

## อิทธิพลกระแสไฟเชื่อมแบบไฟฟ้าแบบลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์(SMAW)ต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI309

### Influence of Shielded metal arc welding current on microstructure and mechanical properties of Austenitic stainless steel AISI309

อัมเรศ เครือฟู<sup>1</sup>, ธานินทร์ สืบศรีวิชัย<sup>1</sup>, ณภัทร พัฒนรุ่งเรือง<sup>1</sup>  
ชานนท์ มุลวรรณ<sup>2</sup>, ประยูร สุรินทร์<sup>3</sup>

<sup>1</sup> นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

<sup>2</sup> อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ; ie.engineer@kbu.ac.th

<sup>3</sup> อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลกระแสเชื่อมไฟฟ้าแบบลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) ต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 309 โดยทำการวิจัยกระแสไฟเชื่อม 85แอมแปร์, 100แอมแปร์ และ 110แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 220 V ใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 200มิลลิเมตรต่อนาที, 250มิลลิเมตรต่อนาที และ 300มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้ลวดเชื่อม E310-16 ขนาด 2.6 mm ชิ้นงานจะมีโครงสร้างจุลภาคคล้ายกันเป็นโครงสร้างออสเทนไนต์และประกอบไปด้วยเดลต้าเฟอร์ไรต์กระจายตัวอยู่ในแนวเชื่อม ความแข็งบริเวณแนวเชื่อมมีความแข็งเพิ่มขึ้นตามกระแสไฟกระแสไฟที่มีความแข็งบริเวณแนวเชื่อมสูงสุดคือ กระแสไฟ 110A หลอมละลายบริเวณแนวเชื่อมลึกที่สุด มีค่าความแข็งแนวเชื่อมเฉลี่ยสูงสุดที่ 232.5 HV

**คำสำคัญ :** การเชื่อมไฟฟ้า (SMAW) , เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI309

#### Abstract

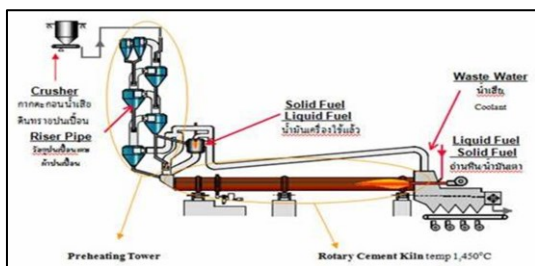
The objective of this research was to study the influence of flux-clad welding electrodes (SMAW) on the microstructure and mechanical properties of AISI 309 austenitic stainless steels. Consisting of welding currents 85A, 100A and 110A Volt 220V and welding speed of 200mm. /min, 250mm/min and 300 mm/min by using E310-16 wire of 2.6 mm. The results of the experiment were summarized as follows. By examining the microstructures and Hardness at 110A of current provides the most complete and deep melted welds. The highest average weld hardness is 232.5 HV.

**Keywords:** Shielded Metal Arc Welding (SMAW) , Stainless Steel AISI309

## 1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันห่อปูนซีเมนต์ (Preheater) ในการผลิตปูนซีเมนต์มีการใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมในการทำผนังเตาเผา และห่อปูนซีเมนต์ มีหลากหลายเกรด เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด AISI 309 เป็นหนึ่งในวัสดุที่นิยมเลือกใช้ ขั้นตอนการห่อปูนซีเมนต์ในการทำปูนซีเมนต์นั้นมีการให้ความร้อนกับวัสดุและลำเลียงจากห่อปูนซีเมนต์ไปยังเตาเผา ซึ่งทำให้เกิดการกระแทกและเสียดสีระหว่างอิฐทนไฟกับผนังห่อปูน ทำให้ผนังห่อปูนเกิดการสึกหรอและรอยแตกร้าวที่เป็นโครงสร้างในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ [1]

