การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ครั้งที่ 2
The 2nd Conference on Innovation Engineering and Technology for Economy and Society
วันที่ 16 ธันวาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขต ร่มเกล้า

การเชื่อมเหล็กหล่อเหนียวด้วยการเชื่อมไฟฟ้าโดยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ GEMINI 680

Welding Ductile Cast Iron by the welding process with Coated electrode Gemini 680

สุรเดช แม้นศิริพรหม *,กิตติศักดิ์ สงวนศักดิ์ถาวร[1],ธีรพล แขกปัญญา[1] ชานนท์ มูลวรรณ[1] และ ประยูร สุรินทร์[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ เกษมบัณฑิต
[2]สาขาวิชาการผลิตขั้นสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
E-mail: surdechmaensiriphrhm@gmail.com *
Suradet Maensiriphrom * Kittisak Sa-nguansakthawron[1] Teerapon Keakpanya [1] Charnont Moonwan[1] and Prayoon Surin[2]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University
[2]Department of Advence Manufacturing Technology,Pathumwan Institute of Technology
E-mail: surdechmaensiriphrhm@gmail.com *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเชื่อมเหล็กหล่อเหนียว เกรด FCD 50 การเชื่อมใช้วิธีเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ GEMINI 680 กระแสเชื่อม 230 แอมแปร์ ความต่างศักย์ 24 โวลต์ ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 300 มิลลิเมตร/นาที ชิ้นงานมีขนาด 200 มิลลิเมตรX200 มิลลิเมตรX25.40 มิลลิเมตร ทำมุมรอยต่อ 30° การทดสอบหลังเชื่อมใช้สองเงื่อนไข ได้แก่อบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และไม่อบ ผลการทดสอบโครงสร้างจุลภาคของทั้งสองเงื่อนไข พบว่าไม่แตกต่างกัน บริเวณเนื้อโลหะเดิม(Base Metal) ประกอบด้วยเฟสของ เฟอร์ไรต์ เพิร์ลไลต์ และ กราไฟต์กลม บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน(HAZ) ประกอบด้วยเฟส เฟอร์ไรต์ เพิร์ลไลต์ และ กราไฟต์กลม บริเวณเนื้อเชื่อม(Weld Metal) ประกอบด้วยเฟส ออสเทนไนต์ กับเดนไดรท์ สมบัติเชิงกลด้านความแข็งไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ ความแข็งเฉลี่ยบริเวณเนื้อโลหะเดิม(Base Metal) 370.8 HV บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน(HAZ) 351.36 HV บริเวณเนื้อเชื่อม(Weld Metal) 226.42 HV การอบและไม่อบหลังเชื่อมไม่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของการเชื่อม

คำสำคัญ : การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ เฟอร์ไรต์ เพิร์ลไลต์ ออสเทนไนต์

ABSTRACT

This research is about the welding ductile cast iron grad FCD 50 by using Welding with Coated Electrode GEMINI 680, power 230 Ampere, electric potential difference 24 Volt, welding speed 300 mm/min. The specimen size is 200mm x 200mm x 25.40 mm with the angle 30 degree. There are 2 measurement condition which as post weld heat treatment(350°C 1 hr.) and without post weld heat

treatment. The result show that the fundamental structure of both conditions are quite the same. The base metal consists of the phase of ferrite, pearlite, and spheroidal graphite. The heat affected zone (HAZ) consists of phase ferrite, pearlite, and spheroidal graphite. The weld metal consists of phase ostenite and dendrite. The mechanical property and hardness are quite the same. To illustrate, the average hardness of the base metal is 370.8 HV, The HAZ is 351.35, and the weld metal is 226.42 HV. Therefore, it can be conclude that post weld heat treatment(350°C 1 hr.) and without post weld heat treatment are not effect to the fundamental structure and the mechanical property of welding.
Keywords : Welding with Coated Electrode Ferrite Pearlite Austenite

