

การเปรียบเทียบสารเร่งปฏิกิริยาระหว่างถ่านไม้ยางพารากับแคลเซียมคาร์บอเนต  
ในกระบวนการแป็คคาร์บูไรซิงโดยใช้ผงถ่านไม้ยางพารา

The Comparison of Energizer between the Rubber Wood Ash and  $\text{CaCO}_3$   
in the Pack Carburizing Process with Rubber Wood Charcoal Powder

พีรวัส คางสง<sup>1</sup> มาหามะสุไฮมี มะแซ<sup>2</sup> นันทนา จันทโรสม<sup>3</sup> และ ศิริพร ใฝ่หนองดู<sup>4</sup>

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000<sup>1,3,4</sup>

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000<sup>2</sup>

E-mail: physics\_psu@windowslive.com<sup>1</sup>, susumeme1983@yahoo.com<sup>2</sup>, yy060935@hotmail.com<sup>3</sup>,

biggun555@hotmail.com<sup>4</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้กรรมวิธีแป็คคาร์บูไรซิงในการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยถ่านไม้ยางพาราเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1020 ความลึกของชั้นผิวแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านการชุบแข็งถูกเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ไม่ผ่านการชุบแข็ง โดยทำการแป็คคาร์บูไรซิงเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ 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 ถ่านไม้ยางพาราและ  $\text{CaCO}_3$  แล้วตรวจความลึกของชั้นผิวแข็งและความแข็งของตัวอย่างด้วยไมโครวิกเกอร์และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค จากผลการทดลองพบว่า ถ่านไม้ยางผสมกับสารเร่ง  $\text{CaCO}_3$  ที่ 950°C เป็นเวลา 90 ให้ความแข็งที่ผิวสูงที่สุด 681 HMV และถ่านไม้ยางพารา

ให้ค่าความแข็งที่ผิว 665 HMV นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างจุลภาคที่ผิวของชิ้นงานที่ใช้  $\text{CaCO}_3$  และถ่านไม้ยางพารา ประกอบด้วยมาเทนไซต์และซีเมนไต์ เช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ถ่านไม้ยางพาราจึงสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการแป็คคาร์บูไรซิงได้เป็นอย่างดี

### Abstract

The purpose of this research is to apply a pack carburizing process for low carbon steel hardening with rubber wood charcoal to improve mechanical properties of low carbon steel grade AISI 1020. The depth hardness of low carbon steels hardening were 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 minutes and cooled in air. The austenitizing temperature was 850°C for 30 minute 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<sub>3</sub>. The specimens were checked for case depth and hardness by Micro-Vicker testing and microstructure inspection. The results show that the rubber wood charcoal mixed with CaCO<sub>3</sub> energizer at 950°C with the carburizing time with the carburizing time of 90 minutes gave the highest hardness average value of 681 HMV and the surface hardness of rubber wood ash was 665 HMV. They also found that the microstructure on the surface with both CaCO<sub>3</sub> and rubber wood ash were martensite and cementite. For this reason, rubber wood charcoal ash can be used as a energizer to pack carburizing as well.

## 1. บทนำ

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นเหล็กกล้าที่นิยมนำมาใช้ในงานต่างๆ ไป เนื่องจากมีคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กอยู่ไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่น้อยทำให้เหล็กกล้าชนิดนี้มีความแข็งน้อยและมีความแข็งแกร่งไม่มากเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าชนิดอื่นๆ แต่ก็ยังมีการผลิตออกมาใช้งานมากที่สุดเพราะเป็นเหล็กที่มีราคาไม่แพง เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำไม่สามารถนำมาชุบผิวแข็งได้ แต่ถ้าต้องการนำมาชุบผิวแข็งจะต้องใช้วิธีเพิ่มคาร์บอนที่ผิวก่อน ดังนั้นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำจึงเหมาะแก่การนำไปทำกระบวนการชุบผิวแข็งเพื่อเพิ่ม

