



การเลือกใช้ลวดเชื่อมฟลักซ์ในการเชื่อมรอยต่อชนเหล็กกล้าต่างชนิด AISI304/AISI1015
SELECTION OF WELDING CONSUMABLES FOR WELDING DISSIMILAR AISI304/ AISI1015
STEELS BUTT JOINT

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์* และสุรัตน์ ตรีวานพงษ์

^{1,2}อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์ในการเชื่อมรอยต่อชนโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1015 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ด้วยตัวแปรการเชื่อมอาร์คลวดเชื่อมฟลักซ์ประกอบด้วยกระแสเชื่อม 80-120 A และลวดเชื่อม 3 ชนิด คือ E307 E309 และ E312 ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเชื่อมอาร์คลวดเชื่อมฟลักซ์เป็นวิธีการเชื่อมที่สามารถทำการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1015 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวแปรการเชื่อมที่ทำให้ได้ค่าความแข็งแรงกระแทกที่เหมาะสม คือ กระแสเชื่อม 100 A และลวดเชื่อม E312 ความแข็งจุลภาคของรอยต่อมีค่าสูงสุดที่บริเวณโลหะเชื่อมเนื่องจากการก่อตัวของโครงสร้างเดนไดรต์ และการเพิ่มปริมาณของธาตุที่ทำให้เกิดการก่อตัวของคาร์ไบด์ในโลหะเชื่อม ค่าการดูดซับพลังงานของรอยต่อมีค่าสูงเมื่อทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมที่มีปริมาณของโครเมียมและคาร์บอนสูง โครงสร้างเดนไดรต์ในโลหะเชื่อมที่มีขนาดโต สั้น และสม่ำเสมอส่งผลทำให้ความแข็งแรงกระแทกของรอยต่อเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : รอยต่อโลหะต่างชนิด, การเชื่อมอาร์คลวดเชื่อมฟลักซ์, ลวดเชื่อม, ความแข็งแรงกระแทก

ABSTRACT

This article aims to produce the dissimilar metals butt joint between AISI1015 carbon steel and AISI304 stainless steel using a shielded metal arc welding. Welding process parameter in this study was a welding current of 80-120 A and a welding electrode of E307, E309 and E312. The summarized results are as follows. The butt joint of AISI1015 carbon steel and AISI304 stainless steel could be successfully produced using SMAW process. Optimized welding parameter that suggested highest impact strength was the welding current of 100 A and the welding electrode of E312. Micro-hardness examination results showed the highest hardness at the weld metal because of the formation of the dendrite structure and carbide phase in the fusion area. Absorbed energy of the joint was higher when the joint was welded by the electrode that contained higher chromium and carbon. Dendrite structure in the weld metal that large, short and uniform, affected directly to increase the joint impact strength.

KEYWORDS : dissimilar metals joint, shielded metal arc welding, electrode, impact strength

Kittipong Kimapong^{1*} and Surat Triwanapong¹

^{1,2}Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

1. บทนำ

ความต้องการใช้งานรอยต่อโลหะต่างชนิดในงานอุตสาหกรรมส่งผลทำให้ทำให้รอยต่อโลหะต่างชนิดมีความสำคัญและมีการใช้งานแพร่หลายเพิ่มขึ้น รอยต่อโลหะต่างชนิดมีข้อดีคือ สามารถลดน้ำหนักและประหยัดพลังงาน แสดงความเป็นเนื้อเดียว และสมบัติเด่นของโลหะแต่ละชนิดขณะนำไปใช้งาน ลดราคาการผลิตเนื่องจากการทดแทนโลหะที่มีราคาถูกกว่าแทนที่โลหะที่มีราคาแพง แสดงความต้านทานมากกว่าโลหะหลัก และมีความประหยัดค่าใช้จ่ายโครงสร้างโดยรวม [1-5] อย่างไรก็ตามการเชื่อมเพื่อให้ได้รอยต่อโลหะต่างชนิดที่มีคุณภาพสูงปราศจากจุดบกพร่องเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับหนึ่ง การเชื่อมรอยต่อโลหะชนิดเดียวกันอาจสามารถทำการเชื่อมได้ด้วยกระบวนการเชื่อมหลอมละลายที่ไม่ต้องการเทคนิคพิเศษเข้ามาประยุกต์ใช้ [6] แต่ในกรณีของการเชื่อมรอยต่อโลหะต่างชนิดที่มีสมบัติแตกต่างกัน อาจต้องการเทคนิคเฉพาะในการเชื่อม เนื่องจากโลหะทั้งสองชนิดที่มีสมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางเคมีที่แตกต่างกัน ความแตกต่างของสมบัติเหล่านี้ก่อให้เกิดจุดบกพร่องต่างๆ ในโลหะเชื่อม เช่น ความเค้นตกค้างเนื่องจากความไม่เข้ากันของสมบัติด้านความร้อน [2] การเกิดเฟสคาร์ไบด์ที่แข็งเนื่องจากการแพร่ของคาร์บอนในโลหะเชื่อม [7] หรือการเฟสสารประกอบกับโลหะเนื่องจากความไม่เข้ากันของส่วนผสมทางเคมี เป็นต้น [8] นอกจากนี้ถึงแม้การเชื่อมรอยต่อโลหะต่างชนิดสามารถทำให้เกิดรอยต่อที่สมบูรณ์ได้ แต่สมบัติบางประการของโลหะเชื่อมอาจเปลี่ยนแปลง เช่น การลดความสามารถในการยึดตัว การลดความแข็งแรง และการลดความต้านทานการกัดกร่อน [5] เป็นต้น

