

การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและการคืบของกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า ในการเชื่อมเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม

Study of Microstructure and Creep Resistance of Electrical Welding Process in Spheroidal Graphite Cast-iron

มนตรี แสงสุริยันต์¹ และประยูร สุรินทร์²

Montri Sangsuriyun¹ and Prayoon Surin²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

¹Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพฯ

²Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok

Received: August 14, 2018

Revised: January 10, 2019

Accepted: January 11, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคที่มีผลต่อสมบัติด้านทานการคืบของแนวเชื่อมเหล็กหล่อแกรไฟต์กลมด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ โดยทำการอุ่นชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมที่อุณหภูมิ 400 ± 10 °C ด้วยลวดเชื่อม 3 ชนิดคือ NC astweld 55 (A), Gemini Ni55 (B) และ YAWATA Ni Cast 55 (C) ชนิดละ 5 ตัวอย่าง ชิ้นงานทั้ง 15 ตัวอย่าง มีขนาด $150 \times 300 \times 25$ mm บากมุมชิ้นงาน 30° การเชื่อมยึดชิ้นงานต่อชนทำราบใช้กระแส 90 A ความต่างศักย์ 22 V ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม 112 mm/s การทดสอบความแข็งใช้น้ำหนักการกด 200 gf การคืบทดสอบที่อุณหภูมิ 500 °C ภาระ 9.8 N ผลการทดสอบลวดเชื่อม A, B และ C มีโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานบริเวณรอยต่อกับ HAZ ประกอบด้วยเฟสของแกรไฟต์กลม เฟอร์ไรต์ และเฟิร์ลไลต์ บริเวณ HAZ ประกอบด้วยเฟสของแกรไฟต์กลม มาร์เทนไซต์ และเลดิบูไลต์ บริเวณเนื้อเชื่อมประกอบด้วยเฟสของออสเทนไนต์ร่วมกับผลึกของแกรไฟต์กลม ความแข็งเฉลี่ยบริเวณ HAZ 465.78, 372.28 และ 450.48 HV ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยการยึดตัวที่จุดแตกหัก 11.92%, 12.04% และ 17.68% ตามลำดับ ดังนั้นลวดเชื่อม A มีความแข็งแรงสูงสุด ในขณะที่ลวดเชื่อม C มีสมบัติเชิงกลที่เหนียวมากที่สุด เพราะโครงสร้างจุลภาคตรงจุดบริเวณเนื้อเชื่อมมีเฟสแกรไฟต์กลมกระจายอยู่สม่ำเสมอในเฟสของออสเทนไนต์ และปริมาณของเฟสออสเทนไนต์ในลวดเชื่อม C มีปริมาณมากกว่าลวดเชื่อม A และ B

คำสำคัญ: โครงสร้างจุลภาค, การคืบ, การเชื่อมไฟฟ้า, เหล็กหล่อแกรไฟต์กลม

Abstract

This research aims to study the influence of microstructure and creep resistance along the cast-iron metal arc welding line. By preheating the work before welding at 400 ± 10 °C with 3 types of welding wire, NC as weld 55 (A), Gemini Ni55 (B) and YAWATA Ni Cast 55 (C), each type was tested

and applied with 5 samples. The 15 welding samples were prepared as 150x300x25 mm and were notched as the angle 30°. Flat butt joint technique was applied for the sample at 90 A and 22 V. The individual sample was scratched at speeds of 112 mm/s. Hardness test was applied for studying with load of 200 gf. Creeping test was operated at 500 °C with load of 9.8 N. The results showed of A B and C welding wire had a microstructure along the welding lines joining with HAZ composed of spheroidal graphite, ferrite, and pearlite phases. The area of HAZ was composed of spheroidal graphite, martensite and ledeburite phases and area of welding was composed of austenite and co-crystal graphite phase. The average hardness around HAZ area are 465.78, 372.28 and 450.48 HV, respectively. The average elongation at brake point is 11.92%, 12.04% and 17.68%, respectively. Therefore, the welding wire A has maximum hardness. Moreover, the welding wire C has the toughest mechanical properties because the microstructure at the point where the welded material has a circular graphite phase is uniformly distributed in the austenite phase. Furthermore, the amount of austenite phase in the welding wire C is greater than the welding wire A and B.

