

## การศึกษาโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวเพื่อเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับใบมีดทางการเกษตร

### A Study on Microstructure and Mechanical properties of the pack carburized low carbon steel used as an alternative material for agricultural knife blade

ธีร์ เชาวนทปัญญา,<sup>1</sup> ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ<sup>2</sup> และชัยวัฒน์ พีรทัตสุวรรณ<sup>3\*</sup>

Thee Chowwanonthapunya<sup>1</sup>, Narongsak Thammachat<sup>2</sup> and Chaipayat Peeratatsuwan<sup>3\*</sup>

#### ABSTRACT

This research is aimed to employ the pack carburization treatment to improve the microstructure and mechanical properties of AISI 1020 low carbon steel for being an alternative material for agricultural knife blade. This research began with the investigation on the chemical compositions; microstructure and hardness profile and then applied the pack carburization treatment to increase the microstructural and mechanical performance of AISI 1020 low carbon steel. The carburizing environment was prepared by using powdered charcoal mixed with tamarind catalysts. The specimens were held in the carburizing environment at 850 °C for 30 minutes and 950 °C for 60 minutes, followed by quenching in water. The results from this investigation showed that the carbon content in the material was essential for the improved performance of agricultural tools. Time and Temperature both played significant roles in pack carburizing process of AISI 1020 steel. Pack carburization treatment with proper conditions of temperature and time could enhance the performance of AISI 1020 low carbon steel, which can be used for agricultural purposes.

**Keywords :** Pack carburization treatment / AISI 1020 low carbon steel / Agricultural tools

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการนำวิธีการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวเหล็กมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 มาเป็นวัสดุเพื่อผลิตอุปกรณ์ทางการเกษตร การทดลองนี้ทำการสำรวจโครงสร้างและสมบัติทางกลของอุปกรณ์การเกษตรและทำการประยุกต์วิธีการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวเหล็กมาเพิ่มประสิทธิภาพเชิงโครงสร้างและสมบัติทางความแข็งแรงของเหล็กกล้า AISI 1020 โดยใช้ ผงถ่านไม้มะขามผสม

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมทางทะเล คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จ.ชลบุรี 20230

Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University, Chonburi 20230, Thailand.

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา 30000

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

<sup>3\*</sup> ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา 30000

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

\*Corresponding author: Tel. 08-8591-1766, E-mail address: [chaiyavat66@gmail.com](mailto:chaiyavat66@gmail.com)

ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาเพื่อเตรียมบรรยากาศคาร์บูไรซิง ชิ้นงานสัมผัสกับบรรยากาศดังกล่าวที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 30 นาที และ 950 °C เป็นเวลา 60 นาที ทำการชุบแข็งด้วยน้ำ ผลการสำรวจและทดสอบ พบว่า ตัวแปรที่สำคัญของอุปกรณ์ทางการเกษตร คือ ปริมาณคาร์บอน และ ตัวแปรที่สำคัญของวิธีการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวเหล็กคือ อุณหภูมิ และ เวลา โดย อุณหภูมิและเวลาของกระบวนการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวเหล็กที่เหมาะสมสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเหล็กกล้า AISI 1020 เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรได้

**คำสำคัญ :** วิธีการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวเหล็ก / เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 / เครื่องมือทางการเกษตร

## บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม (Ingram et al, 1971) ดังนั้นเครื่องมือทางการเกษตร เช่น มีดทางการเกษตร จึงมีความสำคัญต่อการเก็บเกี่ยวหรือการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยทั่วไปอุปกรณ์ดังกล่าวต้องมีความคม ความแข็งแรงและเหนียวจึงสามารถใช้ในการเกษตรได้ดี (Cambell, 1990) ดังนั้นวัตถุดิบและกรรมวิธีที่นำมาใช้ในการผลิตมีดให้มีคุณภาพดีจึงมีความสำคัญอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่อย่างไรก็ตามปัญหาด้านการหาวัตถุดิบที่มีคุณภาพดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งราคาและการเดินทางเพื่อจัดหาใบมีด นั้นเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งของชาวเกษตรกร

กรรมวิธีการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวของเหล็ก (Packed carburizing treatment) นั้นเป็นกรรมวิธีทางวิศวกรรมโลหะการที่ใช้กันแพร่หลาย โดย

จากจุดเด่นของกรรมวิธีการแพร่คาร์บอนที่ผิวของเหล็ก ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาแนวทางการนำวิธีการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวเหล็กมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ที่หาได้ง่ายและราคาถูก ให้มีโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกลที่เหมาะสมกับการใช้งานเป็นมีดตัดในอุตสาหกรรมเกษตร

อะตอมคาร์บอนที่มาพร้อมกับ โมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) จะทำการแพร่เข้าไปในผิวของเหล็ก (Prasannan et al, 1994) โดยความเข้มข้นของคาร์บอนจะสูงตรงบริเวณผิวของเหล็ก โครงสร้างดังกล่าวเหมาะสำหรับการชุบแข็ง นอกจากนี้บริเวณถัดจากชั้นที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนสูงจะมีคาร์บอนต่ำลง ดังนั้น เหล็กที่ผ่านกรรมวิธีการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวเมื่อนำมาชุบแข็งจะได้เหล็กมีความแข็งแรงสูงที่ผิวและมีความเหนียว (Oyetunji et al, 2012) ในทางวิศวกรรมนั้นได้มีการนำวิธีการเพิ่มคาร์บอนไปใช้ในการปรับปรุงสมบัติของผิวของอุปกรณ์ที่สำคัญ เช่น เกียร์ หรือเพลาช้อเหวี่ยง ซึ่งชั้นผิวแข็งจะช่วยให้อุปกรณ์ดังกล่าวใช้งานได้ดีในสภาวะการทำงานที่ต้องรับการเสียดสี (Wear) (Fatai et al, 2010)

## การทดลอง

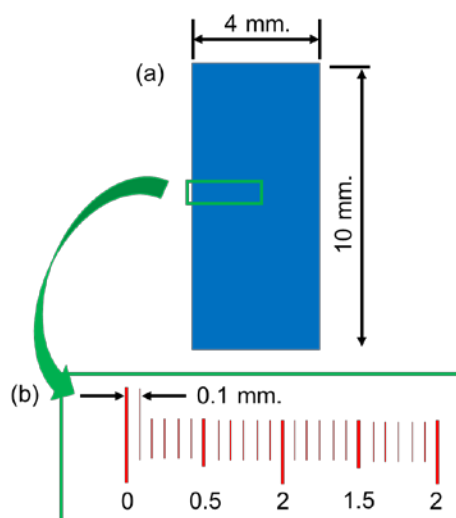
### 1. การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกลของอุปกรณ์ทางการเกษตร

ในการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำให้มีสมบัติทางกลที่เหมาะสมและสามารถไปใช้ในการอุตสาหกรรมเกษตรนั้นจำเป็นที่จะต้องข้อมูลของเครื่องมือทางการเกษตรที่ใช้อยู่จริง โดยในการศึกษาครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี โครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางความแข็งแรงของอุปกรณ์ทางการเกษตร เพื่อเป็นข้อมูลเริ่มต้นในการศึกษา

## 2. วัสดุและกรรมวิธีการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

ในการศึกษาที่ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่สามารถหาซื้อได้ง่าย นำมาตัดเพื่อเป็นชิ้นงานทดสอบขนาด 10 mm X 10 mm X 4 mm. (Figure 1(a)) และได้ประยุกต์กรรมวิธีการแพร่คาร์บอนที่ผิวของเหล็กและชุบแข็งเพื่อใช้ในการปรับปรุงสมบัติโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกลของชิ้นงาน โดยบรรยากาศของการแพร่คาร์บอนของการทดลองนี้ได้ใช้ ถ่านไม้มะขามเป็นสารให้คาร์บอนและแบเรียมคาร์บอเนตเป็นสารเร่งปฏิกิริยา ในอัตราส่วน 85 ต่อ 15 เนื่องจากถ่านไม้

มะขามมีความสามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ผิวเหล็กได้สูง (Thammachot *et al*, 2014 ) โดยการวางอัดชิ้นงานในกล่องถ่านจะวางห่างกัน 25 mm. และวางห่างจากขอบกล่อง 25 cm (K H Prabhudev, 1988) โดยเงื่อนไขการอบทำที่อุณหภูมิ 850 °C และ 950 °C โดยใช้เวลาในการอบเพื่อแพร่คาร์บอนเป็น 30 นาที และ 60 นาที ตามลำดับ ชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวจะนำมาทำการชุบแข็งโดยการอบให้มีอุณหภูมิที่ 850 °C เป็นเวลา 15 นาที แล้วให้เย็นตัวในน้ำเพื่อทำการชุบแข็งทันทีตามที่กำหนดโดยวิธีการใน Heat Treatment Guide สำหรับวัสดุประเภทเหล็กกล้า AISI 1020 (Chandler, 1995)



**Figure 1** (a) Sketch of the prepared Specimen and (b) Position for hardness measurement (0.1 mm.)

## 3. การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกล

ไปมีดตัดทางการเกษตร และ เหล็กกล้า 1020 ทั้งก่อนและหลังกระบวนการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวของเหล็กจะถูกวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคและค่าความแข็ง โดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

(Light Optical Microscope) จะใช้เพื่อการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค และใช้เครื่องทดสอบความแข็งชนิดวิกเกอร์ (Micro vicker hardness test, HMV) รุ่น MHT-2 เพื่อวัดค่าความแข็งของชิ้นงาน โดยทำการวัดความแข็งทุกๆ ระยะ 0.1 mm. (Figure 1(b))

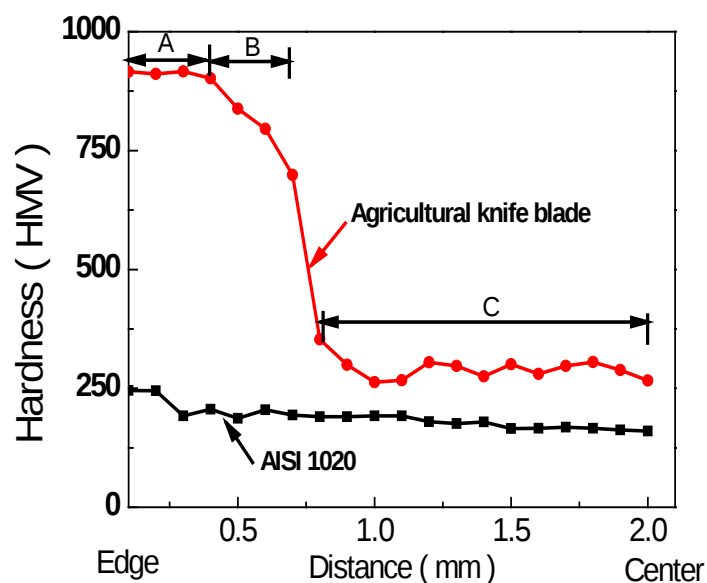
### 1. การวิเคราะห์สภาพของอุปกรณ์ทางการเกษตร และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (AISI 1020) ก่อนทำการปรับปรุง

ในการทดลองนี้ได้ทำการเตรียมชิ้นงานจากอุปกรณ์ทางการเกษตร เช่น มีด (Agricultural knife) และ ชิ้นงานจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 ทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีโดยเครื่อง

Emission Spectrometer และวิเคราะห์ค่าความแข็งรวมทั้งโครงสร้างจุลภาค โดยผลการตรวจสอบส่วนผสมเคมีของชิ้นงานทดสอบแสดงใน Table 1 โดย Figure 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งต่อระยะผิวลึกของชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมจากมีดทางการเกษตรและ ชิ้นงานจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020

