



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

ประสิทธิภาพการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำของถ่านไม้ชนิดต่าง ๆ ในกระบวนการแพ็กคาร์โบไรซิง

The efficiency of different types of wood charcoal on increasing carbon content on surfaces of low carbon steel in the pack carburizing process

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ^{*1)} วรณมา หอมจะบก²⁾ และ นฤดม ทาดี²⁾

Narongsak Thammachot^{*1)}, Wanna Homjabok²⁾ and Naruedom Thadee²⁾

¹⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000

Department of Industrial Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000.

²⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000

Department of Material Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000.

Received December 2013

Accepted May 2014

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำโดยถ่านไม้ชนิดต่าง ๆ ในกรรมวิธีแพ็กคาร์โบไรซิง วิธีการทดลองทำโดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 ผ่านกรรมวิธีแพ็กคาร์โบไรซิง โดยใช้ถ่านไม้ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านไม้มะขาม ถ่านไม้ไผ่ และถ่านเห้งหมันลำปะหลัง เป็นสารเพิ่มคาร์บอนผสมสารเร่งปฏิกิริยาจากธรรมชาติ คือ หินปูนป่น ที่ปริมาณส่วนผสม 10% โดยน้ำหนัก อุณหภูมิในการเพิ่มคาร์บอน 950°C เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ทำการตรวจสอบปริมาณคาร์บอนแต่ละชั้นความลึกของชั้นทดสอบที่ผ่านการเจียระไนด้วยเครื่องออปติคอลมิสชันสเปกโตรสโคปี ทดสอบสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์สและตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าถ่านไม้ที่ให้ความสามารถในการเพิ่มคาร์บอนได้สูงสุด คือ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส รองลงมาคือ ถ่านไม้มะขาม ถ่านเห้งหมันลำปะหลัง ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านไม้ไผ่ ตามลำดับ โดยมีปริมาณคาร์บอนเฉลี่ย 1.16, 1.06, 0.97, 0.83 และ 0.77% ตามลำดับ

คำสำคัญ: แพ็กคาร์โบไรซิง หินปูน ถ่านไม้ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านเห้งหมันลำปะหลัง

Abstract

The purpose of this research is to compare the efficiency of five types of wood charcoal, eucalyptus, coconut shell, tamarind, bamboo and cassava root in increasing carbon content on surfaces of low carbon steel by the pack carburizing process. The experiment for pack carburized low carbon steel (grade AISI 1020) was conducted by using the different wood charcoals as carburizers, mixed with 10% limestone (by weight) as the energizer. The carburizing temperature of 950°C, and carburizing times of 2, 4 and 6 hours were used in the experiment. After grinding, the specimens in each case were checked for carbon content by optical emission spectroscopy. Micro-Vickers hardness testing and microstructure inspections were carried out. The

*Corresponding author.

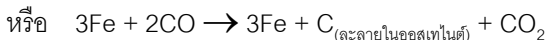
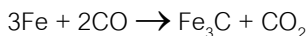
Email address: narongsak1970@hotmail.com

results of the experiment showed that the efficiency of eucalyptus charcoal as the carburizer (for increasing carbon content on surfaces of low carbon steel) was higher than that of tamarind, cassava root, coconut shell and bamboo charcoals. The averages for carbon content were: 1.16, 1.06, 0.97, 0.83 and 0.77% respectively.

Keywords: Pack carburizing, Limestone, Wood charcoal, Eucalyptus charcoal, Cassava root charcoal

1. บทนำ

การชุบแข็งที่ผิวนิยมใช้กับชิ้นงานที่ต้องการความแข็งแรงภายนอกเพื่อเพิ่มความทนทานต่อการเสียดสี ส่วนภายในต้องการความเหนียวเพื่อรับแรงกระแทกได้ดี ชิ้นงานที่ต้องการสมบัติเหล่านี้ ได้แก่ เพืองหรือเพลาส่งกำลัง การชุบผิวแข็งมีหลายวิธี หนึ่งในวิธีที่นิยมใช้คือกรรมวิธีแพ็คคาร์บอนโรซิง เพราะไม่ยุ่งยากและใช้ต้นทุนต่ำ วิธีการนี้อาศัยการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวโดยธาตุคาร์บอนที่ได้จากถ่านไม้ กระบวนการทำโดยใช้ถ่านผสมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วนำไปทำการชุบแข็งต่อไป สารเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยให้เกิดการแตกตัวของคาร์บอน ได้แก่ แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) สารประกอบคาร์บอนเหล่านี้เมื่อถูกความร้อนจะเกิดการแตกตัวได้แก๊ส CO_2 จากนั้น CO_2 จะรวมตัวกับคาร์บอนจากถ่านทำให้เกิดแก๊ส CO แก๊ส CO ที่เกิดขึ้นสัมผัสกับผิวเหล็กแล้วแตกตัวให้อะตอมของคาร์บอนและแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะเกิดอย่างต่อเนื่อง [1-3] ดังนี้



