

การเปรียบเทียบสารเร่งปฏิกิริยาระหว่างเถ้าไม้ยางพารากับแคลเซียมคาร์บอเนตในกระบวนการแปรรูปแร่เหล็กโดยใช้ผงถ่านไม้ยางพารา

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

พีรวัส กงสง *, นันทนา จันทรโสม และ ศิริพร เฝ้าหนองดู

Peerawas Kongsong *, Nanthana Jansom and Siriporn Faonongdu

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้กรรมวิธีแปรรูปแร่เหล็กในการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยถ่านไม้ยางพาราเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1020 ความลึกของชั้นผิวแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านการชุบแข็งถูกเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ไม่ผ่านการชุบแข็ง โดยทำการแปรรูปแร่เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ด้วยเวลาการชุบ 30, 60 และ 90 นาที และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิออสเทนไนต์ที่ $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที และจุ่มชุบในน้ำ แล้วนำตัวอย่างไปทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที สารเพิ่มคาร์บอนประกอบไปด้วยถ่านไม้ยางพาราผสมสารเร่งปฏิกิริยา 10% ได้แก่ เถ้าไม้ยางพาราและ CaCO_3 แล้วตรวจสอบความลึกของชั้นผิวแข็งของตัวอย่างด้วยไมโครวิกเกอร์และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค จากผลการทดลองพบว่า ถ่านไม้ยางผสมกับสารเร่ง CaCO_3 ที่ $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 90 นาที ให้ความแข็งที่ผิวสูงที่สุด 681 HVM และถ่านไม้ยางพาราให้ค่าความแข็งที่ผิว 665 HVM นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างจุลภาคที่ผิวของชิ้นงานที่ใช้ CaCO_3 และถ่านไม้ยางพารา ประกอบด้วยมาเทนไซด์และซิเมนไทต์ เช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ถ่านไม้ยางพาราจึงสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการแปรรูปแร่เหล็กได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: แปรรูปแร่เหล็ก, 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

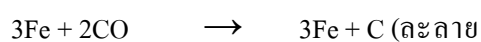
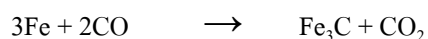
บทนำ

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นเหล็กกล้าที่นิยมนำมาใช้ในงานต่างๆ ไป เนื่องจากมีคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กอยู่ไม่เกิน 0.2% เมื่อมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่น้อยทำให้เหล็กกล้าชนิดนี้มีความแข็งน้อยและมีความแข็งแรงไม่มากเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าชนิดอื่นๆ แต่ก็ยังมีการผลิตออกมาใช้งานมากที่สุดเพราะเป็นเหล็กที่มีราคาไม่แพง เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำไม่สามารถนำมาชุบผิวแข็งได้ แต่ถ้าต้องการนำมาชุบผิวแข็งจะต้องใช้วิธีเพิ่มคาร์บอนที่ผิวก่อน ดังนั้นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำจึงเหมาะแก่การนำไปทำกระบวนการชุบผิวแข็งเพื่อเพิ่มความแข็งที่ผิวของชิ้นงานให้มากขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็มีความเหนียวภายในชิ้นงาน (ณรงค์ศักดิ์, 2549)

กระบวนการคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing Process) เป็นกระบวนการเพิ่มคาร์บอนไปที่ผิวของชิ้นงานและนำไปทำการชุบแข็งและอบคืนตัวเพื่อให้

