การเปรียบเทียบสารเร่งปฏิกิริยาระหว่างเถ้าไม้ยางพารากับแคลเซียมคาร์บอเนตในกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิงโดยใช้ผงถ่านไม้ยางพารา

The Comparison of Energizer between the Rubber Wood Ash and $CaCO_3$ in the Pack Carburizing Process with Rubber Wood Charcoal Powder

พีรวัส คงสง* นันทนา จันทร์โสม และ ศิริพร เฝ้าหนองดู่

Peerawas Kongsong*, Nanthana Jansom and Siriporn Faonongdu

Received: 26 September 2018, Revised: 14 November 2018, Accepted: 3 May 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้กรรมวิธีแพ็คคาร์บูไรซิงในการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยถ่านไม้ยางพาราเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1020 ความลึกของชั้นผิวแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านการชุบแข็งถูกเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ไม่ผ่านการชุบแข็ง โดยทำการแพ็คคาร์บูไรซิงเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ 950 °C ด้วยเวลาคาร์บูไรซิง 30, 60 และ 90 นาที และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิออสเทนไนต์ที่ 850 °C เป็นเวลา 30 นาที และจุ่มชุบในน้ำ แล้วนำตัวอย่างไปทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 30 นาที สารเพิ่มคาร์บอนประกอบไปด้วยถ่านไม้ยางพาราผสมสารเร่งปฏิกิริยา 10% ได้แก่ เถ้าไม้ยางพาราและ $CaCO_3$ แล้วตรวจความลึกของชั้นผิวแข็งของตัวอย่างด้วยด้วยไมโครวิกเกอร์และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค จากผลการทดลองพบว่า ถ่านไม้ยางผสมกับสารเร่ง $CaCO_3$ ที่ 950 °C เป็นเวลา 90 นาที ให้ความแข็งที่ผิวสูงที่สุด 681 HMV และเถ้าไม้ยางพาราให้ค่าความแข็งที่ผิว 665 HMV นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างจุลภาคที่ผิวของชิ้นงานที่ใช้ $CaCO_3$ และเถ้าไม้ยางพารา ประกอบด้วยมาเทนไซต์และซีเมนไทต์ เช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้เถ้าไม้ยางพาราจึงสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการแพ็คคาร์บูไรซิงได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: แพ็คคาร์บูไรซิง, เถ้าไม้ยางพารา, แคลเซียมคาร์บอเนต, ถ่านไม้ยางพารา

สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

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

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e–mail): physics_psu@windowslive.com

ABSTRACT

The purpose of this research is to apply a pack carburizing process for low carbon steel hardening with rubber wood charcoal to improve the mechanical properties of low carbon steel grade AISI 1020. The depth hardness of low carbon steels hardening was compared with those of non-hardened low carbon steel. The experiment was made by pack carburized low carbon steel at 950 °C with the carburizing time of 30, 60 and 90 min and cooled in air. It was heated by austenitizing treatment at the temperature of 850 °C for 30 min and quenched in water. The specimens were tempered at a temperature of 150 °C for 30 minutes. The carburizing substance is rubber charcoal mixed with 10% of energizer such as rubber wood ash and $CaCO_3$. The specimens were checked for case depth by Micro-Vicker testing and microstructure inspection. The results showed that the rubber wood charcoal mixed with $CaCO_3$ energizer at 950 °C with the carburizing time of 90 min produced the highest hardness value of 681 HMV and the surface hardness of rubber wood ash was 665 HMV. It was also found that the microstructure on the surface with both $CaCO_3$ and rubber wood ash were martensite and cementite. For this reason, rubber wood charcoal ash can be used as an energizer to pack carburizing as well.

Key words: pack carburizing, rubber wood ash, $CaCO_3$, rubber wood charcoal

บทนำ

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นเหล็กกล้าที่นิยมนำมาใช้ในงานทั่วๆ ไป เนื่องจากมีคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กอยู่ไม่เกิน 0.2% เมื่อมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่น้อยทำให้เหล็กกล้าชนิดนี้มีความแข็งน้อยและมีความแข็งแกร่งไม่มากเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าชนิดอื่นๆ แต่ก็ยังมีการผลิตออกมาใช้งานมากที่สุดเพราะเป็นเหล็กที่มีราคาไม่แพง เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำไม่สามารถนำมาชุบผิวแข็งได้ แต่ถ้าต้องการนำมาชุบผิวแข็งจะต้องใช้วิธีเพิ่มคาร์บอนที่ผิวก่อน ดังนั้นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำจึงเหมาะแก่การนำไปทำกระบวนการชุบผิวแข็งเพื่อเพิ่มความแข็งที่ผิวของชิ้นงานให้มากขึ้น ในขณะเดียวกันก็มีความเหนียวภายในชิ้นงาน (ณรงค์ศักดิ์, 2549)

กระบวนการคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing Process) เป็นกระบวนการเพิ่มคาร์บอนไปที่ผิวของชิ้นงานและนำไปทำการชุบแข็งและอบคืนตัวเพื่อให้ที่ผิวมีความแข็งสูงแต่ยังคงความเหนียวภายในชิ้นงานจึงสามารถรับแรงกระแทกได้ดี ทั้งนี้กระบวนการคาร์บูไรซิงมีอยู่หลายแบบทั้งที่เป็นแบบของแข็ง ของเหลวและแก๊ส แต่วิธีที่ไม่ยุ่งยาก สะดวก และใช้ต้นทุนต่ำคือ แบบของแข็ง เรียกว่า “กระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิง” เป็นกระบวนการที่อาศัยกลไกการแพร่ของคาร์บอนเข้าสู่ผิวของชิ้นงาน แหล่งกำเนิดคาร์บอนอาจมาจากถ่านโค๊กหรือถ่านไม้ โดยนำมาบดและผสมกับสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการแพร่ของคาร์บอนจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิออสเทนไนไทซิงและต้องอาศัยเวลาที่มากพอเพื่อให้เกิดการแพร่อย่างสมบูรณ์ (วรรณา และคณะ, 2558; ธีระพล และคณะ, 2551) จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวที่ผ่านมา สารแพ็คคาร์บูไรซิงจะประกอบไปด้วยถ่านไม้และถ่านโค้กกับสารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสำหรับอุตสาหกรรม แต่สำหรับชุมชนหรือครัวเรือนอาจหาถ่านโค้กได้ยาก ถ่านไม้ที่นำมาใช้ในกระบวนการ

แพ็คคาร์บูไรซิงเป็นส่วนที่ให้คาร์บอนเพื่อแพร่เข้าสู่ผิวชิ้นงาน โดยถ่านไม้ที่นิยมนำมาใช้เป็นสารให้คาร์บอน ได้แก่ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านไม้มะขาม ถ่านเหง้ามันสำปะหลัง ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านไม้ไผ่ เป็นต้น (วรรณา และคณะ, 2558) นอกจากถ่านไม้ดังกล่าวแล้ว ถ่านไม้ยางพาราก็เป็นถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนสูง (Shunsuke, 2004) และสามารถนำมาเป็นแหล่งคาร์บอนได้เช่นกัน สำหรับชนิดของสารเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ในการแพ็คคาร์บูไรซิงก็เป็นปัจจัยที่สำคัญ เพราะเป็นแหล่งกำเนิดของคาร์บอเนต (CO_3) โดยสารเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ทั่วไปมีหลายชนิด เช่น $CaCO_3$, Na_2CO_3 และ $BaCO_3$ เป็นต้น (วรรณา และคณะ, 2558) สารประกอบคาร์บอเนตเหล่านี้เมื่อถูกความร้อนจะเกิดการแตกตัวได้แก๊ส CO_2 จากนั้น CO_2 จะรวมตัวกับคาร์บอนจากถ่านทำให้ได้แก๊ส CO เมื่อแก๊ส CO ที่เกิดขึ้นสัมผัสกับผิวเหล็กแล้วจะแตกตัวให้อะตอมของคาร์บอนและแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น โดยปฏิกิริยาจะเกิดอย่างต่อเนื่อง ดังนี้

$$3Fe + 2CO \longrightarrow Fe_3C + CO_2$$

$$3Fe + 2CO \longrightarrow 3Fe + C \text{ (ละลายในออสเทนไนต์)} + CO_2$$

สำหรับสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่ $BaCO_3$, Na_2CO_3 หรือ $CaCO_3$ เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงจะแตกตัวให้แก๊ส CO_2 ดังปฏิกิริยา

$$BaCO_3 \longrightarrow BaO + CO_2$$

$$Na_2CO_3 \longrightarrow Na_2O + CO_2$$

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$

คาร์บอนจะแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เวลา ชนิดและปริมาณของถ่านและสารเร่งปฏิกิริยา (มนัส, 2539) แต่การใช้วัสดุที่มีอยู่ธรรมชาติมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาก็สามารถลดต้นทุนลงได้ โดยมีการศึกษาการใช้เปลือกไข่มาเป็นเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิง เนื่องจากเปลือกไข่มีปริมาณ $CaCO_3$ ที่สูง (วรรณา และคณะ, 2558) นอกจากเปลือกไข่แล้ว เถ้าไม้ยางก็เป็นเศษวัสดุที่เหลือจากการเผาไหม้ไม้ยางพาราและโครงสร้างผลึกส่วนใหญ่เป็นผลึก $CaCO_3$ (Masae *et al*., 2016) ดังนั้นเถ้าไม้ยางพาราก็สามารถนำมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิงได้เช่นกัน

