

อิทธิพลของกระแสไฟเชื่อมในกระบวนการเชื่อมทิก ต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติ เชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI309 Influence of Tig Welding Current on Microstructure and Mechanical Properties of AISI309 Austenitic Stainless Steel

นครินทร์ พิญญพันธ์¹, ไตรภพ ตีกามน¹, นันทเกียรติ หวังผล¹
ชานนท์ มุลวรรณ², ประยูร สุรินทร์³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

² อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ; ie.engineer@kbu.ac.th

³ อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของกระแสไฟเชื่อมในกระบวนการเชื่อมทิก ต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI309 เชื่อมด้วยกระแสไฟ 3 ระดับที่ 100 แอมแปร์ , 120 แอมแปร์ , 140 แอมแปร์ โดยใช้ลวดเชื่อม ER308L ขนาด 2.4 มิลลิเมตร และแก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สปกคลุม โครงสร้างจุลภาคพบเฟสออสเทนไนต์และการกระจายตัวของเดลต้าเฟอร์ไรต์บริเวณแนวเชื่อม ความแข็งแนวเชื่อมสูงสุด 216.67 HV พบที่กระแสไฟเชื่อม 100 แอมแปร์

คำสำคัญ: การเชื่อมทิก , เหล็กกล้าไร้สนิม , โครงสร้างจุลภาค , สมบัติเชิงกล

Abstract

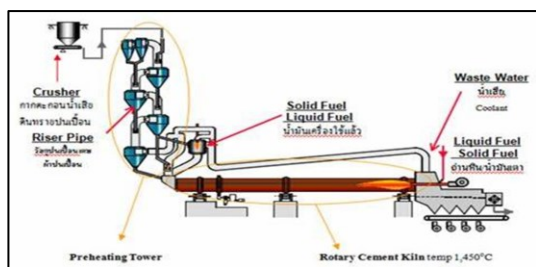
This research aims to study the influence of welding current in TIG welding process. To the microstructure and mechanical properties of AISI309 austenitic stainless steels, AISI309 was welded with three currents at 100, 120, and 140 A using 2.4 mm ER308L electrode and argon gas as a shielding gas. The microstructure showed austenite phase and delta ferrite distribution at the weld line. A maximum weld hardness of 216.67 HV was found at a welding current of 100 A.

Keywords: TIG welding, stainless steel, microstructure, mechanical properties

1. บทนำ (Introduction)

ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์สถานีงานห่ออุ่นวัตถุดิบ (Preheater) มีการใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมในการทำผนังเตาเผา หลากหลายเกรด และเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด AISI 309 เป็นหนึ่งในวัสดุที่นิยมเลือกใช้ในกระบวนการห่ออุ่นวัตถุดิบ มีการให้ความร้อนกับวัตถุดิบและการลำเลียงวัตถุดิบจากห่ออุ่นไปยังเตาเผา (Rotary Kiln) ซึ่งในขั้นตอนการลำเลียงวัตถุดิบ ทำให้เกิดการกระแทกและเสียดสีระหว่างอิฐทนไฟกับผนังห่ออุ่น ทำให้ผนังห่ออุ่นเกิดปัญหารอยแตกร้าวที่เป็นโครงสร้างในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ การบำรุงรักษาการเปลี่ยนผนังห่ออุ่นทั้งแผ่นหรือเปลี่ยนทั้งหมดมีต้นทุนสูง เนื่องจากมีขั้นตอนการสั่งซื้อชิ้นส่วนใหม่ทั้งหมดและใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานในการติดตั้ง 15-30 วันต่อหนึ่งห่ออุ่น เพื่อลดต้นทุนในการบำรุงรักษา จึงทำการศึกษาและหาทางเลือกในเชื่อมอาร์กทังสเตน (Tungsten Inert Gas Arc Welding : TIG) [1] แทนการเปลี่ยนชิ้นส่วนทั้งชิ้น

