บทความวิจัย

ปัจจัยที่เหมาะสมระหว่างอุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนในการชุบแข็งมีดโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงโดยใช้เปลือกหอยขมเป็นสารเร่งปฏิกิริยา

สมบัติ น้อยมิ่ง* และ วรรณา หอมจะบก
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และ อมรศักดิ์ มาใหญ่
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 1265 4795 อีเมล: sombut.no@rmuti.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.02.003
รับเมื่อ 21 กรกฎาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 20 กันยายน 2563 ตอบรับเมื่อ 30 กันยายน 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 9 กุมภาพันธ์ 2565
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิ และเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของมีดโต้ที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงโดยใช้เปลือกหอยขมเป็นสารเร่งปฏิกิริยา สมบัติเชิงกลของมีดโต้ประกอบด้วย ค่าความแข็ง และความต้านทานแรงกระแทก สมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดลองจะนำมาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากมีดโต้ที่ตีขึ้นรูปและชุบแข็งจากชุมชนตีมีด โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ย 607.0 HV ค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ย 14.0 จูล การทดลองชุบแข็งมีดโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตีขึ้นรูปให้มีขนาดและรูปทรงเช่นเดียวกับมีดโต้ของชุมชน สารเพิ่มคาร์บอนประกอบด้วยผงถ่านไม้ยูคาลิปตัสสัดส่วน 80% ผสมกับผงเปลือกหอยขมสัดส่วน 20% โดยน้ำหนัก การทดลองอบชุบทางความร้อนใช้หลักการออกแบบการทดลอง (DOE) และวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมตามหลักการทางสถิติ ปัจจัยในการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย โดยปัจจัยแรก คือ อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนมีอยู่ 3 ระดับ ได้แก่ 960, 980 และ 1,000 องศาเซลเซียส ปัจจัยที่สอง คือ เวลาอบเพิ่มคาร์บอนมีอยู่ 3 ระดับ ได้แก่ 60, 90 และ 120 นาที การทดลองอบเพิ่มคาร์บอนทำตามระดับปัจจัยที่กำหนด จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปทำการชุบแข็งด้วยอุณหภูมิออสเทนไนต์ 780 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแช่ 15 นาที จุ่มชุบในน้ำแล้วนำไปทำเทมเพอร์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน คือ 1,000 องศาเซลเซียส เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน คือ 96.1 นาที โดยได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 606.9 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ย 24.8 จูล ผลของการชุบแข็งเพื่อยืนยันผลโดยใช้อุณหภูมิและเวลาอบเพิ่มคาร์บอนที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสม ได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 610.2 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ย 21.6 จูล ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในขอบเขตของสมบัติเชิงกลของมีดที่ตีและชุบแข็งจากชุมชนตีมีด

คำสำคัญ: กระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน เวลาอบเพิ่มคาร์บอน มีดโต้ เปลือกหอยขม

การอ้างอิงบทความ: สมบัติ น้อยมิ่ง, วรรณา หอมจะบก, ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และ อมรศักดิ์ มาใหญ่, "ปัจจัยที่เหมาะสมระหว่างอุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนในการชุบแข็งมีดโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงโดยใช้เปลือกหอยขมเป็นสารเร่งปฏิกิริยา," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 32, ฉบับที่ 3, หน้า 659–672, ก.ค.–ก.ย. 2565.

Research Article

Optimum Factors between Carburizing Temperature and Time in Hardening Big Knife Blades by Pack Carburizing Process Using Periwinkle Shells as an Energizer

Sombut Noyming* and Wanna Homjabok
Department Material Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand

Narongsak Thammachot and Amornsak Mayai
Department Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 1265 4795, E–mail: sombut.no@rmuti.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.02.003
Received 21 July 2020; Revised 20 September 2020; Accepted 30 September 2020; Published online: 9 February 2022
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The objective of this research was to study the optimum factors between carburizing temperature and time affecting the mechanical properties of hardened big knives hardened by carburizing process using periwinkle shells as an energizer. The mechanical properties which consisted of hardness and impact values were studied. These properties from the experiment were used for comparison with the mechanical property values delivered from the knife forging community, whereby the average hardness value was 607.0 HV and the average impact value was 14.0 Joules. The experiment was conducted by forging big knives from low carbon steel with the similar shape and size as those fabricated by the knife-forging community. The pack carburizing compound consisted of 80% eucalyptus wood charcoal powder as carburizer and 20% periwinkle shells powder by weight as energizer. The principle of design of experiment (DOE) was used to design the experiment and the optimization was statistically analyzed. The two optimized factors in this study consisted of carburizing temperature and carburizing time. The carburizing temperature consisted of three levels i.e. 960, 980 and 1,000 degree Celsius. The carburizing time consisted of three levels i.e. 60, 90 and 120 minutes. The experimental steps were as follows; the knives were carburized then austenitized at 780 degrees Celsius for 15 minutes and quenched in water. After that, the knives were tempered at 180 degree Celsius for 60 minutes. The analyzed results showed that the optimum carburizing temperature was 1,000 degrees Celsius and the optimum carburizing time was 96.1 minutes. The two factors provided the average hardness of 606.9 HV and the average impact value of 24.8 Joules. The optimum values of carburizing temperature and time were verified. The verification results revealed average hardness of 610.2 HV and the average impact value of 21.6 Joules, which coincided with the scope of the mechanical properties of forged and hardened knives from the fabricated community.

Keywords: Pack Carburizing Process, Carburizing Temperature, Carburizing Time, Big Knife, Periwinkle Shells

Please cite this article as: S. Noyming, W. Homjabok, N. Thammachot, and A. Mayai, "Optimum factors between carburizing temperature and time in hardening big knife blades by pack carburizing process using periwinkle shells as an energizer," *The Journal of KMUTNB*, vol. 32, no. 3, pp. 659–672, Jul.–Sep. 2022 (in Thai).