ที่ผิวมีความแข็งแรงสูงแต่ยังคงความเหนียวภายในชิ้นงาน จึงสามารถรับแรงกระแทกได้ดี ทั้งนี้กระบวนการคาร์บูไรซิงมีอยู่หลายแบบทั้งที่เป็นแบบของแข็งของเหลวและแก๊ส แต่วิธีที่ไม่ยุ่งยาก สะดวก และใช้ต้นทุนต่ำคือ แบบของแข็ง เรียกว่า “กระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิง” เป็นกระบวนการที่อาศัยกลไกการแพร่ของคาร์บอนเข้าสู่ผิวของชิ้นงาน แหล่งกำเนิดคาร์บอนอาจมาจากถ่านโค้กหรือถ่านไม้ โดยนำมาบดและผสมกับสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการแพร่ของคาร์บอนจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิอสเทนไนไทซิงและต้องอาศัยเวลาที่มากพอเพื่อให้เกิดการแพร่อย่างสมบูรณ์ (วรรณ และคณะ, 2558; ชีระพล และคณะ, 2551) จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวที่ผ่านมา สารแพ็คคาร์บูไรซิงจะประกอบไปด้วยถ่านไม้และถ่านโค้กกับสารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรม แต่สำหรับชุมชนหรือครัวเรือนอาจหาถ่านโค้กได้ยาก ถ่านไม้ที่นำมาใช้ในกระบวนการ

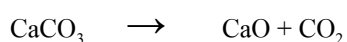
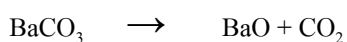
แพ็คคาร์บูไรซิงเป็นส่วนที่ทำให้คาร์บอนเพื่อแพร่เข้าสู่ผิวชิ้นงาน โดยถ่านไม้ที่นิยมนำมาใช้เป็นสารให้คาร์บอน ได้แก่ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านไม้มะขาม ถ่านเหม้งมันสำปะหลัง ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านไม้ไผ่ เป็นต้น (วรรณ และคณะ, 2558) นอกจากนี้ถ่านไม้ดังกล่าวแล้ว ถ่านไม้ยางพาราที่เป็นถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนสูง (Shunsuke, 2004) และสามารถนำมาเป็นแหล่งคาร์บอนได้เช่นกัน สำหรับชนิดของสารเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ในการแพ็คคาร์บูไรซิงก็เป็นปัจจัยที่สำคัญ เพราะเป็นแหล่งกำเนิดของคาร์บอนเนต (CO_3) โดยสารเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ทั่วไปมีหลายชนิด เช่น CaCO_3 , Na_2CO_3 และ BaCO_3 เป็นต้น (วรรณ และคณะ, 2558) สารประกอบคาร์บอนเนตเหล่านี้เมื่อถูกความร้อนจะเกิดการแตกตัวได้แก๊ส CO_2 จากนั้น CO_2 จะรวมตัวกับคาร์บอนจากถ่านทำให้ได้แก๊ส CO เมื่อแก๊ส CO ที่เกิดขึ้นสัมผัสกับผิวเหล็กแล้วจะแตกตัวให้อะตอมของคาร์บอนและแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น โดยปฏิกิริยาจะเกิดอย่างต่อเนื่อง ดังนี้



ในออสเทนไนต์) + CO_2

สำหรับสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่ BaCO_3 , Na_2CO_3

หรือ CaCO_3 เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงจะแตกตัวให้แก๊ส CO_2 ดังปฏิกิริยา



คาร์บอนจะแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เวลา ชนิดและปริมาณของถ่านและสารเร่งปฏิกิริยา (มนัส, 2539) แต่การใช้

วัสดุที่มีอยู่ธรรมชาติมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่สามารถลดต้นทุนลงได้ โดยมีการศึกษาการใช้เปลือกไข่มาเป็นเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิงเนื่องจากเปลือกไข่มีปริมาณ CaCO_3 ที่สูง (วรรณ และคณะ, 2558) นอกจากนี้เปลือกไข่แล้ว ถั่วไม่ยางก็เป็นเศษวัสดุที่เหลือจากการเผาไหม้ไม่ยางพาราและโครงสร้างผลึกส่วนใหญ่เป็นผลึก CaCO_3 (Masae *et al.*, 2016) ดังนั้นถั่วไม่ยางพาราก็สามารถนำมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิงได้เช่นกัน

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิง โดยใช้ถ่านไม้ยางพาราเป็นแหล่งให้คาร์บอนและถั่วไม่ยางพาราเป็นสารเร่งปฏิกิริยา และเปรียบเทียบผลที่ได้กับ CaCO_3 โดยจะศึกษาผลของเวลาในการแพ็คคาร์บูไรซิงที่มีผลต่อค่าความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมชิ้นงานและสารแพ็คคาร์บูไรซิง