สภาพปัญหาในกระบวนการที่เกิดการกระแทกและเสียดสีระหว่างอิฐทนไฟกับผนังห่ออุ่น ที่มีการใช้ผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากว่าเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างจากวัสดุอื่น มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี สามารถใช้งานภายใต้อุณหภูมิสูง มีความแข็งแรงและเหนียว ลักษณะผิวสวยงาม มีสมบัติการทนต่อการขึ้นสนิมเมื่อเทียบกับโลหะหรือวัสดุชนิดอื่น ง่ายต่อการเชื่อมและการขึ้นรูป จึงทำให้เหล็กกล้าไร้สนิม ใช้งานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร โรงไฟฟ้าโรงงานเคมีอุตสาหกรรมน้ำมันปิโตรเคมี เป็นต้น จึงมีแนวโน้มในการใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง [2]



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

ในปี 2555 ตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญและคณะ ได้ศึกษาอิทธิพลของกระแสไฟเชื่อมในกระบวนการเชื่อมทิกที่มีผลต่องานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 201 โดยใช้ลวดเชื่อม

ER308L และแก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สปกคลุม กระแสไฟเชื่อมปรับตั้งค่าที่ 60,70,80,90 และ 100 แอมแปร์ ด้วยรูปแบบการเชื่อมแบบต่อข้อั้วกระแสไฟตรงกลับขั้ว และกระแสไฟตรงขั้วตรง จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคแสดงให้เห็นว่าในบริเวณกระแทกร้อน ความร้อนของชิ้นงานที่เชื่อมแบบต่อข้อั้วกระแสไฟตรงขั้วตรงมีการตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์มากกว่าการเชื่อมแบบต่อข้อั้วกระแสไฟตรงกลับขั้ว สามารถสรุปได้ว่าการเชื่อมชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 201 ที่กระแสไฟ 60 แอมแปร์โดยใช้การเชื่อมแบบต่อข้อั้วกระแสไฟตรงขั้วตรงเป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากชิ้นงานมีการซึมลึกที่ดี มีการตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์น้อยในบริเวณกระแทกร้อน และมีค่าความเค้นแรงดึงสูง [3] ข้อดีของการเชื่อมทิก ไม่ต้องใช้ฟลักซ์จึงไม่เกิดปัญหาเรื่องสแลกฝังในแนวเชื่อม มองเห็นแนวเชื่อมและบ่อหลอมได้ชัดเจน ให้ความร้อนสูงและมีบริเวณแนวเชื่อมแคบ ไม่มีสะเก็ดเชื่อมในบริเวณแนวเชื่อม [4]

ทางคณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาอิทธิพลของกระแสไฟเชื่อมในกระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตน (Tungsten Inert Gas Arc Welding : TIG) วิเคราะห์ความแตกต่างของแนวเชื่อมจากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคทดสอบความสามารถเชิงกล เพื่อเป็นข้อมูลพิจารณาในการเลือกกระแสไฟเชื่อมที่เหมาะสม ในการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนห่ออุ่น ที่ทำมาจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 309 สามารถนำไปเป็นแนวทางการซ่อมบำรุงสำหรับอุตสาหกรรมเตาเผาในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ต่อไป

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย (Methodology)

2.1 การตรวจสอบชิ้นงานก่อนการเชื่อม

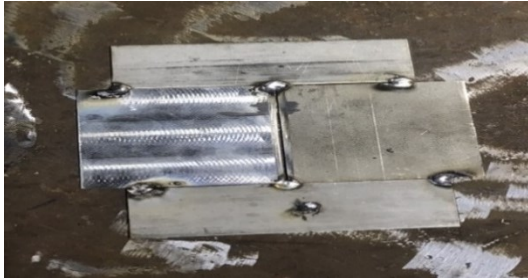
2.1.1 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีทำการทดสอบด้วยเครื่อง Spectrolab รุ่น Lav M12

2.1.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคทำการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (OM) Inverted Microscope Tester (ZEISS)