Keywords: microstructure, creep, arc welding, spheroidal graphite cast-iron



บทนำ

ในงานอุตสาหกรรมมีการนำวัสดุที่เป็นเหล็กหล่อ แกรไฟต์กลมหรือเหล็กหล่อเหนียวมาเป็นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น การนำไปใช้ประยุกต์ในงานอุตสาหกรรมยานยนต์ ฐานเครื่องมือของเครื่องจักร เพลลาข้อเหวี่ยงในเครื่องยนต์ดีเซล ตัวเครื่องจักรเสื่อสูบ ปั้มน้ำ ตัวเรือนมอเตอร์ เป็นต้น การศึกษาพบว่าเหล็กหล่อเหนียวคาร์บอนที่มีแกรไฟต์กลมจะมีคุณสมบัติรับค่าน้ำหนักในแรงกดได้ดี การลดการสิ้นเปลือง ทนทานต่อรอยขีดข่วน การกัดกร่อนจากสารเคมี ขึ้นรูปง่าย แต่มีค่าความเหนียวที่ต่ำ จากคุณสมบัติของเหล็กหล่อแกรไฟต์กลมที่มีค่าความเหนียวที่ต่ำจะทำให้การเชื่อมเหล็กและการซ่อมแซมเหล็กหล่อยากอาจเกิดการแตกเป็นรูพรุนขนาดเล็ก เพราะเหล็กหล่อมักมีคาร์บอนในปริมาณสูงมีเหล็กแกรไฟต์กลมจำนวนมากซึ่งส่งผลให้เหล็กมีความเปราะ (Kou, S. 2003) (El-Banna, E. M., Nageda M. S., & Abo, M, 2000) ความร้อนของแนวเชื่อมมีผลกระทบต่อโครงสร้างทางโลหะวิทยาของเหล็กหล่อจึงทำให้เหล็กหล่อเหนียวนั้นเชื่อมได้ยาก (Pouranvari, M. 2010) (Eroğlu, M. Aksoy, M., & Orhan, N, 1999) เมื่อขึ้นงานมีความร้อนที่สูงขึ้น ขนาดรูปร่าง ความ

นูน ความกว้าง ความลึกของแนวเชื่อม รวมถึงขนาดของบริเวณกระทบร้อนเพิ่มขึ้น โครงสร้างจุลภาคเป็นโปรยูเทกตอยด์เฟอร์ไรท์เกรนละเอียด บริเวณกระทบร้อนของแนวเชื่อม (Heat Affected Zone-- HAZ) ในกระบวนการเชื่อมอาร์กใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding-- SAW) ซึ่งละเอียดกว่าเนื้อโลหะเดิมที่ทำการเชื่อมบริเวณ HAZ เกรนหยาบ ได้โครงสร้างเบนไนท์ เฟอร์ไรท์ และเพิร์ลไลต์ Shen et al. (2012) ส่วนการคืบเป็นการทำนายพฤติกรรมซ้ำ ๆ ของวัสดุ Super alloys Ni-base เพื่อประเมินอายุของวัสดุ ประเมินอายุคงเหลือของวัสดุ และประเมินอายุหลังจากผ่านการซ่อมแซมของวัสดุป้องกันอุบัติเหตุเป็นวิธีการของ Larson Mille ได้รับการพัฒนาและใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบของเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม JIS FCD 400 ด้วยกระบวนการเชื่อมด้วยลวดหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal Arc Welding --SMAW) 3 ชนิดคือ NC astweld 55, Gemini Ni55 และ YAWATA Ni Cast 55 โดยการต่อชนขึ้นงานทำมุม 60° อุณหภูมิขึ้นงานที่อุณหภูมิประมาณ 400 °C จากนั้นศึกษาโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลที่มีผลต่อการคืบตัว

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาตัวแปรการเชื่อมไฟฟ้าเหล็กหล่อเกรดไฟต์กลมชนิด JIS FCD 400 ด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่แตกต่างกัน
2. ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลบริเวณกระทบร้อน (Heat-affected zone) เหล็กหล่อเกรดไฟต์กลมชนิด JIS FCD 400 ที่มีผลต่อการคืบตัว
3. ศึกษาโครงสร้างจุลภาคในรอยเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมยึดชิ้นงานต่อชนที่มีผลต่อการคืบตัว

ตาราง 1

ส่วนผสมเหล็กหล่อเกรดไฟต์กลม (%) Composition

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
3.3...3.8%	2.4...2.8%	< 0.5%	-	-	-

ตาราง 2

ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อม NC astweld 55 (A)

C	Si	Mn	P	S
0.07%	0.62%	1.18%	0.011%	0.008%

ตาราง 3

ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อม Gemini Ni55 (B)

C	Si	Mn	P
0.44%	0.80%	0.73%	54.00%

ตาราง 4

ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อม YAWATA Ni Cast 55 (C)

C	Si	Mn	P	S	Ni
≤ 1.0%	≤ 1.0%	≤ 1.0%	≤ 0.020%-	≤ 0.020%--	48~65%-

เหล็กหล่อเกรดไฟต์กลมชนิด JIS FCD 400 (Base Metal) ขนาด 150×300×25 mm หลังจากนั้นบากมุมชิ้นงานให้ได้ขนาดมุมเท่ากับ 30° การเชื่อมยึดตามมาตรฐาน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