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิง โดยใช้ถ่านไม้ยางพาราเป็นแหล่งให้คาร์บอนและเถ้าไม้ยางพาราเป็นสารเร่งปฏิกิริยา และเปรียบเทียบผลที่ได้กับ $CaCO_3$ โดยจะศึกษาผลของเวลาในการแพ็คคาร์บูไรซิงที่มีผลต่อค่าความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมชิ้นงานและสารแพ็คคาร์บูไรซิง

1.1 เตรียมชิ้นงานจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1020 โดยการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทำแพ็คคาร์บูไรซิงให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 10 เซนติเมตร

1.2 เตรียมสารสำหรับทำการชุบผิวแข็ง โดยนำถ่านไม้ยางพารามาบดย่อยและร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผงถ่าน (Ø) < 5 มิลลิเมตร

1.3 นำถ่านไม้ยางพาราและเถ้าไม้ยางพาราไปวิเคราะห์ลักษณะและปริมาณธาตุต่างๆ ด้วยเทคนิค SEM และ EDS (Scanning electron-microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry) และนำเถ้าไม้

ยางพาราไปตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRD (X–ray diffractometry)

2. ขั้นตอนการชุบแข็งโดยวิธีการเพิ่มคาร์บอน

2.1 เติมสารที่เตรียมแพ็คคาร์บูไรซิงไว้ในกล่องรองพื้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 15 เซนติเมตร ที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1020 โดยใช้ส่วนผสม 3 ส่วนผสม คือ ถ่านไม้ยางพารา 100% ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ เถ้าไม้ยางพารา 10% และถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ $CaCO_3$ 10%

2.2 วางชิ้นงานทดลองบนสารแพ็คคาร์บูไรซิงและกลบทับด้วยสารแพ็คคาร์บูไรซิงจนเต็มกล่อง

2.3 ปิดฝากล่องให้สนิทแล้วใช้ดินเหนียวทนไฟอุดขอบฝาให้แน่น เพื่อไม่ให้อากาศเข้าและออกจากกล่อง

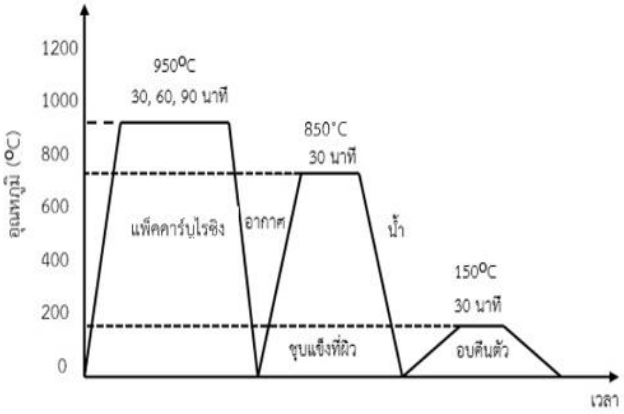
2.4 นำกล่องที่ปิดฝาแล้วเข้าเตาอบ (MODUTEMP รุ่น WW51A) ที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

2.5 เมื่ออบชุบตามเวลาที่กำหนดแล้วนำกล่องออกจากเตาเพื่อให้เย็นตัวในอากาศ

2.6 นำชิ้นงานที่ผ่านการทำเพิ่มคาร์บอนมาทำการชุบแข็งโดยใช้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการจุ่มชุบในน้ำเพื่อให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วเป็นเวลา 10 นาที

2.7 นำชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งมาทำเทมเปอร์ โดยให้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 30 นาที นำชิ้นงานออกจากเตาแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ (วรรณา และคณะ, 2558)

โดยขั้นตอนการแพ็คคาร์บูไรซิงและการชุบแข็งแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอน การเพิ่มคาร์บอน ชุบแข็งและการทำเทมเปอร์

3. การทดสอบและการตรวจสอบ

ทดสอบความแข็งของตัวอย่างด้วยเครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ส (บริษัท Matsuzawa Co., Ltd รุ่น MMT-X series) โดยใช้แรงกด 200 กรัม เวลากด 10 วินาที ซึ่งชิ้นงานทดสอบจะถูกขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อให้ผิวของชิ้นงานทดสอบเรียบก่อนการวัดค่าความแข็ง การวัดค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบจะวัดบริเวณขอบหน้าตัดของชิ้นงานทดสอบ ส่วนการวัดความแข็งซึมลึกจะวัดบริเวณหน้าตัดชิ้นงานโดยวัดจากผิวเข้าไปยังแกนกลางของชิ้นงาน โดยตำแหน่งแรกห่างจากผิวนอกสุดของชิ้นงานเข้ามา 0.1 มิลลิเมตร และที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร แต่ละชั้นความลึกทำการวัด 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย และทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope, ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX60M)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