1.1 เตรียมชิ้นงานจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1020 โดยการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทำแพ็คคาร์บูไรซิงให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 10 เซนติเมตร

1.2 เตรียมสารสำหรับการชุบผิวแข็ง โดยนำถ่านไม้ยางพารามาย่อยและร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผงถ่าน (ϕ) < 5 มิลลิเมตร

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

ยางพาราไปตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRD (X-ray diffractometry)

2. ขั้นตอนการชุบแข็งโดยวิธีการเพิ่มคาร์บอน

2.1 เตรียมสารที่เตรียมเพื่อคาร์บูไรซิงไว้บนกล่องรองพื้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 15 เซนติเมตร ที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1020 โดยใช้ส่วนผสม 3 ส่วนผสม คือ ถ่านไม้ยางพารา 100% ถ่านไม้ยางพารา 90% คอ ถ่านไม้ยางพารา 10% และถ่านไม้ยางพารา 90% คอ CaCO_3 10%

2.2 วางชิ้นงานทดลองบนสารเพื่อคาร์บูไรซิงและกลบทับด้วยสารเพื่อคาร์บูไรซิงจนเต็มกล่อง

2.3 ปิดฝากล่องให้สนิทแล้วใช้ดินเหนียวทนไฟอุดขอบฝาให้แน่น เพื่อไม่ให้อากาศเข้าและออกจากกล่อง

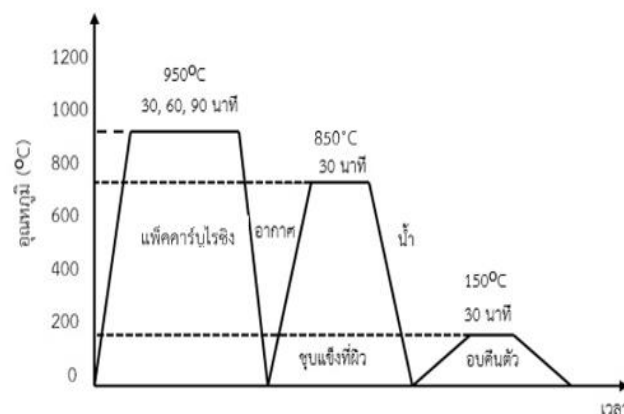
2.4 นำกล่องที่ปิดฝาแล้วเข้าเตาอบ (MODUTEMP รุ่น WW51A) ที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

2.5 เมื่ออบชุบตามเวลาที่กำหนดแล้วนำกล่องออกจากเตาเพื่อให้เย็นตัวในอากาศ

2.6 นำชิ้นงานที่ผ่านการทำเพิ่มคาร์บอนมาทำการชุบแข็งโดยใช้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการจุ่มชุบในน้ำเพื่อให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วเป็นเวลา 10 นาที

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

โดยขั้นตอนการเพิ่มคาร์บูไรซิงและการชุบแข็งแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอน การเพิ่มคาร์บอน ชุบแข็งและการทำเทมเปอร์

3. การทดสอบและการตรวจสอบ

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

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการตรวจคุณลักษณะของถ่านไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิค SEM, EDS และ XRD

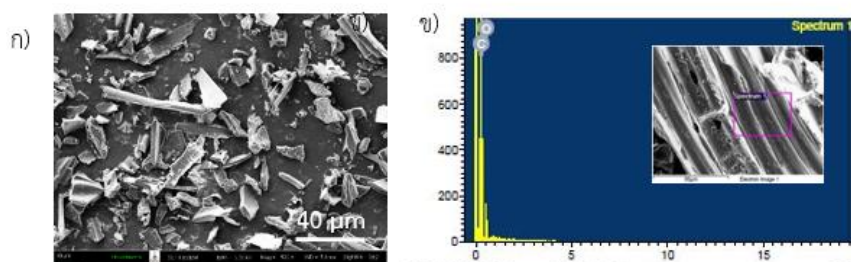
ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของผงถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิค SEM แสดงดังภาพที่ 2 ก

