ปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่มีต่อสมบัติเชิงกลของมีดโต้ที่ชุบแข็งในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงโดยใช้กระดูกวัวเป็นสารเร่งปฏิกิริยา

Optimization of Carburizing Temperature and Time on Mechanical Properties of Hardening the Big Knives in Pack Carburizing Process by Using Cow Bone as an Energizer

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ[1], สมบัติ น้อยมิ่ง[1*], ศักดิ์สิทธ์ ศรีสุข[2],
วรรณา หอมจะบก[1], อมรศักดิ์ มาใหญ่[1], จารุพงษ์ บรรเทา[1]
Narongsak Thammachot[1], Sombut Noyming[1*], Saksit Srisuk[2],
Wanna Homjabok[1], Amornsak Mayai[1], Jarupong Banthao[1]

Received: 25 July 2019 ; Revised: 20 August 2019 ; Accepted: 18 September 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของมีดโต้ที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงโดยใช้กระดูกวัวเป็นสารเร่งปฏิกิริยา สมบัติเชิงกลของมีดโต้ประกอบด้วยค่าความแข็งและความต้านทานแรงกระแทกที่นำมาเปรียบเทียบเป็นค่าที่ได้จากมีดโต้ที่ตีขึ้นรูปและชุบแข็งจากชุมชนตีมีด โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ย 607.0 HV ค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ย 14.0 Joules การทดลองชุบแข็งมีดโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตีขึ้นรูปให้มีรูปทรงเดียวกับมีดโต้ของชุมชน สารเพิ่มคาร์บอนประกอบด้วยผงถ่านไม้ยูคาลิปตัสสัดส่วน 80% ผสมกับผงกระดูกวัวสัดส่วน 20% โดยน้ำหนัก การวิเคราะห์ผลการทดลองอบชุบทางความร้อนใช้หลักการออกแบบการทดลอง (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 จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปทำการชุบแข็งด้วยอุณหภูมิออสเทไนท์ 780 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแช่ 15 นาทีจุ่มชุบในน้ำ แล้วนำไปทำเทมเพอร์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน คือ 1,000 องศาเซลเซียส เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน คือ 120 นาที โดยได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 604.0 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ยต่ำสุด 9.13 Joules ผลของการชุบแข็งเพื่อยืนยันผลโดยใช้อุณหภูมิและเวลาอบเพิ่มคาร์บอนที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสม ได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 605.2 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ย 17.6 Joules ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในขอบเขตของสมบัติเชิงกลของมีดที่ตีและชุบแข็งจากชุมชนตีมีด

คำสำคัญ: กระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน เวลาอบเพิ่มคาร์บอน มีดโต้ กระดูกวัว

Abstract

The objective this research is to study the optimization of the factors between carburizing temperature and time that effect the mechanical properties of the hardened big knives in pack carburizing process. The mechanical properties were hardness and impact values. These were used for comparison with the experimental values and delivered from

[1] หน่วยวิจัยโลหวิทยาและการอบชุบความร้อนโลหะ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000
[2] นักศึกษาปริญญาโท, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000
[1] Metallurgy and Heat Treatment of Metals Research Unit, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima, 30000
[2] Master degree student, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima, 30000
* Corresponding author ; Sombut Noyming, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand. *E-mail: sombut.no@rmuti.ac.th, 081-2654795

the big knives forged and hardened by knives forging community. The average hardness value was 607.0 HV and the average impact value was 14.0 Joules. The experiment was conducted by forging the big knives made from low carbon steel with the same shape as community big knives. The pack carburizing compound used eucalyptus wood charcoal powder as carburizer with the proportion of 80% and cow bone powder as energizer with the proportion of 20% by weight. The principle of Design of Experiment (DOE) was used to design the experimental and analyze the optimization by statistics. There were two factors in this study such as carburizing temperature and carburizing time. The carburizing temperature consists of three levels ; at 960, 980 and 1,000 °C, and also, the carburizing time consists of three levels such as 60, 90 and 120 minutes. After carburizing, the knives were then austenitized at 780 °C for 15 minutes and quenched in water. After quenched, the knives were tempered 180 °C for 60 minutes. The analyzed results showed that the optimization of the carburizing temperature was 1,000 °C and the optimization of the carburizing time was 120 minutes. Those of them gave the average hardness of 604.0 HV and the minimum average impact value of 9.13 Joules. The optimum values of carburizing temperature and time were used for verifies. The result of average hardness was 605.2 HV and the average impact value was 17.6 Joules, which coincided with the hardness of the community big knives.

Keywords: Pack carburizing process, Carburizing temperature, Carburizing time, Big knives, Cow bone