ความแข็งที่ผิวของชิ้นงานให้มากขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็มีความเหนียวภายในชิ้นงาน [1]

กระบวนการคาร์เบอร์ไรซิง เป็นกระบวนการเพิ่มคาร์บอนไปที่ผิวของชิ้นงานและนำไปทำการชุบแข็งและอบคืนตัวเพื่อให้ที่ผิวมีความแข็งสูงแต่ยังคงความเหนียวภายในชิ้นงานจึงสามารถรับแรงกระแทกได้ดี ทั้งนี้กระบวนการคาร์เบอร์ไรซิงมีอยู่หลายแบบทั้งที่เป็นแบบของแข็ง ของเหลวและแก๊สแต่วิธีที่ไม่ยุ่งยาก สะดวก และใช้ต้นทุนต่ำคือ แบบของแข็ง เรียกว่า “กระบวนการแพ็คคาร์เบอร์ไรซิง” โดยอาศัยกลไกการแพร่ของคาร์บอนเข้าสู่ผิวของชิ้นงานแหล่งกำเนิดคาร์บอนอาจมาจากถ่านโค้กหรือถ่านไม้ นำมาบดและผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งการแพร่ของคาร์บอนจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิออกสเทินไนท์ซิงและต้องอาศัยเวลาที่มากพอเพื่อให้เกิดการแพร่อย่างสมบูรณ์ [2] และจากการศึกษาทางวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวที่ผ่านมาสารแพ็คคาร์เบอร์ไรซิงจะประกอบไปด้วยถ่านไม้และถ่านโค้กกับสารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรม แต่สำหรับชุมชนหรือครัวเรือนอาจหาถ่านโค้กได้ยาก ถ่านไม้ที่นำมาใช้ในกระบวนการแพ็คคาร์เบอร์ไรซิงเป็นส่วนที่ให้คาร์บอนเพื่อแพร่เข้าสู่ผิวชิ้นงานโดยถ่านไม้ที่นิยมนำมาใช้เป็นสารให้คาร์บอน ได้แก่ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านไม้มะขาม ถ่านเห้งจันสำหรับปะหลัง ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านไม้ไผ่ เป็นต้น [3] นอกจากถ่านไม้ดังกล่าวแล้ว ถ่านไม้ยางพาราก็เป็นถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนสูงสามารถนำมาเป็นแหล่งคาร์บอนได้เช่นกัน [4] สำหรับชนิดของสารเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ในการแพ็คคาร์เบอร์ไรซิงเป็นปัจจัยที่สำคัญเพราะเป็นแหล่งกำเนิดของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>)

โดยสารเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ทั่วไปมีหลายชนิดเช่น  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  และ  $\text{BaCO}_3$  เป็นต้น [2] แต่การใช้วัสดุที่มีอยู่ธรรมชาติมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาก็สามารถลดต้นทุนลงได้ ซึ่งมีการศึกษาการใช้เปลือกไข่มาเป็นเร่งปฏิกิริยาได้เนื่องจากเปลือกไข่มีปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ที่สูง [5] นอกจากนี้แล้วถ้าไม่ย่างก็เป็นเศษวัสดุที่เหลือจากการเผาไหม้ไม่ย่างพาราและโครงสร้างผลึกส่วนใหญ่เป็นผลึก  $\text{CaCO}_3$  สูง [6] เหมาะสำหรับเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแป็คคาร์บอนโรซิง

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยกระบวนการแป็คคาร์บอนโรซิง โดยใช้ถ่านไม่ย่างพาราเป็นแหล่งให้คาร์บอนและถ่านไม่ย่างพาราเป็นสารเร่งปฏิกิริยาและเปรียบเทียบผลที่ได้กับ  $\text{CaCO}_3$  โดยจะศึกษาผลของเวลาและอุณหภูมิในการแป็คคาร์บอนโรซิง ที่มีผลต่อค่าความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง