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

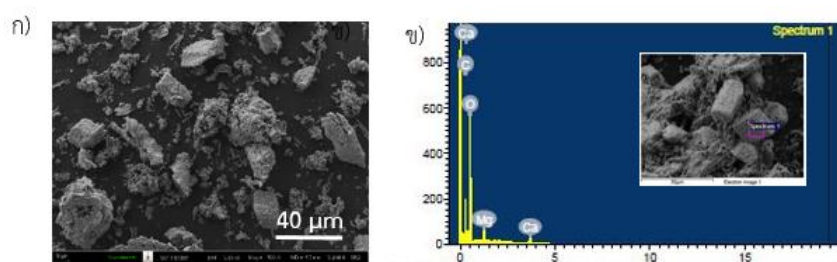
ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิค SEM แสดงดังภาพที่ 3 ก จากภาพจะเห็นได้ว่าถ่านไม้ยางมีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่และมีผงขนาดเล็กกระจายอยู่ เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ

(ภาพที่ 3 ข) พบว่า ถ่านไม้ยางพารามีธาตุแคลเซียมมากที่สุดที่ 46.54% และธาตุออกซิเจน 42.82% นอกจากนี้ยังพบธาตุแมกนีเซียมและคาร์บอน แต่พบในปริมาณที่น้อยมาก

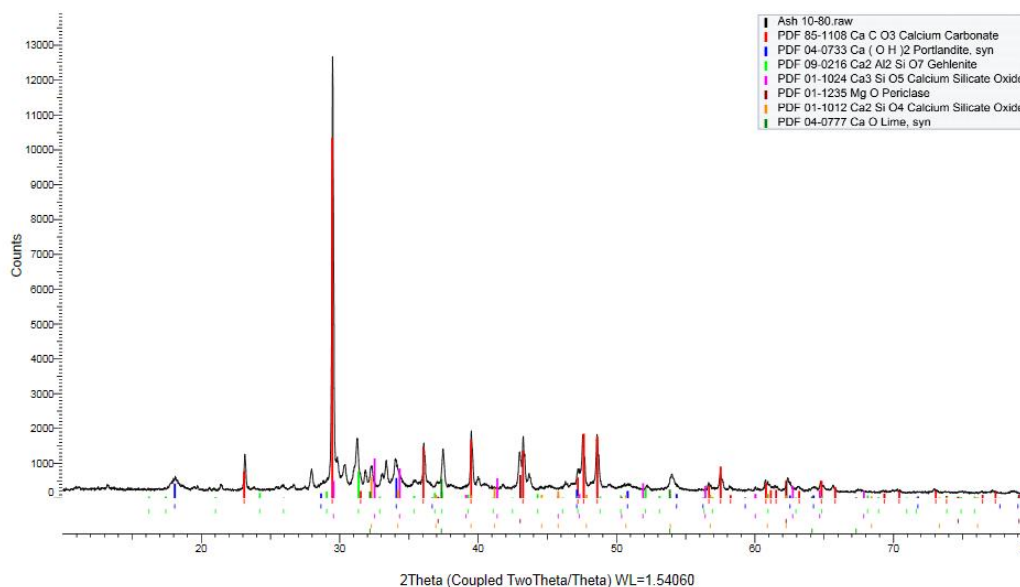
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิค XRD ผลแสดงในภาพที่ 4 จากกราฟ XRD จะเห็นได้ว่าถ่านไม้ยางพารามีปริมาณ CaCO_3 ที่สูงมาก และยังประกอบด้วยธาตุอื่นๆ ปะปนอยู่เล็กน้อย จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าถ่านไม้ยางก็สามารถนำมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาได้เนื่องจากมีปริมาณ CaCO_3 ที่สูง ซึ่ง CaCO_3 สามารถในการแตกตัวให้คาร์บอนที่ดีเหมาะที่จะนำไปใช้ในกรรมวิธีการเพิ่มคาร์บอนให้กับเหล็ก



