วย และเนื่องจากชิ้นงานกลุ่มที่ 2 โครงสร้างผลึกมีจุดบกพร่องต่ำกว่า เมื่อเกิดการยึดติด เป็นผลทำให้เนื้อโลหะถูกฉีกออกมากกว่า [8] แต่เมื่อนำไปงาน การสึกหรอที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเป็นการสึกหรอที่เป็นการขัดสี และเป็นชนิด 3 -body ทั้งนี้เพราะมีดินหรือทรายรวมถึงเศษของต้นอ้อยเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งการสึกหรอที่เป็นแบบขัดสีนี้ ชิ้นงานที่โครงสร้างผลึกมีจุดบกพร่องต่ำกว่าจะมีการการสึกหรอต่ำกว่า [9] ทำให้ชิ้นงานกลุ่มที่ 1 ซึ่งโครงสร้างผลึกมีจุดบกพร่องมากกว่า มีการสึกหรอสูงกว่าชิ้นงานในกลุ่มที่ 2

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบการสึกหรอของชิ้นงานทั้งสองกลุ่ม ในห้องปฏิบัติการ

กลุ่ม	n	$\bar{x}$	S.D.	df	t	p-value
กลุ่มที่ 1	10	1.47×10^{-4}	2.66×10^{-10}	38	- 5.086	3.84×10^{-5}
กลุ่มที่ 2	10	2.02×10^{-4}	8.69×10^{-10}			

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบการสึกหรอของชิ้นงานทั้งสองกลุ่ม ในการใช้งานจริง

กลุ่ม	n	$\bar{x}$	S.D.	df	t	p-value
กลุ่มที่ 1	10	0.083	5.08×10^{-5}	18	3.584	0.001
กลุ่มที่ 2	10	0.074	1.22×10^{-5}			

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การอบคืนตัว เป็นการลดความเครียดให้กับชิ้นงาน ไม่มีผลทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามการอบคืนตัวที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลทำให้จุดบกพร่องต่างๆ ภายในโครงสร้างผลึกลดลง ทำให้ชิ้นงานมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น และจากการเปรียบเทียบการสึกหรอที่เกิดในห้องปฏิบัติการ และจากการใช้งานจริงพบว่า

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสึกหรอที่แตกต่างกัน และลักษณะของโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกัน รวมถึงรูปแบบของการสึกหรอที่แตกต่างกัน จะทำให้การสึกหรอของชิ้นงานแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าชิ้นงานจะมีค่าความแข็งที่เท่ากันก็ตาม ดังนั้นการพิจารณาการสึกหรอของชิ้นงานจึงจะต้องพิจารณาจากหลายลักษณะ และการนำผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการไปปรับใช้ จำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบให้ครบถ้วน และการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ควรที่จะมีองค์ประกอบต่างๆ ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) โดยมีสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายแห่งประเทศไทย เป็นผู้กำกับดูแล

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยวัช โขวเจริญสุข. **อุตสาหกรรมน้ำตาล**. [online] ค้นได้จาก www.krungsri.com/th/research/ ค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2564.
- [2] ผู้จัดการออนไลน์. **การค้า-อุตสาหกรรม-คมนาคม**. [ออนไลน์] ค้นได้จาก <https://mgronline.com> ค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2564.
- [3] Ministry of Agriculture, **Government of India**. Self-propelled sugarcane harvester 'case IH, AUSTOFT 4000'. Northern region farm machinery training and testing institute tractor Nagar, Sirsa road. Hisar -125001. 2015.
- [4] Hassan, M. A. **Evaluation of Cutting Blades Impact on Productivity and Performance of Sugar Cane Harvesting Machine**. J. of Soil Sciences and Agricultural Engineering, Mansoura Univ., Vol 10 (9):527-532, 2019
- [5] Iftikhar A. Channa, Aqeel Ahmed Shah, Shahid Hussain Abro, M.Ali Siddiqui, M. Mujahid and Ali Dad Chandio. **Effect of Tempering Temperature on the Properties of Martensitic Stainless Steel AISI-420 Sukkur IBA journal of Emerging Technologies**. Vol 2, No 1. 2019
- [6] ASTM G99-95, **Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000.
- [7] อุษณีย์ กิตติภรณ์. **การอบชุบทางความร้อนของโลหะ**. (ออนไลน์). ค้นได้จาก http://personal.sut.ac.th/heattreatment/context/Quenching_And_Tempering.html. สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2564.
- [8] ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ และ ประสาน แสงเขียว. **การศึกษาพฤติกรรมการต้านทานการสึกหรอแบบยึดเกาะของพันธะในงานแม่พิมพ์ตัด**. การประชุมวิชาการงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555. ชะอำ เพชรบุรี. 2555.
- [9] S.R. Thorat, A.G. Thakur, **Analysis of surface roughness and wear resistance in low plasticity burnishing process using multi-objective optimization technique**, Materials Today: Proceedings, Volume 41, Part 5, 2021, Pages 1082-1088