คาร์บอนจะแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอุณหภูมิ เวลา ชนิดและปริมาณของถ่านและสารกระตุ้น จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวที่ผ่านมา [4-6] เป็นการผสมสารแพ็คคาร์บอนโรซิงระหว่างถ่านไม้และถ่านโค้กกับสารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ซึ่งเหมาะสำหรับอุตสาหกรรม สำหรับชุมชนหรือครัวเรือนที่ทำการตีมีดหรือเครื่องมือทางการเกษตรการหาถ่านโค้กนั้นอาจทำได้ยาก มีงานวิจัยที่ทำการทดลองโดยใช้ถ่านไม้เพียงอย่างเดียว [7] ผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ แล้วทำการอบเพิ่มคาร์บอนที่ผิวที่อุณหภูมิต่าง ๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็น

ว่าหินปูนที่ใช้ผสมปูนซีเมนต์สามารถใช้ทดแทนสารแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีจำหน่ายในท้องตลาดได้ อย่างไรก็ตามถ่านไม้ที่มีใช้อยู่ในเขามาจากไม้หลายชนิด แต่ละชนิดอาจมีความสามารถในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่แตกต่างกัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำของถ่านไม้ชนิดต่างๆ ที่หาได้ตามท้องตลาดหรือในชุมชน ผสมรวมกับสารกระตุ้นที่หาได้ง่าย ได้แก่ หินปูน (Limestone) ซึ่งมีส่วนประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต [8] โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวเหล็กของชิ้นงานต่าง ๆ เพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมและการผลิตมีดทางการเกษตรได้อีกทางหนึ่ง

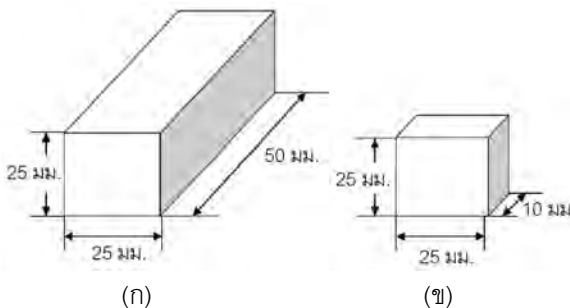
2. วิธีการการวิจัย

2.1 ข้อกำหนดการทดลอง

- สารเพิ่มคาร์บอนใช้ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านไม้ไผ่ ถ่านไม้มะขาม ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านเหง้ามัน ลำปะหลัง
- สารเร่งปฏิกิริยาใช้หินปูนส่วนผสม 10% โดยน้ำหนัก
- ชิ้นทดสอบใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020
- อุณหภูมิการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว $950^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ (เตาอบยี่ห้อ MODUTEMP รุ่น WW51A)
- เวลาการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว 2, 4, และ 6 ชั่วโมง
- ทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (เครื่องยี่ห้อ Matsuzawa รุ่น MHT2)
- ตรวจสอบปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่องออฟทิกคอลิมิตชันสเปกโตรสโคปี (เครื่องยี่ห้อ SPECTRO MAXx รุ่น LMF05 DIN 31051)
- ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยภาพขาวดำกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (กล้องยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX60M)

2.2 การเตรียมชิ้นทดสอบและการแพ็คเกจ์เบอร์โริง

เตรียมชิ้นทดสอบโดยการตัดและเจียระไน เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 1020 รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 (ก) เพื่อใช้ตรวจสอบปริมาณคาร์บอนที่ชั้นความลึกต่าง ๆ และ ชิ้นทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร เพื่อใช้ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและความแข็ง ดังรูปที่ 1 (ข) การเตรียมสารแพ็คเกจ์เบอร์โริง ดำเนินการโดยนำถ่านไม้ชนิดต่าง ๆ มาทำการบด และร่อน ด้วยตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 5 มิลลิเมตร จากนั้นผสม กับผงสารเร่งปฏิกิริยาหินปูนป่นที่ทำการบดและร่อนด้วย ตะแกรงที่มีขนาดรูตะแกรง 2 มิลลิเมตร ปริมาณ 10% โดย น้ำหนัก



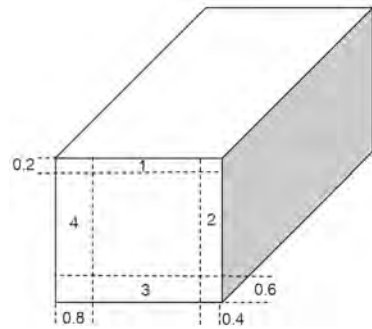
รูปที่ 1 ขนาดของชิ้นงานทดสอบ (ก) เพื่อตรวจสอบ ปริมาณคาร์บอน (ข) เพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและ ทดสอบความแข็ง