## 2. วิธีการดำเนินการวิจัย

### 2.1 การเตรียมชิ้นงานและสารแป็คคาร์บอนโรซิง

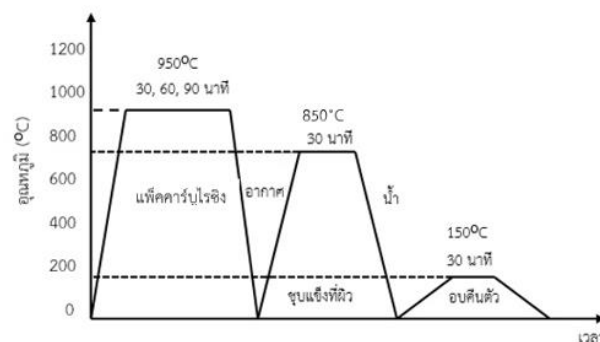
1. เตรียมชิ้นงานจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1020 โดยการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทำแป็คคาร์บอนโรซิงให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.0 มิลลิเมตร ยาว 5.0 เซนติเมตร
2. เตรียมสารสำหรับทำการชุบผิวแข็ง โดยนำถ่านไม่ย่างพารามาบดย่อยและร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาดของผงถ่าน ( $\phi$ ) < 5.00 มิลลิเมตร
3. นำถ่านไม่ย่างพาราและถ่านไม่ย่างพาราไปวิเคราะห์ลักษณะและปริมาณธาตุต่างๆ ด้วยเทคนิค SEM และ EDS (Scanning electron-microscopy and energy

dispersive X-ray spectrometry) และนำถ่านไม่ย่างพาราไปตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRD (X-ray diffractometry)

### 2.2 ขั้นตอนการชุบแข็งโดยวิธีการเพิ่มคาร์บอน

1. เตรียมแป็คคาร์บอนโรซิงไว้ในกล่องรองพื้น
2. วางชิ้นงานทดลองบนสารแป็คคาร์บอนโรซิงและกลบทับด้วยสารแป็คคาร์บอนโรซิงจนเต็มกล่อง
3. ปิดฝากล่องให้สนิทแล้วใช้ดินเหนียวทนไฟอุดขอบฝาให้แน่นเพื่อไม่ให้อากาศเข้าและออกจากกล่อง
4. นำกล่องที่ปิดฝาแล้วเข้าเตาอบ ที่อุณหภูมิ  $850^\circ\text{C}$  เวลา 30, 60 และ 90 นาที [3]
5. เมื่ออบชุบตามเวลาที่กำหนดแล้วนำกล่องออกจากเตาเพื่อให้เย็นตัวในอากาศ
6. นำชิ้นงานที่ผ่านการทำเพิ่มคาร์บอนมาทำการชุบแข็งโดยใช้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ  $850^\circ\text{C}$  เวลา 30 นาที แล้วทำการจุ่มชุบในน้ำเพื่อให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว
7. นำชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งมาทำเทมเปอร์ โดยให้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ  $150^\circ\text{C}$  เวลา 30 นาที เมื่อได้เวลาแล้วนำชิ้นงานออกจากเตาแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ [3]

โดยขั้นตอนการแป็คคาร์บอนโรซิงและการชุบแข็งแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอน การเพิ่มคาร์บอน ชุบแข็งที่ผิว และทำเทมเปอร์

## 2.3 การทดสอบและการตรวจสอบ

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

## 3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

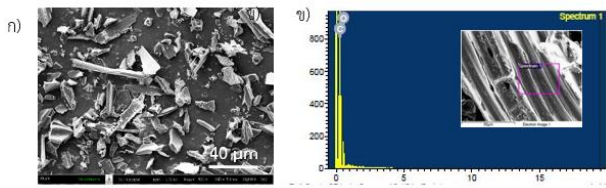
### 3.1 ผลการตรวจคุณสมบัติของถ่านไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิค SEM, EDS และ XRD