สภาพปัญหาในกระบวนการที่เกิดการกระแทกและเสียดสีระหว่างอิฐทนไฟกับผนังห่อปูน ที่มีการใช้ผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากว่าเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างจากวัสดุอื่น เช่น มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี สามารถใช้งานภายใต้อุณหภูมิสูง มีความแข็งแรงและเหนียว ลักษณะผิวสวยงามและหลากหลาย มีสมบัติการทนต่อการขึ้นสนิม [2] เมื่อเทียบกับโลหะหรือวัสดุชนิดอื่นง่ายต่อการเชื่อมและการขึ้นรูปจึงทำให้เหล็กกล้าไร้สนิม ใช้ในงานอุตสาหกรรมเช่น อุตสาหกรรมอาหาร โรงไฟฟ้าโรงงาน เคมี อุตสาหกรรมน้ำมันปิโตรเคมี จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal – Arc Welding หรือ SMAW) หรือเรียกว่า การเชื่อมด้วยรูปเชื่อม กระบวนการเชื่อมแบบนี้สามารถเชื่อมได้ทั้งโลหะเหล็ก (Ferrous) และโลหะไม่ใช่เหล็ก (Non Ferrous)

การเชื่อมนี้เป็นกระบวนการเชื่อมที่อาศัยความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมที่มีฟลักซ์หุ้มอยู่กับชิ้นงาน ซึ่งความร้อนจากการอาร์คจะหลอมละลายปลายลวดเชื่อมและชิ้นงานที่บริเวณบ่อหลอม ลวดเชื่อมกับชิ้นงานจะรวมตัวกันเป็นแนวเชื่อม โดยที่ฟลักซ์จะทำหน้าที่สร้างกลุ่มก๊าซ และสแลกขึ้นปกคลุมแนวเชื่อมเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันจากบรรยากาศภายนอกที่อยู่บริเวณที่จะทำการเชื่อม [3] P.S.Gowthaman และคณะ ได้ศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding หรือ SMAW) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ทดสอบแรงดึง ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาค ของกระบวนการเชื่อมแบบต่อชน หลังเชื่อมจะทำให้คุณสมบัติทางแรงดึงลดลง ค่าความแข็งดีกว่าชิ้นงานพื้นฐานและสามารถทนรับแรงกระแทกได้ดีกว่าชิ้นงานพื้นฐาน [4]

ทางคณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาอิทธิพลของกระแสเชื่อมของการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal – Arc Welding หรือ SMAW) ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 309 โดยการปรับไฟเพิ่มปริมาณกระแสเชื่อม 3 ระดับ และวิเคราะห์ความแตกต่างของแนวเชื่อมจากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค ทดสอบความสามารถเชิงกล และพิจารณาการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ตามของเกรนในบริเวณผลกระทบร้อน (Heat Affected Zone) ของแนวเชื่อม เพื่อรวบรวมเป็นข้อมูลอ้างอิงในงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติก AISI309

## 2. วิธีการวิจัย (Methodology)

### 2.1 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

2.1.1 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีทำการทดสอบด้วยเครื่อง Spectrolab รุ่น Lavm12

### 2.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคก่อนเชื่อม

2.2.1 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคทำการทดสอบด้วยเครื่อง Inverted Microscope Tester (ZEISS) ตามมาตรฐาน ASM HANDBOOK Volume9 ตรวจสอบความ

ละเอียด 20 ไมครอน 50 ไมครอน 100 ไมครอน 200 ไมครอน

2.2.2 ตรวจสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ 5 จุด ด้วยเครื่อง STRUERS/Duramin-5 รุ่น 0565242

2.2.3 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค/ส่วนประกอบทางเคมี SEM/EDM ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope รุ่น Hitachi SU3500 และเครื่อง Energy Dispersive Spectroscopy รุ่น Ametex E2041-C2B

### 2.3 กระบวนการเตรียมชิ้นงาน

2.3.1 เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) ด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบ Alternating current (AC) ยี่ห้อ WELPRO รุ่น Welarc200 ใช้ลวดเชื่อม Yawata ตามมาตรฐาน ASW : A5.4 E310-16 ขนาด 2.6 มม. ส่วนผสมทางเคมีประกอบด้วยโครเมียม 25-28 สนิกเกิล 20-22.5 [5]

2.3.2 กำหนดกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อม 3 ค่า คือ 85, 100, และ 110 แอมป์(A) ความเร็วในการเดินเชื่อม 300 250 และ 200 มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min)