การแพ็คเกจ์เบอร์โริงทำโดยนำชิ้นทดสอบบรรจุลง ในกล่องเหล็ก แล้วเติมสารแพ็คเกจ์เบอร์โริงที่เตรียมไว้จน เต็มโดยความหนาของสารแพ็คเกจ์เบอร์โริง จากผิวกล่อง ด้านในถึงชิ้นทดสอบจะต้องไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว จากนั้นทำ การปิดฝากล่องและใช้ดินเหนียวเคลือบด้านบนฝาปิด แล้ว นำเข้าเตาอบให้ความร้อนและเวลาตามที่กำหนด จากนั้น นำกล่องออกจากเตาแล้วนำชิ้นทดสอบออกจากกล่อง เหล็กเพื่อให้เย็นตัวในอากาศ

2.3 การตรวจสอบปริมาณคาร์บอน ความแข็งและ โครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบหาปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่อง ออปติคอลลิมิเตอร์สเปกโตรสโคปี ดำเนินการโดยนำ ชิ้นงานทดสอบมาทำการเจียระไนผิวทั้ง 4 ด้านในความลึก ที่ไม่เท่ากันโดยกำหนดให้ระดับความลึกจากผิวนอกที่ 0.2,

0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2 หลังจากผ่านการเจียระไนแล้วจึงนำชิ้นงานทดสอบไปหา ปริมาณคาร์บอน ด้วยเครื่องออปติคอลลิมิเตอร์สเปกโตรส โคปี ด้านละ 3 จุดเพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอน และแต่ละสภาวะการทดลองจะใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 3 ชิ้น เพื่อหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 2 ความลึกผิวแต่ละด้านที่เจียระไน (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

การทดสอบความแข็งดำเนินการโดยนำชิ้นทดสอบ ไปตัดครึ่งแล้วขัดด้วยกระดาษทรายจากเบอร์หยาบไป จนถึงเบอร์ละเอียดและทำการขัดมันด้วยผ้าสักหลาด จากนั้นนำไปทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์สโดยใช้แรงกด 300 กรัม กำหนดให้วัดระยะความลึกผิว 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร แต่ละชั้นความลึกทำการวัด 3 ครั้งแล้ว หาค่าเฉลี่ย ชิ้นทดสอบที่ใช้ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคจะ นำไปตรึงชิ้นงานด้วยเรซินเพื่อดำเนินการขัดกระดาษทราย และขัดผิวมันแล้วทำการกัดกรดด้วย 5% Nital แล้ว ถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคเพื่อใช้เปรียบเทียบของถ่าน แต่ละชนิด

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอน

ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของถ่าน ไม่แต่ละชนิด ด้วยเทคนิคจุลวิเคราะห์องค์ประกอบทาง เคมี (Energy dispersive spectrometry; EDS) ที่ใช้ ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope; SEM) พบว่า ธาตุ คาร์บอนเป็นธาตุองค์ประกอบหลักของถ่านแต่ละชนิดเกิน 75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 1 ซึ่งถ่านไม้ยูคา ลิปัดสนนั้นมีปริมาณธาตุคาร์บอนสูงสุด รองลงมา คือ ถ่าน ไม้มะขาม ถ่านหังามันสำปะหลัง ถ่านกะลามะพร้าว และ

ถ่านไม้ไผ่ ตามลำดับ ส่วนผลการตรวจสอบปริมาณคาร์บอนของเหล็กก่อนนำไปทำการเพิ่มคาร์บอนแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนอยู่ที่ 0.20%

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุต่าง ๆ ของถ่านไม้ทั้ง 5 ชนิด

ชนิดถ่านไม้	ธาตุที่เป็นองค์ประกอบทางเคมี (% โดยน้ำหนัก)							
	C	O	K	Ca	Si	Cl	P	Mg
ยูคาลิปตัส	82.97	12.52	1.29	3.21	-	-	-	-
มะขาม	79.20	17.23	0.97	2.90	-	-	0.54	0.40
เห้งจัน	79.01	16.33	2.91	1.04	-	0.30	0.64	0.44
ส้มปะหลัง	78.34	16.20	2.12	0.48	0.44	0.82	0.31	-
กะลามะพร้าว	77.97	16.79	2.28	0.58	0.59	0.33	-	0.42

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุผสมในเหล็ก AISI 1020

เหล็ก	ส่วนผสมทางเคมี (% โดยน้ำหนัก)							
	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Cu
AISI 1020	0.20	0.21	0.03	0.02	0.60	0.09	0.18	0.14