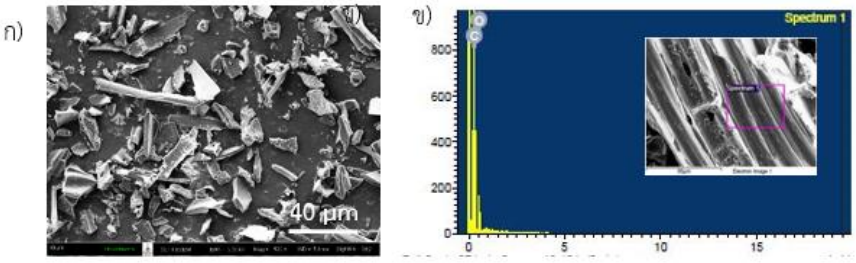
1. ผลการตรวจคุณลักษณะของถ่านไม้ยางพาราและเถ้าไม้ยางพาราด้วยเทคนิค SEM, EDS และ XRD

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของผงถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิค SEM แสดงดังภาพที่ 2 ก

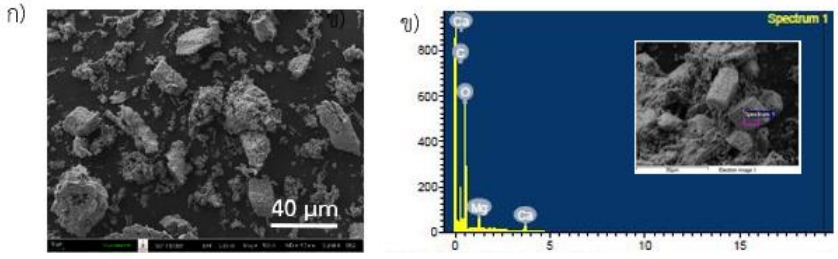
จากภาพจะเห็นได้ว่าผงถ่านมีลักษณะเป็นผงที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ (ภาพที่ 2 ข) พบว่า ถ่านไม้ยางประกอบด้วยธาตุคาร์บอน 90.32% และพบธาตุออกซิเจน 9.68% ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ่านไม้ยางพารามีปริมาณคาร์บอนที่สูง จึงเหมาะที่จะนำมาเป็นสารที่ให้คาร์บอนสำหรับกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิง

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของเถ้าไม้ยางพาราด้วยเทคนิค SEM แสดงดังภาพที่ 3 ก จากภาพจะเห็นได้ว่าเถ้าไม้ยางมีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่และมีผงขนาดเล็กกระจายอยู่ เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ (ภาพที่ 3 ข) พบว่า เถ้าไม้ยางพารามีธาตุแคลเซียมมากที่สุดที่ 46.54% และธาตุออกซิเจน 42.82% นอกจากนี้ยังพบธาตุแมกนีเซียมและคาร์บอน แต่พบในปริมาณที่น้อยมาก

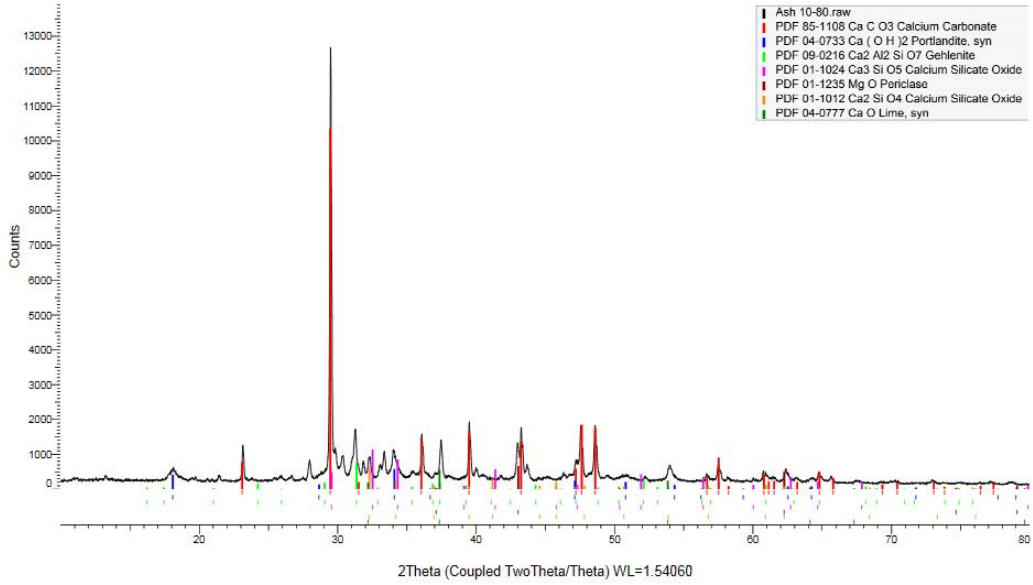
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าไม้ยางพาราด้วยเทคนิค XRD ผลแสดงในภาพที่ 4 จากกราฟ XRD จะเห็นได้ว่าเถ้าไม้ยางพารามีปริมาณ $CaCO_3$ ที่สูงมาก และยังประกอบด้วยธาตุอื่นๆ ปะปนอยู่เล็กน้อย จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเถ้าไม้ยางก็สามารถนำมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาได้ เนื่องจากมีปริมาณ $CaCO_3$ ที่สูง ซึ่ง $CaCO_3$ สามารถในการแตกตัวให้คาร์บอนที่ดีเหมาะที่จะนำไปใช้ในกรรมวิธีการเพิ่มคาร์บอนให้กับเหล็ก