บทนำ

ประเทศไทยมีประชากรประกอบอาชีพเกษตรกรรมจำนวน 11.89 ล้านคน[1] โดยอาชีพเกษตรกรรมส่วนใหญ่ ได้แก่ การทำนาข้าว การทำสวน การทำไร่ และการเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น เครื่องมือประจำตัวของเกษตรกรที่ใช้ส่วนมาก ได้แก่ มีดทางการเกษตร ซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างเอนกประสงค์ มีดทางการเกษตรที่นำมาใช้งานเป็นมีดที่ผลิตขึ้นจากชุมชนตีมีด โดยการใช้เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เหล็กกล้าคาร์บอนสูง หรือเหล็กกล้าผสม เช่น เหล็กแหนบ มาทำการตีขึ้นรูปและชุบแข็งเพื่อใช้งาน จากการศึกษาข้อมูลวิสาหกิจชุมชนกลุ่มตีมีดบ้านมะค่า จังหวัดนครราชสีมา พบว่าเหล็กที่นำมาใช้ตีขึ้นรูปมีดโต้ ได้แก่ เหล็กใบเลื่อย และเหล็กแหนบของรถยนต์ ซึ่งปัจจุบันเหล็กทั้งสองชนิดนี้มีราคาสูง หาซื้อได้ยากขึ้น หากสามารถประยุกต์ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดและมีราคาที่ถูก นำมาชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง ซึ่งเป็นการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำให้มีความแข็งที่ผิวเพิ่มขึ้น วิธีการชุบแข็งแบบนี้ มีต้นทุนในการทำงานต่ำ สามารถใช้วัสดุเพิ่มคาร์บอนได้ง่าย หลักการของวิธีการนี้อาศัยการเพิ่มคาร์บอนเข้าไปที่บริเวณผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยคาร์บอนที่ได้มาจากถ่านโค้กหรือถ่านไม้ที่บดเป็นผง นำมาผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาเพื่อช่วยให้เกิดการแตกตัวของคาร์บอน[2,3] เมื่อสารเพิ่มคาร์บอนถูกความร้อนจะเกิดการแตกตัวให้แก๊ส CO_2 และเมื่อ CO_2 รวมตัวเข้ากับคาร์บอนที่ได้จากผงถ่านทำให้ได้แก๊ส CO เมื่อแก๊ส CO สัมผัสกับผิวเหล็กทำให้เกิดการแตกตัวของอะตอมของคาร์บอนแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กทำให้ปริมาณคาร์บอนที่ผิวของเหล็กเพิ่มขึ้นดังปฏิกิริยา

$$3Fe + 2CO \rightarrow 3Fe + C_{(\text{สารละลายใน } \gamma)} + CO_2$$

จากการศึกษางานวิจัยของณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และคณะ[4] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารเพิ่ม คาร์บอนจากถ่านไม้ชนิดต่างๆ ในการแพ็กคาร์เบอไร ซิง ได้แก่ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านกะลามะพร้าว ถ่าน ไม้มะขาม ถ่านไม้ไผ่ และถ่านเหง้ามันสำปะหลัง พบว่า ถ่านไม้ยูคาลิปตัสมีประสิทธิภาพในการเพิ่มคาร์บอนสูงที่สุด ในขณะเดียวกันงานวิจัยที่ศึกษาการใช้สารแพ็กคาร์เบอไรซิงโดยใช้สารเพิ่มคาร์บอนที่เป็นถ่านไม้เพียงอย่างเดียวกับสารแพ็กคาร์เบอไรซิงที่ผสมกันระหว่างสารเพิ่มคาร์บอนที่เป็นถ่านกับสารเร่งปฏิกิริยา[5] พบว่า การใช้สารเพิ่มคาร์บอนที่เป็นถ่านเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนแพร่เข้าสู่ผิวเหล็กได้น้อยกว่าการใช้สารเพิ่มคาร์บอนที่เป็นถ่าน ผสมกับสารเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น สารเร่งปฏิกิริยาจึงถือว่าเป็นตัวช่วยสำคัญที่ทำให้คาร์บอนแพร่เข้าสู่ผิวเหล็กได้ดียิ่งขึ้น โดยสารเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ทั่วไปมีหลายชนิด ทั้งสารสังเคราะห์และสารจากธรรมชาติ จากการศึกษางานวิจัยของณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และคณะ[6] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารเร่งปฏิกิริยาเกรดทางการค้าชนิดต่างๆ ในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยสารเร่งปฏิกิริยาประกอบไปด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และแบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) ผลจากการศึกษาทำ ให้ทราบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตมีประสิทธิภาพในการ ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงได้สูงที่สุด สารแคลเซียมคาร์บอเนตมีอยู่ในวัสดุจากธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นหินปูน

เปลือกหอย หรือกระดูกสัตว์ ดังนั้น วัสดุธรรมชาติจึงมีโอกาสที่จะนำมาใช้เป็นสารเร่ง ปฏิกิริยาได้มีนักวิจัยได้ทำศึกษาโดยการนำกระดูกปน มาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยา[7] และพบว่า สารเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกปนสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่ง ปฏิกิริยาในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงได้

ในขณะเดียวกัน มีนักวิจัยได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการชุบผิวแข็งของเหล็กกล้าด้วยวิธีการแพ็กคาร์เบอไรซิง[8] โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษา เพื่อลดต้นทุนของสารแพ็กคาร์เบอไรซิงที่นำเข้าจาก ต่างประเทศ จึงได้ทำการศึกษาเปอร์เซ็นต์ของสารเคมี ของกลุ่มคาร์บอเนต เปอร์เซ็นต์ของถ่านไม้ อุณหภูมิคาร์เบอไรซิงและเวลาในการอบแช่ของแต่ละปัจจัย ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งและความลึกผิวแข็งอย่างมีนัยสำคัญ คือ เปอร์เซ็นต์สารเคมีของกลุ่มคาร์บอเนตและอุณหภูมิคาร์เบอไรซิง ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อความลึกผิวแข็ง คือ เวลาอบแช่ โดยรูปแบบของสมการถดถอยสามารถกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมของส่วนผสมสารแพ็กคาร์เบอไรซิง ในขณะเดียวกันมีนักวิจัยได้นำกระบวนการแพ็กคาร์ เบอไรซิงมาประยุกต์ใช้ในการชุบแข็งมีด[9] โดยศึกษา ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อสมบัติเชิงกลของมีดที่ชุบแข็งด้วย กระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง ซึ่งประกอบไปด้วย ชนิดของสารเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน และทำให้ทราบผลการศึกษาว่า ปัจจัยทั้งสามอย่างมีผลต่อสมบัติเชิงกล ในกรณีของการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม งานวิจัยของสุภัทรวิทย์ศรีนอก และคณะ[10] ทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาจากผงหินปูนสำหรับการชุบแข็งมีดตัดอ้อยที่มีความบาง โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติและการออกแบบการทดลองหาเพื่อหาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งและระยะลึกของความแข็ง ผลการทดลองทำให้ทราบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมประกอบไปด้วยอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนที่ 900 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน 86.729 นาที จะให้ค่าความแข็งไม่น้อยกว่ามีดตัดอ้อยที่จำหน่ายตามท้องตลาด