2.2 การเตรียมชิ้นงานและการเชื่อม

2.2.1 ชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 309 ขนาด 65 × 80 × 3 มม. ทำการบากชิ้นงานตามมาตรฐาน AWS D1.1M :

2600 นำชิ้นงานเชื่อมยึดบริเวณหัวท้ายของรอยต่อด้วยแผ่นยึดชิ้นงาน ตามที่แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะการยึดชิ้นงานก่อนเชื่อม

2.2.2 กำหนดกระแสไฟเชื่อม 3 ระดับคือ 100 A, 120 A, และ 140 A ลวดเชื่อม AWS A5.9 : ER308L ขนาด 2.4 mm ใช้แก๊สอาร์กอนค่าความบริสุทธิ์ 99.99 % เป็นแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม อัตราการไหลแก๊สปกคลุม 10 ลิตร/นาที

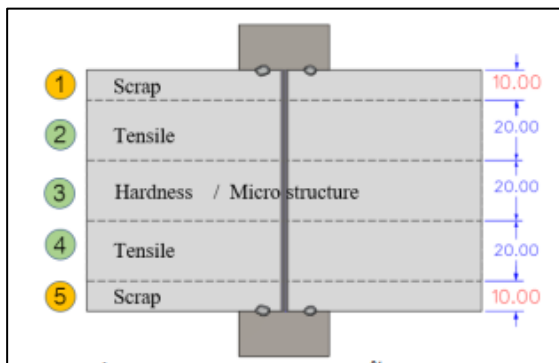
2.2.3 เครื่องเชื่อมอาร์กอน ยี่ห้อ WELPRO รุ่น WELTIG200P AC/DC



ภาพที่ 3 เครื่องเชื่อมอาร์กอน

2.2.4 ลวดเชื่อมทิก ER308L ส่วนผสมทางเคมี C 0.02%, Si 0.78%, Mn 2.25%, Cr 19.79%, Ni 10.24%, Mo 0.014%,

2.3 ตรวจสอบชิ้นงานหลังการเชื่อม



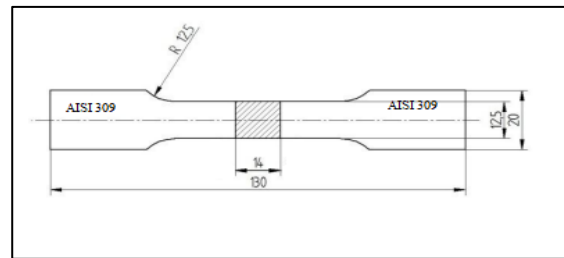
ภาพที่ 4 ลักษณะการตัดชิ้นงานทดสอบ

2.3.1 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) Inverted Microscope Tester (ZEISS)

2.3.2 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ Hitachi SU3500

2.3.3 การตรวจสอบความแข็งด้วยเครื่องทดสอบ STRUERS/Duramin-5 Type 0565242 มาตราฐาน JIS Z 2241-2009

2.6.1 การตรวจสอบแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine Model: AG-100KNI M2 ตามมาตรฐาน DIN 50351



ภาพที่ 5 ขนาดชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึง

3.ผลการวิจัย (Result)

3.1 ส่วนผสมทางเคมีและโครงสร้างจุลภาคก่อนเชื่อม

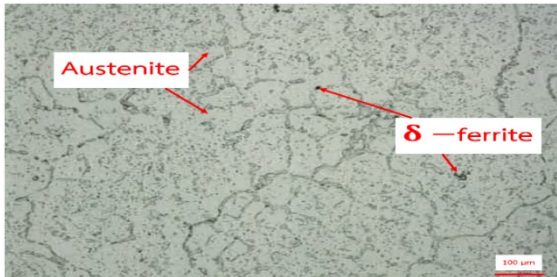
3.1.1 ส่วนผสมทางเคมีก่อนเชื่อม

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าไร้สนิม

เกรดมาตรฐาน AISI 309 และวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ส่วนผสมทางเคมี (%)	AISI 309	ชิ้นงาน
C	0.20	0.25
Si	1.00	1.70
Mn	2.00	0.53
S	0.03	0.02
P	0.045	0.02
Cr	23.00	20.25
Ni	14.00	10.18
Mo	-	0.11
Al	-	0.05
Cu	-	0.10
Ti	-	0.02
V	-	0.06
W	-	0.06