ภาพที่ 2 ก) ภาพถ่าย SEM ของผงถ่านไม้ยางพารา (กำลังขยาย 500X) ข) กราฟแสดงปริมาณธาตุต่างๆ ในถ่านไม้ยางพารา



ภาพที่ 3 ก) ภาพถ่าย SEM ของเถ้าไม้ยางพารา (กำลังขยาย 500X) และ ข) กราฟแสดงปริมาธาตุต่างๆ ในเถ้าไม้ยางพารา



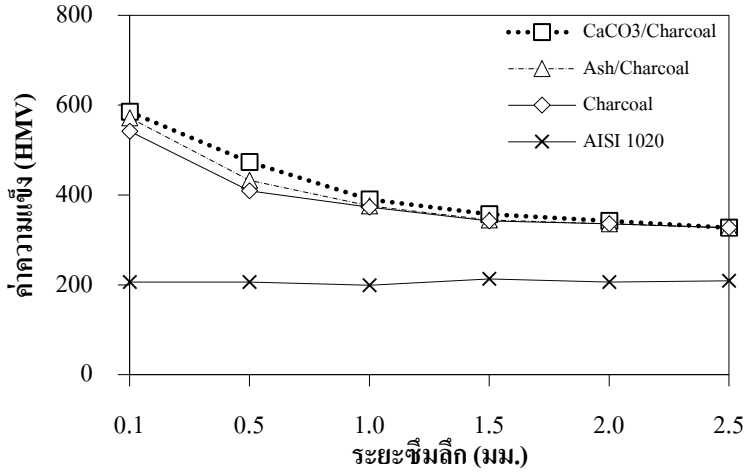
ภาพที่ 4 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าไม้ยางพาราด้วยเทคนิค XRD

2. ผลเวลาและชนิดสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเพิ่มคาร์บอนที่มีผลต่อกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิง

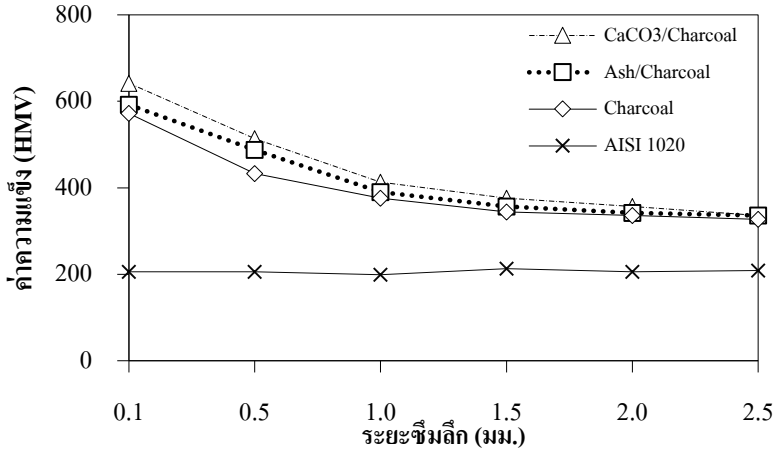
ชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีแพ็คคาร์บูไรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที โดยใช้ส่วนผสม 3 ส่วนผสม คือ ถ่านไม้ยางพารา 100% (Charcoal) ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ เถ้าไม้ยางพารา 10% (Ash/Charcoal) และถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ $CaCO_3$ 10% ($CaCO_3$/Charcoal) จากนั้นทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 30 นาที และอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 30 นาที และนำมาทดสอบระยะซึมลึกของชั้นผิวแข็งแสดงดังภาพที่ 5-7

การทดสอบระยะซึมลึกของชั้นผิวแข็งโดยการกำหนดระยะในการวัดที่ 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร โดยใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ พบว่า สารเร่งปฏิกิริยาจาก $CaCO_3$ ที่เวลาต่างๆ จะมีค่าความแข็งสูงสุด รองลงมาคือ เถ้าไม้ยางพาราและถ่านไม้ยาง 100% ตามลำดับ และค่าความแข็งจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะลึกเพิ่มมากขึ้น ส่วนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว พบว่า ค่าความแข็งไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนที่ไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนโครงสร้างของเหล็ก จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเถ้าไม้ยางพาราจะให้ความแข็งที่น้อยกว่า $CaCO_3$ เพียงเล็กน้อย ที่ทุกระยะความลึก เนื่องจากในเถ้าไม้ยางมีปริมาณ $CaCO_3$ ที่สูง