**Table 1 Chemical composition**

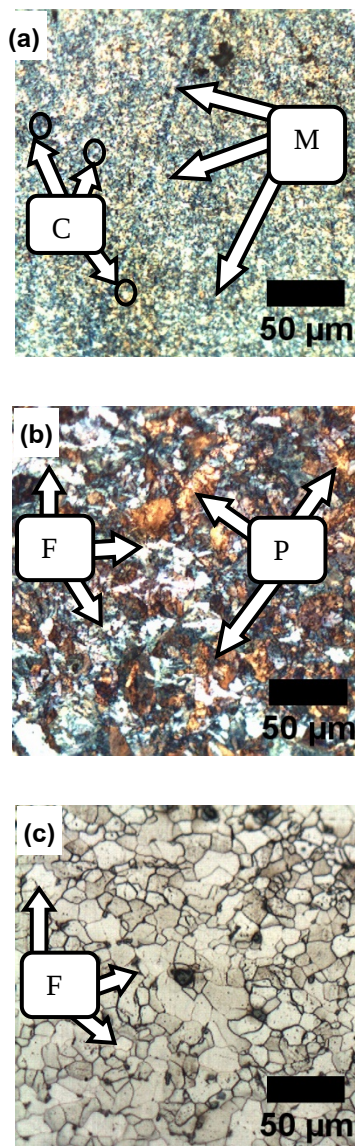
| Specimens                | C    | Mn   | Si   | Ni   | Cr   |
|--------------------------|------|------|------|------|------|
| Agricultural Knife Blade | 0.31 | 1.01 | 0.21 | 0.04 | 0.07 |
| AISI1020                 | 0.08 | 0.51 | 0.20 | 0.06 | 0.08 |



**Figure 2** Hardness profile of the samples of agricultural knife blade and AISI 1020

จาก Figure 2 พบว่า ความแข็งของมีดทางการเกษตรมีค่าความแข็งสูงกว่าความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 ในทุกๆ ระยะของการวัดความแข็ง โดยผลการทดสอบดังกล่าวแสดงถึงค่าความสามารถในการชุบแข็งที่ดีของมีดทางการเกษตร ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณธาตุคาร์บอนของมีดทางการเกษตรที่มีมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ดังแสดงใน Table 1 สำหรับ

ค่าความแข็งของมีดทางการเกษตรนั้น พบว่าความแข็งของมีดทางการเกษตรมีค่าความแข็งสูงสุดที่คมมีด (ช่วง A) จากนั้นความแข็งของมีดจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (ช่วง B) และเข้าสู่ค่าความแข็งที่ต่ำลง (ช่วง C) โดยค่าความแข็งเป็นลักษณะเฉพาะของโครงสร้างจุลภาค ดังนั้นมีดทางการเกษตรจึงมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคทั้ง 3 ระยะของการวัดความแข็ง



**Figure 3** The microstructure investigation on the samples of agricultural knife blade and AISI 1020

a) edge side of knife b) middle regime of knife and c) AISI 1020: M (Martensite), C (Cementite), F (Ferrite), and P (Pearlite)

Figure 3 แสดงถึงผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของมีดทางการเกษตรและเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 โดย Figure 3(a)-(b) แสดงถึง ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานมีดที่บริเวณคมมีดและบริเวณแกนกลางของมีด Figure 3(c) แสดงถึงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่เตรียมจากเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1020 ก่อนทำการกระบวนการแปรคาร์บอนที่ผิวเหล็ก จาก Figure 3 พบว่ามีดทางการเกษตรประกอบด้วยโครงสร้างจุลภาค 3 บริเวณดังต่อไปนี้คือ (1) โครงสร้างมาร์เทนไซต์และซีเมนไทต์ดังแสดงใน