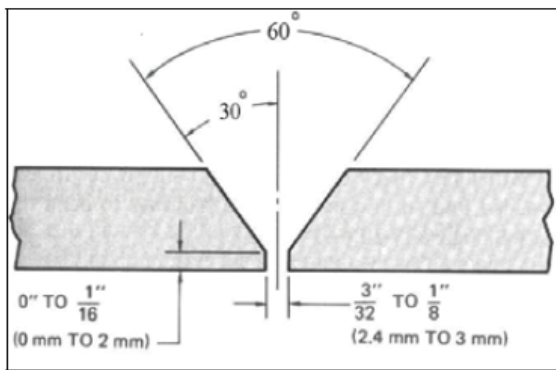
1. ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุในการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งการทดลองออกเป็นชุดการทดลองใช้วัสดุเหล็กหล่อเกรดไฟต์กลมชนิด JIS FCD 400 (base metal) ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีตาราง 1 ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อม NC astweld 55 (A), Gemini Ni55 (B), YAWATA Ni Cast 55 (C) ตาราง 2-4

2. การเตรียมชิ้นงาน

หมายเลขรหัส AWS D 10.9 โดยต่อชนชิ้นงานบากงาน (1G) ทำราบ ภาพ 1

การเตรียมชิ้นงานต้องทำการขัดสนิมที่ชิ้นงานโดย



ภาพ 1 แบบงานก่อนการเชื่อม

ใช้แปลงทองเหลืองเพื่อทำความชิ้นงานแต่ละชิ้น จากนั้นทำการเชื่อมชิ้นงานให้ติดแผ่นรองหลังเพื่อป้องกันชิ้นงานโค้งตัวตามภาพ 2 และยึดชิ้นงานด้านซ้าย-ขวาเพื่อเป็นจุดเริ่มและจุดสุดท้ายในการเชื่อมอุ่นชิ้นงานด้วยความร้อน



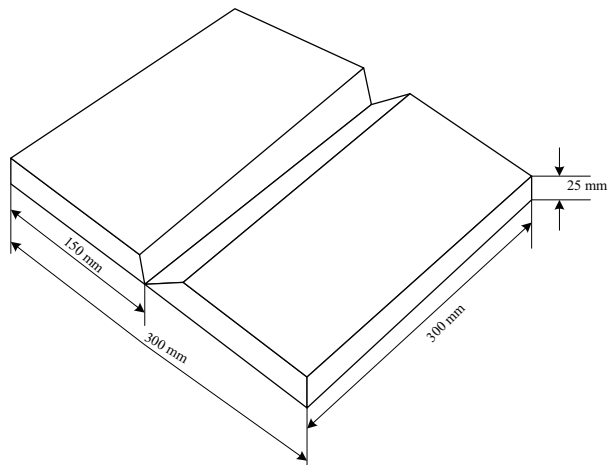
ภาพ 2 การเตรียมงานก่อนการเชื่อม

3. การอบลวดเชื่อม

ก่อนการเชื่อมชิ้นงานนำลวดเชื่อม NC astweld 55 (A), Gemini Ni55 (B), YAWATA Ni Cast 55 (C) ไปอบ



ภาพ 3 เครื่องอบ Nabertherm GmbH



ก่อนการเชื่อมด้วยเครื่องอบ Nabertherm GmbH ตามภาพ 3 ที่อุณหภูมิ 400 °C

ด้วยเครื่องอบ Nabertherm GmbH ดังภาพ 2 ที่อุณหภูมิ 100 °C 60 นาที เมื่อครบเวลานำลวดที่จะใช้เชื่อมออกมาไว้ในกระบอกรอบลวด

4. ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง
 การเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อม Submerged ARC
 Welding ASW 1000 Three Phase 380/50 Hz

ลวดหุ้มฟลักซ์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด และค่าพารามิเตอร์
 ที่ใช้ในการทดลองดังตาราง 5 จำนวน 15 ชิ้น

ตาราง 5
 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ที่	พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน	หน่วย
1.	ขนาดของแรงดันไฟฟ้า	22	V
2.	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำ	90	A
3.	ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม	112	mm/s
4.	อุณหภูมิงานอุณหภูมิ	400±10	°C

5. การเชื่อมเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม
 หลังจากการเชื่อมเหล็กหล่อแกรไฟต์กลมด้วย

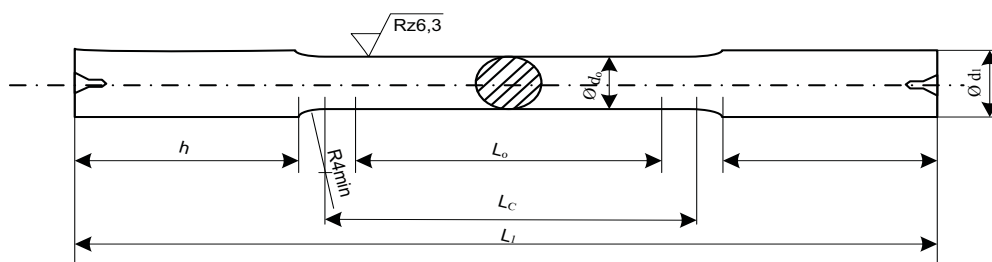
ลวดเชื่อม Nickel Cast 55, Gemini Ni 55, Yawata Ni
 Cast 55 เสร็จดัง ภาพ 4