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นทำให้ทราบว่าการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิตินั้น สามารถหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่ใช้ในการชุบแข็งมีด ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมระหว่าง อุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่มีผลต่อสมบัติ เชิงกลของมีดโต้ที่ผ่านการชุบแข็งด้วยกระบวนการ แพ็กคาร์เบอไรซิงโดยใช้ผงถ่านไม้ยูคาลิปตัสเป็นสาร เพิ่มคาร์บอนผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาจากผงกระดูกวัว ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นทางเลือกในการนำวัสดุที่หาซื้อได้ง่ายในชุมชนมาสร้างเป็นมีดทางการเกษตรได้

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

วัสดุ

- เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.2%
- กระดูกวัว
- ถ่านไม้ยูคาลิปตัส
- มีดโต้ของชุมชนที่ผ่านการตีขึ้นรูปและชุบแข็ง ดังแสดงใน Figure 1

Figure 1 Shape of community big knife

อุปกรณ์

- เตาอบชุบความร้อนแบบขดลวดความต้านทาน ยี่ห้อ MODUTEMP รุ่น WW51A
- เครื่องทดสอบแรงกระแทก ยี่ห้อ Leeds รุ่น LS102DE
- เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส ยี่ห้อ Mitsuzawa รุ่น MHT2
- กล้องจุลทรรศน์แบบแสง ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX 60 M
- เครื่อง Spectrometer ยี่ห้อ Spectro Max รุ่น MAXxLMF05

วิธีการศึกษา

◎ การเตรียมมีดโต้

มีดโต้ที่ใช้สำหรับนำมาทำการชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง เตรียมโดยการนำเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่มีลักษณะแบนมาตีขึ้นรูปให้มีรูปร่างและขนาดเช่นเดียวกับมีดโต้ชุมชน ดังแสดงใน Figure 2 จากนั้น การทดลองชุบแข็งด้วยกระบวนแพ็กคาร์เบอไรซิงจะตัดเฉพาะส่วนที่เป็นตัวมีดที่ถูกใช้งาน คือ ส่วนที่ 1 มาทำการทดลองภายหลังการอบชุบแล้ว ชิ้นทดสอบที่จะทำการทดสอบความแข็งจะตัดจากส่วนที่ 2 และชิ้นทดสอบที่จะทำการทดสอบการรับแรง กระแทกจะตัดจากส่วนที่ 3

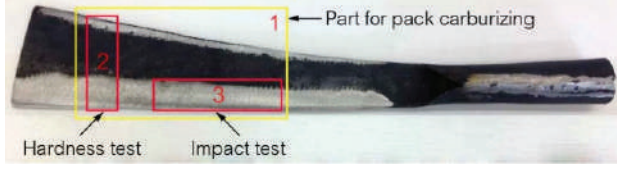


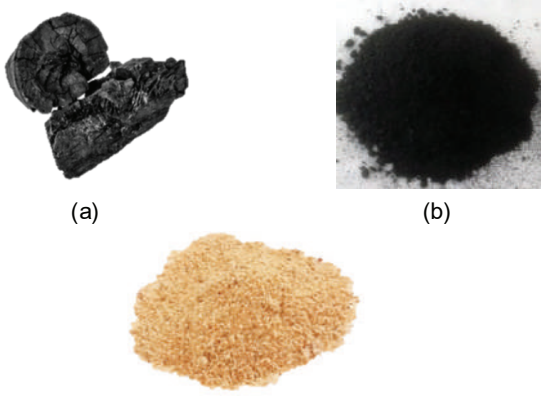
Figure 2 The big knife made of low carbon steel and positions for test pieces

⊚ การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ใช้ในการตีขึ้นรูปมีดโต้จะถูกนำมาทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์เพื่อให้ทราบปริมาณคาร์บอนและธาตุผสมอื่นๆ ในเนื้อเหล็ก

⊚ การเตรียมสารแพ็กคาร์เบอไรซิง

สารแพ็กคาร์เบอไรซิงที่ใช้ทำการทดลองประกอบไปด้วยสารเพิ่มคาร์บอนจะใช้ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ส่วนสารเร่งปฏิกิริยาใช้กระดูกวัว ซึ่งมีองค์ประกอบสารแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ 36%[11] การเตรียมสารแพ็กคาร์เบอไรซิงทำโดยการนำก้อนถ่านไม้ยูคาลิปตัส ดังแสดงใน Figure 3 (a) มาบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 5.00 มิลลิเมตร โดยผงถ่านที่ร่อนแล้ว แสดงใน Figure 3 (b) ส่วนสารเร่งปฏิกิริยากระดูกวัวเตรียมโดยนำกระดูกมาต้มเพื่อให้ไขมันที่กระดูกหลุดออกมา จากนั้นนำมาตากให้แห้ง นำมาบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาดรู 2.00 มิลลิเมตร ผงของกระดูกวัวที่ผ่านการร่อนแล้วดังแสดงใน Figure 3 (c) ภายหลังจากการเตรียมผงเสร็จแล้วจึงนำผงถ่านและผงกระดูกวัวมาผสมกันในสัดส่วนผงถ่านไม้ 80% และผงกระดูกวัว 20% โดยน้ำหนัก



(a) (b) (c)

Figure 3 (a) Piece of eucalyptus wood charcoal (b) Eucalyptus wood charcoal powder (c) Cow bone powder

⊚ การแพ็กคาร์เบอไรซิงและการชุบแข็ง

มีดโต้ที่ถูกตีขึ้นรูปจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตามขนาดและรูปร่างของมีดทางชุมชน จะถูกนำมาตัดบริเวณที่ถูกใช้งาน จากนั้นทำการบรรจุสารแพ็กคาร์เบอไรซิงที่ผสมเสร็จแล้วลงในกระบอกเหล็กกล้าแล้ว นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ใส่เข้าไปในกระบอก ดังแสดงใน Figure 4 (a) จากนั้นเติมสารแพ็กคาร์เบอไรซิงให้เต็ม ปิดด้วยฝาเหล็กแล้วใช้ดินเหนียวปิดทับเพื่อกันการรั่วซึมของแก๊ส ดังแสดงใน Figure 4 (b)