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



ภาพที่ 3 ก) ภาพถ่าย SEM ของถ่านไม้ยางพารา (กำลังขยาย 500X) และ ข) กราฟแสดงปริมาณธาตุต่างๆ ในถ่านไม้ยางพารา



ภาพที่ 4 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าไม้ยางพาราด้วยเทคนิค XRD

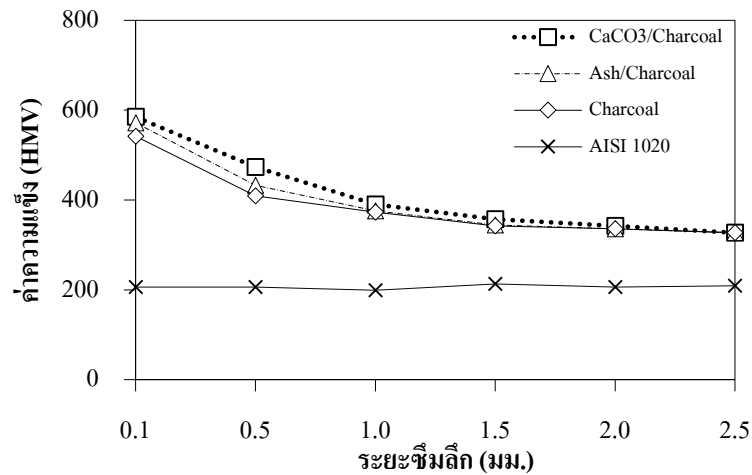
2. ผลเวลาและชนิดสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเพิ่มคาร์บอนที่มีผลต่อกระบวนการแปรรูปไรซิง

ชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีแปรรูปไรซิงที่อุณหภูมิ 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

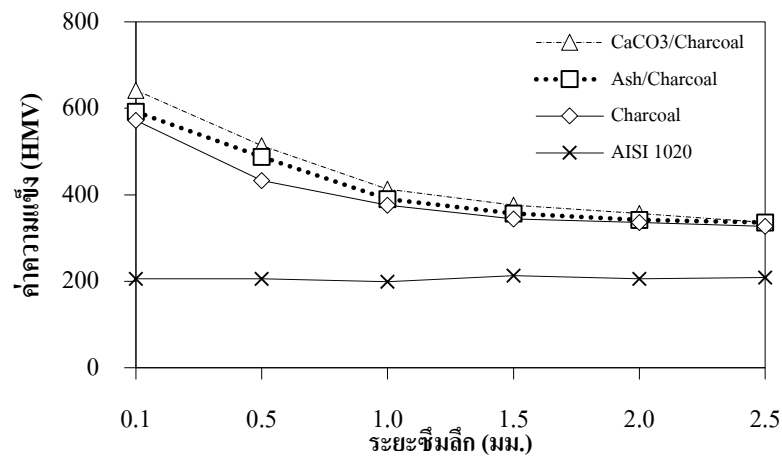
การทดสอบระยะซึมลึกของชั้นผิวแข็งโดยการกำหนดระยะในการวัดที่ 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร โดยใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์พบว่า สารเร่งปฏิกิริยาจาก CaCO_3 ที่เวลาต่างๆ จะมีค่าความแข็งสูงสุด รองลงมาคือ เถ้าไม้ยางพาราและถ่านไม้ยาง 100% ตามลำดับ และค่าความแข็งจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะลึกเพิ่มมากขึ้น ส่วนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวพบว่า ค่าความแข็งไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนที่ไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนโครงสร้าง

ของเหล็ก จากการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเถ้าไม้ยางพาราจะให้ความแข็งที่น้อยกว่า CaCO_3 เพียงเล็กน้อย ที่ทุกระยะความลึก เนื่องจากในเถ้าไม้ยางมีปริมาณ CaCO_3 ที่สูง