ภาพ 4 ชิ้นงานหลังทำการเชื่อมเสร็จ

6. การเตรียมชิ้นงานก่อนการทดสอบ
 การเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน A (DIN 50125)

ตัดชิ้นกลมขนาด 10 มิลลิเมตร หัวจับขนาด 12 มิลลิเมตร
 ความยาว 50 มิลลิเมตร จำนวน 15 ชิ้น



ภาพ 5 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบแรงดึง

7. การตรวจสอบแนวเชื่อม

7.1 การตรวจสอบแนวเชื่อมโดยการนำชิ้นงานมาขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80, 100, 240, 400, 600,

800, 1,000, 1,200, 1,500, 2,000 จากนั้นขัดละเอียดบนผ้าสักหลาด 6, 3, 2 ไมครอน ดังภาพ 6 และกัดกรดไนตริกและแอลกอฮอล์ 5 วินาที ดังภาพ 7 เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค



ภาพ 6 การขัดละเอียดบนผ้าสักหลาดโดยเติมด้วยผงอลูมินา



ภาพ 7 การกัดชิ้นงานด้วยกรดไนตริก

7.2 การนำชิ้นงานเชื่อมที่ใช้ลวดทั้งสามชนิดมาตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ด้วยกล้อง

inverted microscope ดังภาพ 8

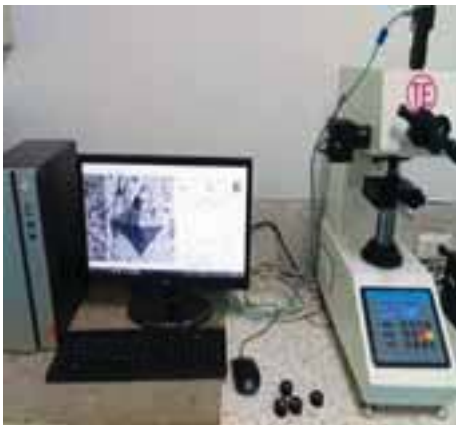


ภาพ 8 กล้อง inverted microscope รุ่น Zeiss Vert A1

8. การทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่อง Micro Vickers Hardness Tester

การวัดความแข็งในระดับไมโครเมตร (micro hardness tester) ดังภาพ 9 หัวกดเพชรทำมุม 120° ใช้

น้ำหนักการกด 200 gf เป็นน้ำหนักการกดที่ให้ค่าความแข็งที่ได้จากการทดสอบคงที่ กดลงบนชิ้นงานตัดขวางดังภาพ 10 การกดทดสอบ 15 วินาทีต่อ 1 จุด โดยตรวจสอบความแข็งชิ้นงานวัด 15 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย



ภาพ 9 เครื่อง Micro Vickers Hardness Tester รุ่น HV-1000



ภาพ 10 ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง

9. การทดสอบการคืบ (creep test) เป็นการยืดตัวของชิ้นงานที่บากแล้วทำการเชื่อมด้วยลวด NC astweld 55, Gemini Ni 55 และ YAWATA Ni Cast 55 จากนั้นนำชิ้นงานที่เชื่อมเสร็จแล้วมาตั้ง การเตรียม

ชิ้นงานตามมาตรฐาน A (DIN 50125) ตัดชิ้นกลมขนาด 10 มิลลิเมตร หัวจับขนาด 12 มิลลิเมตร ความยาว 50 มิลลิเมตร จำนวน 15 ชิ้น ดังภาพ 11 จากนั้นนำชิ้นงานมาทดสอบการคืบ ตามมาตรฐาน ASTM D5262 ดังภาพ 12



ภาพ 11 การเตรียมชิ้นงานกลม

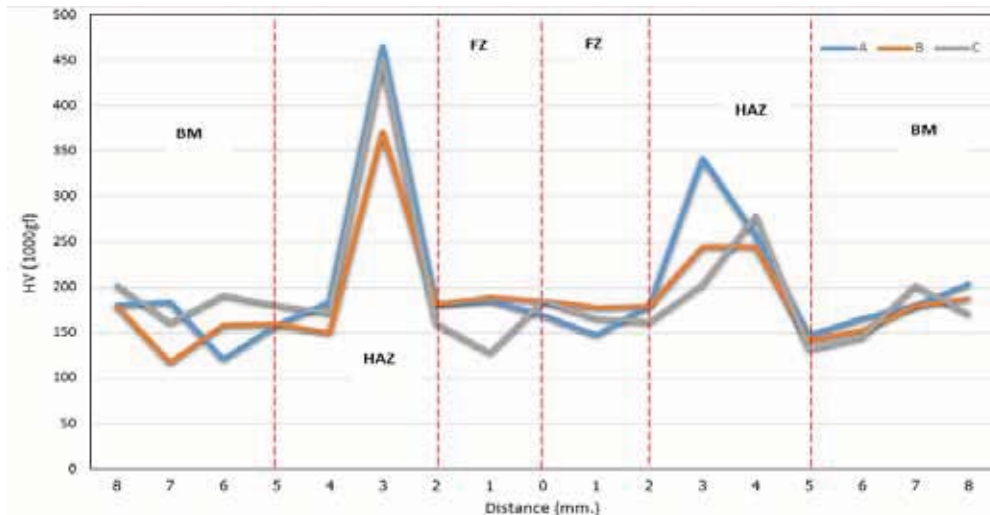


ภาพ 12 เครื่องทดสอบการคืบ (creep test)