1. บทนำ

อุปกรณ์ทางการเกษตรในครัวเรือน ที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างเอนกประสงค์ นั่นคือ มีดทางการเกษตร เช่น มีดตะขอ และมีดโต้ มีดทางการเกษตรอยู่คู่กับเกษตรกรไทยมาอย่างยาวนาน จากการศึกษาข้อมูลวิสาหกิจชุมชนกลุ่มตีมีดบ้านมะค่า จังหวัดนครราชสีมา พบว่า วัสดุที่นำมาใช้ตีขึ้นรูปมีดทางการเกษตร ได้แก่ เหล็กใบเลื่อย และเหล็กแหนบรถยนต์ เนื่องจากเหล็กทั้งสองชนิดนี้มีปริมาณคาร์บอนสูง สามารถทำการชุบแข็งได้ จากการศึกษาข้อมูลของชุมชนตีมีดพบว่าในกระบวนการตีขึ้นรูปมีดทางการเกษตรนั้น หากสามารถประยุกต์ใช้วัสดุที่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมาแทนเหล็กที่ใช้ทำอุปกรณ์ทางการเกษตรในปัจจุบัน โดยการปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำให้มีคุณสมบัติทางด้านความแข็งที่ผิวเพิ่มขึ้น และคงคุณสมบัติทางด้านความเหนียวไว้ โดยใช้กรรมวิธีการให้ความร้อนช่วยในการแพร่คาร์บอนเข้าไปภายในผิวของเหล็ก โดยสารที่ให้คาร์บอนที่นำมาใช้ในกระบวนการ คือ ถ่านโค้ก หรือถ่านไม้ที่บดเป็นผงนำมาผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาสำหรับช่วยให้เกิดการแตกตัวของคาร์บอน เมื่อสารเร่งปฏิกิริยาถูกความร้อนจะเกิดการแตกตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์รวมตัวเข้ากับคาร์บอนที่ได้จากผงถ่านทำให้ได้แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ [1] เมื่อแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์สัมผัสกับผิวเหล็กทำให้เกิดการแตกตัวของอะตอมของคาร์บอนแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กทำให้ปริมาณคาร์บอนที่ผิวของเหล็กเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาการแตกตัวของคาร์บอนนั้นจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องภายในระบบปิดดังสมการที่ (1)

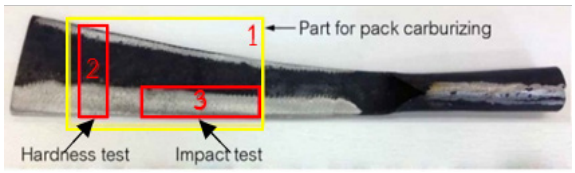
$$3Fe + 2CO \rightarrow 3Fe - C_{(\text{สารละลายในออสเทนไนต์})} + CO_2 \quad (1)$$

จากการศึกษางานวิจัยของ พิชญา และคณะ [2] พบว่าถ่านไม้โกงกางมีประสิทธิภาพในการเพิ่มคาร์บอน ในส่วนของสารเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยให้เกิดการแตกตัวของคาร์บอนนั้น พบว่ามีทั้งสารเร่งปฏิกิริยาแบบสังเคราะห์ และสารเร่งปฏิกิริยาแบบธรรมชาติที่สามารถนำมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาได้ ซึ่งสารเร่งปฏิกิริยาแบบธรรมชาติที่นำมาใช้นั้นต้องอยู่ในกลุ่มของสารอินทรีย์ที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นหากมีการนำวัสดุที่เหลือใช้จากธรรมชาติที่มีส่วนประกอบของสารแคลเซียมคาร์บอเนตมาใช้แทนสารเร่งปฏิกิริยาทางการค้าจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายได้ ในพื้นที่ของจังหวัดนครราชสีมาเป็นพื้นที่ใช้หอยขมในการประกอบอาหาร โดยเปลือกหอยขมเมื่อทานแล้วจะถูกนำไปทิ้ง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเปลือกหอยขมมาเพิ่มมูลค่าโดยการนำมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง ซึ่งจากงานวิจัยของ Oyawoye [3] พบว่า เปลือกหอยขมมีสารแคลเซียมคาร์บอเนต และจากการศึกษางานวิจัยของ Setiamarga [4] พบว่า เปลือกหอยมีประสิทธิภาพเป็นสารเร่งปฏิกิริยาให้ค่าความลึกผิวแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำโดยใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อให้งานวิจัยดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นจึงได้นำหลักการทางสถิติเข้ามาวิเคราะห์โดยนำหลักการออกแบบการทดลองมาวิเคราะห์ สามารถทำให้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ แล้วยังทำให้ทราบถึงระดับของปัจจัยในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) การวางแผนการทดลอง โดยใช้การออกแบบการทดลอง [5] เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเหมาะสมและสามารถนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้อย่างมีเหตุมีผล ซึ่งในการวิเคราะห์หาอิทธิพลของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล เป็นการศึกษาระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลคำตอบอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยการหาความสัมพันธ์ของปัจจัย ในค่าระดับของปัจจัยที่ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของผลคำตอบที่เป็นไปตามที่ต้องการ สุภัทรวิทย์ และคณะ [6] การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาจากผงหินปูนสำหรับการชุบแข็งมีดตัดอ้อย ทำให้ค่าความแข็งใกล้เคียงกับมีดตัดอ้อยตามท้องตลาด จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นพบว่า การออกแบบการทดลองนั้นทำให้ผู้วิจัยสามารถหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม และความสัมพันธ์ของปัจจัยได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาของการอบเพิ่มคาร์บอนที่มีผลต่อ

รูปที่ 1 ลักษณะมีดโต้จากชุมชนตีมีด



รูปที่ 2 มีดโต้ที่ตีขึ้นรูปจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและตำแหน่งที่ใช้ทำชิ้นทดสอบ

สมบัติเชิงกลของมีดโต้ ที่ผ่านการชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงจากถ่านไม้ยูคาลิปตัส ผสมกับเปลือกหอยขมที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นทางเลือกในการนำวัสดุที่หาซื้อได้ง่ายมาตีขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

- เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำไม่เกิน 0.2% (wt)
- เปลือกหอยขม
- ถ่านไม้ยูคาลิปตัส
- มีดโต้ชุมชนที่ผ่านการตีขึ้นรูปและชุบแข็ง แสดงดังรูปที่ 1

2.2 อุปกรณ์

- เตาอบชุบด้วยความร้อนขดลวดความต้านทาน ยี่ห้อ Modutemp รุ่น WW51A
- เครื่องทดสอบแรงกระแทก ยี่ห้อ Leeds รุ่น LS102DE
- เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอรส์ ยี่ห้อ Matsuzawa รุ่น MHT2
- กล้องจุลทรรศน์แบบแสง ยี่ห้อ Olympus รุ่น BX60M
- เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ ยี่ห้อ Metkon รุ่น Q-3A
- เครื่องตรวจสอบปริมาณธาตุ ยี่ห้อ Spectrometer รุ่น MAX x LMF 05

2.3 วิธีการวิจัย

2.3.1 การเตรียมมีดโต้

มีดโต้ที่ใช้สำหรับการชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง เป็นการเตรียมโดยนำเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่มีลักษณะแบนมาตีขึ้นรูปให้มีลักษณะรูปร่างและขนาดเหมือนกับมีดโต้ชุมชน ดังแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นนำมีดโต้ที่ผ่านการตีขึ้นรูปทำการทดลองชุบแข็งด้วยกระบวนแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยตัดเฉพาะส่วนที่เป็นตัวมีดโต้บริเวณที่ถูกใช้งานมาทำการทดลอง คือ ส่วนที่ 1 ภายหลังการอบชุบแล้ว ในส่วนของการทดสอบความแข็งจะตัดจากส่วนที่ 2 มาทำการทดลอง ส่วนการทดสอบการรับแรงกระแทกจะตัดจากส่วนที่ 3 มาทำการทดลอง

2.3.2 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ใช้ในการตีขึ้นรูปมีดโต้ จะถูกนำมาทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์เพื่อให้ทราบปริมาณคาร์บอนและธาตุผสมอื่นๆ ในเนื้อเหล็ก

2.3.3 การเตรียมสารแพ็กคาร์เบอไรซิง

สารแพ็กคาร์เบอไรซิงที่ใช้ทำการทดลองประกอบไปด้วยสารเพิ่มคาร์บอนจะใช้ผงถ่านไม้ยูคาลิปตัส ส่วนสารเร่งปฏิกิริยาใช้ผงเปลือกหอยขม ในการเตรียมสารแพ็กคาร์เบอไรซิงทำโดยการนำก้อนถ่านไม้ยูคาลิปตัสดังรูปที่ 3 (ก) มาบดให้ละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 5.0 มิลลิเมตร โดยผงถ่านที่ร่อนแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3 (ข) ส่วนสารเร่งปฏิกิริยาเตรียมโดยนำเปลือกหอยขมมาทำความสะอาดและตากแดดให้แห้ง ดังรูปที่ 3 (ค) จากนั้นนำมาบดให้เป็นผงแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาดรู 2.0 มิลลิเมตร ผงของเปลือกหอยขมที่ผ่านการร่อนแล้วดังแสดงในรูปที่ 3 (ง) ภายหลังจากการเตรียมสารเร่งปฏิกิริยาเสร็จแล้วจึงนำผงถ่านและผงเปลือกหอยขมมาผสมให้เข้ากันในสัดส่วนผงถ่านไม้ 80 เปอร์เซ็นต์ และผงเปลือกหอยขม 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักจากงานวิจัยของศักดิ์สิทธิ์ และคณะ [7]

(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 3 (ก) ถ่านไม้ยูคาลิปตัส (ข) ผงถ่านไม้ยูคาลิปตัส (ค) เปลือกหอยขม (ง) ผงเปลือกหอยขม

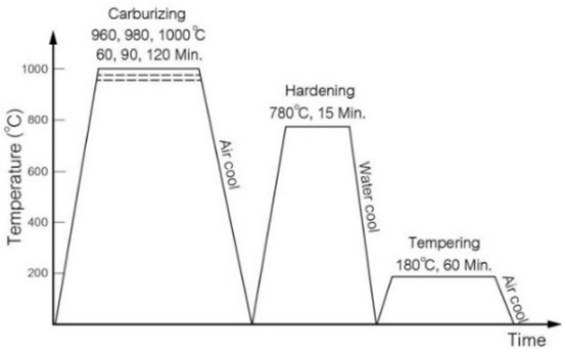
(ก) (ข)

รูปที่ 4 (ก) บรรจุชิ้นทดสอบมีดลงในกล่องพร้อมสารเพิ่มคาร์บอน (ข) การปิดทับฝากล่อง

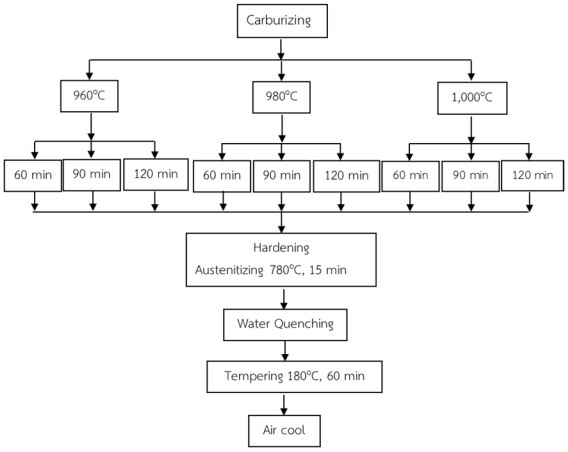
2.3.4 การแพ็กคาร์เบอไรซิงและการชุบแข็ง

มีดโต้ที่ถูกตีขึ้นรูปจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตามขนาดและรูปร่างของมีดโต้ทางชุมชน ถูกนำมาตัดตามข้อกำหนดในรูปที่ 4 จากนั้นทำการบรรจุสารแพ็กคาร์เบอไรซิงที่ผสมเข้ากันเสร็จแล้วลงในกล่องบรรจุ แล้วนำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ใส่เข้าไปในกล่องบรรจุ ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) แล้วเติมสารแพ็กคาร์เบอไรซิงให้เต็ม จากนั้นปิดด้วยฝาเหล็กแล้วใช้ดินเหนียวปิดทับเพื่อป้องกันการรั่วซึมของแก๊ส ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข)