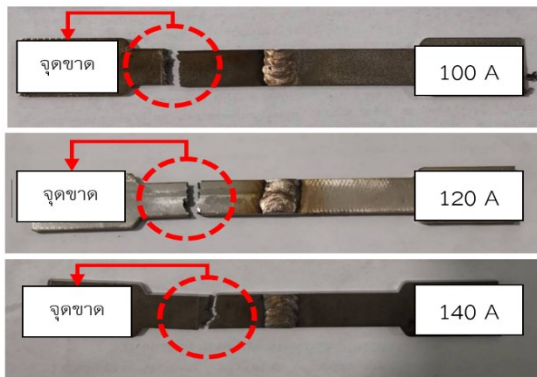
3.1.2 โครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 309 ก่อนเชื่อม



ภาพที่ 6 โครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 309 กำลังขยาย 100 เท่า

จากภาพที่ 6 โครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 309 ก่อนเชื่อม ประกอบด้วยเฟสของออสเทนไนต์

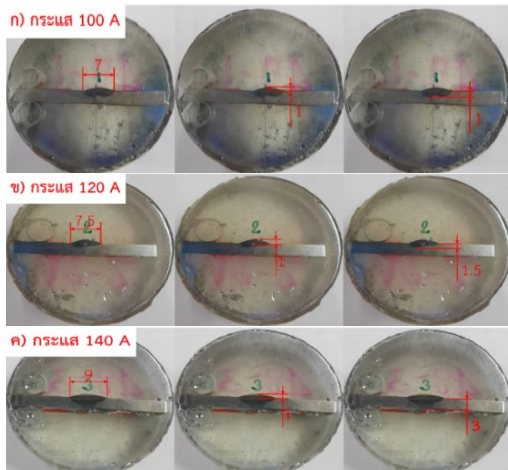
3.2 ตำแหน่งการแตกหักของชิ้นงาน



ภาพที่ 7 ภาพชุดตัวอย่างตำแหน่งการแตกหักของชิ้นงาน

จากภาพที่ 7 การทดสอบความแข็งแรงดึง พบว่าชิ้นงานจะขาดที่บริเวณเนื้อวัสดุ ทั้ง 3 กระแส