ผลการตรวจสอบปริมาณคาร์บอนที่ผิวชิ้นงานที่เพิ่มคาร์บอนโดยถ่านไม้ชนิดต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 3 พบว่า เวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 2 ชั่วโมง (รูปที่ 3 (ก)) การเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนที่ผิวเพิ่มขึ้นได้สูงมากและที่ความลึกเพิ่มขึ้นปริมาณคาร์บอนลดลงอย่างมากในขณะที่เวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 6 ชั่วโมง (รูปที่ 3 (ข) และ (ค)) ปริมาณคาร์บอนที่ผิวนั้นลดลงในขณะที่ความลึกเพิ่มขึ้นปริมาณคาร์บอนนั้นจะเพิ่มขึ้น ตามลำดับ

เมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มคาร์บอนของถ่านไม้แต่ละชนิด พบว่า ถ่านไม้ยูคาลิปตัส จะให้การเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ผิวสูงสุด รองลงมา คือ ถ่านไม้มะขาม ถ่านเห้งจันลำปะหลัง ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านไม้ไผ่ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลการตรวจสอบปริมาณคาร์บอนของถ่านชนิดต่าง ๆ ในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ถ่านไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณคาร์บอนเป็นธาตุองค์ประกอบหลักที่สูงกว่าถ่านชนิดอื่น ๆ แสดงว่าปริมาณธาตุคาร์บอนที่เป็นส่วนผสมในถ่านไม้นั้นมีผลต่อการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กอย่างมาก

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนของทุกเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนและทุกระยะซีมลิค ดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัสให้ปริมาณคาร์บอนที่สูงที่สุดถึง 1.16% รองลงมา คือ ถ่านไม้

มะขาม ถ่านเห้งจันลำปะหลัง ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านไม้ไผ่ ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยทั้งหมด

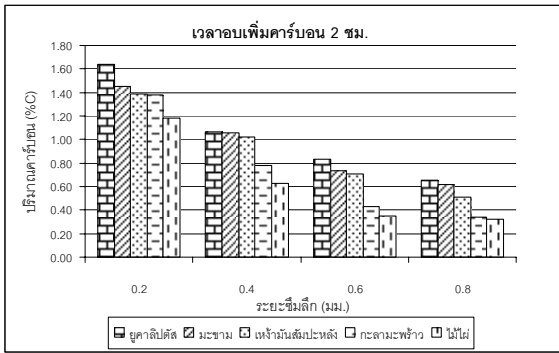
ปริมาณคาร์บอนของถ่านไม้แต่ละชนิด (%)				
ยูคาลิปตัส	มะขาม	เห้งจัน ส้มปะหลัง	กะลามะพร้าว	ไม้ไผ่
1.16	1.06	0.97	0.83	0.77

3.2 การเปรียบเทียบความแข็ง

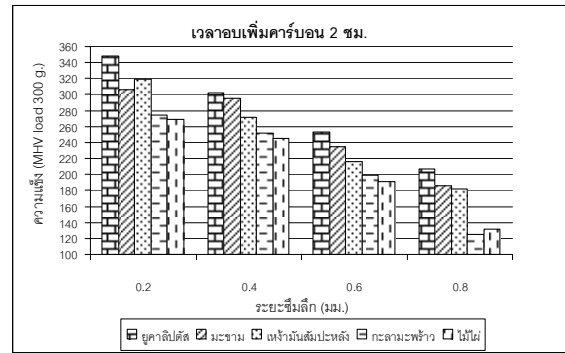
จากผลการทดสอบค่าความแข็งหลังการแพ็กคาร์บอนโรซิง แสดงในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งมีความสอดคล้องกับปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นคือปริมาณคาร์บอนที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น โดยที่เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 2 ชั่วโมง (รูปที่ 4 (ก)) ค่าความแข็งที่บริเวณผิวที่ความลึก 0.2 มิลลิเมตรจะมีค่าสูงที่สุดทั้งนี้เพราะปริมาณคาร์บอนที่แพร่เข้ามาได้มีปริมาณสูง อย่างไรก็ตาม เมื่อความลึกเพิ่มขึ้นความแข็งนั้นลดลงตามลำดับเมื่อทำการเปรียบเทียบความแข็งของถ่านไม้แต่ละชนิด จะเห็นได้ว่า ถ่านไม้ยูคาลิปตัส จะให้ค่าความแข็งที่สูงที่สุด รองลงมา คือ ถ่านไม้มะขาม ถ่านเห้งจันลำปะหลัง ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านไม้ไผ่ ตามลำดับ