ลำดับการทดลองของกระบวนการให้ความร้อนและการเย็นตัว ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 โดยขั้นตอนแรก



รูปที่ 5 ลำดับขั้นตอนการให้ความร้อน เวลา และการเย็นตัว



รูปที่ 6 ลำดับขั้นตอนการทำคาร์เบอไรซิงและการชุบแข็ง

คือ กระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง หรือการอบเพิ่มคาร์บอนโดยแบ่งชิ้นทดสอบออกเป็นชุดๆ เพื่อทำการอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน โดยใช้อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน 960, 980 และ 1,000 องศาเซลเซียส และเวลาอบเพิ่มคาร์บอน 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ แล้วตามด้วยการนำออกมาให้เย็นตัวในอากาศ จากนั้นนำชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงมาทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิออสเทนไนต์ 780 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที แล้วนำออกมาจุ่มชุบในน้ำทันที สุดท้ายนำชิ้นทดสอบมาอบเทมเพอร์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

2.3.5 การออกแบบการทดลอง

เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางกลของมีดที่ชุบแข็ง

ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยให้มีความสอดคล้องตามหลักการทางสถิติ จึงนำหลักการออกแบบการทดลองในรูปแบบของ Full Factorial Design มาใช้ โดยกำหนดให้ค่าความแข็งเป็นผลคำตอบของการทดลอง เพราะความแข็งเป็นผลที่นำมาพิจารณาคุณภาพของมีดโต้ภายหลังการชุบแข็ง ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการศึกษามีอยู่ 2 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 1 ประกอบไปด้วย ปัจจัยแรก คือ อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน และปัจจัยที่สอง คือ เวลาอบเพิ่มคาร์บอน

ตารางที่ 1 ปัจจัยศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิและเวลา

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

จากปัจจัยในการทดลองที่มีอยู่ 2 ปัจจัย ในแต่ละปัจจัยมีอยู่ 3 ระดับ ซึ่งใช้การออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design ได้จำนวนครั้งในการทดลองเท่ากับ 9 ครั้ง เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของข้อมูลในทุกปัจจัยของการทดลองจึงมีการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง โดยทำให้มีผลการทดลองทั้งหมด 45 การทดลอง โดยการทดลองจะใช้การจัดลำดับแบบสุ่ม เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลำดับการรันแบบสุ่ม

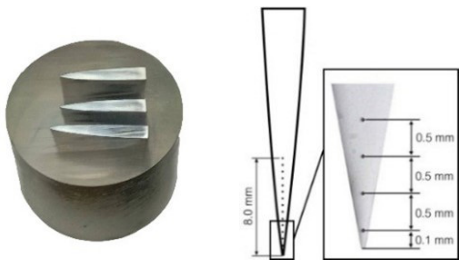
Run Order	Std Order	Temperature (°C)	Time (min)
1	40	980	60
2	16	1000	60
3	37	960	60
4	3	960	120
5	42	980	120
6	43	1000	60
7	45	1000	120
8	7	1000	60
9	34	1000	60
10	12	960	120
11	27	1000	120
12	44	1000	90

ตารางที่ 2 ลำดับการรันแบบสุ่ม (ต่อ)

Run Order	Std Order	Temperature (°C)	Time (min)
13	18	1000	120
14	22	980	60
15	17	1000	90
16	33	980	120
17	26	1000	90
18	23	980	90
19	14	980	90
20	38	960	90
21	20	960	90
22	24	980	120
23	36	1000	120
24	4	980	60
25	41	980	90
25	35	1000	90
27	6	980	120
28	30	960	120
29	39	960	120
30	1	960	60
31	5	980	90
32	2	960	90
33	15	980	120
34	13	980	60
35	9	1000	120
36	28	960	60
37	19	960	60
38	10	960	60
39	21	960	120
40	32	980	90
41	29	960	90
42	31	980	60
43	8	1000	90
44	11	960	90
45	25	1000	60

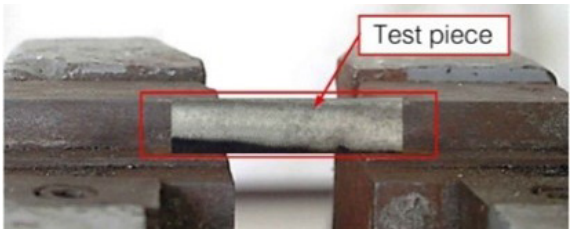
2.3.6 การทดสอบความแข็ง

ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าความแข็งเฉลี่ยของมีดที่ผลิต และจำหน่ายของทางชุมชนเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบกับมีดทดสอบที่ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตีเป็นรูปมีด จากนั้นนำมาเพิ่มคาร์บอนด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง และทำการชุบแข็ง โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส



(ก) (ข)

รูปที่ 7 (ก) ชิ้นทดสอบที่ตรึงด้วยเรซิน (ข) ตำแหน่งทดสอบความแข็งบริเวณคมมีด



รูปที่ 8 ตำแหน่งการวางชิ้นทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

เนื่องจากขนาดของชิ้นทดสอบมีขนาดเล็ก จึงต้องมีการตรึงชิ้นทดสอบด้วยเรซิน ดังแสดงในรูปที่ 7 (ก) ตำแหน่งที่ทำการทดสอบความแข็งแสดงดังรูปที่ 7 (ข) โดยตำแหน่งแรกเริ่มต้นที่ระยะ 0.1 มิลลิเมตร จากคมมีด จากนั้นแต่ละตำแหน่งจะห่างกัน 0.5 มิลลิเมตร จนถึงระยะ 8.0 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการชุบแข็งเพื่อการใช้งาน

