



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.

UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

อุณหภูมิและเวลาอบเพิ่มคาร์บอนที่เหมาะสมในการชุบแข็งมิตโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิงที่ใช้เปลือกหอยเขอรี่เป็นสารเร่งปฏิกิริยา

Optimum carburizing temperature and time in hardening big knife by pack carburizing process using golden apple snail shells as an energizer

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ¹, สมบัติ น้อยมิ่ง^{2*}, วรณา หอมจะบก², อมรศักดิ์ มาใหญ่³ จารุพงษ์ บรรเทา³¹ หน่วยงานวิจัยโลหวิทยาและการอบชุบความร้อนโลหะ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, จังหวัดนครราชสีมา, 30000² หน่วยงานวิจัยโลหวิทยาและการอบชุบความร้อนโลหะ, สาขาวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, จังหวัดนครราชสีมา, 30000³ หน่วยงานวิจัยโลหวิทยาและการอบชุบความร้อนโลหะ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, จังหวัดนครราชสีมา, 30000Narongsak Thammachot¹, Sombut Noyming^{2*}, Wanna Homjabok², Amornsak Mayai³ Jarupong Banthao³¹ Metallurgy and Heat Treatment of Metals Research Unit, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima, 30000² Metallurgy and Heat Treatment of Metals Research Unit, Material Engineering Department, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima, 30000³ Metallurgy and Heat Treatment of Metals Research Unit, Industrial Engineering Department, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima, 30000

* Corresponding author.

E-mail: sombut.no@rmuti.ac.th; Telephone: 081-2654795

วันที่รับบทความ 7 มกราคม 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 24 กุมภาพันธ์ 2563 ; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 9 มิถุนายน 2563 ;

วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 3 17 สิงหาคม 2563 ; วันที่ตอบรับบทความ 29 ธันวาคม 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการชุบแข็งมิตโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิงโดยใช้เปลือกหอยเขอรี่เป็นสารเร่งปฏิกิริยา ปัจจัยที่เหมาะสมประกอบไปด้วย อุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่มีต่อสมบัติเชิงกล ซึ่งประกอบด้วย ค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทก สมบัติทางกลที่ได้จากการทดลองจะทำการเปรียบเทียบกับสมบัติทางกลของมิตโต้ที่ตีและชุบแข็งจากชุมชนตีมิด การทดลองชุบแข็งมิตโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิงใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ขึ้นรูปให้มีรูปทรงเดียวกับมิตโต้ของชุมชนตีมิด สารเพิ่มคาร์บอนที่ใช้ในกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิงประกอบด้วยผงถ่านไม้ยูคาลิปตัส 80 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับผงเปลือกหอยเขอรี่ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำการศึกษารวมประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่อุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอน ปัจจัยด้านอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนมีอยู่ 3 ระดับ ได้แก่ 960, 980 และ 1,000 องศาเซลเซียส ส่วนปัจจัยด้านเวลาอบเพิ่มคาร์บอนมีอยู่ 3 ระดับ ได้แก่ 60, 90 และ 120 นาที การทดลองอบเพิ่มคาร์บอนตามปัจจัยที่กำหนดดำเนินการโดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง จากนั้นทำการชุบแข็งด้วยอุณหภูมิ 780 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแช่ 15 นาที แล้วจุ่มชุบในน้ำทันที จากนั้นนำไปทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน คือ 1,000 องศาเซลเซียส เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน คือ 83.9 นาที โดยได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 606.8 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ย 32.5 Joules ผลของการชุบแข็งเพื่อยืนยันผลโดยใช้

อุณหภูมิและเวลาอบเพิ่มคาร์บอนที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสม ได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 610.2 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ย 21.6 Joules ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในขอบเขตของสมบัติเชิงกลของมีดโต้ที่ตีและชุบแข็งจากชุมชนที่มีด

คำสำคัญ

กระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิง อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน เวลาอบเพิ่มคาร์บอน มีดโต้ เปลือกหอยเชอรี่

Abstract

The objective of this research was to study optimum factors; carburizing temperature and time that affected the mechanical properties of hardened big knives in pack carburizing process by using golden apple snail shell as an energizer. The mechanical properties which consisted of hardness and impact values were studied. These properties of the experiment were used for comparison with the mechanical properties values delivered from the big knives forged and hardened by communal forging knives. The pack carburizing compound used eucalyptus wood charcoal powder as carburizer with the proportion of 80 percentage and golden apple snail shell powder as energizer with the proportion of 20 percentage by weight. The two optimized factors in this study consisted of carburizing temperature and carburizing time. The carburizing temperature consisted of three levels such as 960, 980 and 1,000 degree Celsius. The carburizing time consisted of three levels of 60, 90 and 120 minutes. The carburizing experiment was conducted by following the principle of design of experiments (DOE). After carburizing, the knives were then austenitized at 780 degree Celsius for 15 minutes and quenched in water. After quenching, the knives were tempered at 180 degree Celsius for 60 minutes. The analyzed results showed that the carburizing temperature was 1,000 degree Celsius and the optimum carburizing time was 83.9 minutes. The two factors produced on average hardness of 606.8 HV and average impact value of 32.5 Joules. The optimum values of carburizing temperature and time were used for verification. The result of average hardness was 610.2 HV and the average impact value was 21.6 Joules, which coincided with the hardness of the communal big knives.

Keywords

pack carburizing process; carburizing temperature; carburizing time; big knife; golden apple snail shell

1. คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีประชากรประกอบอาชีพการทำนาข้าว การทำสวน การทำไร่ และการเลี้ยงสัตว์มีจำนวนกว่า 13.36 ล้านคน [1] โดยทั่วไปแล้วสิ่งที่พบเห็นในทุกอาชีพของเกษตรกรโดยเฉพาะอย่างยิ่งเกษตรกรที่อยู่ในชุมชนจะมีเครื่องมือที่พกติดตัวอยู่ตลอดเวลา คือ มีดทางการเกษตร เช่น มีดตะขอ และมีดโต้ เป็นต้น ซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่สามารถนำมาใช้งานด้านการเกษตรได้อย่างเอนกประสงค์ มีดทางการเกษตรที่นำมาใช้งานโดยทั่วไปเป็นมีดที่ผลิตขึ้นจากกลุ่มชุมชนที่มีดต่าง ๆ วัตถุดิบพื้นฐานที่ชุมชนนำมาตีมีดมักเป็นเหล็กที่หาได้จากแหล่งที่ไม่ห่างไกลจากชุมชนมากนัก จากการศึกษาข้อมูลวิสาหกิจชุมชนกลุ่มมีดบ้านมะค่า จังหวัดนครราชสีมา พบว่าเหล็กที่นำมาใช้ตีขึ้นรูปมีด ได้แก่ เหล็กใบเลื่อยและเหล็กแหวนรถยนต์ที่มีสมบัติทางกลเหมาะสมในการตีขึ้นรูปเป็นมีด อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเหล็กทั้งสองชนิดนี้มามีราคาค่อนข้างสูงและหาซื้อได้ยากขึ้นเนื่องจาก