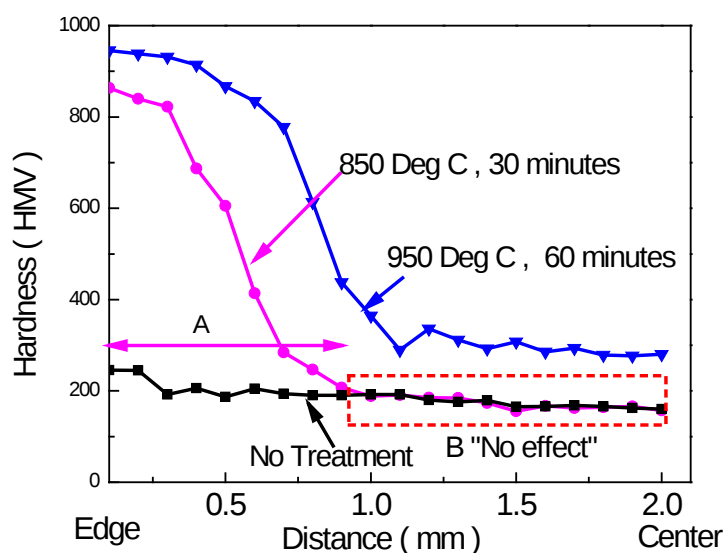
Figure 3(a) ซึ่งปรากฏในช่วงค่าความแข็งที่สูงในช่วง A ของ Figure 2 (2)โครงสร้างผสมระหว่างมาร์เทนไซต์และเฟอไรต์ในช่วง B ของ Figure 2 และ (3)เฟอไรต์และเฟอไรต์ดังแสดงใน Figure 3(b) ซึ่งปรากฏในช่วงค่าความแข็งที่ต่ำหรือช่วง C ของ Figure 2 ในขณะที่ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 นั้นมีโครงสร้างพื้นฐานส่วนใหญ่เป็นเฟอไรต์ดังแสดงใน Figure 3(c) ดังนั้น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 นั้นจึงมีโครงสร้างจุลภาคและสมบัติ

ทางความแข็งที่ยังไม่เหมาะสมกับการใช้เป็นใบมีดทางการเกษตรและอุตสาหกรรมทางการเกษตร ซึ่งต้องการเหล็กกล้าที่มีเฟสที่แข็ง เช่น มาร์เทนไซต์

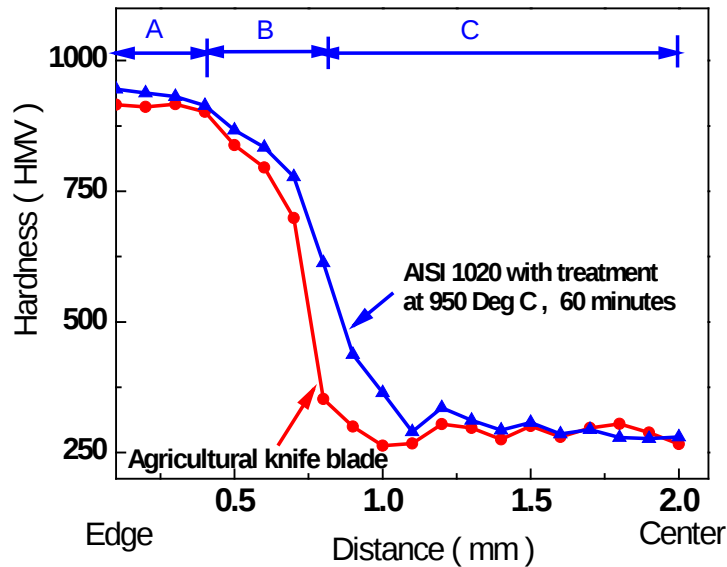
## 2. การวิเคราะห์สภาพของ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (AISI 1020) หลังกรรมวิธีการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวของเหล็กและการชุบแข็ง

ชิ้นงานที่เตรียมจากเหล็กกล้า AISI 1020 ได้ถูกนำมาปรับปรุงสภาพโดยกระบวนการแพร่คาร์บอนที่ผิวเหล็กที่อุณหภูมิ 850 °C เวลาอบแช่ 30 นาที และที่อุณหภูมิ 950 °C เวลาอบแช่ 60 นาที และนำไปทำการชุบแข็ง โดยค่าความแข็งในแต่ละ