3.3 ระยะเวลาเชื่อมของแนวเชื่อม

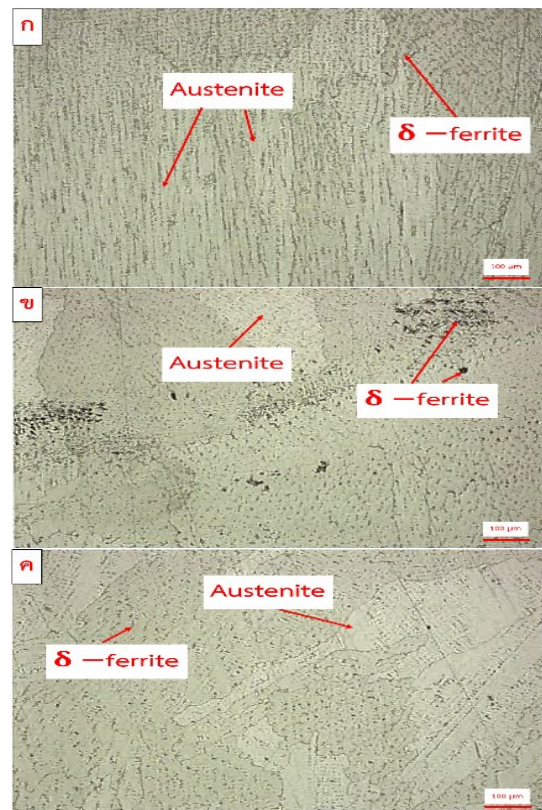


ภาพที่ 8 ภาพชุดตัวอย่างระยะเวลาเชื่อมของแนวเชื่อม

จากภาพที่ 8 การวิเคราะห์ระยะเชื่อมลึกของแนวเชื่อมพบว่า ระยะความหนาของแนวเชื่อมทั้ง 3 กระแส ไม่แตกต่างกัน โดยที่กระแสเชื่อม 140 A แนวเชื่อมจะมีความสมบูรณ์ที่สุด ที่ความกว้าง 9 มม. ความหนา 1 มม. และความลึก 3 มม.

3.4 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม

3.4.1 โครงสร้างจุลภาค จากการตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง OM



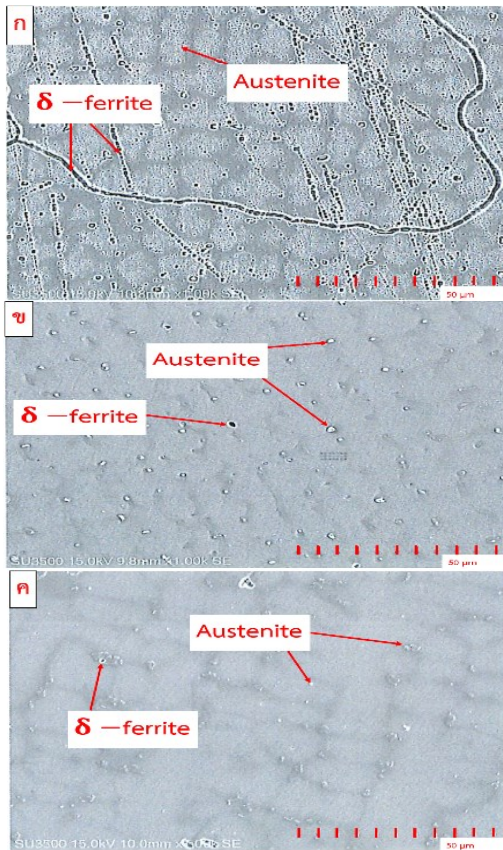
ก) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมกระแส 100 A

ข) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมกระแส 120 A

ค) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมกระแส 140 A

ภาพที่ 9 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม จากกล้อง OM กำลังขยาย 100 เท่า

3.4.2 โครงสร้างจุลภาค จากการตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวด SEM

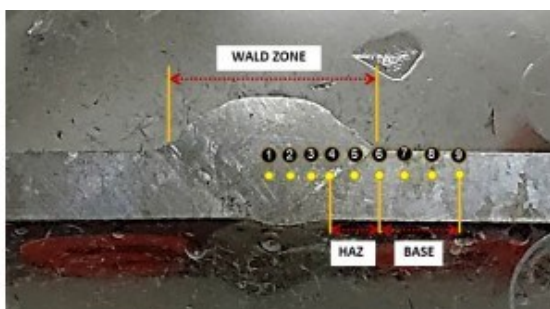


ก) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมกระแส 100 A
 ข) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมกระแส 120 A
 ค) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมกระแส 140 A

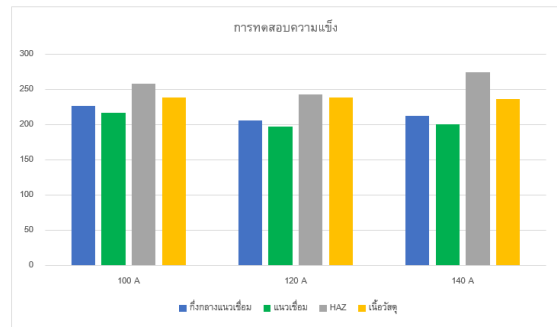
ภาพที่ 10 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม จากกล้องSEM
 กำลังขยาย 1000 เท่า