ผลการวิเคราะห์ลักษณะของผงถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิค SEM แสดงดังรูปที่ 2 ก) จากรูปจะเห็นว่าผงถ่านมีลักษณะเป็นผงที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ (รูปที่ 2 ข) พบว่า ถ่านไม้ยางประกอบด้วยธาตุคาร์บอน 90.32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และพบธาตุออกซิเจน 9.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเห็นว่าถ่านไม้ยางพารามีปริมาณคาร์บอนที่สูงเหมาะที่จะนำมาเป็นสารที่ให้คาร์บอนสำหรับกระบวนการแปรรูปไบโอดีเซล

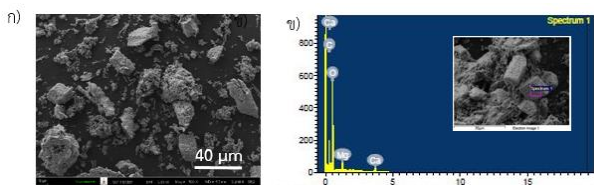
ผลการวิเคราะห์ลักษณะของถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิค SEM แสดงดังรูปที่ 3 ก) จากรูปจะเห็นว่าถ่านไม้ยางมีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่และมีผงขนาดเล็กกระจายอยู่ เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ (รูปที่ 3 ข) พบว่าถ่านไม้ยางพารามีธาตุแคลเซียม มากที่สุดที่ 46.54 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และธาตุออกซิเจน 42.82 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบธาตุแมกนีเซียมและคาร์บอน แต่พบในปริมาณที่น้อยมาก

ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของถ่านไม้ยางพารา ด้วยเทคนิคจุลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Energy dispersive spectrometry; EDS) ที่ใช้ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope; SEM) พบว่า ถ่านไม้ยางพารามีธาตุแคลเซียม 46.54 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และออกซิเจน 42.82 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบธาตุแมกนีเซียม และคาร์บอน แต่พบในปริมาณที่น้อยมาก

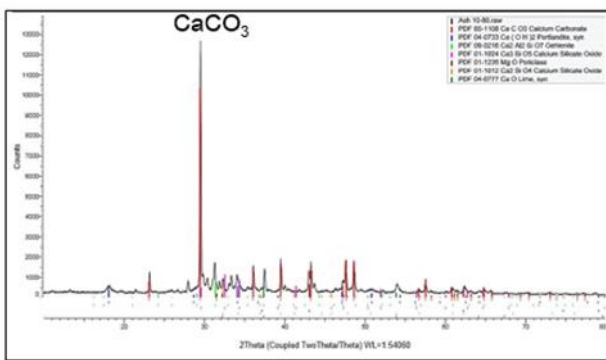
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านไม้ยางพาราด้วยวิธี XRD ผลแสดงในรูปที่ 4 จากกราฟ XRD จะเห็นว่าถ่านไม้ยางพารามีปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ที่สูงมาก และยังมีประกอบธาตุอื่นๆ ปะปนอยู่เล็กน้อย จะเห็นว่าถ่านไม้ยางก็สามารถนำมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาได้ เนื่องจากมีปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ที่สูง ซึ่ง  $\text{CaCO}_3$  สามารถในการแตกตัวให้คาร์บอนที่ตีเหมาะที่จะนำไปใช้ในกรรมวิธีการเพิ่มคาร์บอนให้กับเหล็ก