(a) (b)

Figure 4 (a) A part of the big knife embedded in a carburizing box (b) The lid of the carburizing box was sealed using clay

ขั้นตอนถัดไปเป็นขั้นตอนการอบชุบ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการให้ความร้อนและการเย็นตัวแสดงดังแผนภาพใน Figure 5 การทดลองทำโดยนำกระบอก เหล็กที่บรรจุชิ้นงานทดสอบและสารแพ็กคาร์เบอไรซิง แล้วไปอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 960, 980 และ 1,000 องศาเซลเซียส การเลือกอุณหภูมิในช่วงนี้ใช้ผลการทดลองในการชุบแข็งมีดโต้ของ Narongsak Thammachot *et al*[9]. ที่ได้ผลการชุบแข็งที่ดีในช่วงอุณหภูมิ 950-1,000 องศาเซลเซียส ส่วนเวลาอบเพิ่มคาร์บอนใช้ 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำกระบอกเหล็กออกมาจากเตาแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ แล้วนำชิ้นทดสอบมาทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิออสเทไนต์ 780 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที แล้วนำมาจุ่มชุบในน้ำทันที จากนั้นทำการอบเทมเพอร์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

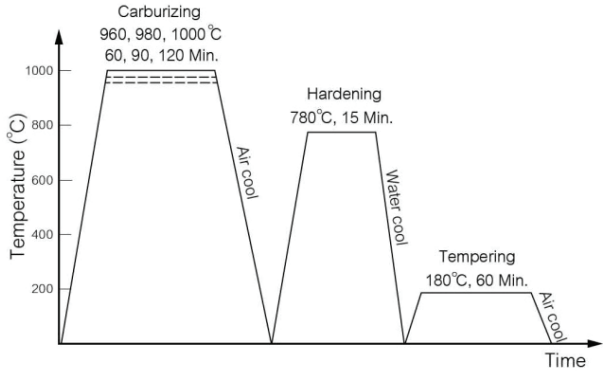


Figure 5 Time-temperature sequence for experiment

⊚ การออกแบบการทดลอง

เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของมีดที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยให้มีความสอดคล้องตามหลักการทางสถิติ จึงนำหลักการออกแบบการทดลองในรูปแบบของ Full factorial design มาใช้ โดยกำหนดให้ค่าความแข็งเป็นผลคำตอบหลักของการทดลอง เพราะค่าความแข็ง

เป็นองค์ประกอบที่นำมาพิจารณาคุณภาพของมีดภายหลังการชุบแข็ง ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษามีอยู่ 2 ปัจจัย ดังแสดงใน Table 1 ประกอบไปด้วย ปัจจัยแรก คือ อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนและปัจจัยที่สอง คือ เวลาอบเพิ่มคาร์บอน

Table 1 Parameters and notations

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

จากปัจจัยในการทดลองที่มีอยู่ 2 ปัจจัย ในแต่ละปัจจัยมีอยู่ 3 ระดับ จากการออกแบบการทดลองแบบ Full factorial design จะได้จำนวนครั้งในการทดลองเท่ากับ 9 ครั้ง และเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของข้อมูลในทุกปัจจัยจึงมีการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง จึงทำให้มีการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 45 การทดลอง โดยการทดลองจะใช้การจัดลำดับแบบสุ่ม เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Design table showing the randomized run order of the experiment

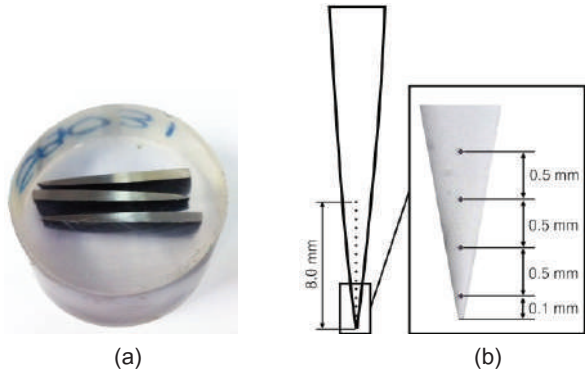
Run Order	Std Order	Temperature (°C)	Time (Min)
1	41	980	90
2	36	1000	120
3	1	960	60
4	29	960	90
5	40	980	60
6	16	1000	60
7	10	960	60
8	13	980	60
9	12	960	120
10	14	980	90
11	35	1000	90
12	22	980	60
13	24	980	120
14	42	980	120
15	18	1000	120
16	11	960	90
17	44	1000	90
18	26	1000	90
19	8	1000	90
20	4	980	60
21	32	980	90
22	25	1000	60
23	7	1000	60
24	39	960	120
25	31	980	60
25	2	960	90

Table 2 Design table showing the randomized run order of the experiment (continue)

Run Order	Std Order	Temperature (°C)	Time (Min)
27	6	980	120
28	20	960	90
29	30	960	120
30	45	1000	120
31	38	960	90
32	5	980	90
33	37	960	60
34	33	980	120
35	19	960	60
36	3	960	120
37	17	1000	90
38	15	980	120
39	34	1000	60
40	27	1000	120
41	21	960	120
42	23	980	90
43	43	1000	60
44	9	1000	120
45	28	960	60