จากภาพที่ 9 และ 10 ก),ข),ค) โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมที่ กระแสไฟ 100 A ,120 A และ 140 A ประกอบด้วย เฟสเดลต้าเฟอร์ไรต์กระจายตัวอยู่ในเฟสออสเทนไนต์ ทั้งในบริเวณขอบเกรน และในเกรน โดยเฟสเดลตาเฟอร์ไรต์จะมีลักษณะเป็นแท่งเข็มและจุดสีดำ ส่วนเฟสออสเทนไนต์จะมีลักษณะเป็นพื้นจุดสีขาว เมื่อกระแสไฟเชื่อมเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้เฟสเดลต้าเฟอร์ไรต์ลดต่ำลง

3.5 ผลการทดสอบความแข็ง



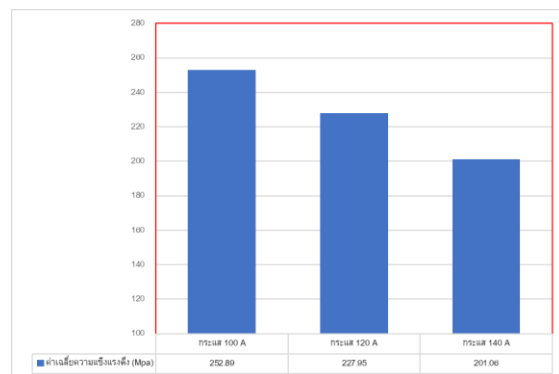
ภาพที่ 11 ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง 9 จุด



ภาพที่ 12 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งบริเวณจุดกึ่งกลางแนวเชื่อม,แนวเชื่อม,HAZ และเนื้อวัสดุ

จากภาพที่ 12 ที่กระแสไฟเชื่อม 100 A ขึ้นงานมีค่าความแข็งบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ,แนวเชื่อม , HAZ และเนื้อวัสดุอยู่ที่ 226.40 HV, 216.67 HV, 258.20 HV, 238.82 HV ตามลำดับ ที่กระแสไฟเชื่อม 120 A ขึ้นงานมีค่าความแข็งบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม, แนวเชื่อม, HAZ และเนื้อวัสดุอยู่ที่ 206.00 HV, 197.70 HV, 243.10 HV, 239.00 HV ตามลำดับ และกระแสไฟเชื่อม 120 A ขึ้นงานมีค่าความแข็งบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม, แนวเชื่อม , HAZ และเนื้อวัสดุอยู่ที่ 213.00 HV, 200.23 HV, 274.80 HV, 236.32 HV ตามลำดับ

3.6 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง



ภาพที่ 13 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึง

จากภาพที่ 13 การทดสอบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงพบว่า ขึ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 100 A มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 252.89 Mpa ขึ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้า 120 A และ 140 A มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึง 227.95 Mpa และ 201.06 Mpa ตามลำดับ

4 การอภิปราย (Discussion)

4.1 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม (Microstructure)

โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมทั้งสามกระแสเชื่อม จะพบเฟสเดลด้าเฟอร์ไรต์กระจายตัวอยู่ในโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเดิม (Matrix) ซึ่งประกอบด้วยเฟสออสเทนไนต์ และบริเวณขอบเกรนจะมีพื้นหลังเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ การเชื่อมที่กระแสไฟสูงทำให้บริเวณแนวเชื่อมมีเกรนเดลด้าเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

4.2 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

สังเกตได้ว่าชิ้นงานจะขาดตรงบริเวณเนื้อวัสดุ เนื่องจากลวดเชื่อมมีค่าความแข็งแรงดึง 580 Mpa ซึ่งมากกว่าความแข็งแรงดึงของเนื้อวัสดุ 515 MPa [5] [6]

4.3 การทดสอบความแข็ง (Vickers Hardness Test)

ที่กระแสไฟเชื่อม 100 A จะมีค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อมสูงสุดที่ 216.67 HV ซึ่งมีผลมาจากเฟสเดลด้าเฟอร์ไรต์กระจายตัวอยู่บริเวณแนวเชื่อมมากกว่า กระแสไฟเชื่อม 120 A และ 140 A ที่มีค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อมใกล้เคียงกันที่ 197.70 HV และ 200.23 HV ตามลำดับ [7]