ปริมาณลดลง หากสามารถประยุกต์ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่หาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาดมาปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้กระบวนการอบชุบความร้อนอย่างการเพิ่มคาร์บอนเข้าไปที่บริเวณผิวของเหล็กทำให้เหล็กมีความแข็งเพิ่มขึ้น การเพิ่มคาร์บอนที่ผิวมีหลายวิธีหนึ่งในวิธีที่น่าสนใจ คือ กระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิง ซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนในการทำงานที่ต่ำและสามารถทำได้ง่าย [2] หลักการของกระบวนการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวนี้จะอาศัยธาตุคาร์บอนที่มีอยู่ในถ่านโค้ก หรือ ถ่านไม้แพร่เข้าไปในผิวเหล็กโดยอาศัยความร้อนช่วยให้เกิดการแพร่ของคาร์บอน หลักการทำงานโดยการนำถ่านมาบดเป็นผงและผสมกับสารประกอบคาร์บอนที่ช่วยให้เกิดการแตกตัวของคาร์บอนหรือเป็นสารเร่งปฏิกิริยา เมื่อสารประกอบคาร์บอนได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะรวมตัวกับคาร์บอนของถ่าน จะได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นนี้จะสัมผัสกับผิวเหล็ก

แล้วแตกตัวให้อะตอมของคาร์บอนแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยของ Elmi Hosseini [3] ทำให้ทราบว่าบริเวณผิวของชิ้นงานเมื่อได้รับความร้อนทำให้อะตอมคาร์บอนแพร่เข้าไปในผิวเหล็ก เมื่อเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความแข็งที่ผิวเหล็กเพิ่มมากขึ้นและเมื่อลดเวลาและอุณหภูมิลง ผลของค่าความแข็งที่ผิวเหล็กจะลดลงตามไปด้วย ซึ่งอุณหภูมิและเวลาไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่มีผลต่อค่าความแข็งที่ผิว ยังมีส่วนประกอบอื่นในกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิงที่สำคัญประกอบไปด้วยถ่านไม้และสารเร่งปฏิกิริยา การใช้สารเพิ่มคาร์บอนที่เป็นถ่านเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้คาร์บอนแพร่เข้าสู่ผิวเหล็กได้ในปริมาณที่มากนัก จึงต้องมีการผสมสารเร่งปฏิกิริยาเข้าไปช่วย ดังงานวิจัยของ ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติและคณะ [4] ที่ทำการศึกษเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเร่งปฏิกิริยาเกรดทางการค้าชนิดต่าง ๆ 3 ชนิด และเปรียบเทียบกับสารแพ็กคาร์บอนโรซิงที่ไม่ผสมสารเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ถ่านไม้เพียงอย่างเดียว ทำให้ทราบว่าสารแพ็กคาร์บอนโรซิงที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาให้ประสิทธิภาพการเพิ่มคาร์บอนได้สูงกว่า ดังนั้น สารเร่งปฏิกิริยาจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ช่วยให้เกิดการแตกตัวของคาร์บอน ในส่วนของสารเร่งปฏิกิริยามีทั้งสารสังเคราะห์และสารจากธรรมชาติ โดยสารเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาติที่อยู่ในกลุ่มสารอินทรีย์ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ จากการศึกษางานวิจัยของสุกกร บุญยืน และคณะ [5] ทำให้ทราบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตที่สะสมอยู่ในเปลือกหอยจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์เมื่อได้รับความร้อนที่สูงขึ้น ดังนั้น เปลือกหอยชนิดต่างๆ จึงสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาได้ และจากการศึกษาของ Teerawat Laonapakul และคณะ [6] ทำให้ทราบว่า เปลือกหอยเชอรี่มีองค์ประกอบของแคลเซียมที่อยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อได้รับความร้อนสูงจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงมีการนำเปลือกหอยเชอรี่ไปทดลองใช้ในการชุบผิวแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิงโดย Budi Hartono Setiamarga และ Umen Rumendi [7] ทำให้ทราบว่าเปลือกหอยเชอรี่มีประสิทธิภาพเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิงของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำได้

ในขณะเดียวกัน วรณา หอมจะบก และคณะ [8] ได้นำกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิงมาประยุกต์ใช้ในการชุบแข็งมิติ

ทางการเกษตรโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเร่งปฏิกิริยาเกรดทางการค้า คือ แคลเซียมคาร์บอเนต และสารเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาติ คือ เปลือกไข่ไก่ โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาคือเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของมิติที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิง ผลการศึกษาปัจจัยพบว่าสารเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมคาร์บอเนตให้ค่าความแข็งของมิติที่สูงกว่าเปลือกไข่ไก่ แต่เปลือกไข่ไก่ให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกที่สูงกว่า และสรุปว่าเปลือกไข่ไก่สามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาได้ รวมไปถึงผลการทดลองทำให้ทราบว่าเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นการให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือของการทดลอง ศักดิ์สิทธิ์ ศรีสุข และคณะ [9] จึงนำหลักการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติมาใช้ในกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิงโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมคาร์บอเนตเช่นเดียวกัน และศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่มีผลต่อความแข็งของมิติได้ ผลจากการศึกษา ได้สมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และเวลาอบเพิ่มคาร์บอนมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งของมิติได้ และจากการศึกษา ไพรวัตร ลือสีก และคณะ [10] ได้นำหลักการวิเคราะห์ทางสถิติมาใช้ในการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแผ่นอัดเศษวัสดุจากธรรมชาติซึ่งจากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับความต้านทานแรงอัดของพารามิเตอร์ทั้ง 2 ในขณะเดียวกัน มีการศึกษาการชุบแข็งมิติทางการเกษตร [11] คือมิติตะขอที่มีความบางกว่ามิติได้โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาที่เป็นหินปูน และสารปฏิกิริยาเกรดทางการค้าชนิดต่างๆ ในการศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอน ผลการศึกษาทำให้ทราบว่า อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนที่ให้ค่าความแข็งใกล้เคียงกับมิติชุมชน คืออุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 30 และ 60 นาที

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นทำให้ทราบว่า การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิตินั้นสามารถหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการชุบแข็งมิติได้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมระหว่างอุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของมิติได้ที่ผ่านการชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิง โดยใช้ผงถ่านไม้ยูคาลิปตัสเป็นสารเพิ่มคาร์บอนผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชอรี่ ซึ่งผลที่