รอยต่อโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมอสเทนดิกและเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นหนึ่งในรอยต่อที่มีการใช้ในงานอุตสาหกรรมและมักถูกพบในการผลิตถึงความดัน หม้อไอน้ำ อุปกรณ์เปลี่ยนถ่ายความร้อน หรืออุปกรณ์การส่งถ่ายผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เป็นต้น [9] เหล็กกล้าไร้สนิมอสเทนดิกเป็นเหล็กที่มีความต้านทานการกัดกร่อนดี ความสามารถในการเชื่อมที่ดี (Weldability) ในสภาวะรอยต่อโลหะชนิดเดียว [6] จึงถูกใช้ในการสัมผัสกับบรรยากาศที่มักเกิดการกัดกร่อน อย่างไรก็ตามเหล็กกล้าชนิดนี้มีราคาแพงและน้ำหนักสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ในบางงานอุตสาหกรรมจึงทำการทดแทนเหล็กกล้าไร้สนิมอสเทนดิกด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ในตำแหน่งที่ไม่ต้องการสมบัติพิเศษของเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต ด้วยเหตุนี้ในปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาการเชื่อมหลอมละลายรอยต่อโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยการเลือกกระบวนการเชื่อมและตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมอย่างต่อเนื่อง

ที่ผ่านมามีรายงานผลวิจัยที่สามารถทำการเชื่อมหลอมละลายรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมได้อย่างมีประสิทธิภาพและนำเสนอข้อมูลที่มีประโยชน์ประกอบด้วย กระบวนการเชื่อมอาร์กแก๊สตะกั่ว (Gas tungsten arc welding: GTAW) [3, 7, 10] หรือการเชื่อมเลเซอร์ (Laser welding: LW) [11-13] หรือการเชื่อมความต้านทานจุด (Resistance spot welding: RSW) [1] เป็นต้น ในการเชื่อมรอยต่อเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าไร้สนิมอสเทนดิกสิ่งสำคัญที่ต้องทำการพิจารณาเพื่อให้ได้รอยต่อที่สมบูรณ์ปราศจากรอยต่อที่ส่งผลทำให้มีความแข็งแรงสูงประกอบไปด้วยการควบคุมความร้อนที่ให้แก่แนวเชื่อม (Heat input) ที่ส่งผลต่อการเกิดพื้นที่หลอมละลายบนรอยต่อและความแข็งแรงของรอยต่อที่เปลี่ยนแปลงไป [11] นอกจากนี้ตำแหน่งศูนย์กลางของลำความร้อนที่ให้แก่อรอยต่อสามารถส่งผลทำให้เกิดความสมบูรณ์ร่วมกันของโลหะเชื่อมที่แตกต่างกันได้ เพราะโลหะทั้งสองมีความสามารถดูดซับพลังงานและความสามารถในการนำความร้อนที่แตกต่างกัน พลังงานที่เปลี่ยนแปลงอาจส่งผลต่อความแข็งแรงและการเจือจางของส่วนผสมทางเคมีที่อาจทำให้เกิดเฟสที่มีความแข็งแรง เช่น คาร์ไบด์เฟสในโลหะเชื่อมได้ [12]

บทความนี้มีจุดประสงค์ในการเชื่อมอาร์คโลหะหุ้มฟลักซ์ (Shielded metal arc welding: SMAW) รอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1015 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ด้วยจำนวนชั้นแนวเชื่อมหลายชั้น และทำการศึกษามิติของรอยต่อ

ประกอบด้วยความแข็งแรงของรอยต่อ ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อ ผลการทดลองที่ได้คาดว่าจะอาจทำให้เกิดประโยชน์ในการเลือกใช้ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในงานอุตสาหกรรมต่อไป

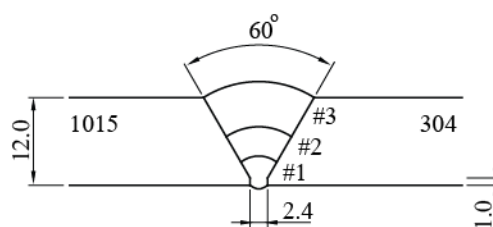
2. วิธีการทดลอง

รอยต่อชนโลหะต่างชนิดประกอบด้วยเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 เหล็กกล้าทั้งสองเป็นเหล็กแผ่นรีดความหนา 12 มม. ที่กำหนดให้ทิศทางการรีดขนานกับด้านความยาวของรอยต่อ รอยต่อถูกเตรียมด้วยวิธีการทางกลที่มีการหล่อเย็นให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 75 มม. และยาว 150 มม. ขอบของแผ่นงานที่ถูกนำมาทำการต่อชนถูกเตรียมให้มีร่องบากรูปตัววีมุมรวม 60 องศา และที่ด้านล่างของรอยต่อกำหนดให้มีผิวหน้ารากแนวเชื่อม (Root face) เท่ากับ 1 มม. รอยต่อถูกยึดแน่นในอุปกรณ์การจับยึดและกำหนดให้มีช่องว่างระหว่างรากรอยต่อ (Root opening) เท่ากับ 2.4 มม..