2.3.7 การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

ชิ้นทดสอบแรงกระแทกขนาด 20 × 70 มิลลิเมตร จะถูกนำมาวางในลักษณะตั้ง โดยหันด้านข้างของชิ้นทดสอบเข้าหาจุดกระทบของลูกตุ้ม ดังแสดงในรูปที่ 8 เนื่องจากสภาวะในการแตกหักของมีดนั้นมักเกิดจากแรงในการดัดทางด้านข้างมีด เมื่อทดสอบแรงกระแทกแล้วทำการบันทึกผล

3. ผลการทดลอง

3.1 ส่วนผสมทางเคมี

ผลของการตรวจสอบหาปริมาณส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ก่อนนำไปผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยปริมาณส่วนผสมทางเคมีแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในเนื้อเหล็กมีปริมาณ 0.146 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณคาร์บอนในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (0.04–0.15%C) [8]

ตารางที่ 3 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่นำมาตีขึ้นรูปมีดโต้

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**

3.2 ความแข็ง

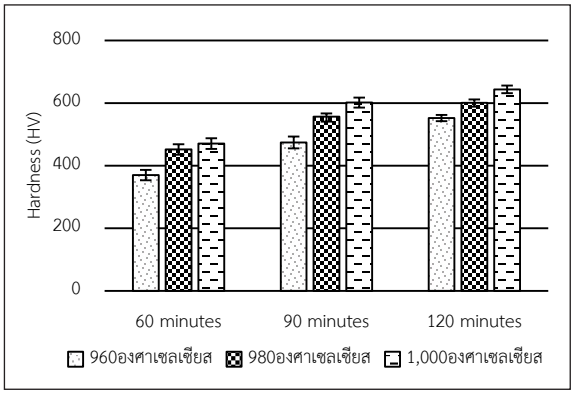
ค่าความแข็งเฉลี่ยของมีดโต้ที่ตีขึ้นรูปและชุบแข็งจากชุมชนตีมีดถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ การทดสอบความแข็งใช้มีดจำนวน 5 เล่ม ผลของค่าความแข็งแสดงในตารางที่ 4 จากข้อมูลพบว่า มีดโต้ของชุมชนมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 607.0 HV โดยมีช่วงระดับความเชื่อมั่นค่าควบคุมสูงสุดอยู่ที่ 625.3 HV และค่าควบคุมต่ำสุดอยู่ที่ 588.7 HV ค่าความแข็งดังกล่าวนี้ จะถูกนำไปใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบค่าความแข็งของชิ้นทดสอบ จากข้อมูลในตารางที่ 5 และรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิ และเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนี้ เพราะอุณหภูมิและเวลาเป็นปัจจัยที่สำคัญในการแพร่ของอะตอมคาร์บอนเข้าไปในเนื้อเหล็ก

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งของมีดโต้ที่ตีและชุบแข็งของชุมชนตีมีด

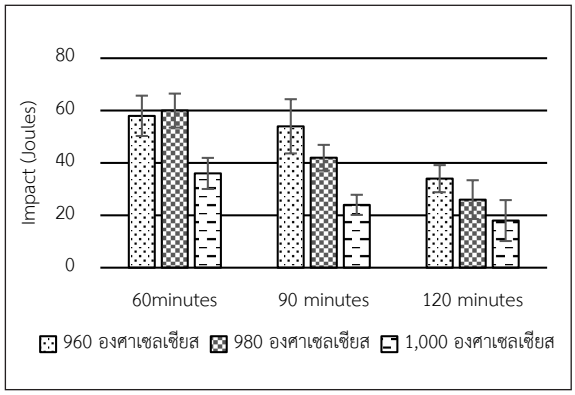
Position	Number	Average	sd	LCL	UCL
0.1	5	680.2	20.0	661.8	698.5
0.5	5	675.4	13.1	657.0	698.7
1.0	5	670.6	13.1	652.2	688.9
1.5	5	647.8	12.0	629.4	666.1
2.0	5	661.8	23.0	643.5	680.1
2.5	5	652.4	19.2	634.0	670.7
3.0	5	639.4	21.5	621.0	657.7
3.5	5	639.8	29.9	621.5	658.1

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งของมีดโต้ที่ตีและชุบแข็งของชุมชนตีมีด (ต่อ)

Position	Number	Average	sd	LCL	UCL
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**



รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบความแข็งของแต่ละสภาวะการทดลอง



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงกระแทกของแต่ละสภาวะการทดลอง

3.3 ความต้านทานแรงกระแทก

ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงกระแทกของมีดโต้ของชุมชน แสดงในตารางที่ 6 ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ยอยู่ที่ 14.0 จูล ส่วนชิ้นทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง ผลของค่าความต้านทานแรงกระแทกแสดงดังตารางที่ 7 โดยค่าความต้านทานแรงกระแทกนั้นจะแตกต่างจากค่าความแข็ง นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกนั้นลดลง ดังรูปที่ 10 ที่เป็นเช่นนี้เพราะชิ้นทดสอบมีความแข็งเพิ่มขึ้น จะทำให้เหล็กเปราะจึงรับแรงกระแทกได้น้อยลง

ตารางที่ 5 ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบมีดที่ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำแล้วชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง

Temperature (°C)	Time (Min)	Hardness Values (HV)						
		No.					Average	sd
		1	2	3	4	5		
960	60	376.0	350.5	402.2	378.8	343.2	370.1	23.7
	90	486.4	492.4	453.5	474.7	463.8	474.2	15.9
	120	578.4	548.0	539.5	539.0	556.2	552.2	16.3
980	60	432.1	461.4	468.3	442.1	456.6	452.1	14.8
	90	558.5	587.4	540.4	535.1	562.2	556.7	20.7
	120	613.4	596.8	618.5	603.7	571.5	600.8	18.4
1,000	60	462.8	478.2	470.3	469.4	472.1	470.6	5.6
	90	614.1	622.8	612.6	592.5	566.3	601.6	22.7
	120	602.4	656.7	641.1	683.6	635.4	643.8	29.8