ได้จากงานวิจัยนี้สามารถที่จะนำวัสดุที่เหลือทิ้งอย่างเปลือกหอยเชอรี่มาทำให้เกิดประโยชน์ในกระบวนการตีมีด

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุ

- เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์
- เปลือกหอยเชอรี่
- ถ่านไม้ยูคาลิปตัส
- มีดโต้ของชุมชนที่ผ่านการตีขึ้นรูปและชุบแข็งแสดงในรูปที่ 1



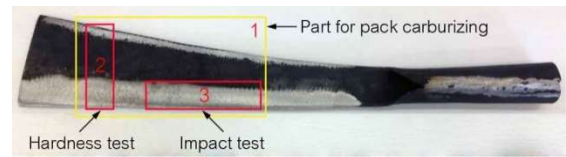
รูปที่ 1 ลักษณะมีดโต้ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์

- เตาอบชุบความร้อนแบบขดลวดความต้านทาน ยี่ห้อ Modutemp รุ่น WW51A
- เครื่องทดสอบแรงกระแทก ยี่ห้อ Leeds รุ่น LS102DE
- เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส ยี่ห้อ Mitsuzawa รุ่น MHT2
- กล้องจุลทรรศน์แบบแสง ยี่ห้อ Olympus รุ่น BX60M
- เครื่อง Spectrometer ยี่ห้อ MAX x รุ่น LMF05

การเตรียมมีดโต้

มีดโต้ที่ใช้สำหรับนำมาทำการชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิง เตรียมโดยการนำเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่มีลักษณะแบนมาตีขึ้นรูปให้มีรูปร่างและขนาดเช่นเดียวกับมีดโต้ชุมชน ดังแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นจะถูกตัดเฉพาะส่วนที่เป็นตัวมีดโต้ใช้ในขั้นตอนการทดลองชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิง คือ ในตำแหน่งหมายเลข 1 จะถูกตัดมาทำการทดลองภายหลังการอบชุบแล้ว จากนั้นขึ้นทดสอบที่จะทำการทดสอบค่าความแข็งจะตัดในตำแหน่งหมายเลข 2 และขึ้นทดสอบความต้านทานแรงกระแทกจะตัดในตำแหน่งหมายเลข 3



รูปที่ 2 มีดโต้ที่ตีขึ้นรูปจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและตำแหน่งที่ใช้ทำขึ้นทดสอบ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3 (ก) ถ่านไม้ยูคาลิปตัส (ข) ผงถ่านไม้ยูคาลิปตัส (ค) เปลือกหอยเชอรี่ (ง) ผงเปลือกหอยเชอรี่

การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ใช้ในการตีขึ้นรูปมีดโต้ จะถูกนำมาทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่อง Spectrometer เพื่อให้ทราบปริมาณคาร์บอนและธาตุผสมอื่น ๆ ในเนื้อเหล็ก

การเตรียมสารแพ็กคาร์บอนโรซิง

สารแพ็กคาร์บอนโรซิงที่ใช้ทำการทดลองประกอบไปด้วยสารเพิ่มคาร์บอนใช้ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชอรี่ การเตรียมสารแพ็กคาร์บอนโรซิง ทำโดยการนำถ่านไม้ยูคาลิปตัสดังรูปที่ 3 (ก) มาบดให้ละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 5.0 มิลลิเมตร ลักษณะของผงถ่านที่ร่อนแล้วแสดงในรูปที่ 3 (ข) ส่วนสารเร่งปฏิกิริยาเตรียมโดยนำเปลือกหอยเชอรี่มาทำการผึ่งแดดให้แห้งดังแสดงในรูปที่ 3 (ค) จากนั้นนำมาบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาดรู 2.0 มิลลิเมตร ผงของเปลือกหอยเชอรี่ที่ผ่านการร่อนแล้วแสดงดังรูปที่ 3 (ง) ภายหลังจากการเตรียมผงเสร็จแล้วจึงนำผงถ่านไม้และผงเปลือกหอยเชอรี่มาผสมกัน ในสัดส่วนผง

ถ่านไม้ 80 เปอร์เซ็นต์ และผงเปลือกหอยเชอรี่ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักโดยการศึกษารายงานงานวิจัยของ ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และ วรรณ หอมจะบก [11]

2.2 การออกแบบการทดลอง

การหาค่าของปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของมิดที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิง โดยให้มีความสอดคล้องตามหลักการทางสถิติ จึงนำหลักการออกแบบการทดลองในรูปแบบของ Full factorial design มาใช้ โดยกำหนดให้ค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทกเป็นผลคำตอบของการทดลอง ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษามีอยู่ 2 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 1 ประกอบไปด้วย ปัจจัยแรก คือ อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน และปัจจัยที่สอง คือ เวลาอบเพิ่มคาร์บอน แต่ละปัจจัยมีอยู่ 3 ระดับ

ตารางที่ 1 ปัจจัยในการศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิและเวลา

Factors	Level			Unit
	Low (-1)	Medium (0)	High (+1)	
Temperature (A)	960	980	1,000	°C
Time (B)	60	90	120	minutes

เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของข้อมูล ในทุกปัจจัยของการทดลองจึงมีการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ทำให้มีการทดลองทั้งหมด 45 การทดลอง การทดลองจะใช้ลำดับการรันแบบสุ่มดังตารางที่ 2 เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

2.3 การแพ็กคาร์บอนโรซิงและการชุบแข็ง

มิดโต้ที่ถูกตีขึ้นรูปจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตามขนาดและรูปร่างของมิดชุมชน จะถูกนำมาตัดบริเวณที่ถูกใช้งาน จากนั้นทำการบรรจุสารแพ็กคาร์บอนโรซิงที่ผสมเสร็จแล้วลงในกระบอกเหล็กกล้า จากนั้นนำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ใส่เข้าไปในกระบอกเหล็กกล้า ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) โดยเติมสารแพ็กคาร์บอนโรซิงให้เต็ม ปิดด้วยฝาเหล็กแล้วใช้ดินเหนียวปิดทับเพื่อป้องกันการรั่วซึมของแก๊ส ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข)

ตารางที่ 2 ลำดับการรันแบบสุ่ม

Run Order	Std Order	Temperature	Time
1	36	1000	120
2	15	980	120
3	19	960	60
4	18	1000	120
5	14	980	90
6	37	960	60
7	30	960	120
8	3	960	120
9	4	980	60
10	1	960	60
11	34	1000	60
12	40	980	60
13	28	960	60
14	33	980	120
15	7	1000	60
16	43	1000	60
17	44	1000	90
18	24	980	120
19	38	960	90
20	6	980	120
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
45	12	960	120



(ก)