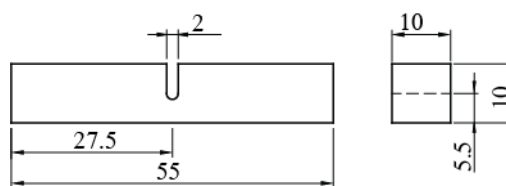
กระบวนการเชื่อมในการทดลองนี้ คือ การเชื่อมอาร์คลวดหุ้มฟลักซ์ การปฏิบัติการเชื่อมกระทำโดยช่างเชื่อมระดับ 1 ที่ได้รับการรับรองจากสถาบันพัฒนาฝีมือแรงงาน กระทรวงแรงงาน ลวดเชื่อมที่ใช้เชื่อมประกอบด้วยลวดเชื่อม 3 ชนิด คือ ลวดเชื่อม E307 E309 และ E312 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมมีค่าเท่ากับ 2.4 มม. กระแสเชื่อมมีค่าเท่ากับ 80-120 A การเชื่อมเป็นการเชื่อมซ้อนแนวในร่องบางตัววี กำหนดให้จำนวนแนวเชื่อมเท่ากับ 3 แนวดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทดลอง (wt%)

Element	AISI1015	AISI304	E307	E309	E312
C	0.17	0.03	0.06	0.03	0.12
Si	0.23	0.65	0.70	0.70	0.90
Mn	0.54	1.67	1.20	1.10	1.0
P	0.01	0.04	0.02	0.03	-
S	0.05	0.03	0.01	-	-
Cr	-	18.8	24.2	18.9	29.0
Ni	-	8.74	-	-	9.0



รูปที่ 1 รูปร่างรอยต่อ (หน่วย: ...)

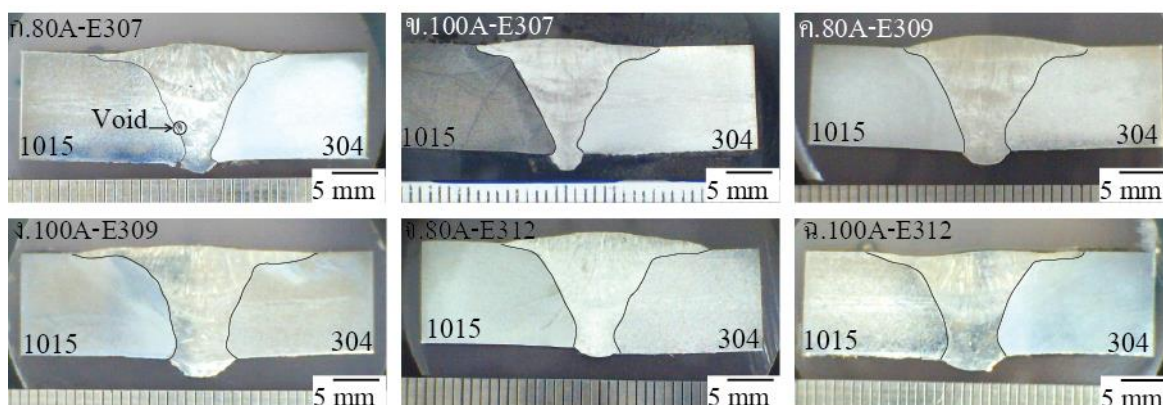


รูปที่ 2 ชิ้นทดสอบการกระแทก (หน่วย: มม.)

การศึกษาสมบัติของรอยต่อชนประกอบด้วย การศึกษาความแข็งแรงของรอยต่อด้วยการทดสอบความแข็งแรงกระแทก การทดสอบความแข็ง และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อ รอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วยสภาวะการเชื่อมที่กำหนด ถูกนำมาทำการตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงานเพื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่มีการหล่อเย็นขณะทำการตัดให้มีขนาดตามกำหนดแล้วทำการขึ้นรูปชิ้นงานอีกครั้งเพื่อให้ได้ชิ้นทดสอบความแข็งแรงกระแทกดังรูปที่ 2 [14] ร่องบากของชิ้นทดสอบถูกกำหนดให้มีรูปร่างตัวยู (U notch) ที่ตำแหน่งโลหะเชื่อม สภาวะการทดสอบความแข็งแรงกระแทกด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact Testing Machine) ประกอบด้วยความเร็วในการกระแทก (Impact speed) 5.2 m/mim และน้ำหนักในการกระแทก (Impact Load) 350 J

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาคของรอยต่อชนถูกเตรียมจากภาคตัดของรอยต่อเกยที่ดึงจากกับทิศทางการเดินแนวเชื่อม ชื่นทดสอบถูกนำมาทำการหล่อเรซินเพื่อใช้ประกอบในการจัดชิ้นงาน ผิวหน้าของชิ้นทดสอบถูกขัดหยาบด้วยกระดาษทรายที่มีน้ำไหลผ่านตั้งแต่เบอร์ 150 จนถึง 1500 จากนั้นทำการขัดละเอียดด้วยผงเพชร ขนาด 1 ไมครอนบนผ้าสักกะหลาดที่มีการหล่อเย็นด้วยน้ำยาหล่อเย็นสำหรับการขัดมันด้วยผงเพชรจนกระทั่งผิวขัดมีความมันวาวคล้ายกระจก ผิวหน้าของชิ้นทดสอบที่ผ่านการขัดมันถูกทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิคและทำการกัดผิวหน้าด้วยสารละลาย 2 ชนิด คือ สารละลาย 5% ไนตริก (5% HNO₃ และ 95% เมทิลแอลกอฮอล์) สำหรับด้านเหล็กกล้าคาร์บอน และสารละลายที่ประกอบด้วยไฮโดรคลอริก (HCL) ปริมาณ 50 mL และน้ำกลั่น (H₂O) ปริมาณ 50 mL สำหรับด้านเหล็กกล้าไร้สนิม ผิวหน้าที่ผ่านการกัดโครงสร้างถูกทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิคอีกครั้งก่อนการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Light optical microscope: LOM)