ผลการวิจัย

การเชื่อมเหล็กหล่อแกรไฟต์กลมที่มีปริมาณคาร์บอน (C) ฟอสฟอรัส (P) กำมะถัน (S) และออกซิเจน (O) ที่สูงมีความเหนียว (Toughness) ต่ำ ความไม่ต่อเนื่องที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหล่อและผิวชิ้นงานที่เกิดความชื้นจากน้ำมันขณะทำการเชื่อมความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณโลหะฐาน (base metal) ไปจนถึงเนื้อเชื่อม (weld metal) ที่มีอุณหภูมิสูงสุดทำให้ด้านทานการแตกร้าวได้ดี ซึ่งเป็นผลมาจากธาตุฟอสฟอรัส (phosphorus) และกำมะถัน (sulfur)

1. ผลการทดสอบความแข็ง (micro hardness test) แสดงดังภาพ 13 พบว่า ในบริเวณต่าง ๆ ของรอยเชื่อม และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในบริเวณกระทบร้อน (HAZ) โดยเกิด เป็นเหล็กคาร์ไบด์ (iron carbide) หรือซีเมนไทท์ (Cementite; Fe_3C) ที่เกิดการตกผลึกขึ้น ที่บริเวณกระทบร้อนที่ติดกับเนื้อเชื่อม (Fusion Boundary) บริเวณนี้เรียกว่า “White Cast Iron Zone” (Sangsuriyun. M., & Surin, P. 2018). และยังเกิดการฟอร์มตัวของคาร์บอนเป็นโครงสร้างมาเทนไซด์ (martensite) บริเวณนี้เรียกว่า “Martensite Zone”