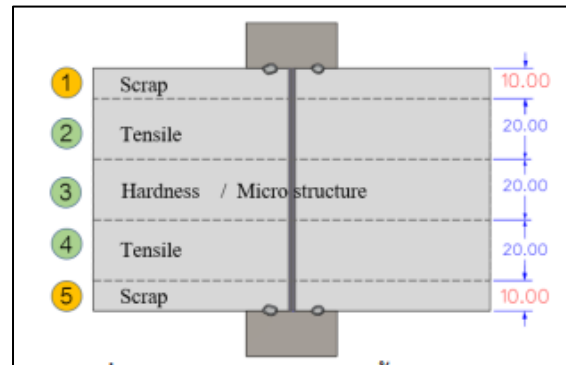
2.3.3 เตรียมชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 309 ขนาด 65×80 มม.หนา 3 มม. ทำการบากมุมชิ้นงาน 30 องศา ตามมาตรฐาน AWS D1.1M : 2600

2.3.4 จับยึดชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานไม่บิดงอ ชิ้นงานมีระยะห่างกัน 1 มม. ก่อนทำการเชื่อม



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะการยึดชิ้นงานก่อนเชื่อม

2.3.5 นำชิ้นงานหลังเชื่อมมาตัดย่อย ตามมาตรฐาน DIN 50351 แบ่งชิ้นงานออกเป็น 5 ชิ้น ชิ้นงานทดสอบที่ 2 และ 4 นำไปทดสอบแรงดึง ชิ้นงานทดสอบที่ 3 นำไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและทดสอบความแข็งตามภาพที่ 3

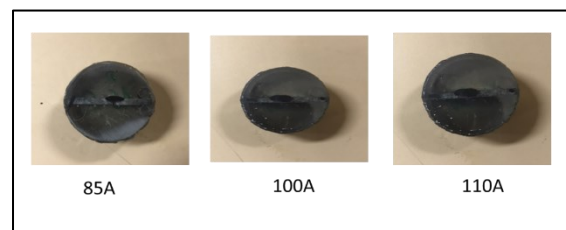


ภาพที่ 3 ลักษณะการตัดชิ้นงานทดสอบ

### 2.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคหลังเชื่อม

2.4.1 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อม ด้วยเครื่อง Inverted Microscope Tester (ZEISS) ตรวจสอบความละเอียดที่ 50 ไมครอน 100 ไมครอน และ 200 ไมครอน ทั้ง 3 กระแสเชื่อม

2.4.2 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ Hitachi SU3500 ตรวจสอบความละเอียดที่ 1 mm 100 ไมครอน 300 ไมครอน



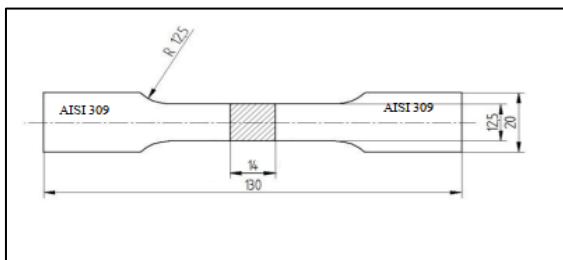
ภาพที่ 4 ชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและความแข็ง

### 2.5 การตรวจสอบความแข็งหลังการเชื่อม

2.5.1 การตรวจสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ 9 จุด ด้วยเครื่องทดสอบ STRUERS/Duramin-5 Type 0565242 ตามมาตรฐาน JIS Z 2241-2009

### 2.6 การตรวจสอบความแข็งแรงดึง

2.6.1 การทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine Model : AG-100KNI M2 ตามมาตรฐาน DIN 50351 จำนวน 5 ชิ้นต่อ 1 กระแส