การทดสอบความแข็งแรงรอยต่อเกยเป็นการทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์สบนชิ้นทดสอบสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาคของรอยต่อชน สภาวะการทดสอบกำหนดให้ใช้แรงกดทดสอบ 100 gf เวลาทดสอบ 10 วินาที การทดสอบเป็นการทดสอบลากผ่านโลหะเชื่อมจากด้านเหล็กกล้าคาร์บอนไปที่ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมที่ตำแหน่งกึ่งกลางความหนาของแผ่นโลหะ หรือ 6 มม. จากผิวด้านบนและด้านล่างของรอยต่อระยะห่างระหว่างจุดทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.1 มม.

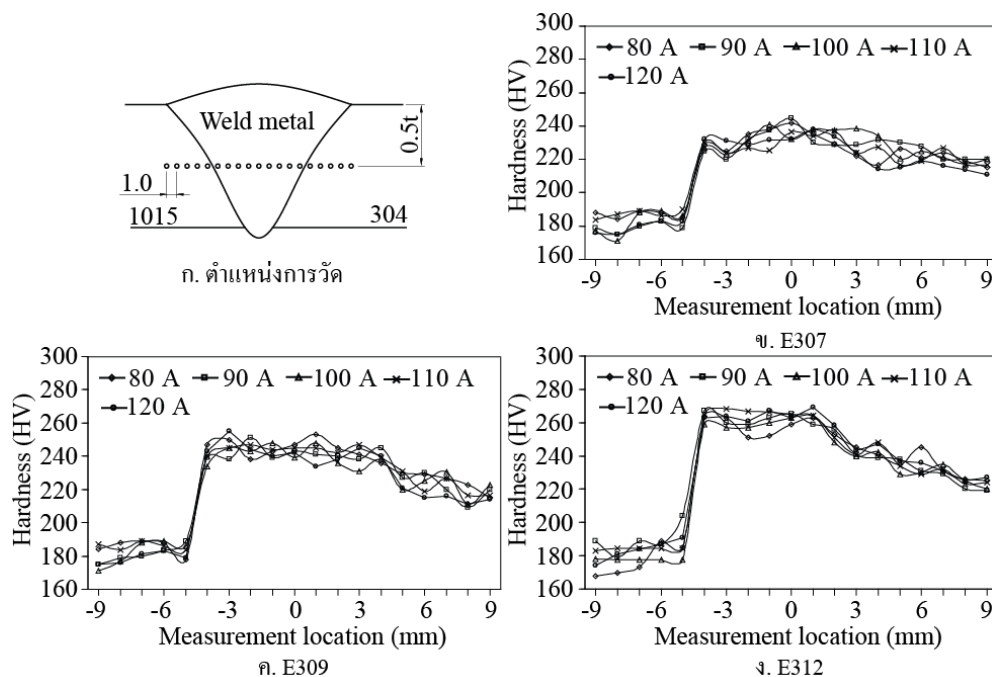


รูปที่ 3 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อชน AISI304/AISI1015 ที่กระแสเชื่อมต่างๆ

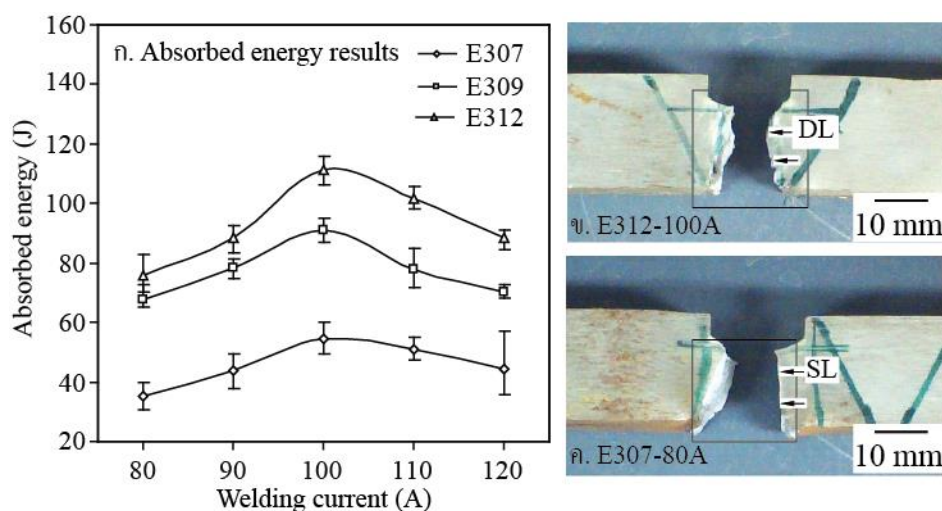
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อชนที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม 3 ชนิด คือ ลวดเชื่อม E307 E309 และ E312 ที่กระแสเชื่อม 110 A ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคพบร่องบากตัววีของชิ้นทดสอบมีการละลายเข้ากันอย่างสมบูรณ์ของโลหะเชื่อมและโลหะงานทั้งสองด้าน จุดบกพร่องต่างๆ เช่น ตามด (Pore) โพรงแก๊ส (Blowhole) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Lack of fusion) ในชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสตั้งแต่ 90-120 A แต่รูตามดหรือโพรงแก๊สสามารถพบได้ในชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแส 80 A ของรอยต่อที่เชื่อมด้วยลวดทั้ง 3 ชนิด พิจารณาชั้นรากหรือชั้นที่หนึ่งของการเชื่อมพบว่าขนาดความสูงของรากแนวเชื่อมมีค่าสูงเมื่อเชื่อมด้วยลวดเชื่อม E307 และลดลงเมื่อทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม E309 และ E312 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าความกว้างของรากแนวเชื่อมพบว่าความกว้างมีค่าต่ำเมื่อรอยต่อถูกเชื่อมด้วยลวด E307 และมีค่ามากขึ้นเมื่อทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม E309 และ E312 ตามลำดับ