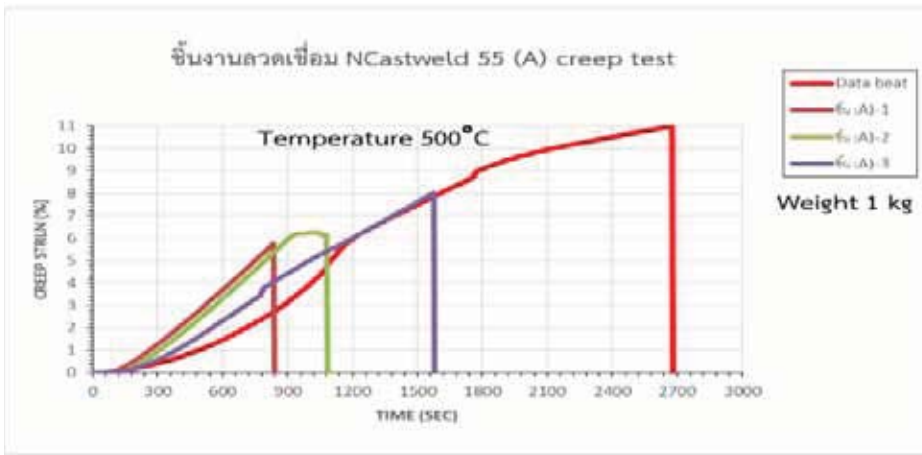


ภาพ 13 ผลการทดสอบความแข็งแบบ Micro Vickers Hardness Tester รุ่น HV-1000

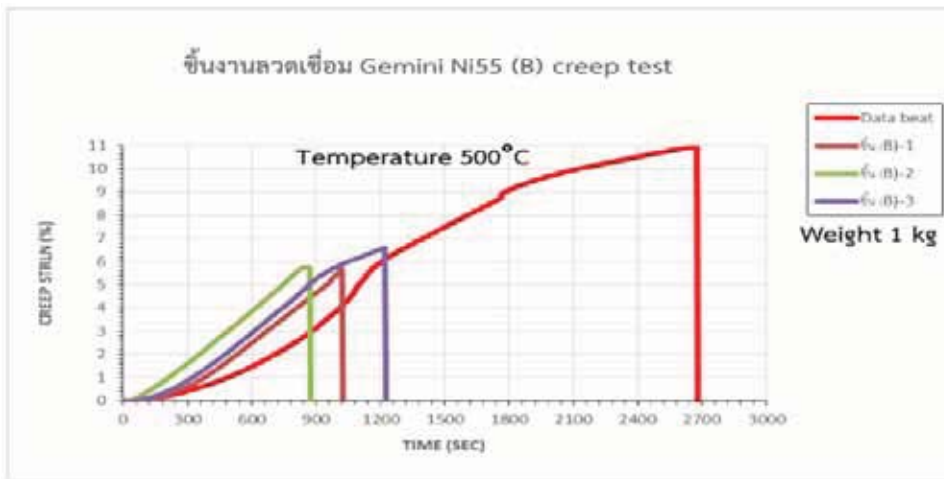
ผลการทดสอบค่าความแข็งที่เกิดในบริเวณ BM, HAZ FB และ FZ พบว่า ค่าความแข็งไม่มีความแตกต่างกันมากนัก โดยรวมที่บริเวณ FB เป็นบริเวณที่เกิดเป็น Partially melted zone บริเวณ HAZ ทำให้มีค่าความแข็งสูงสุด เป็นผลมาจากโครงสร้างมาร์เทนไซต์และโครงสร้างเลดีบูไลท์ ผลของการใช้ลวดเชื่อมทั้งสามชนิดเป็นทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาบริเวณ Fusion Boundary (Jeshvaghani R.A., Harati E., & Shamanian M. 2011) เป็นตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่สูงและมีเวลาในการเกิดการแพร่เพิ่มขึ้นทำให้ได้โครงสร้างเดิมที่เป็นเพอไลต์แต่เปลี่ยนสภาพเป็นมาร์เทนไซต์นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นบริเวณกว้างขึ้น เกิดเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์และแกรไฟต์ที่ลดลง และเมื่อพิจารณาบริเวณ Partially melted zone; บริเวณ HAZ อยู่ในบริเวณ FB ยังพบการตกผลึกของโครงสร้างเลดีบูไลท์ (ledebulite) ที่ประกอบด้วยเหล็กคาร์ไบด์ (iron carbide) หรือซีเมนไทท์

(Cementite; Fe₃C) เรียกบริเวณนี้ว่า “White Cast Iron Zone” โดยโครงสร้างที่เกิดขึ้นที่บริเวณ FB และ PMZ นั้นเป็นโครงสร้างที่มีสมบัติที่แข็งและเปราะเกิดการแตกร้าวได้ง่าย (Pouranvari, M. 2010 และ Voiget, R.C. 1983)

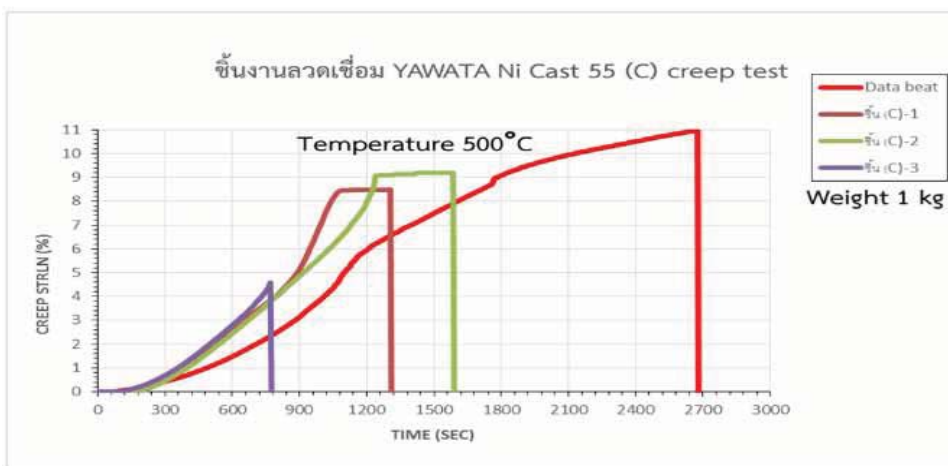
2. ผลการทดสอบการคืบ (creep test) พบว่าในบริเวณต่าง ๆ ของรอยเชื่อมและการตรวจสอบโครงสร้างจากภาพ 14 การทดสอบการคืบของชิ้นงานเชื่อมใช้อุณหภูมิในการทดสอบที่ 500 องศาเซลเซียส โดยใช้ลวด NCast-weld 55 (A), Gemini Ni 55 (B) และ YAWATA Ni Cast 55 (C) ผลกระทบของ creep rate เนื่องจากอุณหภูมิและ stress นั้นสามารถหาได้จากการทดสอบการคืบ (creep test) โดยใช้ระดับของ stress ต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิคงที่พบว่า การใช้ลวดเชื่อมทั้งสามชนิดส่งผลให้เกิด creep rate ต่ำกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการเชื่อมซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าความแข็ง



ภาพ 14 ผลการทดสอบการคืบของชิ้นงานเชื่อมโดยใช้ลวด NCastweld 55 (A)



ภาพ 14 ผลการทดสอบการคืบของชิ้นงานเชื่อมโดยใช้ลวด NCastweld 55 (B)



ภาพ 14 ผลการทดสอบการคืบของชิ้นงานเชื่อมโดยใช้ลวด YAWATA Ni Cast 55 (C)