ภาพที่ 4 ลักษณะชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึง

### 3. ผลการวิจัย (Result)

#### 3.1 ส่วนผสมทางเคมีและโครงสร้างจุลภาคก่อนเชื่อม

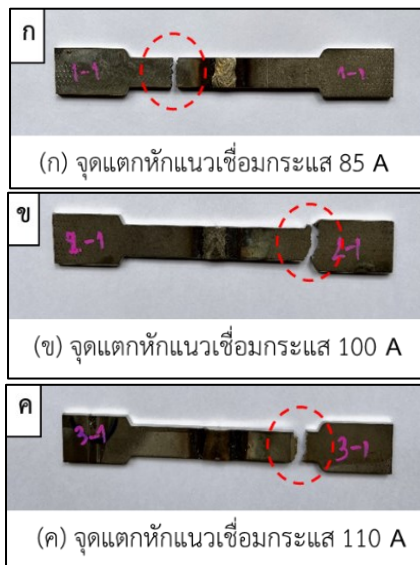
##### 3.1.1 ส่วนผสมทางเคมีก่อนเชื่อม

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบส่วนผสมของชิ้นงานและชิ้นงานมาตรฐาน [6]

Element	Composition (wt.%)	
	มาตรฐาน AISI309	ผลตรวจสอบ วัสดุ
C	0.1	0.25
Cr	23.4	20.25
Mn	1.8	0.53
Ni	13.1	10.18
Si	0.6	1.7
P	-	0.02
S	-	0.14
Mo	-	0.11
Al	-	0.05
Cu	-	0.1
Ti	-	0.02
V	-	0.06
W	-	0.06

#### 3.2 ตำแหน่งการแตกหัก

##### 3.2.1 การทดสอบความแข็งแรงดึง



ภาพที่ 5 ตำแหน่งการแตกหัก

จากภาพที่ 5 ผลการทดสอบแรงดึงชิ้นงานกระแส 85A, 100A, 110A ชิ้นงานขาดตรงบริเวณเนื้อวัสดุทั้ง 3 กระแส หมายความว่ารอยเชื่อมมีความแข็งแรงมากกว่าชิ้นงาน

#### 3.3 ระยะเวลาหลอมละลายลึก

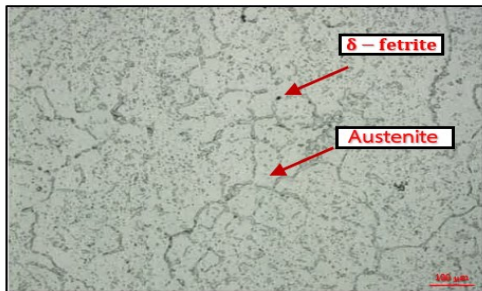


ภาพที่ 6 ตัวอย่างระยะเวลาหลอมละลายของแนวเชื่อม

จากภาพที่ 6 การวิเคราะห์ระยะเวลาหลอมละลายของแนวเชื่อม พบว่า ระยะเวลาสั้น ความลึก และความลึกในการหลอมละลาย ทั้ง 3 กระแส ขึ้นอยู่กับพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเชื่อม

### 3.4 โครงสร้างจุลภาค

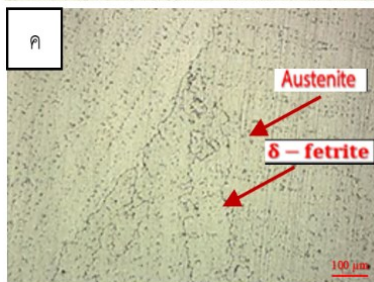
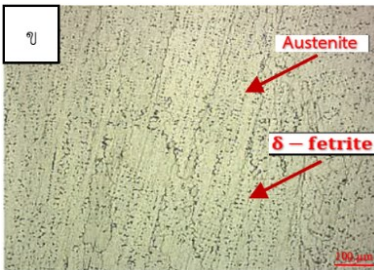
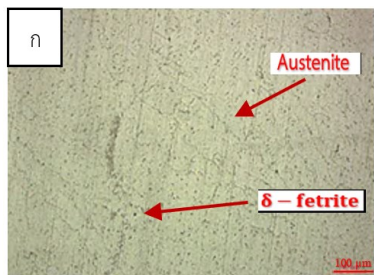
#### 3.4.1 โครงสร้างจุลภาคก่อนเชื่อมจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง



ภาพที่ 7 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค

จากภาพที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมออกเทนนิติก เกรด 309 มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นออสเทนไนต์ และมีเตลต้าเฟอร์ไรต์กระจายตัวอยู่ในออสเทนไนต์ มีระบบผลึกเป็น Face Centered Cubic (FCC) มีพื้นหลังเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ [7]