ตารางที่ 6 ค่าความต้านทานแรงกระแทกของมีดโต้ที่ตีและชุบแข็งของชุมชน

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

3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

3.4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

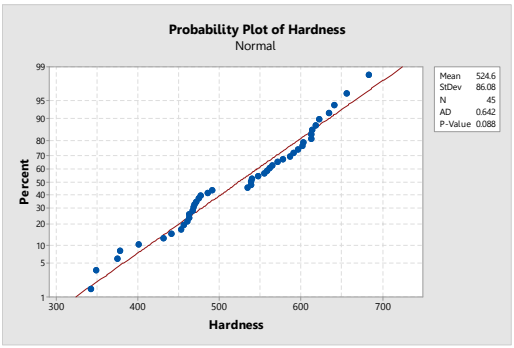
การวิเคราะห์ทางสถิติทางผู้วิจัยใช้โปรแกรม Minitab 17 ในการวิเคราะห์ ก่อนการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลของผลการทดสอบค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทก รวมถึงการตรวจสอบสมมติฐานด้วยหลักทางสถิติ และตรวจสอบค่าความแปรปรวน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การทดสอบ Test for Normality ของค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทกของมีดโต้ที่ใช้ในการทดลอง โดยตั้งสมมติฐาน คือ

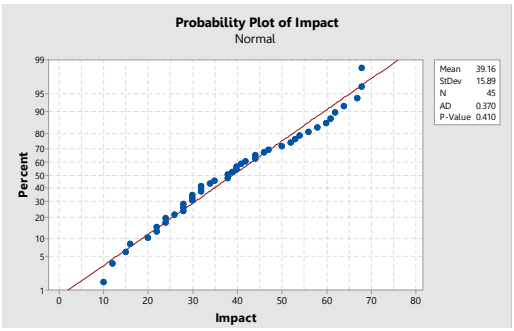
H_0 : เศษตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : เศษตกค้างไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

จากการทดสอบด้วย Anderson-darling Test ของค่าความแข็ง ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่ามีค่า *p*-value เท่ากับ 0.088 ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงกระแทก ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งมีค่า *p*-value เท่ากับ 0.410 จะเห็นได้ว่า ค่า *p*-value ของสมบัติเชิงกลทั้งสองมีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงถึงเศษตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ



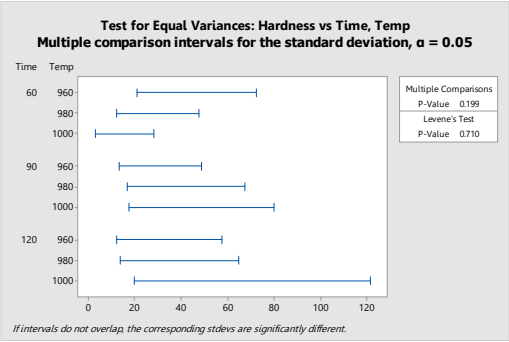
รูปที่ 11 Probability Plot ของค่าความแข็ง



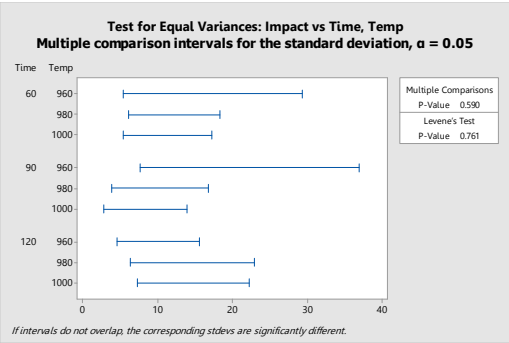
รูปที่ 12 Probability Plot ค่าความต้านทานแรงกระแทก

ตารางที่ 7 ค่าความต้านทานแรงกระแทกที่ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง

Temperature (°C)	Time (Min)	Impact Values (Joules)						
		No.					Average	sd
		1	2	3	4	5		
960	60	61	56	67	46	58	58	7.70
	90	60	47	68	52	42	54	10.35
	120	28	38	30	40	32	34	5.18
980	60	64	53	62	68	54	60	6.50
	90	40	38	44	50	39	42	4.92
	120	32	22	16	28	34	26	7.40
1,000	60	41	44	32	30	35	36	5.94
	90	24	30	20	22	26	24	3.85
	120	28	12	24	15	10	18	7.82



รูปที่ 13 ทดสอบ Homogeneity of Variance ของค่าความแข็ง



รูปที่ 14 การทดสอบ Homogeneity of Variance ของค่าความต้านทานแรงกระแทก

สำหรับการทดสอบ Homogeneity of Variance ของค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทกที่ใช้ในการทดลอง ตั้งสมมติฐานไว้ คือ

H_0 : ความแปรปรวนของเศษตกค้างทุกกลุ่มเท่ากัน

H_1 : ความแปรปรวนของเศษตกค้างแตกต่างกันอย่างน้อย 2 กลุ่ม

จากผลของค่า Multiple Comparisons ของค่าความแข็งแสดงดังรูปที่ 13 พบว่า ได้ค่าของ *p*-value เท่ากับ 0.199 ค่าความต้านทานแรงกระแทก แสดงดังในรูปที่ 14 ได้ค่าของ *p*-value เท่ากับ 0.590 ในขณะเดียวกันค่า Levene's Test ของค่าความแข็งได้ค่า *p*-value เท่ากับ 0.710 ส่วนค่าความต้านทานแรงกระแทกได้ค่า *p*-value เท่ากับ 0.761 ซึ่งทุกค่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงว่าเศษตกค้างมีความแปรปรวนที่เท่ากัน

Runs Test: Hardness

```
Runs test for Hardness

Runs above and below K = 524.622

The observed number of runs = 23
The expected number of runs = 23.2222
25 observations above K, 20 below
P-value = 0.946
```

(ก)

Runs Test: Impact

```
Runs test for Impact

Runs above and below K = 39.1556

The observed number of runs = 25
The expected number of runs = 23.4
21 observations above K, 24 below
P-value = 0.628
```

(ข)