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



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



รูปที่ 4 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านไม้ยางพารา

### 3.2 ผลของชนิดสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเพิ่มคาร์บอนที่มีผลต่อกระบวนการแป็คคาร์บูไรซิง

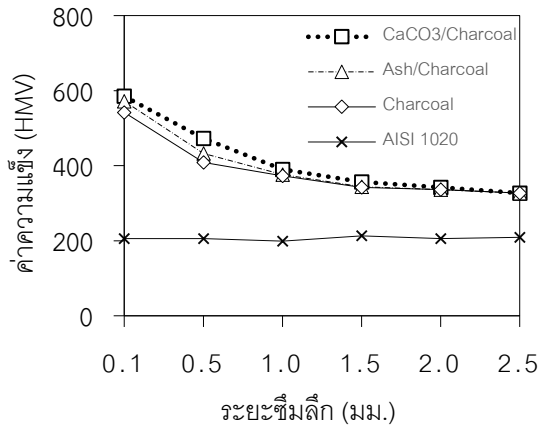
ชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีแป็คคาร์บูไรซิงที่ 950°C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที โดยใช้ส่วนผสม 3 ส่วนผสม คือ ถ่านไม้ยางพารา 100% (Charcoal), ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ ถ่านไม้ยางพารา 10% (Ash/Charcoal) และถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ CaCO<sub>3</sub> 10% (CaCO<sub>3</sub>/Charcoal) จากนั้นทำการชุบแข็ง ที่อุณหภูมิ 850°C เวลา 30 นาที และอบคืนตัว ที่

อุณหภูมิ 150°C เวลา 30 นาที และนำมาทดสอบระยะซีมติกของชั้นผิวแข็งแสดงดังรูปที่ 5-รูปที่ 7

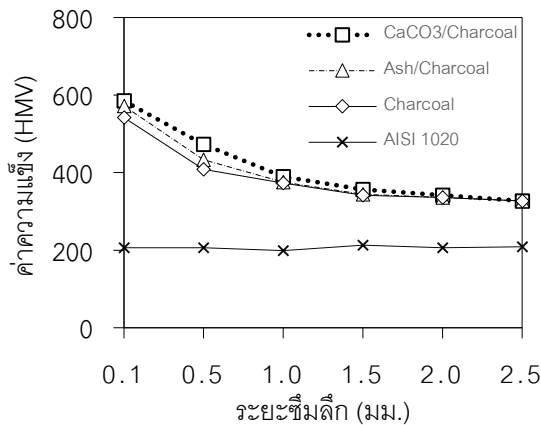
การทดสอบระยะซีมติกของชั้นผิวแข็ง โดยการกำหนดระยะในการวัดที่ 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร โดยใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ พบว่า สารเร่งปฏิกิริยาจาก CaCO<sub>3</sub> ที่เวลาต่างๆ จะมีค่าความแข็งสูงสุด รองลงมาคือ ถ่านไม้ยางพาราและถ่านไม้ยาง 100% ตามลำดับ และค่าความแข็งจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะลึกเพิ่มมากขึ้น ส่วนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว พบว่า ค่าความแข็งไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนที่ไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนโครงสร้างของเหล็ก จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่าถ่านไม้ยางพาราจะให้ความแข็งที่น้อยกว่า CaCO<sub>3</sub> เพียงเล็กน้อย ที่ทุกระยะความลึกเนื่องจากในถ่านไม้ยางมีปริมาณ CaCO<sub>3</sub> ที่สูง

เมื่อเปรียบเทียบความแข็งกับเวลาในการทำแป็คคาร์บูไรซิง ผลแสดงดังรูปที่ 8 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าความแข็งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น เวลาที่สั้นทำให้การแพร่มีช่วงเวลาในการแทรกตัวของอะตอมคาร์บอนที่ต่ำ และการใช้สารเร่งปฏิกิริยาทุกชนิด จะมีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้นที่เวลาเพิ่มมากขึ้นขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ที่เวลา 90 นาที จะมีค่าความแข็งสูงสุดของสารเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิด ซึ่งสารเร่งปฏิกิริยา CaCO<sub>3</sub> มีการเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950°C ที่เวลา 90 นาที มีค่าความแข็ง 665 HMV เป็นความแข็งที่สูงที่สุด และมากกว่าที่เวลา 60 และ 30 นาที ตามลำดับ เนื่องจากเวลาในการแพร่ที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับระยะซีมติกและระยะเวลาในการแพร่ที่เพิ่มจะสอดคล้องกับทฤษฎีอัตราการแพร่ ทำให้