#### 3.4.2 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง



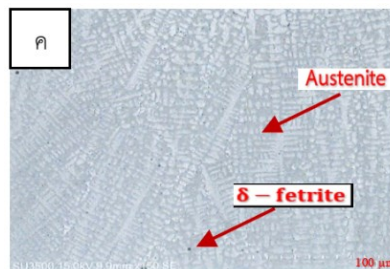
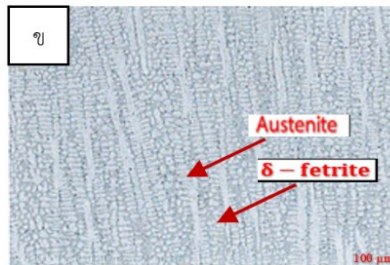
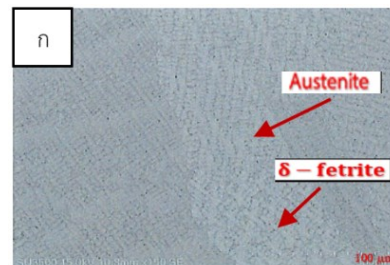
(ก) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมกระแส 85 A

(ข) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมกระแส 100 A

(ค) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมกระแส 110 A

ภาพที่ 8 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมจาก OM กำลังขยาย 100 เท่า

#### 3.4.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมจากกล้องอิเล็กตรอน (SEM)



ก) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมกระแส 85 A

ข) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมกระแส 100 A

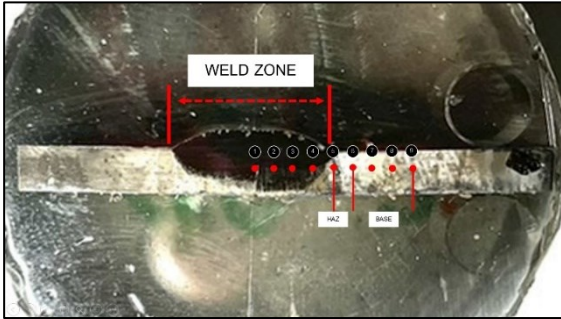
ค) โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมกระแส 110 A

ภาพที่ 9 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมจาก SEM กำลังขยาย 100 เท่า

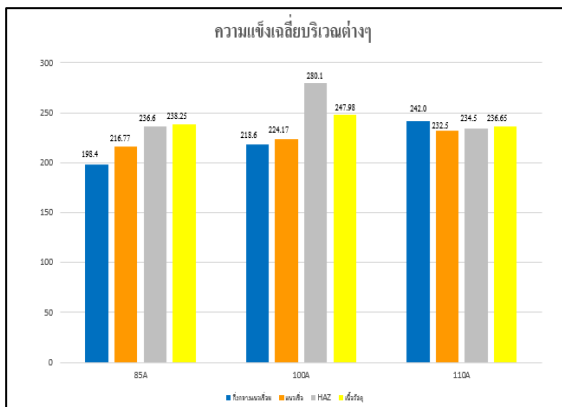
จากภาพที่ 8 และ 9 (ก), (ข), และ (ค) โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมที่กระแสไฟ 85A, 100A และ 110A พบว่ามีพื้นหลังเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ มีเฟสเตลตาเฟอร์ไรต์กระจายตัวอยู่ในเฟสออสเทนไนต์ ทั้งในบริเวณขอบเกรนและในเกรน และมีขนาดโตขึ้น มีผลทำให้ความแข็งบริเวณแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นตาม

### 3.5 ความแข็ง

ตรวจสอบความแข็งของชิ้นงานหลังเชื่อม ทั้งหมด 9 จุด ตรวจสอบจุดกึ่งกลางแนวเชื่อม 1 จุด บริเวณแนวเชื่อม 3 จุด บริเวณHAZ 1 จุด และเนื้อวัสดุ 4 จุด ทำการตรวจสอบตามรูปที่ 11 โดยแต่ละจุดที่ตรวจสอบมีระยะห่างกัน 1 มม. ค่าความแข็งสรุปได้ตามภาพที่ 11