1. บทนำ

เครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม โดยบางส่วนจะเป็นเหล็กหล่อในรูปแบบต่างๆและวัสดุส่วนใหญ่ คือ เหล็กหล่อเทา เหล็กหล่อเหนียว ตัวอย่างชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กหล่อ เช่น ฐานเครื่องจักร โครงสร้างเครื่องจักรขนาดใหญ่ เฟืองขับส่งกำลัง เพล้าข้อเหวี่ยง ลูกเบี้ยว แคมสไลด์ของลูกกลิ้ง[1] และอะไหล่ต่างๆที่มีรูปทรงแปลก ซึ่งเมื่อถูกใช้ไปนานก็มีการพังชำรุดเกิดขึ้น เช่น มีการแตกร้าว มีการหัก สึกหรอจากแรงกระแทกและการเสียดสี หรือชำรุดจากความล้าสะสมที่ถูกกระทำต่ออะไหล่ชิ้นนั้น เมื่อเกิดการชำรุด เครื่องจักรก็จะเสียประสิทธิภาพในการทำงาน หรือ อาจจะต้องหยุดการทำงานของเครื่องจักรลงและทำการแก้ปัญหาต่ออะไหล่ที่เสีย ทางผู้วิจัยจึงศึกษาเกี่ยวกับงานเชื่อมเหล็กหล่อ เพื่อซ่อมแซมอะไหล่เครื่องจักรที่เป็นเหล็กหล่อ ที่เกิดความเสียหายเพื่อค้นหากรรมวิธีการเชื่อมเพื่อซ่อมแซมให้ดีที่สุด โดยนำเหล็กหล่อเหนียว FCD 50 มาวิจัย โดยวัตถุประสงค์หลักคือตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลด้านความแข็งของแนวเชื่อมชิ้นงานที่ให้ความร้อนหลังการเชื่อมและไม่ให้ความร้อนหลังการเชื่อมแล้วนำผลมาเปรียบเทียบ ซึ่งขอบเขตของโครงงานวิจัยนั้นนำเหล็กหล่อ FCD 50 นำมาเชื่อมด้วยลวดเชื่อม GEMINI 680 เชื่อมแบบต่อชนตามมาตรฐานการเชื่อม AWS D1.1 หลังเชื่อมนำมาเข้ากระบวนการหลังเชื่อมโดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ นำชิ้นงานมาเข้ากระบวนการให้ความร้อนหลังเชื่อม(Posheat) แบบ full annealing ส่วนอีกชิ้นปล่อยให้อุณหภูมิความร้อนของชิ้นงานหลังเชื่อมเย็นตัวลงเองตามอุณหภูมิปกติ หลังจากนั้นนำมาเข้าทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความแข็ง และทดสอบโครงสร้างจุลภาค เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กหล่อกราไฟต์กลมเกรด FCD50

เหล็กหล่อกราไฟต์กลมเป็นเหล็กหล่อสีเทาที่มีกราไฟต์กลมในสภาพหล่อเราจะได้เหล็กหล่อชนิดนี้โดยการเติมสารพวก Mg,Cu-Mg,Ni-Mg,Ca-Si หรือ Fe-Si ทีมีคุณภาพดีลงในน้ำโลหะ และความแข็งประมาณ HB200-240 ส่วนผสมทางเคมีได้แก่ คาร์บอน 3.62, ซิลิคอน 2.58, แมงกานีส 0.42, ฟอสฟอรัส 0.03, กำมะถัน 0.01

2.2 กรรมวิธีการเชื่อมเหล็กหล่อ

เหล็กหล่อกราไฟท์กลมจะมี Weldability ดีที่สุด กรรมวิธีการเชื่อม คือ การเชื่อมโดยอาร์คไฟฟ้า โดยใช้แท่งอิเลคโตรดอาร์คไฟฟ้ากับแท่งโลหะ Parent ซึ่งจะเกิดความร้อนที่สูงมากบริเวณอาร์คอุณหภูมิจุดนี้จะสูงถึง 5000 °C ซึ่งจะมีผลมากต่อโครงสร้างจุลภาคสุดท้ายของเนื้อโลหะบริเวณที่เชื่อมประสานการเชื่อมด้วยอาร์คไฟฟ้า[2]