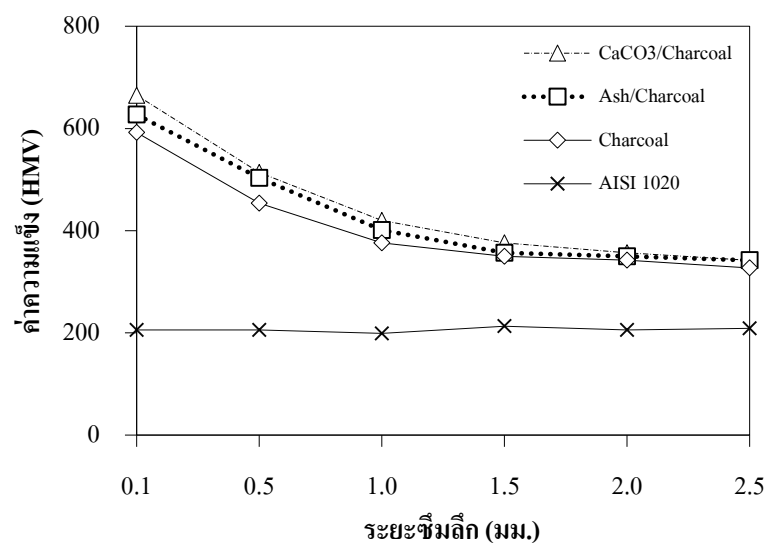
เมื่อเปรียบเทียบความแข็งกับเวลาในการทำแปรรูปไรซิง ผลแสดงดังภาพที่ 8 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าความแข็งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น เวลาที่สั้นทำให้การแพร่มีช่วงเวลาในการแทรกตัวของอะตอมคาร์บอนที่ต่ำ และการใช้สารเร่งปฏิกิริยาทุกชนิด จะมีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้นที่เวลาเพิ่มขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ที่เวลา 90 นาที จะมีค่าความแข็งที่สูงที่สุดของสารเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิด ซึ่งสารเร่งปฏิกิริยา CaCO_3 มีการเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 90 นาที มีค่าความแข็งที่ 665 HVM ซึ่งเป็นค่าความแข็งที่สูงที่สุด และมากกว่าที่เวลา 60 และ 30 นาที ตามลำดับ เนื่องจากเวลาในการแพร่ที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตรงกับระยะซึมลึก และระยะเวลาในการแพร่ที่เพิ่มจะสอดคล้องกับทฤษฎีอัตราการแพร่ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลามากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มคาร์บอนสูงขึ้น (Thammachot *et al.*, 2016; มนัส, 2539)



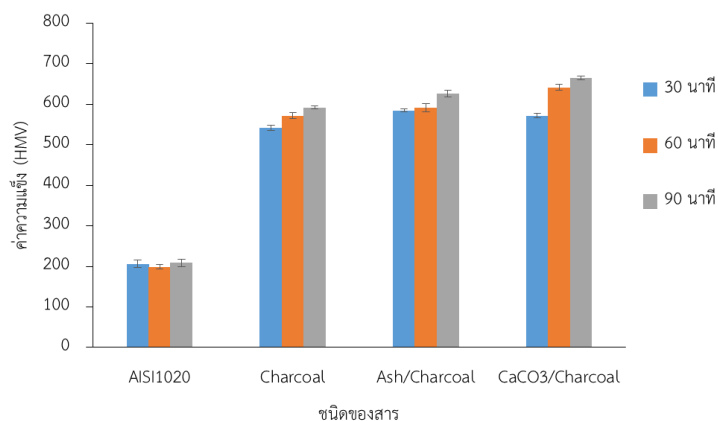
ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบระยะชั้นถ่านของชั้นผิวแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการ
เผื่อคาร์บูไรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบระยะชั้นถ่านของชั้นผิวแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการ
เผื่อคาร์บูไรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 60 นาที



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบระยะชั้นถ่านของชั้นผิวแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการ
เผื่อคาร์บูไรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 90 นาที

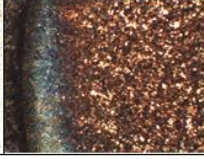


ภาพที่ 8 ค่าความแข็งแรงที่ระยะซึมลึกที่ 0.1 มิลลิเมตร ของตัวอย่างที่ให้อุณหภูมิเพิ่มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ

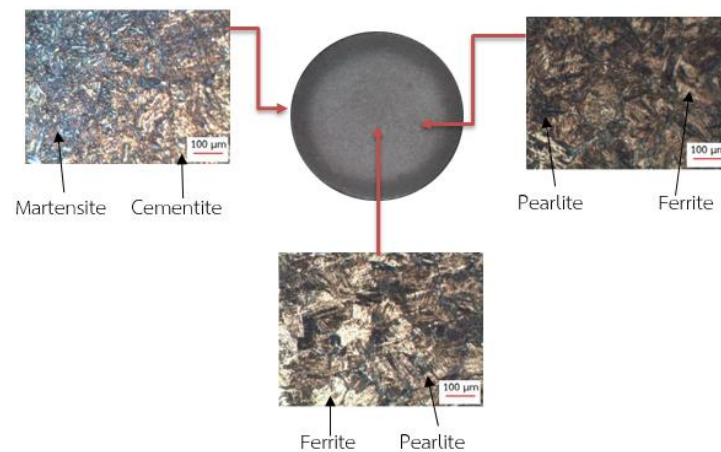
3. การเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปโรซิงและการชุบแข็ง

ชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีแปรรูปโรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 30 นาที และจุ่มชุบน้ำ แล้วทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 30 นาที นำชิ้นงานไปขัดเพื่อดูโครงสร้างจุลภาค ซึ่งผลการทดลองแสดงในภาพที่ 9 จากภาพจะเห็นโครงสร้างที่ผิวของชิ้นงานจะมีอัตราการแพร่ของคาร์บอนก่อนที่สูงขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น โดยโครงสร้างมีการเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ แต่ก็ยังมีโครงสร้างเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลต์อยู่ เมื่อพิจารณาที่ 90 นาที จะเห็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่ชัดเจนบริเวณผิวรอบนอกชิ้นงานในตัวอย่างที่มีสารเร่งปฏิกิริยาจากเถ้าไม้ยางพาราและ CaCO_3 (Thammachot *et al.*, 2016) เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงาน

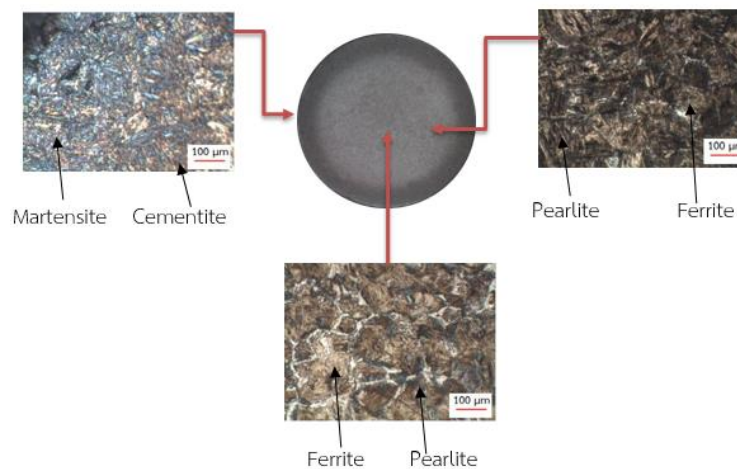
ที่มีการอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950 °C ที่เวลา 90 นาที ทั้ง 3 ส่วนผสมคือ ถ่านไม้ยางพารา 100% ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ เถ้าไม้ยางพารา 10% และถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ CaCO_3 10% จะเห็นได้ว่าโครงสร้างที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งบริเวณขอบชิ้นงานจะพบโครงสร้างมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ ส่วนบริเวณกึ่งกลางระหว่างขอบชิ้นงานกับกลางชิ้นงานพบโครงสร้างเพิร์ลไลต์กับเฟอร์ไรต์ และบริเวณกลางชิ้นงานพบโครงสร้างเพิร์ลไลต์กับเฟอร์ไรต์ (ภาพที่ 10-12) จะเห็นได้ว่าโครงสร้างที่ได้จะสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงในภาพที่ 7 ซึ่งค่าความแข็งแรงที่สูงที่สุดจะเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ (ณรงค์ศักดิ์ และคณะ, 2557) เพราะที่ผิวเกิดแพร่ของคาร์บอนสูงเมื่อผ่านการชุบแข็งจึงเปลี่ยนเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ โดยแนวโน้มของมาร์เทนไซต์และซีเมนไทต์จะลดลง และเกิดโครงสร้างเพิร์ลไลต์และเฟอร์ไรต์เพิ่มมากขึ้น (วรรณ และคณะ, 2558)