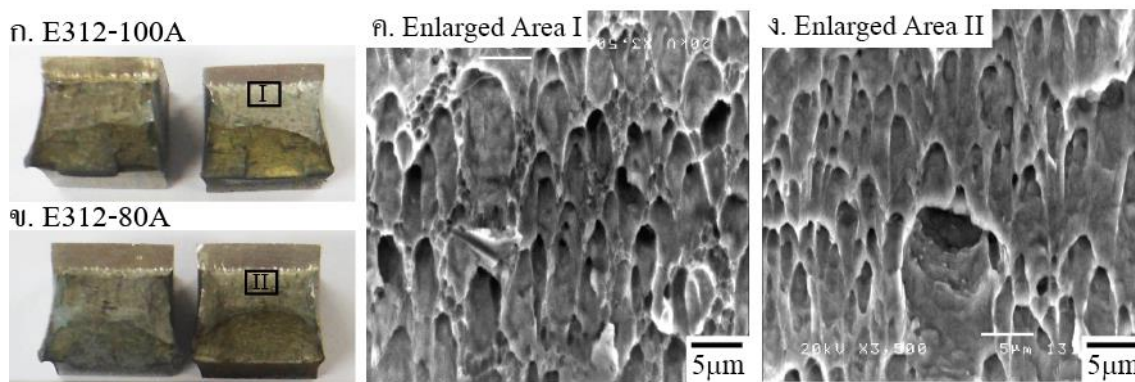
รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบความแข็งของชิ้นทดสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่ลากผ่านโลหะเชื่อมจากด้านเหล็กกล้าคาร์บอนมาที่ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม ค่าแนวโน้มความแข็งที่ได้จากการทดสอบพบว่า รอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสที่แตกต่างกันและลวดเชื่อมที่แตกต่างกันแสดงค่าความแข็งที่คล้ายกัน กล่าวคือ ค่าความแข็งของโลหะฐานด้านเหล็กกล้าคาร์บอนมีค่าต่ำสุดในบริเวณพื้นที่ทำการตรวจสอบความแข็งมีค่าประมาณ 190 HV และค่าความแข็งด้านเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าความแข็งประมาณ 230 HV เมื่อตำแหน่งการวัดค่าความแข็งเข้าสู่พื้นที่ที่กระพร้อน ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะฐานทั้งสองด้าน ค่าความแข็งของพื้นที่ที่กระพร้อนมีค่าสูงที่เส้นหลอมละลาย (Fusion line) ซึ่งเป็นเส้นแบ่งพื้นที่ที่หลอมละลายและพื้นที่ที่กระพร้อน ความแข็งโลหะเชื่อมของรอยต่อทั้ง 3 ชนิด มีค่าความแข็งสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ต่างๆ ของรอยต่อ การเกิดความแข็งสูงสุดเกิดขึ้นเนื่องจากการเติมโลหะผสมที่เป็นส่วนผสมในลวดเชื่อมเพื่อเพิ่มสมบัติต่างๆ ของโลหะเชื่อม และโครงสร้างจุลภาคจากการแข็งตัว (Solidification) เมื่อเปรียบเทียบความแข็งของลวดเชื่อมแต่ละชนิด พบว่าความแข็งของโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวด E312 มีความแข็งสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวด E309 และ E307 เมื่อพิจารณาส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม พบว่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นคาดว่าเกิดจากปริมาณของโครเมียมและคาร์บอนที่มีปริมาณสูงกว่าในลวดเชื่อม E312 ส่งผลทำให้โลหะเชื่อมมีการก่อตัวของโครเมียมคาร์ไบด์ในแนวเชื่อมและส่งผลทำให้ค่าความแข็งของโลหะเชื่อมสูง การเพิ่มปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์ในเนื้อโลหะเชื่อมที่ส่งผลทำให้ความแข็งของโลหะเพิ่มขึ้นเกิดขึ้นได้ในโลหะเชื่อมตัวอื่นๆ เช่นในการเหล็กกล้าผสม 4140 ที่รายงานให้เห็นการเปลี่ยนแปลงความแข็งของโลหะเชื่อมเมื่อตำแหน่งการทดสอบมีเฟสที่ประกอบด้วยโลหะโครเมียมและคาร์ไบด์สูง [15] และเมื่อเปรียบเทียบส่วนผสมทางเคมีของธาตุโครเมียมและคาร์บอนในลวดเชื่อมทั้ง 3 ชนิดพบว่าปริมาณของธาตุทั้งสองลดลงเมื่อเชื่อมด้วยลวด E309 และ E307 ตามลำดับ การศึกษาเปรียบเทียบการก่อตัวของเฟสโครเมียมคาร์ไบด์ด้วยเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงสูงอาจทำให้เกิดความเข้าใจในประเด็นนี้เพิ่มขึ้นและจำเป็นในการศึกษาในอนาคตต่อไป



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็ง กระแสเชื่อม และชนิดของลวดเชื่อม