3.3 การเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาค

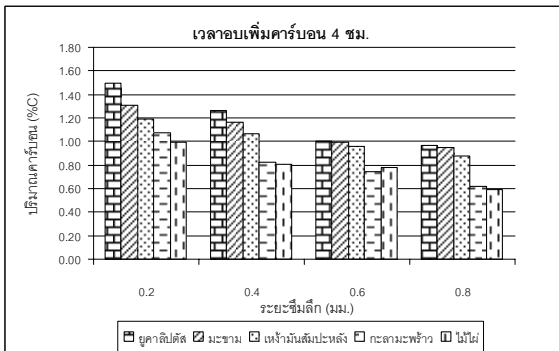
คาร์บอนที่แพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กมีปริมาณที่แตกต่างกัน ทำให้โครงสร้างจุลภาคแตกต่างกันไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่า ที่ระยะซีมลิค 0.2 มม. ปริมาณคาร์บอนสูงกว่า 0.77% เป็นปริมาณคาร์บอนของเหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคตอยด์โครงสร้างประกอบไปด้วยโปรยูเทคตอยด์ซีเมนไทต์ (Fe_3C) อยู่ในรูปของโครงสร้างซีเมนไทต์แบบตาข่าย (Network cementite) ถัดเข้ามาบริเวณที่มีปริมาณคาร์บอน 0.77% เป็นส่วนผสมของเหล็กยูเทคตอยด์มีโครงสร้างเพียงเฟอร์ไรต์เพียงอย่างเดียว ที่ระยะซีมลิคเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 0.77% เป็นเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์โครงสร้างประกอบด้วยเฟอร์ไรต์และเฟอร์ไรต์โดยที่ระยะซีมลิคที่เพิ่มขึ้นปริมาณคาร์บอนลดลงส่งผลให้ปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรต์เพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรต์จะลดลงตามลำดับ



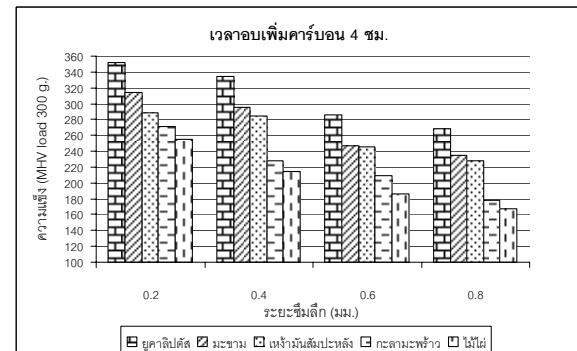
(ก) ปริมาณคาร์บอนเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 2 ชั่วโมง



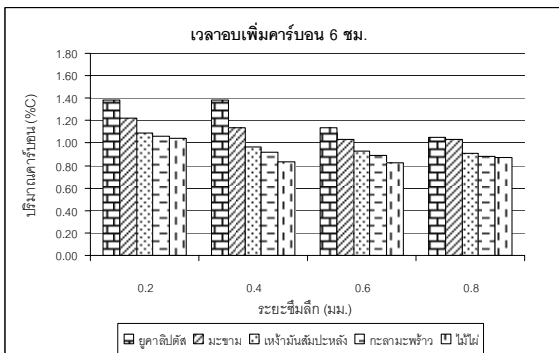
(ก) ความแข็งแรงของเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 2 ชั่วโมง



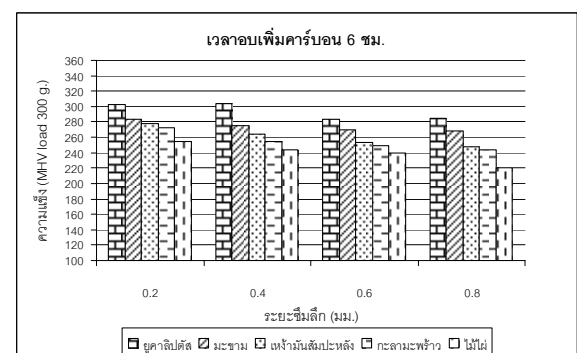
(ข) ปริมาณคาร์บอนเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 4 ชั่วโมง



(ข) ความแข็งแรงของเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 4 ชั่วโมง



(ค) ปริมาณคาร์บอนเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 6 ชั่วโมง



(ค) ความแข็งแรงของเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 6 ชั่วโมง

รูปที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนที่ระยะชั้นล็กและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนของถ่านชนิดต่าง ๆ

รูปที่ 4 การเปรียบเทียบความแข็งแรงระยะชั้นล็กและเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนของถ่านชนิดต่าง ๆ