5. สรุปผล (Conclusion)

- 1) กระแสเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อมสูงสุดคือ กระแสไฟ 100 A ที่ความแข็ง 216.67 HV
- 2) กระแสไฟทั้งสามกระแสมีโครงสร้างจุลภาคคล้ายกันสามารถนำไปใช้งานในการเชื่อมได้ทั้ง 3 กระแส

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะทำงานที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือกัน เป็นอย่างดีตลอดการดำเนินโครงการวิจัย ที่ร่วมกันทำ ผ่านอุปสรรคต่าง ๆ จนปริญาณีนพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณความดีของการทำโครงการฉบับนี้ แต่ บิดา มารดา ที่ได้อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจให้อย่างดีตลอดจนครูอาจารย์ที่ตั้งใจประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ขอขอบคุณผู้เขียนหนังสือ บทความ และเอกสารที่นำมาใช้ในการอ้างอิงในการทำโครงการ รวมทั้งขอขอบคุณหน่วยงานและบุคคลอีกหลาย ๆ ท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] <https://www.cpacacademy.com> กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ สืบค้นวันที่ 14/10/65
- [2] อีรพงษ์ หาญวิโรจน์กุล (2554). Metal Word, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
- [3] ตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ, นครินทร์ ศรีสุวรรณ (2555) อิทธิพลของกระแสไฟเชื่อมในกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนที่มีผลต่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201
- [4] สมบูรณ์ เต็งหงส์เจริญ (2549) วิศวกรรมเชื่อม, กรุงเทพฯ. หน้า 4-6
- [5] <https://www.specbook-weldmaxx.com>, Welding Consumables Product Specification สืบค้นวันที่ 1/10/65
- [6] ณัฐวิธ ศอกกะบอก (2557) การศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงกระแทกของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1015 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่กระแสเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์, แตกต่าง.
- [7] พิรญา ทิพัฒน์กุล (2557) ความต้านทานการเกิดออกซิเดชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกที่มีโครเมียมร้อยละ 26 และนิกเกิลร้อยละ 16 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 800, 900, 1000 องศาเซลเซียส. วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโลหะการและวัสดุ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์
- [8] ชเนรินทร์ รักสัตย์ (2562) อิทธิพลรูปแบบโลหะเติมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อชนต่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด AISI 304 และ AISI 316L
- [9] หนังสือหล่อโลหะโดย ดร. หริสสุตะบุตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าศูนย์ธนบุรีและ ดร. เคนจิวอิวามหาวิทยาลัยโตเกียว
- [10] ยงยุทธตุลยกุล, การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระแสเชื่อมและส่วนผสมของแก๊สคลุมที่แตกต่างกัน โดยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก, วิศวกรรมอุตสาหการและระบบมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551
- [11] ฉัตรทองใสแสง, "อิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 304, กรุงเทพฯ, 2548