รูปที่ 15 (ก) การทดสอบ Independence ค่าความแข็ง (ข) การทดสอบ Independence ค่าความต้านทานแรงกระแทก

การทดสอบ Test for Independence ของค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทกของมีดโต้ที่ใช้ในการทดลอง แสดงผลดังรูปที่ 15 โดยตั้งสมมติฐาน คือ

H_0 : เศษตกค้างเป็นอิสระกัน

H_1 : เศษตกค้างไม่ได้เป็นอิสระกัน

จากผลการทดสอบพบว่า ค่าความแข็งมีค่า *p*-value เท่ากับ 0.946 และค่าความต้านทานแรงกระแทกมีค่า *p*-value เท่ากับ 0.628 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงว่าเศษตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบข้อสมมติฐาน ทั้ง 3 ส่วน คือ Test for Normality, Test for Homogeneity of Variance และ Test for Independence ค่า *p*-value มีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน

3.4.2 การหาอิทธิพลของปัจจัย

การวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยของอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน เวลาอบเพิ่มคาร์บอน และปัจจัยร่วมนั้นมีผล

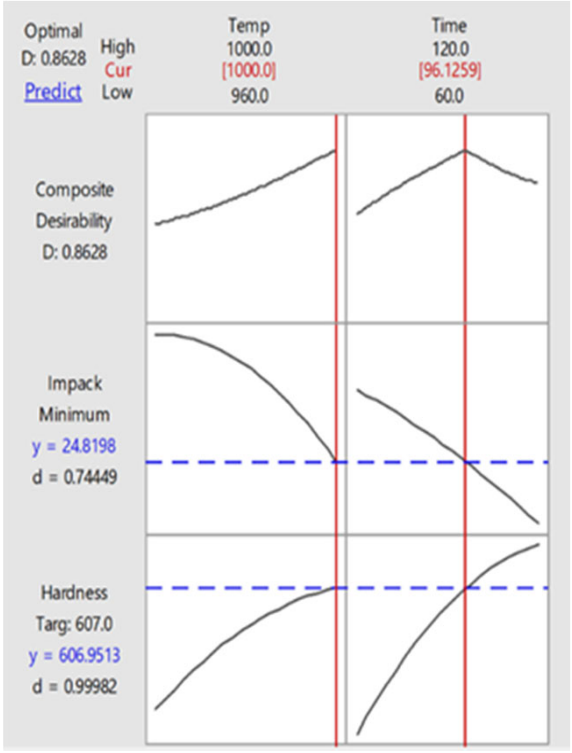
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ Variance ค่าความแข็ง

General Factorial Regression: Hardness Versus Tempurature, 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	6	310619	51770	127.75	0.000
Linear	3	305702	101901	251.45	0.000
Temp	1	85120	85120	210.04	0.000
Time	2	220582	110291	272.16	0.000
2-Way interaction	2	1725	863	2.13	0.133
Temp*Time	2	1725	863	2.13	0.133
Error	38	15399	405		
Total	44	326019			
Model summary					
S		R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	
20.1308		95.28%	94.53%	93.33%	

ต่อค่าความแข็งเฉลี่ยของมีดโต้ที่นำมาทำการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ โดยตารางที่ 8 แสดงรายละเอียดของปัจจัยร่วมมีค่า *p*-value น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ทุกปัจจัย ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมดังกล่าวนั้นมีผลต่อค่าความแข็งเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ และจากผลการทดลองได้ค่าของ R-sq เท่ากับ 95.28% ขณะที่ค่า R-sq (adj) มีค่าเท่ากับ 94.53% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของ R-sq โดยจำนวนเพียงพอที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสม

3.4.3 ปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าความแข็ง

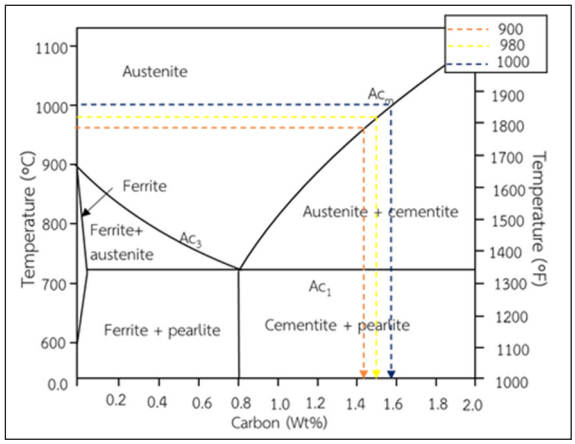
จากรูปกราฟ Optimal ที่แสดงในรูปที่ 16 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน คือ 1,000 องศาเซลเซียส เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน คือ 96.1 นาที โดยได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 606.9 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ยต่ำสุด 24.8 จูล จากผลของปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้ ผู้วิจัยจึงได้นำระดับปัจจัยของทั้งสองเงื่อนไขดังกล่าวมาทำการทดลองเพื่อยืนยันผลจำนวน 5 การทดลอง โดยเงื่อนไขที่ใช้ คือ อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน 1,000 องศาเซลเซียส และเวลาอบเพิ่มคาร์บอน 96.1 นาที



รูปที่ 16 Optimization Plot ของอิทธิพลของปัจจัยต่าง

3.5 การทดลองเพื่อยืนยันผล

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากค่าทางสถิติ จึงทำการทดลองชุบแข็งมีดโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง ตามสภาวะของอุณหภูมิและเวลาอบเพิ่มคาร์บอนที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมของสารเร่งปฏิกิริยาเปลือกหอยขม โดยผลการทดสอบค่าความแข็งแสดงดังตารางที่ 9 และค่าความต้านทานแรงกระแทกแสดงดังตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 610.2 HV และความต้านทานแรงกระแทก 21.6 จูล โดยค่าความแข็งที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงควบคุมระหว่าง 588.7–625.3 HV