2.3 เทคนิคการเชื่อมเหล็กหล่อ

ปัญหาหลัก 3 ประการ การหดตัว ปริมาณคาร์บอนที่สูงของเหล็กหล่อและการเย็นตัวที่รวดเร็วของ Heat affected Zone จะส่งผลให้เกิดการแตกหักของชิ้นงาน ดังนั้นเทคนิคที่จะทำให้การเชื่อมเหล็กหล่อสำเร็จได้ คือการอุ่นชิ้นงานเพื่อลดอัตราการเย็นตัว การอุ่นชิ้นงานอาจจะทำในบริเวณที่จะเชื่อมหรือการอบชิ้นงานทั้งชิ้นหากสามารถกระทำได้ เมื่อชิ้นงานถูกอบทั้งชิ้นที่อุณหภูมิมากกว่า 450 °C แรงแค้นภายในจะคลายตัวลง เหล็กหล่อจะมีการยืดตัวดีขึ้น การอบชิ้นงานทั้งชิ้นนี้จะทำให้การบิดงอลดลงและความแข็งของรอยเชื่อมแนว Heat affected Zone ลดลงด้วย โดยทั่วไปเมื่อเชื่อมเสร็จต้องป้องกันไม่ให้ชิ้นงานเย็นเร็วเกินไป และให้มีการเย็นสม่ำเสมอทั้งชิ้นงานโดยการให้เย็นในเตาอบภายใต้ผ้าทนไฟ หรือ ทรายร้อน[3]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) การวิจัยแนวเชื่อมของเหล็กหล่อกราไฟต์กลม เกรด FCD500 ด้วยกระบวนการเชื่อม SMAW โดยเชื่อมแบบใช้ลวด ENiFe--CI (แกนนิกเกิล-เหล็ก)เชื่อมเพียงอย่างเดียว และแบบใช้ลวด ENiFe-CI เชื่อมรองพื้นและตามด้วยลวด E7016 ลักษณะของโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมมีออสเทนไนต์กับเฟอร์ไรต์ในลักษณะกระจายตัว ลวดเชื่อม ENIFe-CI และ E7016 ให้ความแข็งในพื้นที่มีออสเทนไนท์กับเฟอร์ไรท์ต่ำกว่า ด้านใต้บริเวณเนื้อเชื่อม E7016 จะมีความแข็งสูงกว่าเป็นผลจากการกระจายของคาร์บอนและอัลลอยด์จำนวนมาก[4]

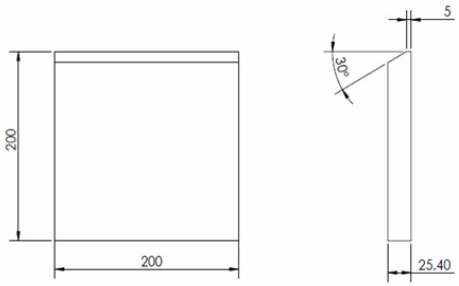
2) งานวิจัยแนวเชื่อมเหล็กหล่อกราไฟต์กลม เกรด FCD400 โดยอุ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิ 400±10 °C และ 500±10 °C ใช้ลวดเชื่อม Gemini Ni55 ผลการทดลองชิ้นงานที่ให้ความร้อน 400°C และ 500°C มีโครงสร้างไม่ต่างกัน โครงสร้างบริเวณเนื้อเชื่อมมีออสเทนไนต์ แมทริกซ์และกราไฟต์กลม บริเวณเนื้อชิ้นงานเดิมมีกราไฟต์กลมและเฟอร์ไรต์กับเพิร์ลไลต์ ความแข็งชิ้นงานที่ให้ความร้อน 400 °C และ 500 °C บริเวณ base metal กับ Weld metal ไม่ต่างกันแต่บริเวณ HAZ ของชิ้นงาน 400°C มีความแข็งสูงกว่าชิ้นงาน 500°C ผลการทดสอบความแข็งแรงต้านการล้า บริเวณเนื้อโลหะงานและบริเวณเนื้อเชื่อมมีค่าความแข็งแรงมากกว่าบริเวณ HAZ[5]

3) งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการเชื่อมของเหล็กหล่อเหนียว โดยใช้กระบวนการเชื่อมแบบ TIG และเชื่อมแบบ SMAW ด้วยลวดเชื่อมที่มีส่วนผสม Ni 97,6% โดยเชื่อมต่อกับเหล็กดัดที่ต้องผ่านการอบด้วยความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม ชิ้นงานเชื่อม TIG มีความแข็งสูงกว่า แต่มีความเหนียวและความแข็งแรงลดลงเล็กน้อย สมบัติเชิงกลและความเหนียวของทั้งสองแบบไม่แตกต่างกันมาก การเชื่อมของTIG มีคุณสมบัติเชิงกลค่อนข้างน้อยแต่มีลักษณะโครงสร้างที่ดีมาก[6]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงาน

1) นำเหล็กหล่อ FCD 50 มาขึ้นรูปและปาดผิวด้านที่ต้องการเชื่อม 30 องศา จำนวน 4 ชิ้น ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดชิ้นงานก่อนเชื่อม

2) นำชิ้นงานทั้งหมดมาให้ความร้อน (Preheat) ที่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 150-250 °C ก่อนเชื่อม

3) นำมาเชื่อมไฟฟ้า(SMAW)ด้วยลวดเชื่อม GEMINI 680 กระแสเชื่อม 230 แอมแปร์ ความต่างศักย์ 24 โวลต์

ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 300 มิลลิเมตร/นาที เชื่อมในลักษณะท่าราบ

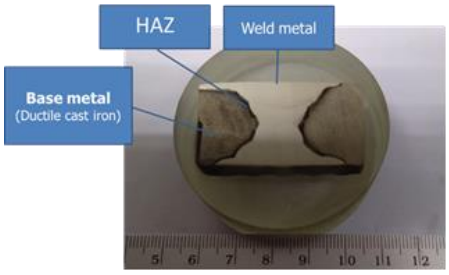
4) นำมาเข้ากระบวนการหลังเชื่อมโดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ เพื่อมาเปรียบเทียบความแตกต่างมีดังนี้

- นำชิ้นที่ 1 มาเข้าตู้อบใช้อุณหภูมิ 350°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวลงภายในตู้อบ
- ชิ้นที่ 2 ปล่อยให้อุณหภูมิความร้อนชิ้นงานเย็นตัวลงเองตามอุณหภูมิปกติของสภาพพื้นที่

3.2 การทดสอบชิ้นงาน

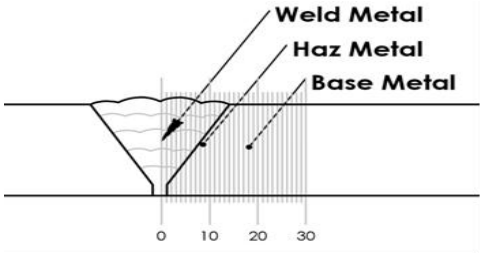
1) ทดสอบโครงสร้างจุลภาค(Micro Scope)

- บริเวณเนื้อเชื่อม (Weld Metal) 1 จุด
- บริเวณที่เกิดผลกระทบจากความร้อน (HAZ) 1 จุด
- บริเวณเนื้อวัสดุเดิม (Base Metal) 1 จุด



รูปที่ 2 บริเวณทดสอบโครงสร้างจุลภาค

2) การทดสอบความแข็ง(Vecker Hardness) ด้วยแรงกด 200 กรัม ค่าความแข็งเป็น HV เริ่มจากกลางแนวเชื่อมจนถึงบริเวณเนื้อโลหะเดิมระยะห่างรอยกด 0.5 ม.ม



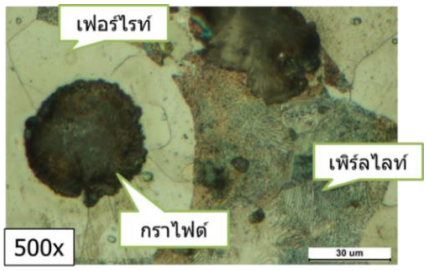
รูปที่ 3 บริเวณทดสอบความแข็ง

4. ผลการทดลอง

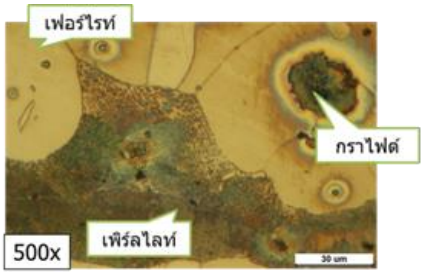
ผลการทดสอบความแข็งและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน โดยชิ้นงานที่ให้อุณหภูมิเย็นตัวลงเองตามปกติคือชิ้นงาน As-weld ชิ้นงานที่ทำการอุ่นหลังเชื่อมคือชิ้นงาน Postheat 350°C 1 ชั่วโมง ผลจากการทดลองมีดังนี้

4.1 ผลการทดสอบโครงสร้างจุลภาค

1) บริเวณ Base metal ไม่แตกต่างกัน กราไฟต์มีลักษณะเป็นวงกลมและมีเฟอร์ไรท์และเพิร์ลไลท์