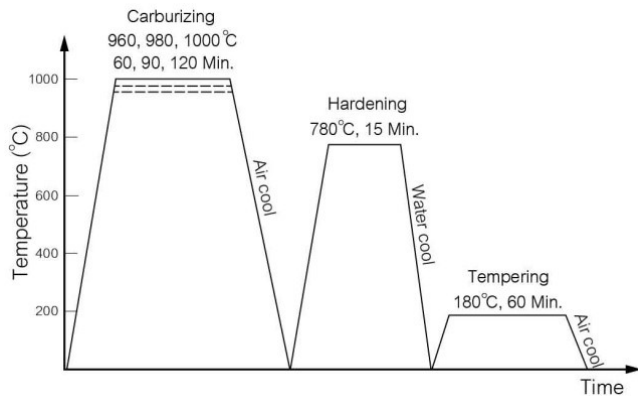


(ข)

รูปที่ 4 (ก) บรรจุชิ้นทดสอบมิดลงในกล่องเหล็กพร้อมสารเพิ่มคาร์บอน (ข) ปิดฝากล่องแล้วปิดทับด้วยดินเหนียว

ขั้นตอนถัดไปเป็นขั้นตอนการอบชุบ ลำดับการให้ความร้อนและการเย็นตัวแสดงดังรูปที่ 5 การทดลองทำโดยนำกล่องเหล็กที่บรรจุชิ้นงานทดสอบและสารแพ็กคาร์บอนโรซิง ไปอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 960, 980 และ 1,000 องศาเซลเซียส ในขณะที่ใช้เวลาอบเพิ่มคาร์บอน 60, 90 และ 120 นาที เมื่อ

ถึงเวลาที่กำหนดจึงนำกลองเหล็กออกจากเตาแล้วนำขึ้นทดสอบปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ จากนั้นนำขึ้นทดสอบมาทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 780 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที นำออกมาจุ่มชุบในน้ำทันที จากนั้นนำขึ้นทดสอบมาทำการอบเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที แล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ



รูปที่ 5 ลำดับขั้นตอนการทดลองให้ความร้อน เวลาและการเย็นตัวต่างๆ

2.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบความแข็ง

การทดสอบหาค่าความแข็ง จะใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส เนื่องจากขนาดของชิ้นทดสอบมีขนาดเล็ก จึงต้องมีการตรึงชิ้นทดสอบด้วยเรซิน ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) ตำแหน่งที่ทำการทดสอบความแข็งแสดงดังรูปที่ 6 (ข) โดยตำแหน่งแรกเริ่มต้นที่ระยะ 0.1 มิลลิเมตร จากคมมีด จากนั้นแต่ละตำแหน่งจะห่างกัน 0.5 มิลลิเมตร จนถึงระยะ 8.0 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการชุบแข็งเพื่อการใช้งาน

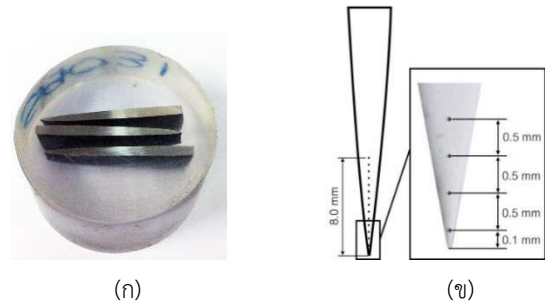
การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

ชิ้นทดสอบความต้านทานแรงกระแทกขนาด 20 × 70 มิลลิเมตร จะถูกนำมาวางในลักษณะตั้ง โดยหันด้านข้างของชิ้น

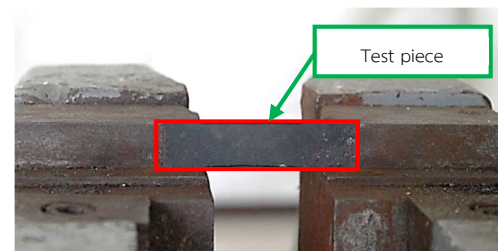
ตารางที่ 3 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่นำมาตีขึ้นรูปมิดได้

Steel No.	Chemical Composition (% by weight)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	0.147	0.024	0.469	0.003	0.003	0.007	0.002	0.024
2	0.147	0.023	0.465	0.003	0.003	0.007	0.002	0.024
3	0.145	0.017	0.468	0.003	0.003	0.007	0.002	0.026
Average	0.146	0.021	0.467	0.003	0.003	0.007	0.002	0.025

ทดสอบเข้าหาจุดกระทบของลูกตุ้ม ดังแสดงในรูปที่ 7 เนื่องจากสภาวะในการแตกหักของมีดนั้นมักเกิดจากแรงในการตัดทางด้านข้างมีด



รูปที่ 6 (ก) ชิ้นทดสอบที่ตรึงด้วยเรซิน (ข) ตำแหน่งทดสอบความแข็งบริเวณคมมีด



รูปที่ 7 ตำแหน่งวางชิ้นทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

3. ผลการทดลอง

3.1 ส่วนผสมทางเคมี

ผลของการตรวจสอบหาปริมาณส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ก่อนนำไปผ่านกระบวนการแพ็กคาร์โบไรซิง ปริมาณส่วนผสมทางเคมีแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในเนื้อเหล็กมีปริมาณ 0.146 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณคาร์บอนในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่จะมีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์ [12]

3.2 ความแข็ง

การวิจัยครั้งนี้ใช้ค่าเฉลี่ยความแข็งของมิดโดที่ตีขึ้นรูปและชุบแข็งจากชุมชนที่มีดเป็นเกณฑ์ โดยนำมิดโดจากชุมชนมาทำการทดสอบจำนวน 5 เล่ม ผลของค่าความแข็งของมิดโดที่ตีขึ้นรูปจากชุมชนแสดงในตารางที่ 4 จากข้อมูลพบว่ามิดโดของชุมชนมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 607.0 HV โดยมีช่วงระดับความเชื่อมั่นค่าควบคุมสูงสุดอยู่ที่ 625.3 HV และค่าควบคุมต่ำสุดอยู่ที่ 588.7 HV ค่าความแข็งดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใช้เป็นเกณฑ์การเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ที่ผ่านการชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนไรซิง สำหรับผลของค่าความแข็งมิดโดของชิ้นทดสอบที่ผ่านการชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนไรซิง แสดงตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน 960 องศาเซลเซียส ที่เวลาอบเพิ่มคาร์บอนต่างๆ มีค่าความแข็งเฉลี่ยต่ำกว่ามิดโดที่ตีขึ้นรูปจากทางชุมชน ดังนั้น

อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนที่ 960 องศาเซลเซียส จึงไม่เหมาะในการนำมาชุบแข็งมิดโด

เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน 980 องศาเซลเซียส เวลาอบเพิ่มคาร์บอน 60 นาที และเวลาอบเพิ่มคาร์บอน 90 นาที ค่าความแข็งเฉลี่ยของมิดโด มีค่าต่ำกว่ามิดโดที่ตีขึ้นรูปจากทางชุมชน แต่ที่เวลาอบเพิ่มคาร์บอน 120 นาที พบว่า ค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ในค่าควบคุมของค่าความแข็งจากชุมชนที่มีด ในขณะที่ผลการทดลองอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน 1,000 องศาเซลเซียส เวลาอบเพิ่มคาร์บอน 60 นาที ค่าความแข็งเฉลี่ยของมิดโดมีค่าควบคุมต่ำกว่ามิดโดที่ตีขึ้นรูปจากทางชุมชน แต่ที่เวลาอบเพิ่มคาร์บอน 90 นาที พบว่า ค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ในค่าควบคุม สำหรับอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน 1,000 องศาเซลเซียส และเวลาอบเพิ่มคาร์บอนที่ 120 นาที พบว่า ค่าความแข็งเฉลี่ยสูงกว่าค่าควบคุม

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งของมิดโดที่ตีและชุบแข็งของชุมชนที่มีด

Position	Number	Average	sd	LCL	UCL
0.1	5	680.2	20.0	661.8	698.5
0.5	5	675.4	13.1	657.0	698.7
1.0	5	670.6	13.1	652.2	688.9
1.5	5	647.8	12.0	629.4	666.1
2.0	5	661.8	23.0	643.5	680.1
2.5	5	652.4	19.2	634.0	670.7
3.0	5	639.4	21.5	621.0	657.7
3.5	5	639.8	29.9	621.5	658.1
4.0	5	618.2	14.5	599.8	636.5
4.5	5	591.4	32.4	573.1	609.7
5.0	5	607.2	36.5	588.9	625.5
5.5	5	587.2	25.3	568.9	605.5
6.0	5	533.4	8.7	515.0	551.7
6.5	5	527.0	16.0	508.6	545.3
7.0	5	537.0	15.1	518.6	555.3
7.5	5	517.4	14.3	499.0	535.7
8.0	5	530.6	21.5	512.2	548.9
		607.0	1.7	588.7	625.3

ตารางที่ 5 ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบมิดโดที่ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำแล้วชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนไรซิง

Temperature (°C)	Time (Min)	Hardness Values (HV)						Average	sd
		No.	1	2	3	4	5		
960	60		406.8	391.3	413.6	418.7	444.3	415.9	19.4
	90		574.7	549.1	535.8	525.8	540.1	545.1	18.6
	120		614.1	601.5	595.7	607.9	565.6	597.0	18.7
980	60		473.1	450.5	448.4	454.0	443.2	454.8	11.5
	90		579.6	591.7	563.8	580.0	545.2	572.1	18.2
	120		674.1	647.6	667.0	681.8	665.8	667.2	12.6
1,000	60		484.8	490.0	505.3	519.5	535.1	507.9	20.8
	90		641.5	614.1	632.6	654.8	636.1	636.8	14.9
	120		697.6	688.6	648.2	684.5	659.9	676.8	21.1

3.3 ความต้านทานแรงกระแทก

ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงกระแทกของมิดโต้ของชุมชน แสดงในตารางที่ 6 ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ยอยู่ที่ 14.0 Joules ส่วนขั้นตอนทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านกระบวนการแพ็กคาร์บอนไรซิง ผลของค่าความต้านทานแรงกระแทก แสดงดังตารางที่ 7 โดยค่าความต้านทานแรงกระแทกนั้นจะแตกต่างจากค่าความแข็ง นั่นคือ

ตารางที่ 6 ค่าความต้านทานแรงกระแทกของมิดโต้ที่ตีและชุบแข็งของชุมชน

Impact values (Joules)							
No.	1	2	3	4	5	Average	sd
	17.0	12.0	14.0	16.0	11.0	14.0	2.2

ตารางที่ 7 ค่าความต้านทานแรงกระแทกของขั้นตอนทดสอบที่ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนไรซิง

		Impact values (Joules)							
Temperature (°C)	Time (Min)	No.	1	2	3	4	5	Average	sd
960	60		64	54	70	46	64	59.6	9.5
	90		48	54	56	63	52	54.6	5.5
	120		38	41	35	30	37	36.2	4.1
980	60		67	58	57	70	63	63.0	5.6
	90		51	62	34	44	38	45.8	11.1
	120		32	22	26	20	18	23.6	5.5
1,000	60		36	48	40	32	37	38.6	5.9
	90		36	20	33	21	23	26.6	7.3
	120		20	16	25	31	13	21.0	7.1

3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การวิเคราะห์ทางสถิติทางผู้วิจัยใช้โปรแกรม Minitab 17 ในการวิเคราะห์ ก่อนการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลของผลการทดสอบค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทก รวมถึงการตรวจสอบสมมติฐานด้วยหลักทางสถิติ และตรวจสอบค่าความแปรปรวน ดังต่อไปนี้

การทดสอบ Test for normality ของค่าความแข็ง และค่าความต้านทานแรงกระแทกของมิดโต้ที่ใช้ในการทดลอง โดยตั้งสมมติฐาน คือ

H_0 : เศษตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : เศษตกค้างไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

จากการทดสอบด้วย Anderson-darling test ของค่าความแข็ง ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 8 (ก) จะเห็นได้ว่ามีค่า

เมื่ออุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้นถึง 1,000 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกนั้นลดลง 21.0 Joules ที่เป็นเช่นนี้ เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้อัตราการแพร่ของคาร์บอนเพิ่มขึ้น เมื่อคาร์บอนในผิวเหล็กเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งจึงเพิ่มขึ้น ทำให้เหล็กเปราะ ความต้านทานแรงกระแทกจึงลดลง

P-Value เท่ากับ 0.095 ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงกระแทก ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 8 (ข) ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.127 จะเห็นได้ว่า ค่า P-Value ของสมบัติเชิงกลทั้งสองมีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงถึงเศษตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

สำหรับการทดสอบ Homogeneity of variance ของค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทกที่ใช้ในการทดลอง ตั้งสมมติฐานไว้ คือ

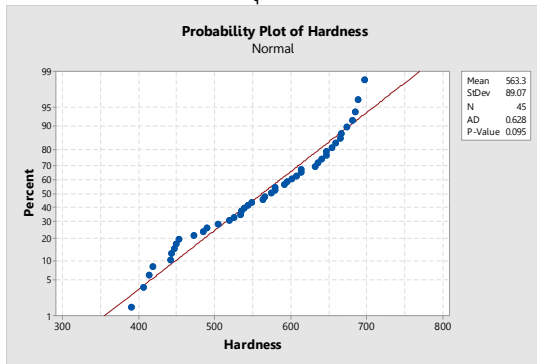
H_0 : ความแปรปรวนของเศษตกค้างทุกกลุ่มเท่ากัน