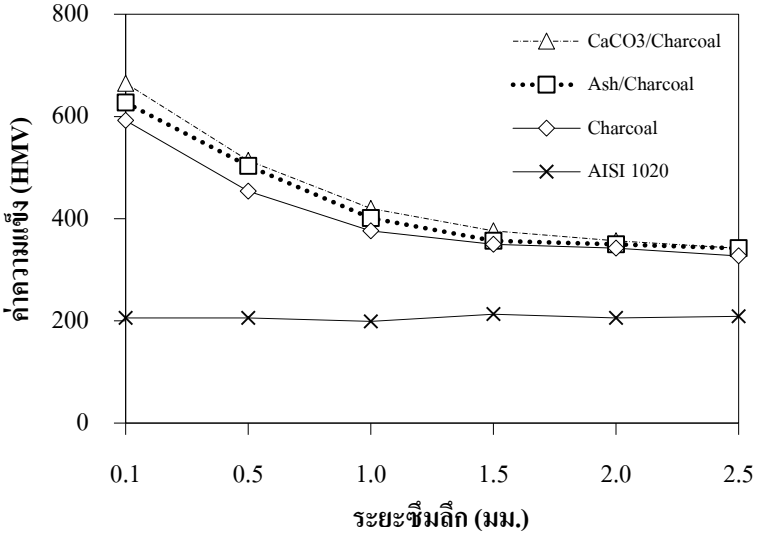
เมื่อเปรียบเทียบความแข็งกับเวลาในการทำแพ็คคาร์บูไรซิง ผลแสดงดังภาพที่ 8 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความแข็งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น เวลาที่สั้นทำให้การแพร่มีช่วงเวลาในการแทรกตัวของอะตอมคาร์บอนที่ต่ำ และการใช้สารเร่งปฏิกิริยาทุกชนิด จะมีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้นที่เวลาเพิ่มขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ที่เวลา 90 นาที จะมีค่าความแข็งสูงที่สุดของสารเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิด ซึ่งสารเร่งปฏิกิริยา $CaCO_3$ มีการเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 90 นาที มีค่าความแข็งที่ 665 HMV ซึ่งเป็นความแข็งที่สูงที่สุด และมากกว่าที่เวลา 60 และ 30 นาที ตามลำดับ เนื่องจากเวลาในการแพร่ที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตรงกับระยะซึมลึก และระยะเวลาในการแพร่ที่เพิ่มจะสอดคล้องกับทฤษฎีอัตราการแพร่ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลามากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มคาร์บอนสูงขึ้น (Thammachot *et al*., 2016; มนัส, 2539)



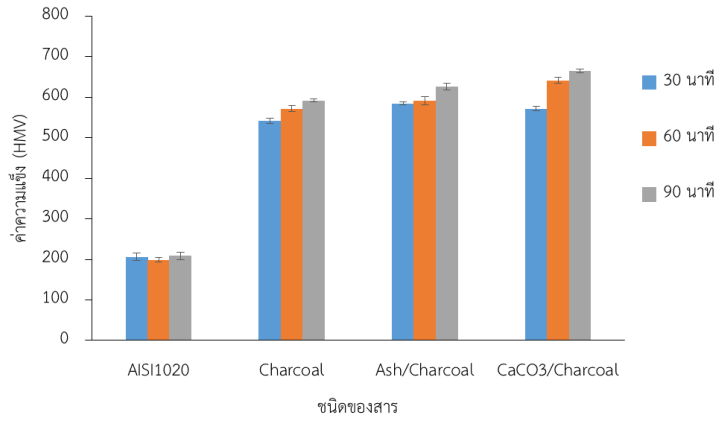
ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบระยะซึมลึกของชั้นผิวแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบระยะซึมลึกของชั้นผิวแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 60 นาที



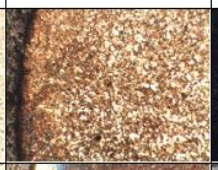
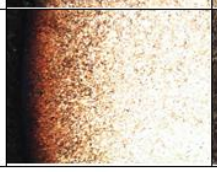
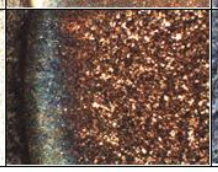
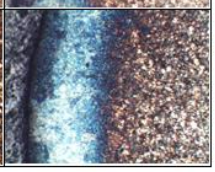
ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบระยะซึมลึกของชั้นผิวแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 90 นาที