ระยะการวัดของเหล็กกล้า AISI 1020 ที่ผ่านการปรับปรุงทั้งสองเงื่อนไข และ เหล็กกล้า AISI 1020 ที่ไม่ได้ปรับปรุงสภาพ แสดงใน Figure 4 จากรูปพบว่า เหล็กกล้า AISI 1020 ที่ผ่านการปรับปรุงสภาพโดยกระบวนการแพร่คาร์บอนที่ผิวเหล็กที่ 850 °C เป็นเวลา 30 นาทีประกอบไปด้วย 2 บริเวณ (1) ช่วงความยาว A ช่วงความยาวนี้ได้รับอิทธิพลจากการแพร่ของคาร์บอน ดังนั้นค่าความแข็งจึงสูงขึ้น และ (2) ช่วงความยาว B ช่วงความยาวนี้ ค่าความแข็งไม่แตกต่างจาก เหล็กกล้า AISI 1020 ที่ไม่ได้ปรับปรุงสภาพ ซึ่งแสดงถึงการปรับปรุงสภาพในเงื่อนไขดังกล่าว ยังที่ไม่ได้ผลตลอดทั้งชิ้นงาน



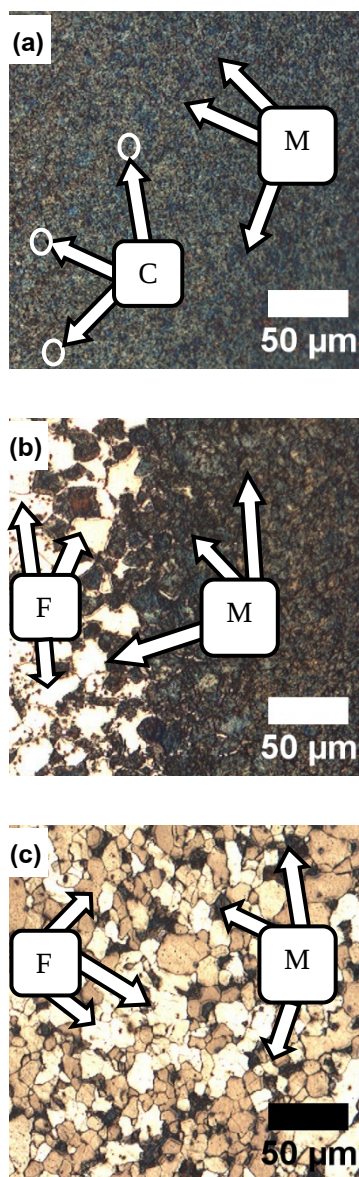
**Figure 4** Hardness profile of the samples of AISI 1020 with treatment and without treatment



**Figure 5** Hardness profiles of the samples of AISI 1020 with treatment and agricultural Knife blade

เมื่อพิจารณาเหล็กกล้า AISI 1020 ที่ผ่านการชุบผิวแข็งโดยกระบวนการแพร่คาร์บอนที่ผิวเหล็กที่ชุบผิวแข็งที่ 950 °C เวลาอบแช่ 60 นาที พบว่า ค่าความแข็งในทุกๆ ระยะการวัดมีค่าสูงกว่าเหล็กกล้า AISI 1020 ที่ชุบผิวแข็งที่ 850 °C เวลาอบแช่ 30 นาที ซึ่งบ่งชี้ถึงผลของการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาของการแพร่คาร์บอน (Boyer, 1987) โดยการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความเร็วของการแพร่ของอะตอมคาร์บอนในบรรยากาศเข้าสู่เหล็กและในเนื้อเหล็ก นอกจากนี้การเพิ่มเวลาการปรับสภาพทำให้อะตอมคาร์บอนแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กได้ลึกขึ้นและเมื่อปริมาณคาร์บอนที่แพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากและลึกขึ้น (Reed-Hill, 1994) ส่งผลให้เหล็กกล้า AISI 1020 มีความสามารถในการชุบแข็งได้ดีขึ้นมาก เมื่อผ่านกระบวนการชุบแข็ง ความแข็งของเหล็กกล้า AISI 1020 จะสูงขึ้นอย่างมากดังแสดงใน Figure 4