รูปที่ 17 แผนภาพส่วนหนึ่งของ Fe-Fe3C Diagram

ตารางที่ 9 ค่าความแข็งยืนยันผล

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

ตารางที่ 10 ค่าความต้านทานแรงกระแทกยืนยันผล

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

4. อภิปรายผลและสรุป

ผลการทดลองชุบแข็งมีดโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยการใช้สารเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยขม ในการทดลองใช้อุณหภูมิ 960, 980 และ 1,000 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้คาร์บอนสามารถละลายเข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากขึ้นเป็นไปตาม Fick's First Law [9] โดยหากพิจารณาจากรูปที่ 17 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความสามารถในการละลายของคาร์บอนในออสเทนไนต์จะสูงขึ้นตามเส้น A_{cm}

อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าความแข็งของมีดโต้ที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยการใช้สารเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยขม คือ เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะเวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คาร์บอนสามารถแพร่เข้าไปในผิวเหล็กได้มากขึ้นเป็นไปตามหลักการ [10] ที่ว่าการแพร่จะแปรผันตามความเข้มข้นของอะตอมและเวลาในการแพร่ ดังนั้นเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 60, 90 และ 120 นาที จึงทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นไปตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม มีดโต้มีค่าความแข็งที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลงซึ่งเป็นผลมาจากเวลา และอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของวรรณา และคณะ [11] และงานวิจัยวิจัยของสุภัทรวิทย์ และคณะ [6] ที่ว่าเวลา และอุณหภูมิการอบเพิ่มคาร์บอนที่สูงขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความแข็งที่ผิวของมีดเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความแข็งเพิ่มขึ้นทำให้ความเหนียวลดลงจึงทำให้ความสามารถการรับแรงกระแทกของมีดลดลงตามไปด้วย

การนำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง และหาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง สามารถนำไปใช้หาระดับของอุณหภูมิ และเวลาอบเพิ่มคาร์บอน ที่ทำให้ค่าความแข็งมีดโต้ที่ผ่านการชุบแข็งผิวด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงให้มีความใกล้เคียงกับค่าความแข็ง และค่าความต้านทานแรงกระแทกตามที่ต้องการได้ และจากผลของการทดลองยืนยันผลพบว่า ค่าความแข็งและค่า

ความต้านทานแรงกระแทกนั้นมีค่าอยู่ในขอบเขตของสมบัติเชิงกลของมีดโต้ของชุมชน

ผลการออกแบบการทดลองวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมในการชุบแข็งมีดโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงโดยใช้สมบัติเชิงกลของมีดโต้ที่ดีขึ้นรูปและชุบแข็งโดยชุมชนที่มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 607.0 HV โดยมีค่าควบคุมบนอยู่ที่ 625.3 HV และค่าควบคุมล่างอยู่ที่ 588.7 HV ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงกระแทกมีค่าอยู่ที่ 14.0 จูล เป็นค่าเปรียบเทียบกับมีดที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงโดยใช้สารเพิ่มคาร์บอนจากถ่านไม้ยูคาลิปตัสผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยขมพบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิ และเวลาที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ทำให้ได้เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน 96.1 นาที อุณหภูมิการอบเพิ่มคาร์บอน 1,000 องศาเซลเซียส โดยทั้งสองปัจจัยจะให้ค่าความแข็งอยู่ที่ 606.9 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทกอยู่ที่ 24.8 จูล และเมื่อนำปัจจัยที่เหมาะสมระหว่างเวลา และอุณหภูมิไปทำการทดลองเพื่อยืนยันผลโดยได้ค่าความแข็งอยู่ที่ 610.2 HV และความต้านทานแรงกระแทกอยู่ที่ 21.6 จูล

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สาขาวิศวกรรมวัสดุ และสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ในความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ ในการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] M. Sathirajinda, *Iron & Steel Heat Treatment Engineering*. Bangkok : The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King's Patronage, 1995 (in Thai).

[2] P. Pitsuwan, P. Suwan, Y. Sengty, and P. Kongsong, "Influence of catalyst on surface hardening of low carbon steel by pack carburizing with mangrove charcoal powder," *Journal of Industral Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University*, vol. 8, no. 2, pp.1–12, 2018 (in Thai).

[3] M. R. Oyawoye, O. R. Momoh, and Y. M. Sani, "Kinetic studies of thermal decomposition of periwinkle shell," *Nigerian Research Journals of Engineering and Environmental Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 702–708, 2019.

[4] B. H. Setiamarga and U. Rumendi. "Comparison of the effectiveness of pack carburization energizers for surface hardening of low carbon steel," in *Proceedings The 2nd AUN/SEED-Net Regional Conference on Materials Engineering: Material for Changing World.* Burapha University, Thailand, 2009, pp. 107–110.

[5] D C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons Inc, 2009.

[6] S. Srinork, N. Thammachot, J. Nithikarnjanatharn, R. Duekunthod, S. Noyming, C. Peeratatsuwan, and A. Mayai, "The optimization parameters in pack carburizing process by using lime stone powder as energizer for hardening the sugarcane cutting knife," in *Proceedings Industrial Engineering Network Conference Local Industrial Innovations for Global Community*, 2016, pp. 1205–1210 (in Thai) .

[7] S. Srisuk, N. Thammachot, J. Banthao, J. Nithikarnjanatharn, W. Homjabok, A. Mayai, and S. Noyming, "A study of the relation of temperature and time effected on the big knives hardening in pack carburizing process by using calcium carbonate," in *Proceedings Operations Research*, 2019, pp. 202–207 (in Thai).

[8] D. R. Askeland and P. P. Phule, *The Science and Engineering of Materials*. Brooks/Cole, Thomson Learning, Inc, 2003.

[9] H. S. Avner, *Introduction to Physical Metallurgy*, 2nd ed. Singapore: McGrall-Hill, Inc., 1974.

[10] W. F. Smith, *Principle of Materials Science and Engineering*, 3rd ed. McGrall-Hill, Inc. 1996.

[11] W. Homjabok, N. Thammachot and N. Thadee, "The comparison of catalyst between the egg shell and $CaCO_3$ in the pack carburizing process," *Research Journals Eastern Rajamangala University of Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 29–36, 2015 (in Thai).