◎ การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็ง ใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส เนื่องจากขนาดของชิ้นทดสอบมีขนาดเล็กจึงต้องมีการตรึงชิ้นทดสอบด้วยเรซิ่น ดังแสดงใน Figure 6 (a) ตำแหน่งที่ทำการทดสอบความแข็ง แสดงดัง Figure 6 (b) โดยตำแหน่งแรกเริ่มต้นที่ระยะ 0.1 มิลลิเมตร จากคมมีดจากนั้นแต่ละตำแหน่งจะห่างกัน 0.5 มิลลิเมตร จนถึงระยะ 8.0 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการชุบแข็งเพื่อการใช้งาน



(a) (b)

Figure 6 (a) Test piece embed in solid resin (b) Hardness test positions on the sharp edge of the knife

◎ การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

ชิ้นทดสอบแรงกระแทกขนาด 20 x 70 มิลลิเมตร จะถูกนำมาวางในลักษณะตั้ง โดยหันด้านข้างของชิ้นทดสอบเข้าหาจุดกระทบของลูกตุ้ม ดังแสดงใน Figure 7 เนื่องจากสภาวะในการแตกหักของมีดนั้นมักเกิดจากแรงในการดัดทางด้านข้างมีด

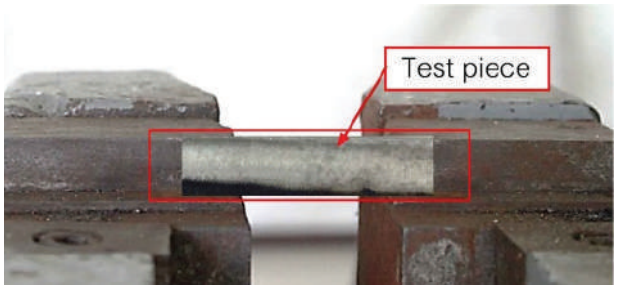


Figure 7 Position of test piece on impact test

ผลการทดลอง

ส่วนผสมทางเคมี ผลของการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ก่อนนำไปทำการแพ็ก คาร์เบอไรซิง แสดงใน Table 3 จะเห็นได้ว่า ปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในเนื้อเหล็กมีปริมาณ 0.146% ซึ่งเป็น ปริมาณคาร์บอนในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (%C<0.2%)

Table 3 Chemical composition of test piece

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

ความแข็ง

การวิจัยครั้งนี้ใช้ค่าเฉลี่ยความแข็งของมีดโต้ที่ตีขึ้นรูปและชุบแข็งจากทางชุมชนเป็นเกณฑ์ โดยนำมีดโต้มาทำการทดสอบจำนวน 5 เล่ม ผลของค่าความแข็งแสดงใน Table 4 จากข้อมูลพบว่ามีดโต้ของชุมชนมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 607.0 HV โดยมีช่วงระดับความเชื่อมั่นค่าควบคุมสูงสุดอยู่ที่ 625.3 HV และค่าควบคุมต่ำสุดอยู่ที่ 588.7 HV ค่าความแข็งดังกล่าวนี้จะใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านการชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง

สำหรับผลของค่าความแข็งของชิ้นทดสอบที่ผ่านการชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง แสดงดัง Table 5 จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น

Table 4 Hardness values of the big knife of community

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

Table 4 Hardness values of the big knife of community (continue)

Position	Number	Average	sd	LCL	UCL
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

Table 5 Hardness values of the test pieces

Temperature (°C)	Time (Min)	Hardness Values (HV)							
		No.	1	2	3	4	5	Average	sd
960	60		362.8	351.4	387.9	401.8	366.1	374.0	20.5
	90		457.4	460.4	479.1	453.9	456.9	461.5	10.0
	120		540.2	552.5	559.8	535.8	523.0	542.3	14.5
980	60		402.0	397.0	413.4	437.7	393.9	408.8	17.8
	90		464.4	483.9	454.2	466.3	447.9	463.3	13.7
	120		573.9	534.4	505.8	534.1	552.8	540.2	25.2
1,000	60		427.0	453.6	433.4	458.8	473.0	449.2	18.9
	90		529.2	547.7	569.8	562.1	550.2	551.8	15.5
	120		597.2	604.5	607.6	592.1	609.6	602.2	7.3

ความต้านทานแรงกระแทก

ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงกระแทกของมีดโต้ของชุมชน แสดงใน Table 6 ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ยอยู่ที่ 14.0 Joules ส่วนชิ้นทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านการชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง ผลของค่าความต้านทานแรงกระแทก แสดงดัง Table 7 โดยค่าความต้านทานแรงกระแทกนั้นจะแตกต่างจากค่าความแข็ง นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกนั้นลดลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะชิ้นทดสอบที่มีความแข็งเพิ่มขึ้น จะทำให้เหล็กเปราะจึงรับแรงกระแทกได้น้อยลง

Table 6 Impact values of the big knife of community

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

Table 7 Impact values of the test pieces

Temperature (°C)	Time (Min)	Impact values (Joules)							
		No.	1	2	3	4	5	Average	sd
960	60		44.0	51.0	68.0	48.0	64.0	55.0	10.4
	90		50.0	60.0	52.0	43.0	62.0	53.0	7.7
	120		31.0	24.0	34.0	30.0	28.0	29.0	3.7
980	60		46.0	64.0	56.0	67.0	54.0	57.0	8.3
	90		40.0	48.0	40.0	37.0	32.0	39.0	5.8
	120		21.0	12.0	16.0	23.0	25.0	19.0	5.3
1,000	60		38.0	29.0	40.0	30.0	35.0	34.0	4.8
	90		18.0	21.0	16.0	24.0	12.0	18.0	4.6
	120		10.0	14.0	20.0	16.0	12.0	14.0	3.8

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การวิเคราะห์ทางสถิติทางผู้วิจัยใช้โปรแกรม Minitab 17 ในการวิเคราะห์ ก่อนการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เหมาะสม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ของผลการทดสอบค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทก รวมถึงการตรวจสอบสมมติฐานด้วยหลักทางสถิติและตรวจสอบค่าความแปรปรวน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การทดสอบ Test for normality ของค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทกของมีดโต้ที่ใช้ในการทดลอง โดยตั้งสมมติฐาน คือ