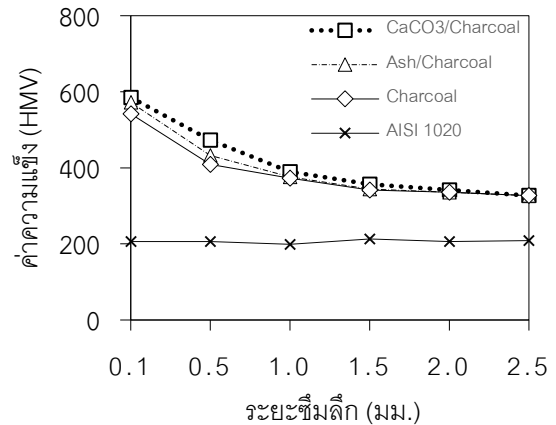
อะตอมของคาร์บอนมีเวลาในการที่จะแพร่เข้าไปในเนื้อของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น นอกจากเวลาในการเพิ่มคาร์บอนจะมีอุณหภูมิที่เพิ่มจะมีความสัมพันธ์กัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลามากขึ้นและอุณหภูมิที่สูง ทำให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มคาร์บอนสูงขึ้น [8]



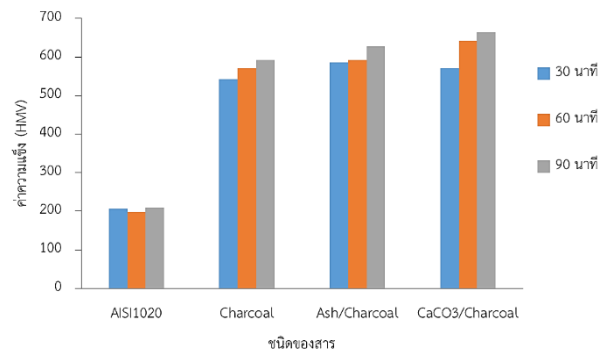
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบระยะชั้นผิวของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิ่งที่อุณหภูมิ 950°C ที่เวลา 30 นาที



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบระยะชั้นผิวของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิ่งที่อุณหภูมิ 950°C ที่เวลา 60 นาที



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบระยะชั้นผิวของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิ่งที่อุณหภูมิ 950°C ที่เวลา 60 นาที



รูปที่ 8 ค่าความแข็งที่ระยะชั้นผิว 0.1 มิลลิเมตร อุณหภูมิเพิ่มคาร์บอนที่ 950°C

### 3.3 การเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 ที่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิ่งและการชุบแข็ง

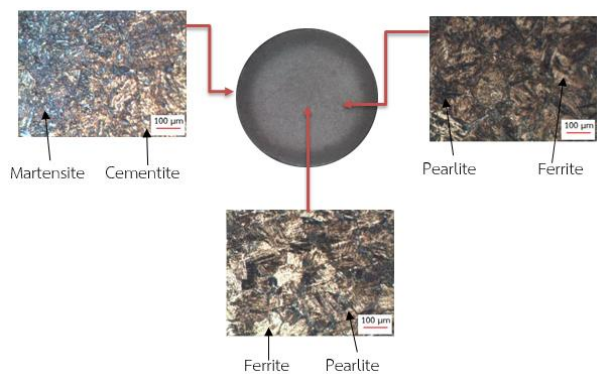
ภายหลังจากการทำแพ็คคาร์บูไรซิ่ง และทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850°C เนื่องจากอุณหภูมิอยู่ระหว่างเส้น  $A_{cm}$  และ  $A_1$  ทำให้ยังมีเหล็กคาร์ไบด์บางส่วน (ซีเมนไทต์แบบตาข่าย) ร่วมกับออสเทนไนต์เมื่อปล่อยให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โครงสร้างออสเทนไนต์จะเปลี่ยนเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ [5] เพราะมีปริมาณคาร์บอนที่สูง จากการทำแพ็คคาร์บูไรซิ่ง และพบคาร์ไบด์ของเหล็กที่ยังเหลืออยู่บางส่วน ซึ่งพบว่ามีสถานะที่เหมาะสมจะประกอบไปด้วยโครงสร้างมาร์