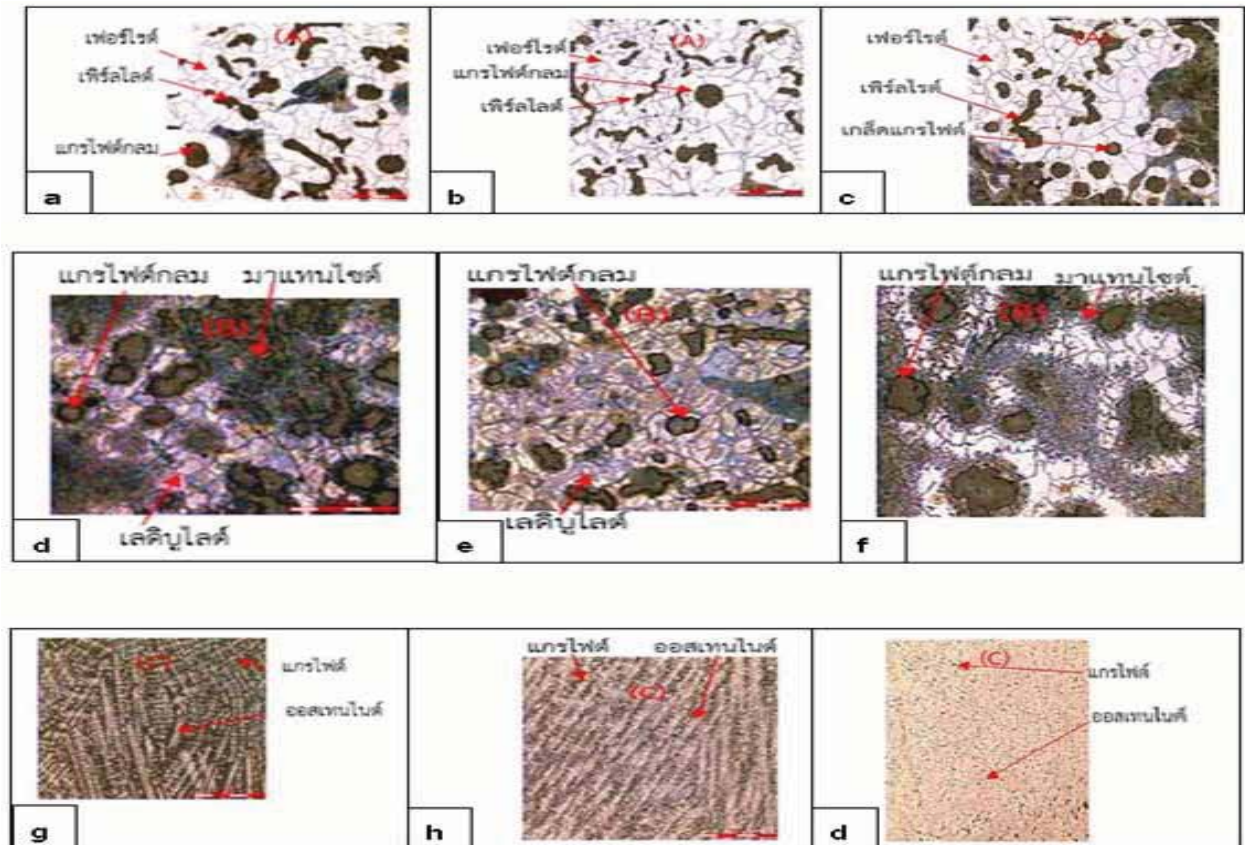
3. ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (metallurgical examination) ชิ้นงานเหล็กหล่อแกรไฟต์กลมชนิด JIS FCD 400 ที่ผ่านการเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมทั้งสามชนิดนำ

ไปทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ดังภาพ 14 จากภาพ 14 a, b และ c แสดงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณฐานโลหะ

(base metal) พบว่ามีโครงสร้างของแกรไฟต์ (graphite) แทรกอยู่บนโครงสร้างพื้นที่เฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลต์ (Ferritic-pearlitic) (Puranvari, M. 2010) บริเวณ ภาพ 15 d, e และ f แสดงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณฐานโลหะ (base metal) พบว่ามีโครงสร้างพบการตกผลึกของโครงสร้างเลดีบูลไลท์ (ledebulite) ที่ประกอบด้วยเหล็กคาร์ไบด์ (iron carbide) หรือซีเมนไทท์ (Cementite; Fe₃C) และภาพ

15 g, h และ d เป็นบริเวณเนื้อเชื่อม พบโครงสร้างเกิดเป็น Austenite Matrix (Voigt R.C, 1983) ร่วมกับผลึกของแกรไฟต์ที่กระจายทั่วบริเวณ

ผลการทดลองการคืบของลวดเชื่อมทั้ง 3 ชนิด NCastweld 55 (A), Gemini Ni55 (B) และ YAWATA Ni Cast 55 (C) ดังภาพ 15



ภาพ 15 ภาพขยายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมโดยใช้ลวด NCastweld 55 (A) , Gemini Ni 55 (B) และ YAWATA Ni Cast 55 (C)