Figure 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งที่วัดได้จากเหล็กกล้า AISI 1020 ที่ผ่านการชุบผิวแข็งโดยการแพร่คาร์บอนที่ผิวเหล็กที่อุณหภูมิ 950 °C เวลาอบแช่ 60 นาทีกับมีดทางการเกษตรพบว่า ภายหลังจากการชุบแข็ง เหล็กกล้า AISI 1020 มีความแข็งเทียบเท่าความแข็งของมีดทางการเกษตร นอกจากนี้ค่าความแข็งแบ่งเป็นสามโซนเช่นเดียวกับมีดทางการเกษตรดังแสดงในระย A, B และ C ใน Figure 5 โดย Figure 6 (a)-(c) แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน AISI 1020 ที่ผ่านกรรมวิธีการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวของเหล็กและการชุบแข็ง โดยพบ (1) โครงสร้างมาร์เทนไซต์และซีเมนไทต์ (Figure 4(a)) ซึ่งเป็นช่วงที่ความแข็งสูงที่สุดในช่วง A ของ Figure 5 (2) ขณะเดียวกันพบมาร์เทนไซต์และเฟอร์ไรต์ (Figure 6(b)) อยู่ในช่วง B ของ Figure 5 โดยปริมาณของเฟอร์ไรต์จะเพิ่มขึ้นตามระยะทาง และ (3) เฟอร์ไรต์และมาร์เทนไซต์ (Figure 6 (c)) ในช่วง C ของ Figure 5



**Figure 6** Microstructure of AISI 1020 after packed carburizing process and hardening process:

a) Zone A, b) Zone B, and c) Zone C : M ( Martensite ), C ( Cementite), and F ( Ferrite )

การศึกษาการปรับปรุงเหล็กกล้า AISI 1020 โดยกรรมวิธีทางการแพร่คาร์บอนที่ผิวและการชุบแข็งในการทดลองนี้พบว่า โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้า AISI 1020 ได้มีการเปลี่ยนแปลงและพบโครงสร้างที่มีความแข็ง เช่น มาร์เทนไซต์ที่และซีเมนไทต์ที่ปลายคม และโครงสร้างมาร์เทนไซต์และเฟอไรต์ในบริเวณถัดจากปลายคม ซึ่งโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผลให้ค่าความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำประเภทนี้เปลี่ยนแปลงดังแสดงใน Figure 4 and 5 โดยผลการทดลองดังกล่าวได้ถูกพบในบทความที่ศึกษาเกี่ยวกับการแพร่

คาร์บอนที่ผิวและการชุบแข็งของเหล็กกล้า เช่น ในบทความ Effects of Carburizing Process Variables on Mechanical and Chemical Properties of Carburized Mild Steel (Oyetunji *et al*, 2012) ที่ได้ทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ของกระบวนการแพร่คาร์บอนที่ผิวและการชุบแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เช่น เวลาและอุณหภูมิ โดยพบว่า เวลาและอุณหภูมิส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนจากกระบวนการ Carburization ที่แพร่เข้าไปในเหล็กกล้าผสมต่ำ

ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหล็กกล้าผสมต่ำภายหลังจากการชุบแข็งและมผลโดยตรงกับการเพิ่มสมบัติด้านการต้านแรงดึงของเหล็กกล้าผสมต่ำและบทความ An experimental study on the mechanical characteristics of low alloy carbon steels for better performance of traditional farm implements in Ethiopia (B.K. Azmite *et al*, 2015) ได้แสดงถึงผลการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหลังจากการทำทางการแพร่คาร์บอนที่ผิวและการชุบแข็ง โดยความแข็งสูงสุดที่ผิวจะเกิดจากโครงสร้างมาร์เทนไซต์และซีเมนไทต์ และความแข็งจะลดลงเนื่องจากการลดลงของปริมาณของมาร์เทนไซต์ ดังนั้นความรู้จากผลการทดลองของการศึกษาครั้งนี้จึงสอดคล้องกับบทความของนักวิจัยที่ได้ศึกษาด้านการแพร่คาร์บอนที่ผิวและการชุบแข็งและจากการพบโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่ด้านขอบของชิ้นงานและมีโครงสร้างเฟิร์ลไลต์และเฟอไรท์ที่มีความเหนียวตรงกลางชิ้นงานทำให้สรุปได้ว่ากรรมวิธีทางการแพร่คาร์บอนที่ผิวและการชุบแข็งนั้นสามารถปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้า AISI 1020 ให้มีความเหมาะสมที่จะใช้ในงานในอุตสาหกรรมทางการเกษตรได้ ดังนั้นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านการทำการปรับสภาพโดยการแพร่คาร์บอนที่ผิวของเหล็กและการชุบแข็งจึงเป็นอีกหนึ่งวัสดุทางเลือกของใบมีดทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