เทนไซด์และคาร์ไบด์ ที่อุณหภูมิ 950°C จากรูปที่ 9 พบว่า โครงสร้างที่ผิวของชิ้นงานจะมีอัตราการแพร่ของคาร์บอนค่อนข้างสูงเมื่อเวลาผ่านไป โดยโครงสร้างมีการเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซด์และคาร์ไบด์ แต่ก็ยังมีโครงสร้างเฟอร์ไรท์และเพิร์ลไลต์อยู่ [8] เมื่อพิจารณาที่ 90 นาที จะเห็นโครงสร้างมาร์เทนไซด์ที่ชัดเจนบริเวณผิวรอบนอกชิ้นงานในตัวอย่างที่มีสารเร่งปฏิกิริยาจากถ่านไม้ยางพาราและ  $\text{CaCO}_3$

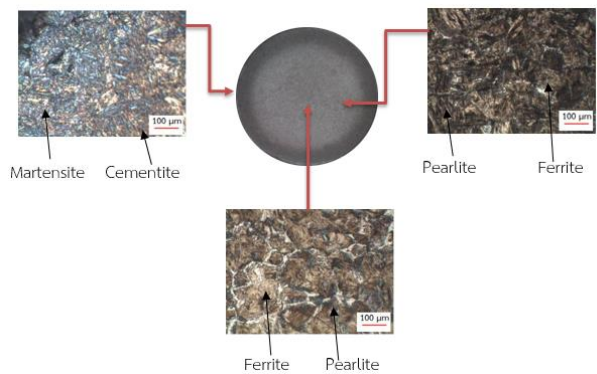
เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่มีการอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950°C ที่เวลา 90 นาที ทั้ง 3 ส่วนผสมคือ ถ่านไม้ยางพารา 100% ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ ถ่านไม้ยางพารา 10% และถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ  $\text{CaCO}_3$  10% จะเห็นได้ว่าโครงสร้างที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งบริเวณขอบชิ้นงานจะพบโครงสร้างมาร์เทนไซด์และคาร์ไบด์ ส่วนบริเวณกึ่งกลางระหว่างขอบชิ้นงานกับกลางชิ้นงานพบโครงสร้างเพิร์ลไลต์กับเฟอร์ไรท์ และบริเวณกลางชิ้นงานพบโครงสร้างเพิร์ลไลต์กับเฟอร์ไรท์ (รูปที่ 10-รูปที่ 12) จะเห็นได้ว่าโครงสร้างที่ได้จะสอดคล้องกับค่าความแข็งในรูปที่ 7 ที่อุณหภูมิแพ็คคาร์บูไรซิง 950°C เวลา 90 นาที ซึ่งค่าความแข็งที่สูงที่สุดจะเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซด์และคาร์ไบด์ [8] เพราะที่ผิวเกิดแพร่ของคาร์บอนสูงเมื่อผ่านการชุบแข็งจึงเปลี่ยนเป็นโครงสร้างมาเทนไซด์ โดยแนวโน้มของมาเทนไซด์และซีเมนไทต์จะลดลงและเกิดโครงสร้างเพิร์ลไลต์และเฟอร์ไรท์เพิ่มมากขึ้น [5]

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

รูปที่ 9 ถ่านไม้ยางพารา 100% (กำลังขยาย 50X)