การอภิปรายผล

1. การตรวจสอบโครงสร้างที่บริเวณ BM พบโครงสร้างของแกรไฟต์แทรกอยู่บนโครงสร้างพื้นที่เป็นเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลต์ (Ferritic-pearlitic) ส่วนที่บริเวณ HAZ พบโครงสร้างที่ประกอบด้วยโครงสร้างมาเทนไซต์ เรียกบริเวณนี้ว่า “Martensite Zone” และเกร็ดแกรไฟต์ที่กระจายอยู่ส่วนที่บริเวณ FB และ PMZ พบโครงสร้างมาร์เทนไซต์และโครงสร้างเลดีบูลไลท์ เรียกบริเวณนี้ว่า “White Cast Iron Zone” ซึ่งเป็นบริเวณที่มีแกรไฟต์อยู่จำนวนน้อยจึงส่งผลให้โครงสร้างบริเวณนี้เปราะ และที่บริเวณ FZ พบโครงสร้าง

เกิด เป็น Austenite Matrix ร่วมกับผลึกของแกรไฟต์กลมที่กระจายอยู่เป็นลักษณะคล้ายกับแกรไฟต์ที่เกิดในเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม (nodular cast irons) โดยการฟอรมตัวของแกรไฟต์กลมระหว่างกระบวนการหล่อนั้นนิยมที่จะเติมธาตุ Cerium, Magnesium และ Silicon เพื่อช่วยการฟอรมตัวของแกรไฟต์กลม (nodulizing elements)

2. การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ พบว่าความแข็งที่บริเวณ FB ในส่วนของ PMZ มีความแข็งสูงที่สุดเนื่องมาจากเลดีบูลไลท์ และโครงสร้างมาร์เทนไซต์ รองลงมาคือบริเวณ HAZ (โครงสร้างมาร์เทนไซต์) ส่วน BM มีความแข็ง

สูงกว่าบริเวณ FZ เล็กน้อย เนื่องจาก BM มีเกรนไฟต์ที่มีลักษณะเป็นเกร็ดจึง มีความแข็งมากกว่าบริเวณที่มีเกรนไฟต์แบบกลม อีกทั้ง BM ยังมีโครงสร้างเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลท์ (Ferritic-pearlitic) ส่วน FZ มีโครงสร้างเป็น Austenite Matrix และในบริเวณ Unmixed Zone ความแข็งจะสูงกว่าบริเวณเดียวกันใน FZ เนื่องจากเป็นบริเวณที่เกิดการหลอมละลายที่ไม่เข้ากันของลวดเชื่อมและ BM

3. ผลการทดสอบ Creep Rate พบว่า การใช้ลวดเชื่อมที่ต่างกัน ที่มีค่า Creep Rate มากกว่า และเป็นการทดสอบจนเกิดแตกหักของโดยนำไปเขียนกราฟที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอาจเนื่องจากสาเหตุของการเกิด recrystal-

lization เกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผลต่อค่า Creep Rate ที่แตกต่างจากขั้นตอนทดสอบที่ผ่านกระบวนการเชื่อม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่เอื้อเฟื้อด้านวัสดุเหล็กหล่อเกรนไฟต์กลมชนิด JIS FCD 400 และสถานที่ในการเชื่อมและทดสอบการคืบ (creep test) กลุ่ม Smart materials คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค inverted microscope รุ่น Zeiss Vert A1 และทดสอบค่าความแข็งด้วย Micro Vickers Hardness Tester รุ่น HV-1000



References

- El-Banna, E. M., Nageda M. S., & Abo, M. M. (2000). El-Saadat. Study of restoration by welding of pearlitic ductile cast iron. *Journal of Materials Letters*, 42(5), 311-320.
- Eroglu, M., Aksoy, M. & Orhan, N. (1999). Effect of coarse initial grain size on microstructure and mechanical properties of weld metal and HAZ of a low carbon steel. *Journal of Materials Science and Engineering: A*, 269(1-2), 59-66.
- Jeshvaghani R. A., Harati, E., & Shamanian, M. (2011). Effects of surface alloying on microstructure and wear behavior of ductile iron surface-modified with a nickel-based alloy using shielded metal arc welding. *Journal of Materials & Design*, 32(3), 1531-1536.
- Kou, S. (2003). *Welding Metallurgy*. *Journal of MRS Bulletin*, 28(9), 674-675.
- Pouranvari, M. (2010). On the weldability of grey cast iron using nickel based filler metal. *Journal of Materials & Design*, 62(3), 3253-3258
- Sangsuriyun, M. & Surin, P. (2018). *The study of microstructure and creep JIS FCD 400 cast-iron on mechanical properties Manual Metal Arc welding (MMA)*. In R. Pitakaso (Ed.), *Proceedings of the IE Network 2018 Conference, IE Tech for High Quality of Life*. (pp. 83). Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.(in Thai)
- Shen, S., Oguocha, I. N. A. & Yannacopoulos, S. (2012). Effect of heat input on weld bead geometry of submerged arc welded ASTM A709 Grade 50 steel joint. *Journal of Material Processing Technology*, 212(1), 286-294.

Voiget, R. C. & Loper J. C. R. (1983). Study of heat affected zone structures in ductile cast iron. *Journal of Welding J.*, 31(7), 82.