ภาพที่ 10 การตรวจสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

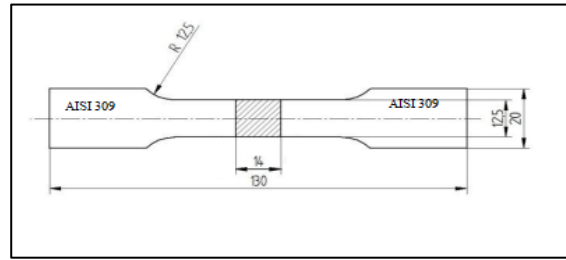


ภาพที่ 11 ความแข็งเฉลี่ยที่กึ่งกลางแนวเชื่อม, แนวเชื่อม, HAZ เนื้อวัสดุ

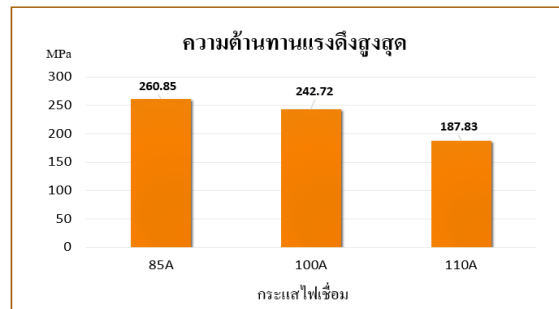
จากภาพที่ 11 ชิ้นงานมีความแข็งเฉลี่ยที่กึ่งกลางแนวเชื่อม, แนวเชื่อม, HAZ และเนื้อวัสดุ กระแสไฟ 85A มีความแข็งเฉลี่ยตามลำดับ 198.4 HV, 216.7 HV, 236.6 HV และ 238.25 HV กระแสไฟ 100A มีความแข็ง 218.6HV, 224.2HV, 280.1HV และ 247.9HV กระแสไฟ 110A มีความแข็งเฉลี่ย 242HV, 232.5HV, 235.4HV และ 241.65HV

### 3.6 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

การทดสอบแรงดึง (Tensile Strength) จะเลือกชิ้นงานที่มีแนวเชื่อมที่สมบูรณ์จำนวน 5 ชิ้น สำหรับทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน DIN 50351 หรือ JSI Z 2241-2011



ภาพที่ 12 การเตรียมชิ้นงานเพื่อไปตรวจสอบแรงดึง



ภาพที่ 13 ความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของชิ้นงาน

จากภาพที่ 15 กระแสไฟ 85 A มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ย 260.85 Mpa กระแสไฟ 100A มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ย 242.72 Mpa กระแสไฟ 110A มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ย 187.83 Mpa

## 4. การอภิปราย

### 4.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

สังเกตได้ว่าชิ้นงานจะขาดตรงบริเวณเนื้อวัสดุสรุปได้ว่าชิ้นงานบริเวณแนวเชื่อมสามารถรับแรงดึงได้มากกว่าบริเวณเนื้อวัสดุ มีผลมาจากจุดเสียในชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ เป็นไปตามทฤษฎี [8]

### 4.2 พลังงานความร้อน (Heat Input)

การเชื่อมที่กระแสไฟต่ำจะทำให้บ่อหลอมตรงชิ้นงานหลอมละลายไม่ลึก ทำให้ตรงบริเวณแนวเชื่อมมีความหนูนสูงกว่าการเชื่อมที่ใช้กระแสสูง การเชื่อมที่ใช้กระแสไฟสูงจะทำให้บ่อหลอมชิ้นงานมีการละลายลึกและจุดหลอมมีระยะกว้างขึ้นแต่ความหนูนของแนวเชื่อมจะต่ำลง [9]

### 4.3 ความแข็ง (Hardness)

กระแสไฟมีผลต่อสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน เมื่อใช้กระแสไฟสูงชิ้นงานบริเวณ Best Welding จะมีความแข็งเพิ่มขึ้นตามพลังงานความร้อน (Heat Input) ทำให้ Best Welding มีความแข็งเพิ่มขึ้นตามกระแสไฟที่ในทำการวิจัย