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

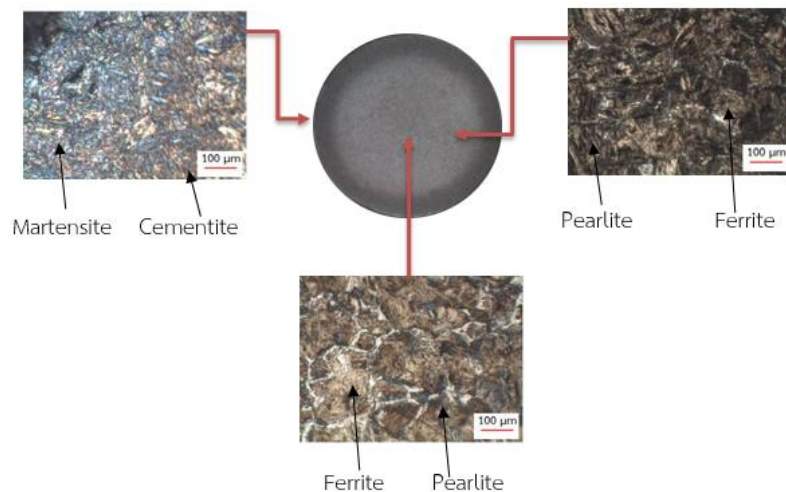
ภาพที่ 9 ถ่านไม้ยางพารา 100% (กำลังขยาย 50X)



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



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



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

สรุป

จากผลการวิเคราะห์สมบัติของชิ้นผิวแข็งและโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ 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 แต่สารเร่งปฏิกิริยาจากถ่านไม้ยางพาราก็มีความแข็งใกล้เคียงกับการใช้ CaCO_3
2. ผลของเวลาในการทำคาร์บูไรซิงที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะซึมลึกของชิ้นผิวแข็งมีค่ามากขึ้น เพราะอะตอมของคาร์บอนมีเวลามากพอที่จะแพร่เข้าไปในชิ้นงาน
3. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบเพิ่มคาร์บอนและชุบแข็งที่ผิวและทำ

เทมเปอร์ โครงสร้างที่ผิวประกอบไปด้วยโครงสร้างมาร์เทนไซต์และซีเมนไตต์และโครงสร้างที่ลึกเข้าไปภายในชิ้นงานจะเป็นโครงสร้างเพิร์ลไลต์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สำหรับการสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ. 2549. วัสดุวิศวกรรม. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, วรรณ หอมจะบก และ นฤดม ทาคี. 2557. ประสิทธิภาพการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำของถ่านไม้ชนิดต่างๆ ในกระบวนการเพ็คคาร์บูไรซิง. วิศวกรรมสาร มข. 41(3): 383-391.
- ธีระพล บันลิตธิ์, กาญจนา บันลิตธิ์, พัฒนศักดิ์ ไส่ร่วมก่อ, อัฐพงศ์ จันทปีตา และ สุรมนตร์ จ่านันท. 2551. อิทธิพลของการเคลือบน้ำมัน

- พืชต่อคุณภาพไข่ไก่. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 1(1): 79-83.
- มนัส สติรจินดา. 2539. วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.
- วรรณ หอมจะบก, ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และ นฤดม ทาดี. 2558. ผลของอุณหภูมิอบสเทนไนท์ซึ่งในกระบวนการแปรรูปคาร์เบอร์ไรซิงเพื่อใช้ผลิตมีดโต้. 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.