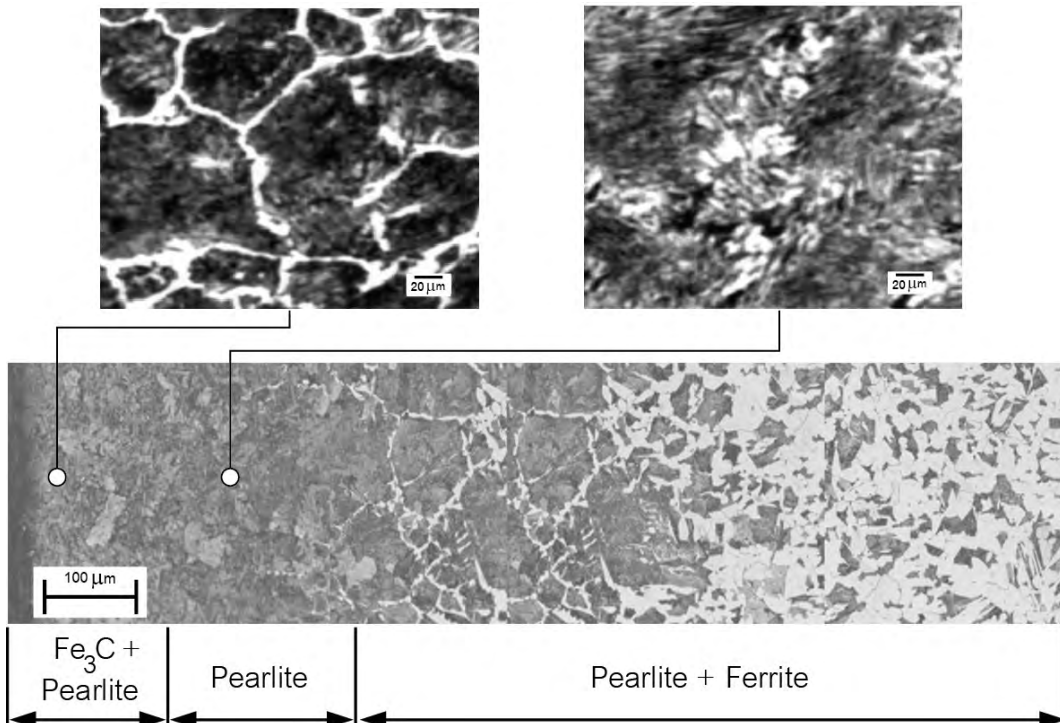
การเปรียบเทียบภาพโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบที่ผ่านการเพิ่มคาร์บอนด้วยถ่านไม้ชนิดต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่า โครงสร้างของชิ้นทดสอบที่ใช้ถ่านไม้ยูคาลิปตัสเป็นตัวเพิ่มคาร์บอนจะมีพื้นที่ของ

บริเวณที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างซีเมนไทต์และเพอร์ไลต์ที่มากกว่าเมื่อเทียบกับถ่านไม้ชนิดอื่นอย่างถ่านกะลามะพร้าวหรือถ่านไม้ไผ่ อีกทั้งเมื่อเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้นปริมาณโครงสร้างเพอร์ไลต์จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยในขณะที่ปริมาณเพอร์ไลต์นั้นลดลง

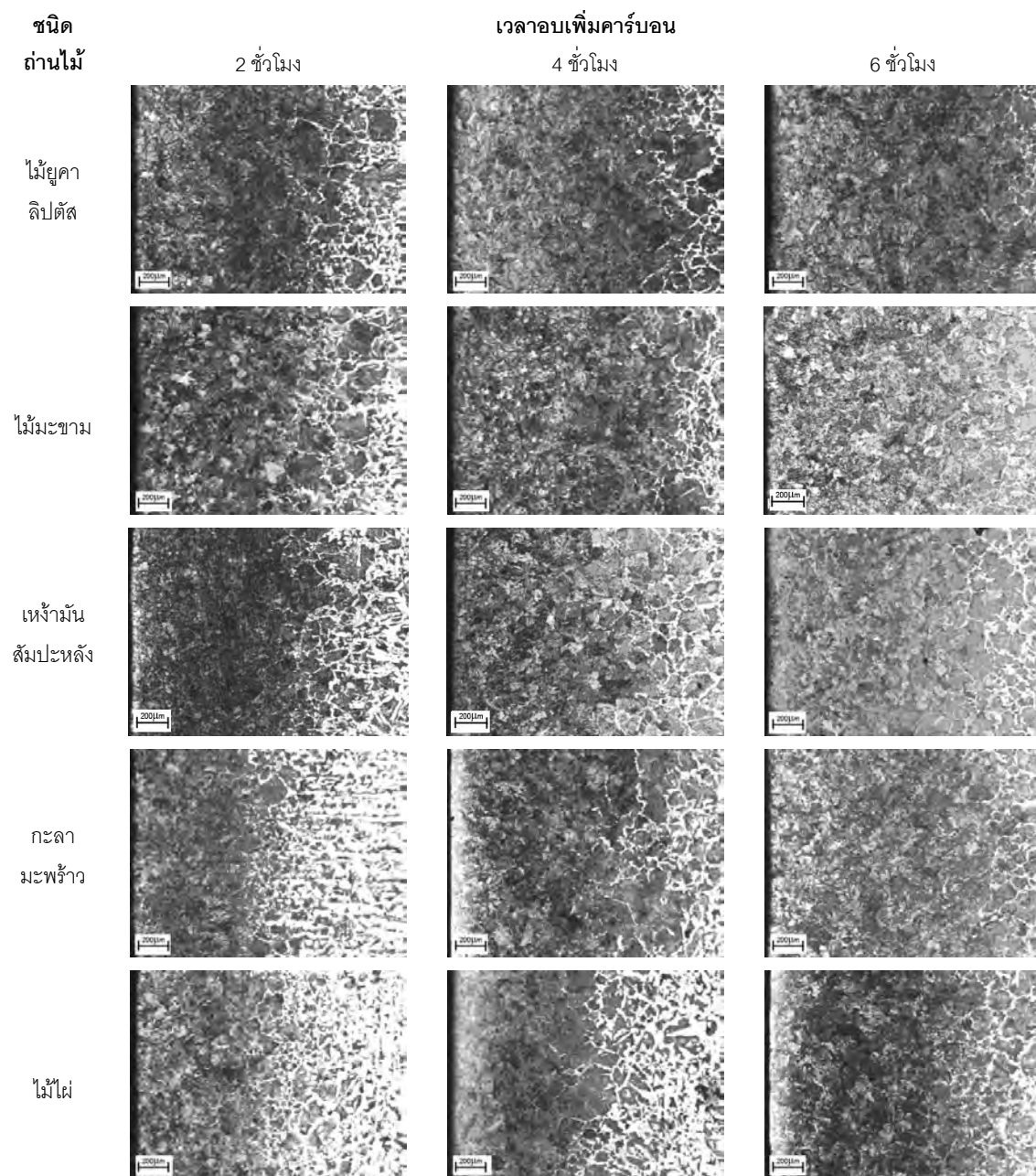
3.4 อภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดลองการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวด้วยถ่านไม้ชนิดต่าง ๆ ด้วยเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า