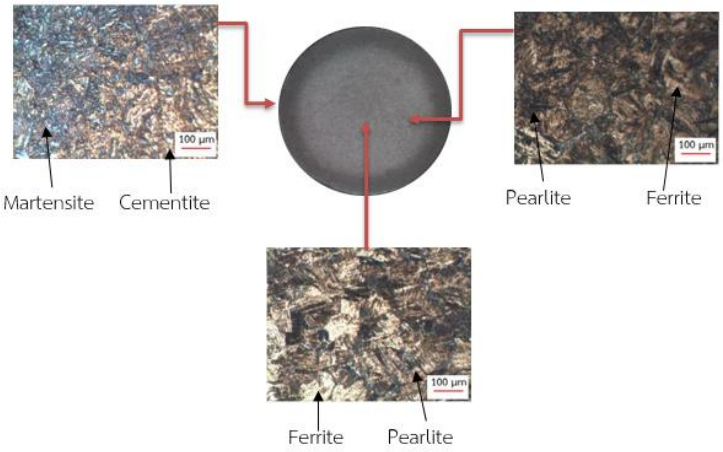
ภาพที่ 8 ค่าความแข็งที่ระยะซึมลึกที่ 0.1 มิลลิเมตร ของตัวอย่างที่ให้อุณหภูมิเพิ่มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ

3. การเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 ที่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิงและการชุบแข็ง

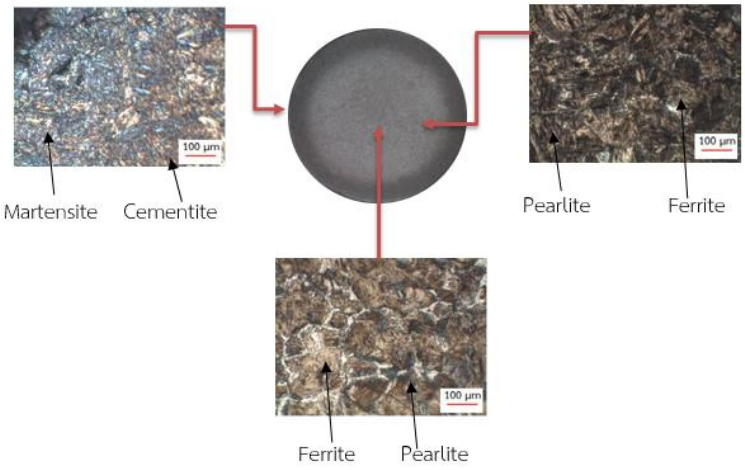
ชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีแพ็คคาร์บูไรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 30 นาที และจุ่มชุบในน้ำ แล้วทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 30 นาที นำชิ้นงานไปขัดเพื่อดูโครงสร้างจุลภาค ซึ่งผลการทดลองแสดงในภาพที่ 9 จากภาพจะเห็นโครงสร้างที่ผิวของชิ้นงานจะมีอัตราการแพร่ของคาร์บอนค่อนที่สูงขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น โดยโครงสร้างมีการเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ แต่ก็ยังมีโครงสร้างเฟอร์ไรท์และเพิร์ลไลต์อยู่ เมื่อพิจารณาที่ 90 นาที จะเห็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่ชัดเจน บริเวณผิวรอบนอกชิ้นงานในตัวอย่างที่มีสารเร่งปฏิกิริยาจากเถ้าไม้ยางพาราและ $CaCO_3$ (Thammachot *et al*., 2016) เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่มีการอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950 °C ที่เวลา 90 นาที ทั้ง 3 ส่วนผสมคือ ถ่านไม้ยางพารา 100% ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ เถ้าไม้ยางพารา 10% และถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ $CaCO_3$ 10% จะเห็นได้ว่าโครงสร้างที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งบริเวณขอบชิ้นงานจะพบโครงสร้างมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ ส่วนบริเวณกึ่งกลางระหว่างขอบชิ้นงานกับกลางชิ้นงานพบโครงสร้างเพิร์ลไลต์กับเฟอร์ไรต์ และบริเวณกลางชิ้นงานพบโครงสร้างเพิร์ลไลต์กับเฟอร์ไรต์ (ภาพที่ 10-12) จะเห็นได้ว่าโครงสร้างที่ได้จะสอดคล้องกับค่าความแข็งในภาพที่ 7 ซึ่งค่าความแข็งที่สูงที่สุดจะเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ (ณรงค์ศักดิ์ และคณะ 2557) เพราะที่ผิวเกิดแพร่ของคาร์บอนสูงเมื่อผ่านการชุบแข็งจึงเปลี่ยนเป็นโครงสร้างมาเทนไซต์ โดยแนวโน้มของมาเทนไซต์และซีเมนไทต์จะลดลงและเกิดโครงสร้างเพิร์ลไลต์และเฟอร์ไรต์เพิ่มมากขึ้น (วรรณา และคณะ, 2558)

ส่วนผสม	เวลาอบเพิ่มคาร์บอน		
	30 นาที	60 นาที	90 นาที
ถ่านไม้ยางพารา 100%			
ถ่านไม้ยางพารา 90% เถ้าไม้ยางพารา 10%			
ถ่านไม้ยางพารา 90% แคลเซียมคาร์บอเนต 10%			