รูปที่ 5 การดูดซับพลังงานของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อมและลวดเชื่อมที่แตกต่างกัน (DL=แนวพังทลายเสียรูป และ SL=แนวพังทลายเส้นตรง)

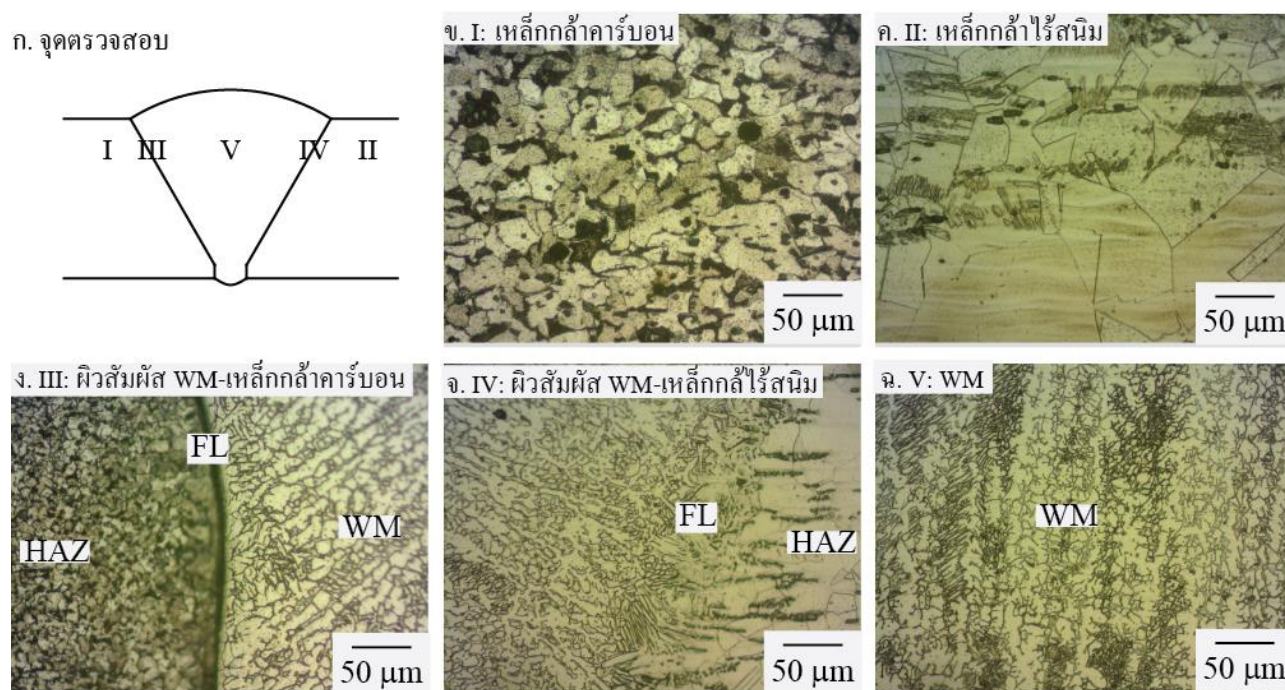


รูปที่ 6 พื้นผิวพังทลายชิ้นทดสอบการกระแทกที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม E312

รูปที่ 5 ก. แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของรอยต่อที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม 3 ชนิด และกระแสเชื่อม 80-120 A ผลการทดลองพบว่า การดูดซับพลังงานของรอยต่อมีค่าต่ำเมื่อกระแสเชื่อมมีค่าประมาณ 80-90 และมีค่าสูงขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมมีค่าตั้งแต่ 100-120 A การลดค่าการดูดซับพลังงานของรอยต่อที่มีค่าลดลงเมื่อกระแสเชื่อมมีค่าต่ำเกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของเนื้อโลหะเชื่อมเกิดเป็นจุดบกพร่องแบบรูเล็กๆ ในโลหะเชื่อม รูเล็กๆ ที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลโดยตรงต่อการเกิดความเค้นที่สูงขึ้นบริเวณรอบๆ รูเล็กๆ และทำให้ค่าความเหนียวของรอยต่อมีค่าลดลงและความเปราะมีค่าสูงขึ้น [16] การเกิดจุดบกพร่องนี้ส่งผลทำให้การดูดซับพลังงานของรอยต่อลดลง เมื่อกระแสเชื่อมสูงขึ้นจุดบกพร่องที่หายไปทำให้ค่าการดูดซับพลังงานของรอยต่อเพิ่มขึ้นได้ เมื่อเปรียบเทียบชนิดของลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมพบว่า การดูดซับพลังงานของลวดเชื่อม E312 มีค่าสูงกว่าลวดเชื่อมอื่นๆ พิจารณาการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงกระแทกดังรูปที่ 5 ข. พบขึ้นเกิดการพังทลายจากร่องบากลงสู่แนวรากของโลหะเชื่อมและเกิดการเสียรูปบิดเบี้ยว เมื่อเปรียบเทียบกับการพังทลายของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยลวด E307 ที่กระแสเชื่อม 80A