หากใช้เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนน้อยที่ 2 ชั่วโมง ที่ผิวเหล็กจะมีค่าปริมาณคาร์บอนที่สูง แต่จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะความลึกผิวเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากความเข้มข้นของปริมาณธาตุคาร์บอนที่ได้จากถ่านไม้ที่บริเวณผิวเหล็กในช่วงแรกจะมีปริมาณมากสามารถแพร่เข้าไปในผิวเหล็กได้อย่างรวดเร็วแต่เนื่องจากมีเวลาน้อยทำให้การแพร่ของคาร์บอนเข้าไปได้ระยะทางสั้นส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะความลึกเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามกฎของฟิคส์ [9] ที่ว่าการแพร่จะแปรผันตามความเข้มข้นของอะตอมและเวลาในการแพร่



รูปที่ 5 ภาพโครงสร้างจุลภาคที่ระยะซึ่มลึกต่าง ๆ และบริเวณที่มีโครงสร้าง Fe₃C+Pearlite และ Pearlite



รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคของชั้นทดสอบที่ผ่านการอบเพิ่มคาร์บอนของถ่านไม้ชนิดต่าง ๆ

เมื่อทำการพิจารณาความสามารถในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนของถ่านไม้แต่ละชนิดจะพบว่า ความแตกต่างของปริมาณคาร์บอนที่ตรวจสอบด้วย EDS ในตารางที่ 1 มีผลต่อปริมาณการแพร่ของอะตอมของคาร์บอน โดยถ่านไม้ที่มีปริมาณคาร์บอนมาก เช่น ถ่านไม้ยูคาลิปตัส จะมีความสามารถในการเพิ่มคาร์บอนได้มากกว่าถ่านไม้ที่มีปริมาณคาร์บอนน้อยอย่างถ่านกะลามะพร้าว ทั้งนี้ เพราะปริมาณคาร์บอนที่มากกว่าย่อมส่งผลให้ความเข้มข้นของอะตอมที่บริเวณผิว (Surface Concentration) สูงกว่า การแพร่จึงเกิดขึ้นได้มากกว่าตามกฎของฟิกส์ [9] จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าชนิดของสารเพิ่มคาร์บอน (Carburizers) มีอิทธิพลต่อการแพร่ของคาร์บอนในเนื้อเหล็ก สอดคล้องกับผลการทดลองของ Emmanuel JO [11] ที่สรุปให้เห็นว่าถ่านไม้มีความสามารถในการเพิ่มคาร์บอนได้ดีกว่าถ่านที่ได้จากกระดูกและถ่านหินโดยค่าความแข็งที่ได้มีค่าที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การศึกษาของ Ihom AP [12] ยังแสดงให้เห็นว่าถ่านที่ได้จากวัสดุธรรมชาติที่เป็นของเสียอย่าง ชาญ้อย (Sugar cane waste) เศษเปลือกเมลอน (Melon shell waste) และ เศษของดอก Aracaceae (Aracaceae flower wastes) นั้น มีผลต่อการเพิ่มคาร์บอนให้กับผิวเหล็กเช่นเดียวกัน