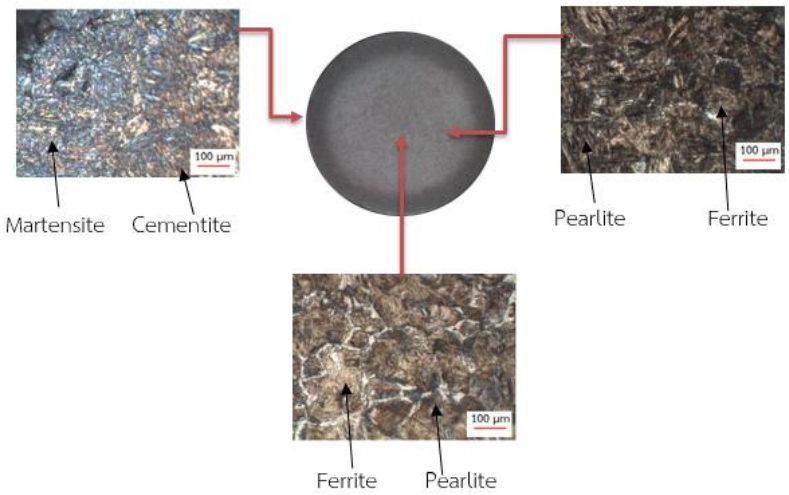
ภาพที่ 9 ถ่านไม้ยางพารา 100% (กำลังขยาย 50X)



ภาพที่ 10 ถ่านไม้ยางพารา 100% อุณหภูมิแพ็คคาร์บูไรซิง 950 °C เป็นเวลา 90 นาที (กำลังขยาย 50X)



ภาพที่ 11 ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ เถ้าไม้ยางพารา 10% อุณหภูมิแพ็คคาร์บูไรซิง 950 °C เป็นเวลา 90 นาที (กำลังขยาย 50X)



ภาพที่ 12 ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ $CaCO_3$ 10% อุณหภูมิแพ็คคาร์บูไรซิง 950 °C เป็นเวลา 90 นาที (กำลังขยาย 50X)

สรุป

จากผลการวัดระยะซึมลึกของชั้นผิวแข็งและโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 ที่ผ่านกรรมวิธีการเพิ่มคาร์บอน โดยอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950 °C ที่เวลา 30, 60 และ 90 นาที ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 30 นาที และจุ่มชุบในน้ำ แล้วทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950 °C ที่เวลา 90 นาที ชุบแข็งและทำเทมเปอร์ โดยใช้ $CaCO_3$ เป็นสารเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ได้ความแข็งสูงที่สุด แต่สารเร่งปฏิกิริยาจากเถ้าไม้ยางพาราก็มีความแข็งใกล้เคียงกับการใช้ $CaCO_3$

2. ผลของเวลาในการทำคาร์บูไรซิงที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะซึมลึกของชั้นผิวแข็งมีค่ามากขึ้น เพราะอะตอมของคาร์บอนมีเวลามากพอที่จะแพร่เข้าไปในชิ้นงาน

3. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบเพิ่มคาร์บอนและชุบแข็งที่ผิวและทำเทมเปอร์ โครงสร้างที่ผิวประกอบไปด้วยโครางสร้างมาร์เทนไซต์และซีเมนไตต์และโครงสร้างที่ลึกเข้าไปภายในชิ้นงานจะเป็นโครงสร้างเพิร์ลไลต์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สำหรับการสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ. 2549. **วัสดุวิศวกรรม.** ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพ.

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, วรรณา หอมจะบก และนฤดม ทาดี. 2557. ประสิทธิภาพการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำของถ่านไม้ชนิดต่างๆ ในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง. **วิศวกรรมสาร มข.** 41(3): 383-391.

ธีระพล บันสิทธิ์, กาญจนา บันสิทธิ์, พัฒนศักดิ์ โสร่วมค้อ, อัฐพงค์ จันทปิตา และ สุรมนตรี จ่านันท์. 2551. อิทธิพลของการเคลือบน้ำมัน

พืชต่อคุณภาพไข่ไก่. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก** 1(1): 79-83.

มนัส สถิรจินดา. 2539. **วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก.** สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพ.

วรรณา หอมจะบก, ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และนฤดม ทาดี. 2558. ผลของอุณหภูมิออสเทนไนไทซิงในกระบวนการแพ็คคาร์เบอร์ไรซิงเพื่อใช้ผลิตมีดโต้. **วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 8(3): 126-136.

Masae, M., Sririkun W., Kongsong, P. and Jeenarong, A. 2016. Preparation calcium phosphate bio-ceramic powders from rubber wood ash. **International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology** 3(7): 226-231.

Shunsuke, K. 2004. Adsorption of harmful substances by activated carbon from rubber wood. Bachelor Thesis Department of International Development Engineering Tokyo, Institute of Technology.

Thammachot, N., Nachaisit, P., Homjabok, W., Peeratatsuwan, C., Mayai, A. and Nithikarnjanatharn, J. 2016. The effects of energizer and carburizing temperature and time on mechanical properties of hardened big knives in the pack carburizing process. **KKU Engineering Journal** 43(4): 172-177.