### เอกสารอ้างอิง

James C. Ingram , Economic Change in Thailand, Stanford University Press, 1971.

M. J. Campbell, New Technology and Rural Development- The Social Impact, The Association of Development Research and Training Institutions of Asia and the Pacific, Routledge London and New York, 1990.

### สรุป

การศึกษาแนวทางการนำวิธีการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวเหล็กมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 เพื่อใช้ทดแทนอุปกรณ์ทางการเกษตร สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ตัวแปรที่สำคัญของอุปกรณ์ทางการเกษตร คือ ปริมาณคาร์บอน ซึ่งปริมาณคาร์บอนที่เพียงพอจะทำให้อุปกรณ์ทางการเกษตรมีโครงสร้างจุลภาคที่เหมาะสม เช่น โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่บริเวณปลายคม

2. ตัวแปรที่สำคัญของกรรมวิธีการแพร่คาร์บอนที่ผิวของเหล็ก คือ อุณหภูมิ และ เวลา ที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพของการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำสูงขึ้น

3. กรรมวิธีการแพร่คาร์บอนที่ผิวของเหล็กที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสามารถปรับปรุงโครงสร้างและสมบัติความแข็งให้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ซึ่งหลังจากการปรับสภาพ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 จะเกิดผิวที่แข็ง เนื่องจากการเกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่ผิว และมีความเหนียวตรงกลางเนื่องจากการเกิดโครงสร้างเฟิร์ลไลต์และเฟอไรท์ ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะใช้ในงานอุตสาหกรรมทางการเกษตรที่ต้องพบกับแรงกระแทกและการเสียดสีไปพร้อมๆ กันในขณะใช้งาน

P.C. Prasannan, Carburization of Steel –

Overview, Indian Journal of Engineering and Material Sciences, Vol.1, 1994, pp.221-228.

A. Oyetunji and S. O. Adeosun, Effects of Carburizing Process Variables on Mechanical and Chemical Properties of Carburized Steel, journal of Basics and Applied Science, Vol.8, 2012, pp. 319-324.

- K H Prabhudev, Handbook of Heat Treatment of Steels, McGraw- Hill Publishing, 1988.
- Narongsak Thammachot, Wanna Homjabok and Naruedom Thadee, The efficiency of different types of wood charcoal on increasing carbon content on surfaces of low carbon steel in the pack carburizing process, KKU Engineering Journal Vol 3, 2014, pp. 383-391.
- Harry Chandler, Heat Treatment' s Guide "Practices and Procedures for Iron and Steels" 2nd Edition , ASM International, 1995.
- Fatai Olufemi ARAMIDE, Simeon Ademola IBITOYE, Isiaka Oluwole OLADELE and Joseph Olatunde BORODE, Pack Carburization of Mild Steel, using Pulverized Bone as Carburizer: Optimizing Process Parameters, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technology, 16, 2010, pp. 112.
- H. E. Boyer: Cae Hardening of Steel, ASM International, 1987.
- Reed- Hill, E. 1994. Physical Metallurgy Principles. 3rd Edition. PWS Publishing Company. USA. pp. 644.
- B. K. Azmite, A. A. Werkneh, A. T. Abebe, F. G. Hone, An experimental study on the mechanical characteristics of low alloy carbon steels for better performance of traditional farm implements in Ethiopia, International Journal of Materials

**Received 15 December 2016**

**Accepted 31 August 2017**