การเปรียบเทียบค่าความแข็งของถ่านไม้แต่ละชนิด จะเห็นว่า ค่าความแข็งจะสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนที่ระยะซึมลึกต่าง ๆ โดยปริมาณคาร์บอนสูงจะให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าปริมาณคาร์บอนต่ำทั้งนี้ เพราะปริมาณคาร์บอนที่แตกต่างจะทำให้เกิดโครงสร้างที่แตกต่างโดยปริมาณคาร์บอนที่สูงกว่า 0.77% โครงสร้างประกอบไปด้วยซีเมนไทต์และเพอร์ไลต์ โครงสร้างซีเมนไทต์เป็นโครงสร้างของสารประกอบระหว่างเหล็กกับคาร์บอนซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งที่สุดเมื่อเทียบกับโครงสร้างเพอร์ไลต์และเพอร์ไรต์ ดังนั้น บริเวณที่มีปริมาณคาร์บอนมากกว่า เช่น ที่ระยะซึมลึก 0.2 มิลลิเมตร ของเวลาอบเพิ่มคาร์บอนที่ 2 และ 4 ชั่วโมง (รูปที่ 3 (ก) และ (ข)) จึงเกิดโครงสร้างซีเมนไทต์ได้มากกว่า ส่งผลให้มีค่าความแข็งที่สูงกว่าที่ระยะซึมลึก 0.2 มิลลิเมตร ของเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 6 ชั่วโมง ที่มีปริมาณคาร์บอนที่น้อยกว่า (รูปที่ 3 (ค))

4. สรุปผลการวิจัย

ถ่านไม้ที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มคาร์บอนได้สูงสุด คือ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส รองลงมาคือ ถ่านไม้มะขาม ถ่านเห้งมันสำปะหลัง ถ่านกะลามะพร้าว และถ่านไม้ไผ่ โดยมีปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.16, 1.06, 0.97, 0.83 และ 0.77% ตามลำดับ

ปริมาณคาร์บอนในถ่านไม้มีผลต่อการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวเหล็กโดยถ่านไม้ที่มีปริมาณคาร์บอนสูง เช่น ถ่านไม้ยูคาลิปตัส สามารถเพิ่มคาร์บอนได้มากกว่าถ่านไม้ที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำอย่างถ่านกะลามะพร้าว

เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนมีผลต่อการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวเหล็กโดยเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้คาร์บอนแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มได้มากขึ้นตามลำดับ

ค่าความแข็งจะสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนที่ระยะซึมลึกต่าง ๆ โดยปริมาณคาร์บอนสูงจะให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าปริมาณคาร์บอนต่ำ จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสารแปรรูปคาร์บอนที่ได้จากธรรมชาติสามารถนำมาใช้ในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ผิวได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้ดำเนินการวิจัยต้องขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ได้สนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุในความอนุเคราะห์การใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง ขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ นายชานนท์ เพ็ญจินต์ นางสาวรสรินทร์ ดือขุนทด และนางสาวรัตนภรณ์ ที่เกาะ ในการดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sinha AK. Physical Metallurgy Handbook. McGraw-Hill Company Inc: USA; 2003.
- [2] Lakhtin YM. Engineering Physical Metallurgy and Heat Treatment. Mir Publishers Moscow: Russia; 1990.
- [3] Rajan TV, Sharma CP, Sharma A. Heat Treatment; Principles and Techniques. Revises Edition. Prentice-Hall of India Private Limited: New Delhi; 1994.

- [4] Terasapkul T, Tantayakorn P. Experimental Report on Pack Carburizing Compound. Metal-Working and Machinery Industries Development Institute (MIDI). (In Thai).
- [5] Daopisej S, Chaysuwan W. The carburizing pellet for pack carburizing. The J. of KMUTNB. 1998; 8(5): 19-23. (In Thai).
- [6] Poltang R. The comparative experiments of different mixture of pack carburizing compound in case hardening process. [M Eng thesis]. Kasetsart University; 1998. (In Thai).
- [7] Thammachot N, Homjabok W, Thadee N. The efficiency of different types of energizers on increasing carbon content on surfaces of low carbon steel in pack carburizing process. Proceeding of the national for development on sustainable research. 2012 Dec 25-26; Srinakharinwirot University. Bangkok; 2012. p. 767-778. (In Thai).
- [8] Promma K. Geology for Engineers. Chulalongkorn University Press: Bangkok; 2555. (In Thai).
- [9] Askeland DR and Phule PP. The Science and Engineering of Materials. 4th ed. Thomson Brooks/Cole: USA; 2003.
- [10] ASM International. ASM Handbook Volume 4; Heat Treating. The Material Information Company: USA; 1991.
- [11] Ohize EJ. Effects of Local Carbonaceous Materials on the Mechanical Properties of Mild Steel. Technical Report. AU Journal of Technology. 2009; 13(2): 107-113.
- [12] Ihom AP, Nyior GB, Nor IJ, Ogbodo NJ. Investigation of Egg Shell Waste as an Enhancer in the Carburization of Mild Steel. American Journal of Materials Science and Engineering. 2013; 1(2): 29-33.