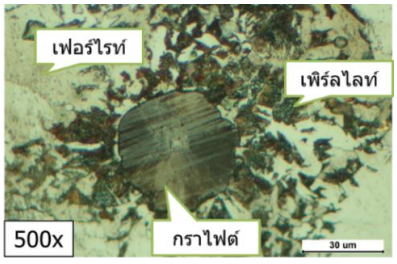


รูปที่ 4 ชิ้นงาน As-weld

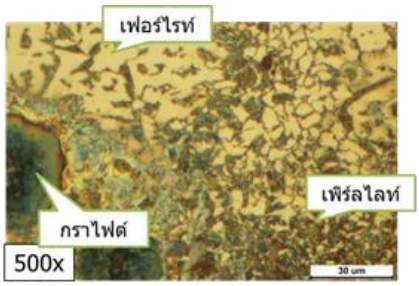


รูปที่ 5 ชิ้นงาน Postheat 350°C 1 ชั่วโมง

2) บริเวณ HAZ ไม่แตกต่างกัน กราไฟต์มีลักษณะเป็นวงกลมแต่เฟอร์ไรท์และเพิร์ลไลท์มีการแตกตัวรวมกัน

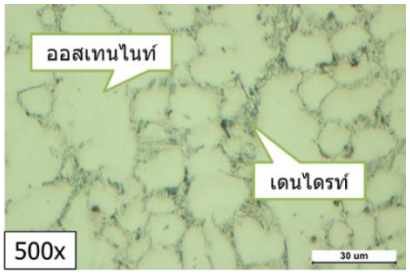


รูปที่ 6 ชิ้นงาน As-weld

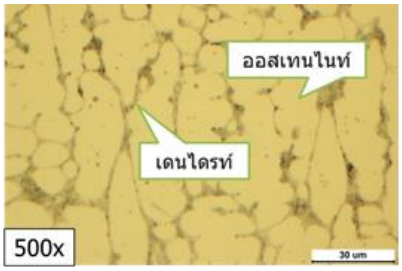


รูปที่ 7 ชิ้นงาน Postheat 350°C 1 ชั่วโมง

3) ผลการทดสอบบริเวณ Weld metal ไม่แตกต่างกัน มีออสเทนไนท์และเดนไดรท์เป็นลักษณะลายเข็ม



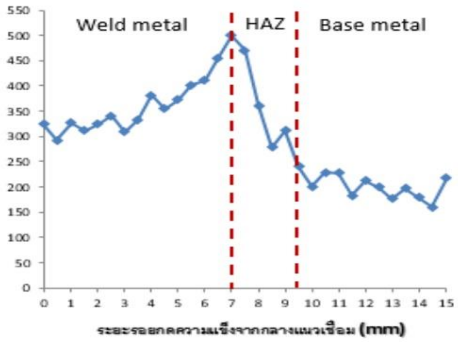
รูปที่ 8 ชิ้นงาน As-weld



รูปที่ 9 ชิ้นงาน Postheat 350°C 1 ชั่วโมง

4.2 ผลการทดสอบความแข็ง

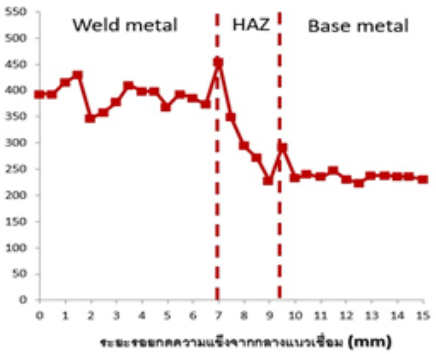
1) ผลการทดสอบความแข็งชิ้นงาน As-weld



รูปที่ 10 กราฟความแข็งชิ้นงาน As-weld

ความแข็งในช่วงจุดเริ่มจะๆค่อยขึ้นสูงขึ้นเมื่อไปถึงใกล้ช่วง HAZ ซึ่งโครงสร้างบริเวณ HAZ มีกราไฟต์เป็นก้อนกลมและมีเฟอร์ไรท์กับเพิร์ลไลท์ซึ่งได้แตกตัวรวมเข้าด้วยกันล้อมรอบกราไฟต์ ความแข็งบริเวณช่วงระหว่างรอยต่อ HAZ กับ Weld metal จึงมีความแข็งสูงสุดอยู่ที่ 500 HV และค่อยๆต่ำลงเมื่อไล่มาถึงบริเวณ Base metal