H_0 : เศษตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : เศษตกค้างไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

จากการทดสอบด้วย Anderson-darling test ของค่าความแข็ง ผลการทดสอบแสดงใน Figure 8 จะเห็นได้ว่ามีค่า P-Value 0.094 ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงกระแทก ผลการทดสอบแสดงใน Figure 9 ซึ่งมีค่า P-Value 0.173 จะเห็นได้ว่า ค่า P-Value ของสมบัติทางกลทั้งสองมีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงถึงเศษตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

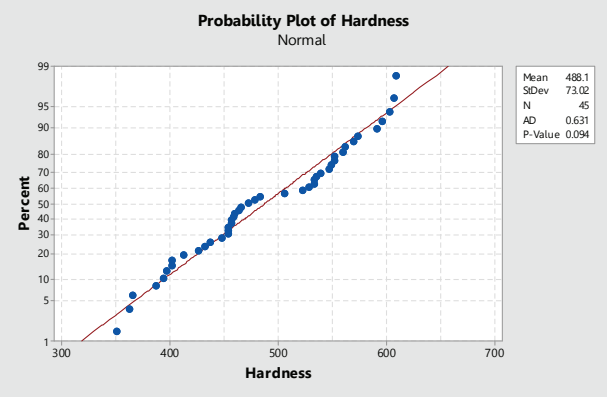


Figure 8 Probability plot of hardness

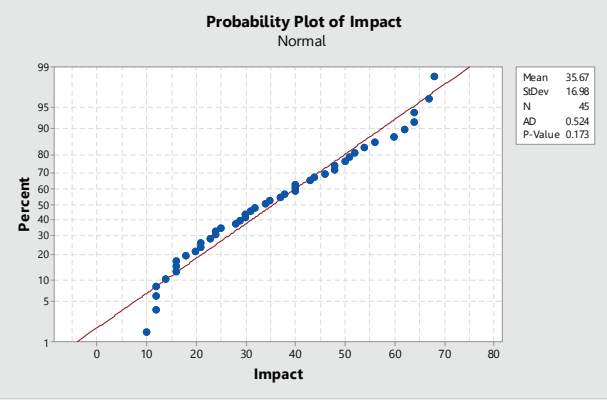


Figure 9 Probability plot of impact

สำหรับการทดสอบ Test for homogeneity of variance ของค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทกที่ใช้ในการทดลอง ตั้งสมมติฐานไว้ คือ

H_0 : ความแปรปรวนของเศษตกค้างทุกกลุ่มเท่ากัน

H_1 : ความแปรปรวนของเศษตกค้างแตกต่างกันอย่างน้อย 2 กลุ่ม

จากผลของค่า Multiple comparisons ของค่าความแข็ง แสดงดัง Figure 10 พบว่าได้ค่าของ P-Value 0.527 ค่าความต้านทานแรงกระแทก แสดงดัง Figure 11 ได้ค่าของ P-Value 0.365 ในขณะเดียวกันค่า Levene's teSt Statistic ของค่าความแข็งได้ค่า P-Value 0.769 ส่วนค่าความต้านทานแรงกระแทกได้ค่า P-Value 0.451 มีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงว่าเศษตกค้างมีความแปรปรวนที่เท่ากัน

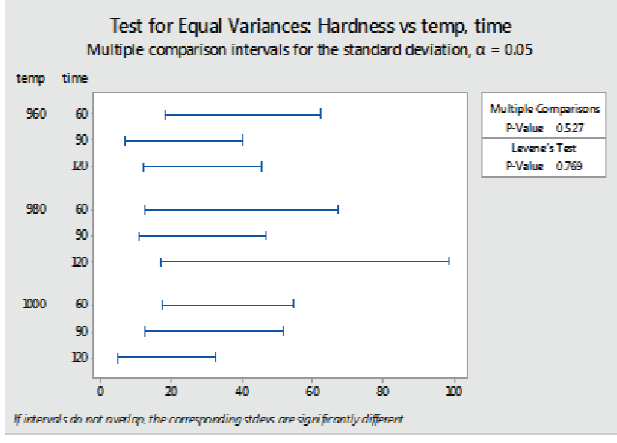


Figure 10 Test for homogeneity of variance of hardness values

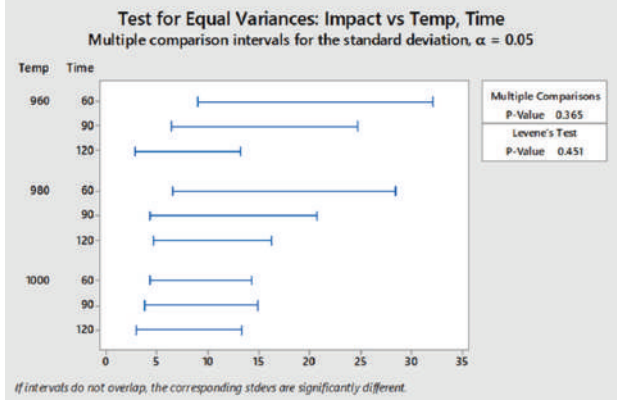


Figure 11 Test for homogeneity of variance of impact values

การทดสอบ Test for independence ของค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทกของมีดโต้ที่ใช้ในการทดลอง แสดงผลดัง Figure 12 โดยตั้งสมมติฐาน คือ

H_0 : เศษตกค้างเป็นอิสระกัน

H_1 : เศษตกค้างไม่ได้เป็นอิสระกัน

จากผลการทดสอบ พบว่าค่าความแข็งมีค่า P-Value 0.587 และค่าความต้านทานแรงกระแทกมีค่า P-Value 0.053 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 แสดงว่าเศษตกค้างเป็นอิสระต่อกัน