H_1 : ความแปรปรวนของเศษตกค้างแตกต่างกันอย่างน้อย 2 กลุ่ม

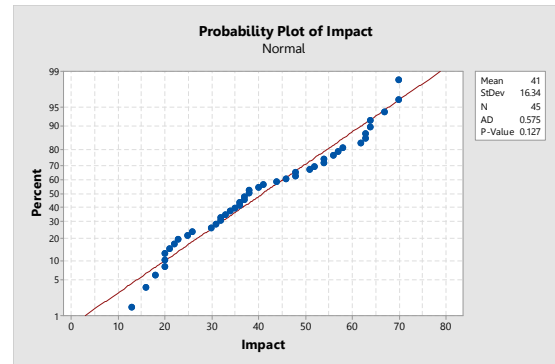
จากผลของค่า Multiple comparisons ของค่าความแข็งแสดงดังรูปที่ 9 (ก) พบว่าค่าของ P-Value มีค่า 0.934 ส่วนของค่าความต้านทานแรงกระแทกแสดงดังในรูปที่ 9 (ข) พบว่าค่าของ P-Value มีค่า 0.665 ในขณะเดียวกันค่า Levene's

Test ของค่าความแข็งแกร่งดังรูปที่ 9 (ก) ค่า P-Value มีค่า 0.962 ส่วนความต้านทานแรงกระแทกแสดงดังรูปที่ 9 (ข) ค่า P-Value มีค่า 0.764 ซึ่งทุกค่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ

0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงว่าเศษตกค้างมีความแปรปรวนที่เท่ากัน

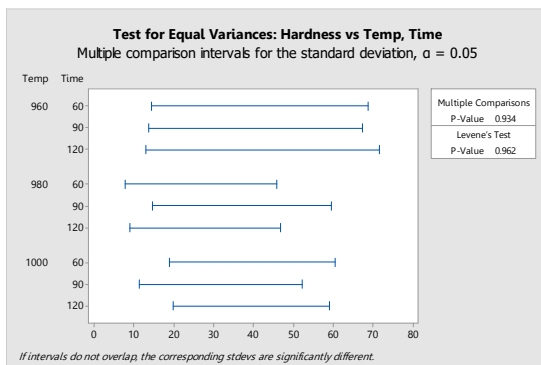


(ก)

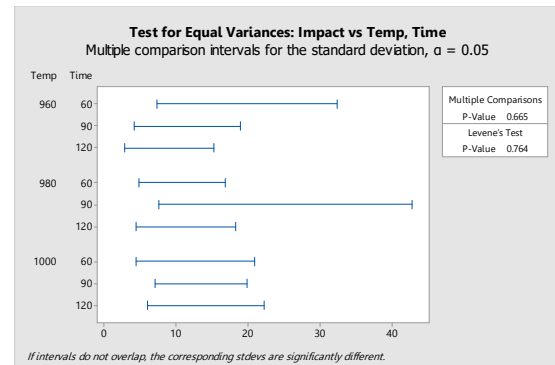


(ข)

รูปที่ 8 Probability plot (ก) ของค่าความแข็ง (ข) ของค่าความต้านทานแรงกระแทก



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 ทดสอบ Homogeneity of variance (ก) ของค่าความแข็ง (ข) ของค่าความต้านทานแรงกระแทก

การทดสอบ Test for independence ของค่าความแข็ง และค่าความต้านทานแรงกระแทกของมิดไต้ที่ใช้ในการทดลอง โดยตั้งสมมติฐาน คือ

H_0 : เศษตกค้างเป็นอิสระกัน

H_1 : เศษตกค้างไม่ได้เป็นอิสระกัน

จากผลการทดสอบ พบว่าค่าเศษตกค้างของความแข็งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.497 แสดงผลดังรูปที่ 10 (ก) และค่าเศษตกค้างของความต้านทานแรงกระแทกแสดงดังรูปที่ 10 (ข) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.527 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ทั้งสองค่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงว่าเศษตกค้างเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบข้อสมมติฐานด้วยหลักทางสถิติ ทั้ง 3 ส่วน คือ Test for normality, Test for homogeneity of

variance และ Test for independence ค่า P-Value ของทั้ง 3 ส่วนมีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่า เศษตกค้างมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงสามารถนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้

การหาอิทธิพลของปัจจัย

การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็ง พบว่าปัจจัยของอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน เวลาอบเพิ่มคาร์บอน และปัจจัยร่วมกันนั้นมีผลต่อค่าความแข็งเฉลี่ยของมิดไต้ที่นำมาทำการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ โดยตารางที่ 8 แสดงรายละเอียดของปัจจัยร่วมมีค่า P-value น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ทุกปัจจัย ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมดังกล่าวนี้มีผลต่อค่าความแข็งเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ และจาก

ผลการทดลองได้ค่าของ R-sq เท่ากับ 96.80 เปอร์เซนต์ ขณะที่ค่า R-sq (adj) มีค่าเท่ากับ 96.09 เปอร์เซนต์ ซึ่ง

ใกล้เคียงกับค่าของ R-sq แสดงถึงจำนวนของข้อมูลมีจำนวนเพียงพอที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสม

Runs Test: Hardness

Runs test for Hardness

Runs above and below K = 563.289

The observed number of runs = 21
The expected number of runs = 23.2222
25 observations above K, 20 below
P-value = 0.497

(ก)

Runs Test: Impact

Runs test for Impact

Runs above and below K = 41

The observed number of runs = 25
The expected number of runs = 22.9556
19 observations above K, 26 below
P-value = 0.527

(ข)

รูปที่ 10 การทดสอบ Independence (ก) ของเพศตกค้างของค่าความแข็ง (ข) ของเพศตกค้างของค่าความต้านทานแรงกระแทก

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ Variance Hardness

General factorial regression: Hardness versus temperature, time						
Factorial information						
Factor	Levels	Values				
Temp	3	960	980	1,000		
Time	3	60	90	120		
Analysis of variance						
Source	Df	Adj. SS	Adj. MS	F-Value	P-Value	
Model	8	337880	42235	136.23	0.000	
Linear	4	333169	83292	268.67	0.000	
Temp	2	57057	28528	92.02	0.000	
Time	2	276112	138056	445.31	0.000	
2-Way interaction	4	4712	1178	3.80	0.011	
Temp*Time	4	4712	1178	3.80	0.011	
Error	36	11161	310			
Total	44	349041				
Model summary						
S	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)			
17.6074	96.80%	96.09%	95.00%			