ซึ่งแสดงค่าการดูดซับพลังงานต่ำสุด พบว่าการพังทลายเกิดการเสียรูปเล็กน้อย แนวการพังทลายเกิดเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 5 ค. แนวการพังทลายที่เกิดการเสียรูปดังรูปที่ 5 ข. บ่งชี้ให้ทราบว่าชิ้นทดสอบมีความเหนียวสูงดังยืนยันได้จากการตรวจสอบตำแหน่ง I และ II ในรูปที่ 6 ก. และ ข. และแสดงภาพถ่ายกำลังขยายสูงตำแหน่งที่ I และ II ในรูปที่ 6 ค. และ ง. พบผิวการพังทลายส่วนใหญ่เป็นแบบหลุม (Dimple pattern) ซึ่งบ่งชี้ให้ทราบว่าชิ้นทดสอบมีความเหนียวสูง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระแสเชื่อม 100A และ 80A รูปร่างของผิวการพังทลายแบบหลุมของกระแสเชื่อม 100A มีขนาดเล็กกว่า [17]

ก. จุดตรวจสอบ



รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม E312 และกระแสเชื่อม 100 A

โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม E312 และกระแสเชื่อม 100 A ถูกทำการตรวจสอบที่ตำแหน่งแตกต่างดังรูปที่ 7 ก. โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนประกอบด้วยเกรนกลมนนของเฟอร์ไรต์ (พื้นที่ขาว) ที่ถูกล้อมรอบด้วยเฟสเพิลไลต์ (พื้นที่สีเข้ม) ตามขอบเกรนดังรูปที่ 7 ข. ในขณะที่เดียวกันรูปร่างเกรนหลายเหลี่ยมของเฟสออสเทนไนต์สามารถพบได้เมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิคดังรูปที่ 7 ค. ตำแหน่งเส้นหลอมละลาย (FL) ที่แบ่งแยกระหว่างโลหะเชื่อมและพื้นที่ที่กระทบร้อนดังรูปที่ 7 ง. และ จ. เกรนมีขนาดเล็กและกลมมนมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะฐาน การปรับขนาดรูปร่างเกรนเกิดจากความร้อนที่ได้จากการเชื่อมรอยต่อที่อุณหภูมิสูง เมื่อพิจารณาเส้นหลอมละลายด้านเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นพบรูปร่างเส้นหลอมละลายที่มีความแตกต่างกัน เส้นหลอมละลายชัดเจนสามารถพบได้ที่ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนและโลหะเชื่อมดังรูปที่ 7 ง. ลักษณะนี้แสดงถึงการผสมรวมกันของเหล็กกล้าคาร์บอนและโลหะเชื่อม หลอมเหลวที่ได้จากลวดเชื่อม E312 เกิดขึ้นน้อย การแพร่ของโลหะที่ทำให้เกิดการรวมตัวของเส้นหลอมละลายเกิดขึ้นยาก ขณะที่เดียวกันเนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และโลหะเชื่อม E312 เป็นโลหะที่มีส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกันกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน ลักษณะของเส้นหลอมละลายแสดงพื้นที่การรวมตัวของธาตุต่างๆ เกิดขึ้นดังรูป 7 จ. การเกิดการรวมตัวของธาตุที่แตกต่าง

โดยเฉพาะด้านเหล็กกล้าคาร์บอนและโลหะเชื่อมที่มีขอบเขตเส้นหลอมละลายชัดเจนนี้สามารถทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องที่แสดงค่าความเค้นตกค้างที่แตกต่าง และเมื่อนำชิ้นทดสอบไปทำการรับแรงที่บริเวณนั้น อาจทำให้รอยต่อง่ายต่อการพังทลายได้ อย่างไรก็ตามสมมติฐานนี้จำเป็นต้องมีการศึกษาและอธิบายต่อไป ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมดังรูปที่ 7 จ. ลักษณะกึ่งกลางซึ่งเป็นจุดเริ่มการเย็นตัวมีลักษณะเกรนที่มีความกลมมน และแสดงโครงสร้างเดนไดรต์ที่มีความยาวและขนานไปกับทิศทางของการเย็นตัวออกสู่ด้านข้างของแนวเชื่อมและจากล่างสู่พื้นผิวแนวเชื่อมด้านบนดังรูปที่ 7 จ.

การเพิ่มค่าความแข็งแรงและการดูดซับพลังงานของรอยต่อชนที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมและกระแสเชื่อมต่างๆ ในการทดลองนี้ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโลหะวิทยา และได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุผสมที่ก่อให้เกิดความแข็งแรงในเนื้อโลหะเชื่อมในลวดเชื่อมต่างๆ กล่าวคือ โครเมียมที่เกิดการกระจายตัวในเนื้อโลหะนอกจากทำให้ค่าความแข็งแรงของโลหะมีค่าสูง เนื่องจากการเกิดการก่อตัวของโครเมียมคาร์ไบด์และอาจก่อให้เกิดโครงสร้างมาเทนไซต์ในรอยต่อโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิคได้ [11] หากมีการพิจารณาการกระจายตัวของโครเมียมในเนื้อโลหะอาจพบว่าโครเมียมสามารถทำให้ค่าดูดซับพลังงานของรอยต่อโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นได้ [12] นอกจากนี้เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคโลหะเชื่อมตรงตำแหน่งร่องบากของรอยต่อที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม E307 กระแสเชื่อม 100 A ซึ่งเป็นสภาวะที่แสดงค่าการดูดซับพลังงานที่ต่ำกว่า และรอยต่อที่เชื่อมด้วย E312 กระแสเชื่อม 100 A ซึ่งเป็นสภาวะแสดงค่าการดูดซับพลังงานที่สูงกว่าในการทดลองนี้ ลักษณะของเดนไดรต์ที่ก่อตัวขึ้นในโลหะเชื่อม มีทิศทางที่พุ่งขึ้นด้านบนของผิวเชื่อมเช่นเดียวกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบขนาดความกว้างของเดนไดรต์ พบว่าเดนไดรต์ของชิ้นงานที่ทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม E312 นั้นให้ขนาดของเดนไดรต์ที่มีความโตมากกว่าและอาจแสดงความสามารถในการรับแรงได้ดีกว่า