2) ผลการทดสอบความแข็งชิ้นงาน Postheat 350°C 1 ชั่วโมง



รูปที่ 11 กราฟความแข็งชิ้นงาน Postheat 350°C 1

ความแข็งในช่วง Weld metal จะมีความชันไม่มากแต่ความแข็งมีความใกล้กับความแข็งสูงสุดของบริเวณ HAZ

เป็นผลมาจากการ Postheat 350°C 1 ชั่วโมง แต่ช่วงบริเวณ HAZ ความแข็งอยู่ในช่วง 450 HV ถึง 226.84 HV ช่วงบริเวณ HAZ จะมีค่าที่ชันที่สุดซึ่งเฟอร์ไลท์กับเพิร์ลไลท์มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนบริเวณ Base metal ความแข็งอยู่ในช่วง 232.51 HV ถึง 230.6 HV บริเวณนี้มีความชันน้อยที่สุดอาจเป็นผลมาจากการ Postheat 350°C 1 ชั่วโมง

5. สรุปผลการทดลอง

ชิ้นงาน As-weld ซึ่งเป็นชิ้นงานที่ไม่ให้ความร้อนหลังเชื่อมและชิ้นงาน Postheat 350°C ที่ให้ความร้อนหลังเชื่อม 350°C 1 ชั่วโมง มีโครงสร้างจุลภาคไม่แตกต่างกัน บริเวณ Base metal ประกอบด้วยเฟสของกราไฟต์และมีเฟอร์ไรท์กับเพิร์ลไลท์ล้อมรอบ ความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงาน As-weld 352.79HV ชิ้นงาน Postheat 350°C 388.81HV โครงสร้างจุลภาคบริเวณ HAZ มีการแตกตัวของเฟอร์ไรท์กับเพิร์ลไลท์ ความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงาน As-weld 384.69HV ชิ้นงาน Postheat 350°C 318.03HV โครงสร้างจุลภาคบริเวณ Weld metal ไม่ต่างกันแต่อุณหภูมิการเชื่อมบริเวณนี้มีอุณหภูมิสูงเกิน 727 °C จึงมีเฟสของออสเทนไนท์และเดนไดรท์ ความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงาน As-weld 205.59HV ชิ้นงาน Postheat 350°C 247.24HV ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้น ชิ้นงาน Postheat 350°C มีความแข็งสูงสุดที่ต่ำกว่าชิ้นงาน As-weld

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากการให้ความช่วยเหลือจากคณะครูอาจารย์และการดูแลอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชานนท์ มูลวรรณ ประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประยูร สุรินทร์ ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] โลหการภาพ 3 อ.ดร.รัตน บริสุทธิกุล http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/malleable_iron.pdf

[2] งานเชื่อมเหล็กหล่อเหนียว http://library.dip.go.th/multim6/edoc/2556/21432.pdf

[3] ผศ.ดร.ฉัตรชัย สมศิริ ศึกษาทฤษฎีและเทคนิคกการเชื่อมเหล็กหล่อ จากหนังสือวิศวกรรมก้าวหน้า

[4] สลิตา เพชรสังข์,บวรโชค ผู้พัฒน์,อิศรทัต พึ่งอ้น ได้วิจัยเกี่ยวกับการเชื่อมเหล็กหล่อ FCD 50 http://ojs.kmutnb.ac.th/index.php/ijst/article/viewFile/86/87

[5] นายกฤช ภู่อยู่,นายดำรงศักดิ์ วันดีวงษ์,นายกิติพันธ์ จีนกลับ ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและความต้านทานการล้าของแนวเชื่อมเหล็กหล่อกราไฟต์กลม

[6] COMPARATIVE STUDY OF TIG AND SMAW ROOT WELDING PASSES ON DUCTILE IRON CAST WELDABILITY BY J. CÁRCEL-CARRASCO, M. PASCUAL, M. PÉREZ-PUIG, F. SEGOVIA www.semanticscholar.org/paper/Comparative-Study-of-Tig-and-Smaw-Root-Welding-on-DUCTILE-WELDABILITY/93d2849a44cf28cddf6147b043ac8a194aab4e97