ปัจจัยที่เหมาะสมค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรง

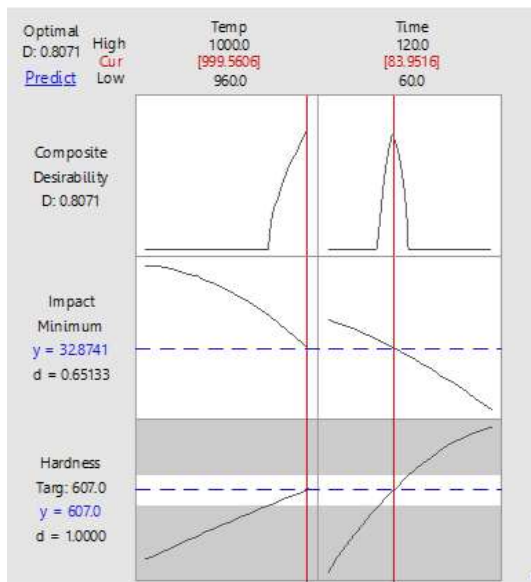
กระแทก

กราฟ Optimal ในรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน คือ 1,000 องศาเซลเซียส เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน คือ 83.9 นาที โดยจะให้ค่าความแข็งเฉลี่ย 606.8 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ยต่ำสุด 32.5 Joules จะเห็นได้ว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่จะทำได้ค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทกให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ของกระบวนการแพ็คเกจ์เบอไรซิง โดยใช้เปลือกหอยเชอรี่เป็นสารเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนที่ 1,000 องศาเซลเซียส และเวลาอบเพิ่ม

คาร์บอน 83.6 นาที ทั้งนี้เนื่องมาจากสารเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชอรี่ มีความสามารถเป็นสารกระตุ้นให้คาร์บอนแตกตัวแล้วแพร่เข้าไปในผิวเหล็กได้เร็วขึ้น จึงใช้เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนน้อยลง 83.6 นาที จากผลของปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้นั้น ผู้วิจัยจึงได้นำระดับปัจจัยของทั้งสองเงื่อนไขดังกล่าวมาทำการทดลองเพื่อยืนยันผลจำนวน 5 การทดลอง โดยเงื่อนไขที่ใช้ คือ อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน 1,000 องศาเซลเซียสและเวลาอบเพิ่มคาร์บอน 83.9 นาที

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ Variance Impact

General factorial regression: Impact versus temperature, time						
Factorial information						
Factor	Levels	Values				
Temp	3	960	980	1,000		
Time	3	60	90	120		
Analysis of variance						
Source	Df	Adj. SS	Adj. MS	F-Value	P-Value	
Model	5	9124.4	1824.89	27.15	0.000	
Linear	2	8821.5	4410.75	65.62	0.000	
Temp	1	3434.7	3434.70	51.10	0.000	
Time	1	5386.8	5386.80	80.14	0.000	
2-Way interaction	1	42.1	42.05	0.63	0.004	
Temp*Time	1	42.1	42.05	0.63	0.004	
Error	39	2621.6	67.22			
Total	44	11746.0				
Model summary						
S	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)			
8.19874	77.68%	74.82%	70.39%			



รูปที่ 11 Optimization plot ของอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ

3.5 การทดลองเพื่อยืนยันผล

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากค่าทางสถิติ จึงทำการทดลองชุบแข็งมิตโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิง ตามสภาวะของอุณหภูมิและเวลาอบเพิ่มคาร์บอนที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมของสารเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชอรี่ โดยผลการทดสอบค่าความแข็ง ดังแสดงในตารางที่ 10 และค่าความต้านทานแรงกระแทกแสดงดังตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 610.2 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทก 21.6 Joules โดยค่าความแข็งของมิตโต้มีค่าอยู่ในช่วงควบคุมระหว่าง 588.7-625.3 HV ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงกระแทกที่ได้ มีค่าสูงกว่าค่าความต้านทานแรงกระแทกของมิตโต้ชุมชน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 14 Joules แสดงว่ามิตโต้ที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิง ทำให้ได้ความแข็งสูง และความเหนียวที่สูงขึ้นไปพร้อมกันจึงสามารถรับแรงกระแทกได้ดีขึ้น หรือมิตโต้มีความเปราะน้อยลงเมื่อเทียบกับมิตโต้จากชุมชน

ตารางที่ 10 ค่าความแข็งของการทดลองเพื่อยืนยันผล

No.					Average	sd
1	2	3	4	5		
612.0	602.0	604.0	619.0	614.0	610.2	7.1

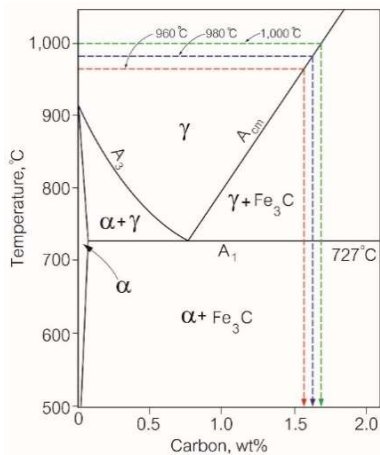
ตารางที่ 11 ค่าความต้านทานแรงกระแทกของการทดลองเพื่อยืนยันผล

No.					Average	sd
1	2	3	4	5		
28.0	16.0	20.0	26.0	18.0	21.6	5.1

4. วิจัยณ์ผล

ผลการทดลองชุบแข็งมิตโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิง โดยการใช้สารเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชอรี่ ซึ่งเป็นสารเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาติเช่นเดียวกับเปลือกไข่ไก่เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ช่วยให้เกิดการแตกตัวของคาร์บอนจากผงถ่าน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรรณ หอมจะบกและคณะ [8] ที่ว่าสารเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาติที่อยู่ในกลุ่มสารอินทรีย์ของแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยา โดยในการทดลองใช้อุณหภูมิ 960, 980 และ 1,000 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้คาร์บอนสามารถละลายเข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากขึ้นโดยหากพิจารณาจากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการละลายของคาร์บอนในออสเทนไนต์จะสูงขึ้นตามเส้น A_{cm}

อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความแข็งของมิตโต้ที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิง โดยการใช้สารเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชอรี่ คือ เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะเวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คาร์บอนสามารถแพร่เข้าไปในผิวเหล็กได้มากขึ้นเป็นไปตาม Fick's first law [13] ที่ว่าการแพร่จะแปรผันตามความเข้มข้นของอะตอมและเวลาในการแพร่ ดังนั้นเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 60, 90 และ 120 นาที จึงทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นไปตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติและคณะ [4] ที่ว่าเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นนั้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และเกิดขึ้นกับสารเร่งปฏิกิริยาทุกชนิด



รูปที่ 12 แผนภาพส่วนหนึ่งของ Fe-Fe₃C Diagram

อย่างไรก็ตามเมื่อมิตได้มีค่าความแข็งที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกตกลงซึ่งเป็นผลมาจากเวลาและอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Elmi Hosseini [3] และงานวิจัยของศักดิ์สิทธิ์ ศรีสุขและคณะ [9] ที่ว่าเวลาและอุณหภูมิการอบเพิ่มคาร์บอนที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งที่ผิวของมิตเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความแข็งเพิ่มขึ้นทำให้ความเหนียวลดลงจึงทำให้ความสามารถการรับแรงกระแทกของมิตลดลงตามไปด้วย