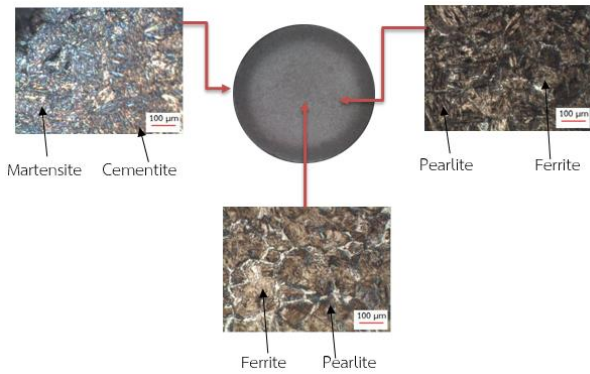


รูปที่ 10 ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ ถ่านไม้ยางพารา 10% (กำลังขยาย 50X)



รูปที่ 11 ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ ถ่านไม้ยางพารา 10% (กำลังขยาย 50X)





รูปที่ 12 ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ  $\text{CaCO}_3$  10%  
(กำลังขยาย 50X)

#### 4. สรุปผล

จากผลการวัดระยะซีมีลิกของชั้นผิวลิกของชั้นผิวแข็ง และโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 ที่ผ่านกรรมวิธีการเพิ่มคาร์บอน โดยอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950°C ที่เวลา 30, 60 และ 90 นาที แล้วทำการเทมเปอร์หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ผลการ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950°C ที่เวลา 90 นาที ชุบแข็งและทำเทมเปอร์ด้วย  $\text{CaCO}_3$  จะทำให้ได้ความแข็งสูงสุด แต่สารเร่งปฏิกิริยาจากถ่านไม้ยางพาราก็มีความแข็งใกล้เคียง  $\text{CaCO}_3$
2. ผลของอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการแพร่ที่ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ ทฤษฎีอัตราการแพร่ กล่าวคือ อุณหภูมิและเวลาที่สูงขึ้น จะทำให้เกิดพลังงานในการกระตุ้นให้มีประสิทธิภาพในการแพร่ของอะตอมคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณคาร์บอนแทรกเข้าชิ้นงานได้สูงขึ้น
3. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบเพิ่มคาร์บอนและชุบแข็งที่ผิวและทำเทมเปอร์

โครงสร้างที่ผิวประกอบไปด้วยโครงสร้างมาร์เทนไซต์และซีเมนไตต์และโครงสร้างที่ลึกเข้าไปภายในชิ้นงานจะเป็นโครงสร้างเพิร์ลไลต์

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Thammachot, N., (2015). Engineering Materials. Bangkok:SE-Education.
- [2] Homjabok, W. Thammachot, N. and Thadee, N. (2015). Effect of Austenitizing Temperature in the Pack Carburizing to Produce Big Knives. Rajamangala University of Technology Isan Journal. Vol. 8. No.3. pp. 126-136
- [3] Homjabok, W. Thammachot, N. and Thadee, N. (2015). 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. 41. No.3. pp. 383-391
- [4] Shunsuke, K., (2004). Adsorption of harmful substances by activated carbon from rubber wood. Bachelor Thesis Department of



International Development Engineering  
Tokyo Institute of Technology

- [5] Homjabok, W. Thammachot, N. and Thadee, N. (2015). The Comparison of Catalyst between the Egg Shell and  $\text{CaCO}_3$  in the Pack Carburizing Process. Rajamangala University of Technology Isan Journal. Vol. 8. No.1. pp. 29-36
- [6] 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. Vol. 3. No. 7. pp. 226-231
- [7] 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. Vol. 43. No.4. pp. 172-177
- [8] Chowwanonthapunya, T., Thammachat, N. and Peeratatsuwan, C. (2017). A Study on Microstructure and Mechanical properties of the pack carburized low carbon steel used as an alternative material for agricultural knife blade. Journal of Science and Technology. Vol. 6. No.2. pp. 36-45