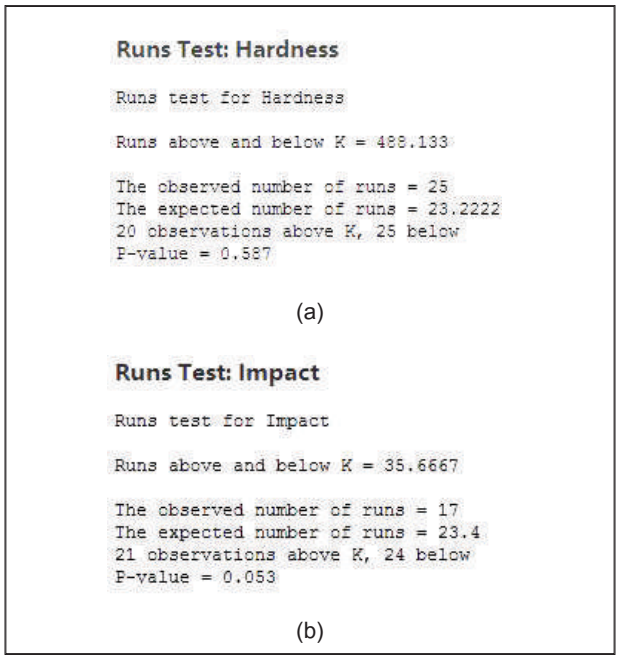


Figure 12 (a) Test for independence of hardness values (b) Test for independence of Impact values

จากการตรวจสอบข้อสมมติฐานด้วยหลักทางสถิติทั้ง 3 ส่วน คือ Test for normality, Test for independence และ Test for homogeneity of variance ค่า P-Value ของทั้ง 3 ส่วนมีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงสามารถนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้

การหาอิทธิพลของปัจจัย

การวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่าปัจจัยของอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน เวลาอบเพิ่มคาร์บอน และปัจจัยร่วมนั้นมีผลต่อค่าความแข็งเฉลี่ยของมีดโต้ที่นำมาทำการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ โดย Table 8 แสดงรายละเอียดของปัจจัยร่วมมีค่า P-value น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ทุกปัจจัย ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมดังกล่าวนั้นมีผลต่อค่าความแข็งเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ และจากผลการทดลองได้ค่าของ R-sq เท่ากับ 95.67% ขณะที่ค่า R-sq (adj) มีค่าเท่ากับ 94.70% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของ R-sq แสดงถึงจำนวนของข้อมูลมีจำนวนเพียงพอที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสม

Table 8 Variance analysis results

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	8	224464	28058	99.31	0.000
Linear	4	220366	55091.6	194.99	0.000
Temp	2	49150	24574.9	86.98	0.000
Time	2	171217	85608.3	303	0.000
2-Way interaction	4	4098	1024.4	3.63	0.014
Temp*Time	4	4098	1024.4	3.63	0.014
Error	36	10171	282.5		
Total	44	234635			

Model summary

S	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)
16.8087	95.67%	94.70%	93.23%

ปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าความแข็ง

จากรูปกราฟ Optimal ใน Figure 13 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน คือ 1,000 องศาเซลเซียส เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน คือ 120 นาที โดยได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 604.0 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ยต่ำสุด 9.13 Joulesจากผลของปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้ ผู้วิจัยจึงได้นำระดับปัจจัยของทั้งสองเงื่อนไขดังกล่าวมาทำการทดลองเพื่อยืนยันผลจำนวน 5 การทดลอง โดยเงื่อนไขที่ใช้ คือ อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอน 1,000 องศาเซลเซียสและเวลาอบเพิ่มคาร์บอน 120 นาที

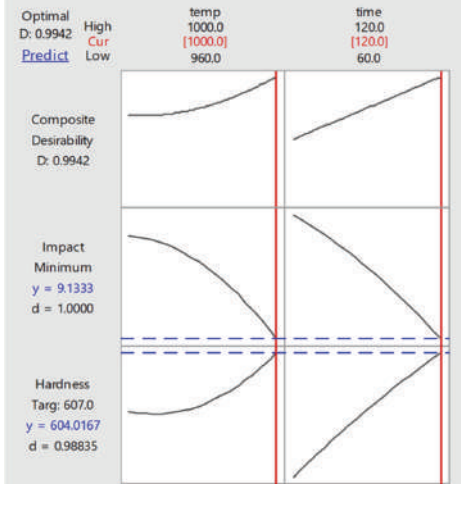


Figure 13 Optimization plot of the effect of each factors

การทดลองเพื่อยืนยันผล

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากค่าทางสถิติ จึงทำการทดลองชุบแข็งมีดโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง ตามสภาวะของอุณหภูมิและเวลาอบเพิ่มคาร์บอนที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมของสารเร่งปฏิกิริยากระดูกวัว โดยผลการทดสอบค่าความแข็งแสดงดัง Table 9 และค่าความต้านทานแรงกระแทกแสดงดัง Table 10 จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 605.2 HV และความต้านทานแรงกระแทก 17.6 Joules ซึ่งอยู่ในค่าตามเป้าหมายของมีดชุมชน

Table 9 Hardness values of repeated experiment

No.					Average	sd
1	2	3	4	5		
595.5	612.1	597.6	609.0	611.5	605.2	7.8

Table 10 Impact values of repeated experiment

No.					Average	sd
1	2	3	4	5		
16.0	18.0	14.0	22.0	18.0	17.6	3.0

วิจารณ์ผลและสรุปผล

วิจารณ์ผล

ผลการทดลองชุบแข็งมีดโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยการใช้สารเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกวัว จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะเวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คาร์บอนสามารถแพร่เข้าไปในผิวเหล็กได้มากขึ้นเป็นไปตาม Fick's first law[12] ที่ว่าการแพร่จะแปรผันตามความเข้มข้นของอะตอมและเวลาในการแพร่ ดังนั้นเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 60, 90 และ 120 นาที จึงทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นไปตามลำดับ