4. สรุปผลการทดลอง

- 4.1 การเชื่อมอาร์คลวดหุ้มฟลักซ์เป็นวิธีการเชื่อมที่สามารถทำการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1015 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 4.2 ตัวแปรการเชื่อมที่ทำให้ได้ค่าความแข็งแรงกระแทกที่เหมาะสม คือ กระแสเชื่อม 100 A และลวดเชื่อม E312
- 4.3 ความแข็งแรงจุลภาคของรอยต่อมีค่าสูงสุดที่บริเวณโลหะเชื่อมเนื่องจากการก่อตัวของโครงสร้างเดนไดรต์ และการเพิ่มปริมาณของธาตุที่ทำให้เกิดการก่อตัวของคาร์ไบด์ในโลหะเชื่อม
- 4.4 ค่าการดูดซับพลังงานของรอยต่อมีค่าสูงเมื่อทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมที่มีปริมาณของโครเมียมและคาร์บอนสูง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีสำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2561

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jamasri, Ilman, M.N., Soekrisno, R. & Triyono. (2011). Corrosion Fatigue Behavior of Resistance Spot Welded Dissimilar Metal Welds between Carbon Steel and Austenitic Stainless Steel with Different Thickness. *Procedia Engineering* **10**, 649-654.
- [2] Dong, H., Liao, C., Yang, L., & Dong, C. (2012). Effects of post-weld heat treatment on dissimilar metal joint between aluminum alloy and stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, **550**, 423-428.

-
- [3] Wang, S., Ma, Q., & Li, Y. (2011). Characterization of microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of dissimilar welded joint between 2205 duplex stainless steel and 16MnR. *Materials & Design*. **32**, 831-837.
- [4] Satyanarayana, V.V., Reddy, G.M., & Mohandas, T. (2005). Dissimilar metal friction welding of austenitic–ferritic stainless steels. *Journal of Materials Processing Technology*. **160**, 128-137.
- [5] Das, C.R., Bhaduri, A.K., Srinivasan, G., Shankar, V., & Mathew, S. (2009). Selection of filler wire for and effect of auto tempering on the mechanical properties of dissimilar metal joint between 403 and 304L(N) stainless steels. *Journal of Materials Processing Technology*. **209**, 1428-1435.
- [6] Kaçar, R. & Baylan, O. (2011). An investigation of microstructure/property relationships in dissimilar welds between martensitic and austenitic stainless steels. *Materials & Design*. **25**, 317-329.
- [7] Arivazhagan, N., Singh, S., Prakash, S., & Reddy, G.M. (2011). Investigation on AISI 304 austenitic stainless steel to AISI 4140 low alloy steel dissimilar joints by gas tungsten arc, electron beam and friction welding. *Materials & Design*. **32**, 3036-3050.
- [8] Paventhan, R., Lakshminarayanan, P.R., & Balasubramanian, V. (2011) Fatigue behaviour of friction welded medium carbon steel and austenitic stainless steel dissimilar joints. *Materials & Design*. **32**, 1888-1894.
- [9] Jafarzadegan, M., Abdollah-zadeh, A., Feng, A.H., Saeid, T., Shen, J., & Assadi, H. (2013). Microstructure and Mechanical Properties of a Dissimilar Friction Stir Weld between Austenitic Stainless Steel and Low Carbon Steel. *Journal of Materials Science & Technology*. **29**, 367-372.
- [10] Khorrani, M.S., Mostafaei, M.A., Pouraliakbar, H., & Kokabi, A.H. (2014). Study on microstructure and mechanical characteristics of low-carbon steel and ferritic stainless steel joints. *Materials Science and Engineering: A*. **608**, 35-45.
- [11] Torkamany, M.J., Sabbaghzadeh, J. & Hamed, M.J. (2012). Effect of laser welding mode on the microstructure and mechanical performance of dissimilar laser spot welds between low carbon and austenitic stainless steels. *Materials & Design*. **34**, 666-672.
- [12] Esfahani, M.N., Coupland, J., Marimuthu, S. (2014) Microstructure and mechanical properties of a laser welded low carbon–stainless steel joint. *Journal of Materials Processing Technology*. **214**, 2941-2948.
- [13] Wu, W., Hu, S., & Shen, J. (2015). Microstructure, mechanical properties and corrosion behavior of laser welded dissimilar joints between ferritic stainless steel and carbon steel. *Materials & Design*. **65**, 856-861.
- [14] Mukherjee, M. & Pal, T.K. (2012). Influence of Heat Input on Martensite Formation and Impact Property of Ferritic-Austenitic Dissimilar Weld Metals. *Journal of Materials Science & Technology*. **28**, 343-352.
- [15] de Albuquerque, V.H.C., Silva, C.C., Moura, C.R.O., Aguiar, W.M., & Farias, J.P. (2009). Effect of nonmetallic inclusion and banding on the success of the two-layer temper bead welding technique. *Materials & Design*. **30**, 1068-1074.
- [16] Dieter, G.E. *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1988.
- [17] Qinglei, J., Yajiang, L.I., Juan, W., & Lei, Z. (2011). Characterization on strength and toughness of welded joint for Q550 steel. *Bulletin of Materials Science*. **34**, 161-167.