ในขณะที่การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่ใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง และหาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการแพ็กคาร์โบไรซิง สามารถนำไปใช้หาระดับของอุณหภูมิและเวลาอบเพิ่มคาร์บอนทำให้ค่าความแข็งมิตได้ที่ผ่านการชุบแข็งผิวด้วยกระบวนการแพ็กคาร์โบไรซิงให้ใกล้เคียงกับค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทกตามที่ต้องการได้ และจากผลของการทดลองยืนยันผล พบว่าค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทก นั้นมีค่าอยู่ในขอบเขตของสมบัติเชิงกลของมิตได้ของชุมชน

5. สรุปผล

การออกแบบการทดลองวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมในการชุบแข็งมิตได้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์โบไรซิง โดยใช้สมบัติเชิงกลของมิตได้ที่ขึ้นรูปและชุบแข็งโดยชุมชนที่มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 607.0 HV โดยมีค่าควบคุมบนอยู่ที่ 625.3 HV และค่าควบคุมล่างอยู่ที่ 588.7 HV ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงกระแทกมีค่าอยู่ที่ 14.0 Joules เป็นค่าเปรียบเทียบกับมิตที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์โบไรซิง โดยใช้สารเพิ่ม

คาร์บอนจากถ่านไม้ยูคาลิปตัสผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชอรี่พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ทำให้ได้เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน 83.9 นาที อุณหภูมิการอบเพิ่มคาร์บอน 1,000 องศาเซลเซียส โดยทั้งสองปัจจัยจะให้ค่าความแข็งอยู่ที่ 606.8 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทกอยู่ที่ 32.5 Jules และเมื่อนำปัจจัยที่เหมาะสมระหว่างเวลาและอุณหภูมิไปทำการทดลองเพื่อยืนยันผลโดยได้ค่าความแข็งอยู่ที่ 610.2 HV และความต้านทานแรงกระแทกอยู่ที่ 21.6 Jules เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งจากผลการทดลองยืนยันผล พบว่าค่าความแข็งที่ได้ นั้นอยู่ในค่าควบคุมความแข็งของมิตได้ชุมชน ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงกระแทกนั้นสูงกว่า แสดงว่ามิตที่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง ด้วยการแพ็กคาร์โบไรซิงจะได้ทั้งค่าความแข็งและความเหนียวไปพร้อมกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการนำสารเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชอรี่ สามารถที่จะนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านการตีขึ้นรูปด้วยกระบวนการแพ็กคาร์โบไรซิง โดยผลของค่าความแข็งและความต้านทานแรงกระแทกที่ได้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการแพ็กคาร์โบไรซิงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในช่วงตอนการผลิตมิตได้ เพื่อให้ทางชุมชนมีมิตมีทางเลือกในการใช้วัสดุผลิตสินค้าให้เพิ่มมากขึ้น และมีต้นทุนในการผลิตสินค้าที่ต่ำลงได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณนายศักดิ์สิทธิ์ ศรีสุข ในการดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล สาขาวิศวกรรมวัสดุ และสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ในความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ ในการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. *สรุปผลภาวะการณ์ทำงานของประชากรประจำปีเดือนมิถุนายน พ.ศ.2562*. กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.nso.go.th> สืบค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2562
- [2] มนัส สติรจินดา. *วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก*. พิมพ์ครั้งที่ 4. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 2538

- [3] Hosseini ESR. The simulation of case depth of cementation steels according to Fick's laws. *Journal of Iron and Steel Research, International*. 2012;19(11): 71-78
- [4] ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ วรณา หอมจะบก นฤตม ทาดี. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของสารเร่งทาง การค้าชนิดต่างๆ ในการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวของมิดได้ที่ชุบแข็ง ด้วยกระบวนการแพ็คคาร์โบไรซิง. *วารสารมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน*. 2557;7(2): 67-80.
- [5] สุภกร บุญยืน มณฑา มาลัยนอก อภิสิทธิ์ โพธิ์แก้ว. การ สลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย. *วารสาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 2558; 4(2): 115-122
- [6] Laonapakul T, Sutthi R, Chaikool P, Mutoh Y, Chindaprasit P. Optimum conditions for preparation of bio-calcium from blood cockle and golden apple snail shells and characterization. *Science Asia*. 2019;45: 10-20
- [7] Setiamarga BH, Rumendi U. Comparison of the effectiveness of pack carburization energizers for surface hardening of low carbon steel. *The 2nd AUN/SEED-Net Regional Conference on Materials Engineering: Material for Changing World*. Faculty of Engineering. Burapha University. Thailand. November 2009: 19-20
- [8] วรณา หอมจะบก ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ นฤตม ทาดี. การ เปรียบเทียบสารเร่งปฏิกิริยาระหว่างเปลือกไข่ไก่กับ CaCO_3 ในกระบวนการแพ็คคาร์โบไรซิง. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก*. 2558;8(1): 29-36
- [9] ศักดิ์สิทธิ์ ศรีสุข ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ จารุพงษ์ บรรเทา จิต ติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร วรณา หอมจะบก อมรศักดิ์ มาใหญ่ สมบัติ น้อยมิ่ง. การศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลา ที่ส่งผลต่อการชุบแข็งมิดได้ในกระบวนการแพ็คคาร์โบไรซิง โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมคาร์บอเนต. *การประชุม วิชาการการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ครั้งที่ 16*. เชียงใหม่, ประเทศไทย 7-8 กุมภาพันธ์ 2562: 201-207
- [10] พิรวัตร ลือสัก กำพล จินตอมรชัย. การศึกษาการหา ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับแผ่นอัดจากเศษวัสดุ ธรรมชาติ. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.* 2561; 11(1): 29-41.
- [11] ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ วรณา หอมจะบก. *การชุบแข็งมิดทาง การเกษตรโดยวิธีการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวด้วยถ่านไม้สำหรับ ชุมชนตีมิดในจังหวัดนครราชสีมา*. รายงานโครงการวิจัย 2555.
- [12] Avner AH. *Introduction to Physical Metallurgy*. 2nd Edition. McGraw-Hill, Inc. Singapore. 1974: 246
- [13] Smith WF. *Principle of Materials Science and Engineering*. 3rd Edition. McGraw-Hill, Inc. USA. 1996
- [14] Yahya Y, Nukman N, Chandra H. The carburizing process of low carbon steel with charcoal media. *Journal of Mechanical. Science and Engineering*. 2013;1(1): 1-6