ในขณะที่ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีส่วนในการเพิ่มคาร์บอนได้มากหรือน้อย คือ อุณหภูมิ โดยการทดลองใช้อุณหภูมิ 960, 980 และ 1,000 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้คาร์บอนสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากขึ้นจึงทำให้ความแข็งสูงขึ้นซึ่งเป็นไปตามหลักการของ Arrhenius[13] ที่ว่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่จะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยเมื่ออุณหภูมิของวัสดุสูงขึ้นจะทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้มีพลังงานกระตุ้นที่สูงขึ้นทำให้อัตราการแพร่เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามเมื่อมีดโต้มีค่าความแข็งที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลงซึ่งเป็นผลมาจากเวลาและอุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Narongsak Thammachot *et al* [9]. ที่ว่าอุณหภูมิและเวลาอบเพิ่มคาร์บอน ส่งผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบ โดยเมื่ออุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนสูงขึ้นจะทำให้คาร์บอนสามารถแพร่เข้าสู่ผิวของชิ้นงานได้ดี เนื่องจากชั้นผิวแข็งของมีดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเหนียวลดลงจึงทำให้ความสามารถการรับแรงกระแทกของมีดลดลง

ในขณะที่การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่ใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง และหาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง สามารถนำไปใช้หาระดับของอุณหภูมิและเวลาอบเพิ่มคาร์บอนที่ทำให้ค่าความแข็งมีดโต้ที่ผ่านการชุบแข็งผิวด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงให้ใกล้เคียงกับค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทกตามที่ต้องการได้ และจากผลของการทดลองยืนยันผล พบว่า ค่าความแข็งและค่าความต้านทานแรงกระแทก นั้นมีค่าอยู่ในขอบเขตของสมบัติทางกลของมีดโต้ของชุมชน

สรุปผลการทดลอง

จากการนำหลักการของการออกแบบการทดลองและการใช้สถิติในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมในการชุบแข็งมีดโต้ด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยใช้สมบัติทางกลของมีดโต้ที่ดีขึ้นรูปและชุบแข็งโดยชุมชนที่มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 607.0 HV โดยมีค่าควบคุมบนอยู่ที่ 625.3 HV และค่าควบคุมล่างอยู่ที่ 588.7 HV ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงกระแทกมีค่าอยู่ที่ 14.0 Joules เป็นค่าเปรียบเทียบกับมีดที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยใช้สารเพิ่มคาร์บอนจากถ่านไม้ยูคาลิปตัสผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกวัว ทำให้ทราบว่า จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อสมบัติทางกล ทำให้ได้เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน 120 นาที อุณหภูมิการอบเพิ่มคาร์บอน 1,000 องศาเซลเซียส โดยทั้งสองปัจจัยจะให้ค่าความแข็งอยู่ที่ 604.0 HV และค่าความต้านทานแรงกระแทกอยู่ที่ 9.13 Jules และเมื่อนำปัจจัยที่เหมาะสมระหว่างเวลาและอุณหภูมิไปทำการทดลองเพื่อยืนยันผลโดยได้ค่าความแข็งอยู่ที่ 605.2 HV และความต้านทานแรงกระแทกอยู่ที่ 17.6 Jules

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สาขาวิศวกรรมวัสดุ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ในความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ ในการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. สรุปผลภาวการณ์ทำงานของประชากรประจำเดือนมีนาคม พ.ศ.2562. กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.nso.go.th สืบค้นเมื่อ 20 เมษายน 2562.
2. Sinha AK. Physical metallurgy handbook. The McGraw-Hill Companies. Two Penn Plaza: New York *;* 2003.
3. Lakhtin YM. Engineering physical metallurgy and heat treatment. Mir Publishers Moscow: Russia *;* 1990.
4. ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, วรรณา หอมจะบก, และนฤดม ทาดี. ประสิทธิภาพการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำของถ่านไม้ชนิดต่างๆ ในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง. วิศวกรรมสาร มข. 2555 *;* 41(3):383-391.
5. Ihom PA. Case hardening of mild steel using cow bone as energizer. African Journal of Engineering Research. 2013 *;* 1(4): 97-101.
6. ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, วรรณา หอมจะบก, นฤดม ทาดี. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของสารเกรดทางการค้าชนิดต่างๆ ในการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวของมีดโต้ที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง. วารสาร มทร. อีสาน 2557 *;* 7(2): 67-80.
7. Aramide FO, Ibitoye SA, Oladele IO, Borode JO. Pack carburization of mild steel using pulverized bone as carburizer optimizing process parameters. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies. 2010 *;* 1-12.
8. กฤษดา ประสพชัยชนะ. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการชุบผิวแข็งของเหล็กกล้าด้วยวิธีแพ็กคาร์เบอไรซิง. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. 2556.
9. Narongsak Thammachot, Prin Nachaisit, Wanna Homjabok, Chaiyawat Peeratatsuwan, Amornsak Mayai, and Jittiwat Nithikarnjanatharn, The efficiency of energizer, carburizing temperature and time on the mechanical properties of hardened big knives in a pack carburizing process. KKU Engineering Journal. October-December 2016 *;* 172-177.
10. สุภัทรวิทย์ ศรีนอก, ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร, รสรินทร์ ดือขุนทด, สมบัติ น้อยมิ่ง, ชัยวัฒน์ พีรทัตสุวรรณ, อมรศักดิ์ มาใหญ่, การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิงโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาจากผงหินปูนสำหรับการชุบผิวแข็งมีดตัดอ้อย. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. 2559.
11. ศักดิ์สิทธิ์ ศรีสุข, การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลของมีดโต้ที่ตีขึ้นรูปจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและชุบผิวแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมอุสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. 2561.
12. Askeland DR, Phulé PP. The science and engineering of materials. 4th Edition. USA: Thomson Learning Inc. *;* 2003.
13. Smith WF. Foundations of materials science and engineering. 4th Edition. USA: McGrall-Hill Inc. *;* 2006.