- [12] กิตติพงษ์กิมะพงศ์ประจักษ์อำงบุญตาและบุญ ส่ง จงกลณี, รายงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2552 เรื่อง โครงสร้างจุลภาคและสมบัติของรอยเชื่อมวัสดุด้วยเทคโนโลยีการเชื่อมแบบใหม่, กรุงเทพมหานครสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 2552
- [13] ยงยุทธตุลยกุลนภัสพรมีมลคลและประภา เหมืองจันทร์บุรี, กระแสเชื่อมและการศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยส่วนผสมของแก๊สคลูมที่แตกต่างกันโดยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา , 2551
- [14] กิตติพงษ์กิมะพงศ์ศิริชัยต่อสกุล, อนินท์มีมนต์ และนรพรภักดิ์ประชา, วัสดุวิศวกรรมกรุงเทพเช่นเกจเงินหนึ่งหน้า 328 337, ed, 2550
- [15] ชูชาติด้วงสงค์, การทดสอบงานเชื่อมแบบ ทำลายสภาพ , 3 ed, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทยญี่ปุ่น) กทม., 2555
- [16] S.Tenghongjaroen, *Welding process, Bangkok, The center of academic support,2003*
- [17] M.ROZMUS-GORNIKOWSKA (2021) MICROSTRUCTURE OF 309 AND 310 AUSTENITIC STAINLESS STEEL CMT OVERLAYS ON THE 16Mo3 PRESSURE VESSEL STEEL.AGH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
- [18] D.R. Askeland and P.P. Phule, *Science and Engineering of Materials*. Singapore: Cengage Learning, 2006
- [19] W. R. Osório , J. E. Spinelli , N. Cheung , and A Garcia , " Secondary dendrite arm spacing and solute redistribution effects on the corrosion resistance of Al 108atalow Sn and AL 208ba0wt Zn alloys , *Materials Science and Engineering A* vol 420 , pp . 179 186 , 3 / 25 / 2006
- [20] A iron and 5.1 Co.SS. Producers , *Welding of Stainless Steels and Other Joining Methods : Committee of Stainless Steel Producers , American Iron and Steel Institute . 1979*
- [21] วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง Scanning Eletron Microscopy (SEM) [Online]
- [22] R. Kaçar and O. Baylan , " An investigation of microstructure / property relationships in dissimilar welds between martensitic and austenitic stainless steels , *Materials & Design* , vol . 25 , pp . 317 329 , 6 // 2004
- [23] P. B. Srinivasan , V. Mithi pandi , W. Dietzel , and V. Sivan , " An assessment of impact strength and corrosion behaviour of shielded metal arc welded dissimilar weldments between UNS 31803 and IS 2062 steels , " *Materials & Design* , vol . 27. pp . 182 191. // 2006
- [24] Nah, M. Shamanian, and Ashrafizadeh, sumaweling of 310Austenitic stainless steel to nickel based alloy inconel (57, *Journal of MaterProcessing Technology*, vel 200, pp. 36283639, 4/1/2009
- [25] H.T. Lee. 5. Leng, Cren and T. Y a Disimilar welding of nickel based Alloy 670 to \$115 304 with T1 addten Joal of Nidar Materials v 335, pp 59 63, 10/1/2004
- [26] H. Y. Lee, 51 Lee. 8. Kim, and It Lee Creep fatigue damage for a structure with desimtar metal welds of modified 9 G 1 MO Steel and 316L stainless steel, *International Journal of Fatigue* vol 29, pp. 1668 1879, 9// 2007.
- [27] CR Das. A. K. Rhain, & Sonasan, V Shankar, and 5 Mathew, Selection of filler wire for and effect of auto tempering in the Mechanical properties of dissimilar metal joint between 40-3 and 304100 stainless steels *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 209, pp. 1428 1435, 2/1/2009
- [28] A.K Laminarayanan, K. Shanmugam, and valasexamanian, Effect of Adogenous Art: Welding Trocesses on Tensile and impact Properties of Penite Stainless Steel ints, *Journal*

of ven and Steel Research, international, vol. 16,
pp 62:16, 17/ 2009)

- [29] S. Kimer and A 5 Shan, “Effect of heat input on the microstictive and mechanical properties of gas tungsten arc welded ASI 304 Stainless steel pints, Meters & Design, vel 32 pp 3617 3623, 6//2011
- [30] M. Jovanovic and G. Ribar. “Analyst of Ultrasonic indications in Lack of Fon Occuning in Welds,” ECHOT Poster 213, vol Poster 215, pp 18, 2006
- [31] M.Mirza, F. Arabi Jelahan A. Yazdipour, and Zangenehi Maida Study of welding velocity and pulse frequency on microstructureAnd mechanical properties of pised gas metal ar veled high strength low alloy steel Materials & Dean, unl. \$1, pp. 709 713, 107/ 2013