### 4.4 โครงสร้างจุลภาค (microstructure)

โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมจะพบเดลต้าเฟอไรท์กระจายตัวอยู่ในโครงสร้างออสเทนไนท์ และบริเวณขอบเกรนจะมีพื้นหลังเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ การเชื่อมที่กระแสไฟสูงทำให้บริเวณแนวเชื่อมมีเกรนเดลต้าเฟอไรท์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะเกิดจากการใช้กระแสไฟสูงทำให้ทำให้ขอบหลอมละลายมีความกว้าง ส่งผลให้มีการก่อตัวของเกรนเดลต้าเฟอไรท์ และจะมีจำนวนมากขึ้นตามกระแสไฟที่ใช้

## 5. สรุป

1) กระแสไฟที่ให้ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อมสูงสุดคือ กระแสไฟ 110 A ความเร็วในการเดินเชื่อม 200 mm/min 232.5 HV

2) กระแสไฟทั้งสามกระแสมีความแข็งใกล้เคียงกัน และโครงสร้างจุลภาคคล้ายกัน สามารถนำไปใช้งานในการเชื่อมได้ทั้ง 3 กระแส

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร. ประยูร สุรินทร์ และ ผศ.ชานนท์ มุลวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยครั้งนี้

## อ้างอิง

- [1] <https://www.cpacacademy.com> กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ สืบค้นวันที่ 14/10/65.
- [2] อีรพงษ์ หาญวิโรจน์กุล (2554). Metal Word, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- [3] สมบูรณ์ เต็งหงส์เจริญ (2549) วิศวกรรมการเชื่อม WELDING ENGINEERING. หน้า 4-6.

- [4] P.S Gowthaman, P.Muthukumar, J.Gowthaman, C.Arun.(2017) Review on Mechanical Characteristics of 304 Stainless Steel using SMAW Welding PSNA College of Engineering and Technology.
- [5] <https://th.kovet.com/product-page/welding-electrode-for-stainless-steel-sus-310l-kovet-310l> วันที่สืบค้น 7/09/65.
- [6] <https://www.matweb.com>,วันที่สืบค้น 13/7/65.
- [7] พิรญา พิพัฒน์กุล (2557) ความต้านทานการเกิดออกซิเดชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกที่มีโครเมียมร้อยละ26และนิกเกิลร้อยละ16 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 800,900,1000องศาเซลเซียส, วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโลหการและวัสดุ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.
- [8] หนังสือหล่อโลหะโดย ดร.ทริส สุตะบุตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณชนบุรีและดร.เคนยิจิอิวามหาวิทยาลัยโตเกียว.
- [9] ไพบุลย์ หาญมนต์ การศึกษาอิทธิพลความร้อนในงานเชื่อมที่มีผลต่อการหลอมลึก ความกว้าง ความสูงและบริเวณกระแทกร้อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมโดยกระบวนการเชื่อมมิก. วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลกรุงเทพ.
- [10] ศักดิ์ชัย จันทศรี, สุรัตน์ ตรียวนพงศ์, กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, สุวัฒน์ ภูเกา (2555) การประยุกต์ในการเชื่อมมิกในการต่อชนแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430.
- [11] ลิขิต วรรณพงศ์, วิชัย ประยูร, สุรพล ชูสวัสดิ์ ( 2 5 6 2 ) อิทธิพลกระแสไฟเชื่อมต่อสมบัติการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 กับเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด ss 400 ด้วยการเชื่อมไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- [12] David, JR, 1999, ASM Specialty Handbook Stainless Steel , ASM International Materials Park , Ohio USA. , pp 3-7

- [13] สมพร พรหมดวง, สายสุนีย์ พงษ์พัฒนศึกษา (2560).การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงกระแทกของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมที่อุณหภูมิต่ำ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยรังสิต.
- [14] Asad Yousaf, Riffat Asim Pasha (2021) A Review on Welding of AISI 316L Austenitic Stainless Steel.
- [15] ณัฐวีร์ สอกจะบก (2557) การเชื่อมอาร์กลดอุณหภูมิด้วยลวดเชื่อมที่แตกต่างกัน โดยทำการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่กระแสเชื่อมอาร์กลดอุณหภูมิแตกต่างกัน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [16] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, สุรัตน์ ตรียวนพงศ์ (2562) การเลือกใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ในการเชื่อมรอยต่อชนเหล็กกล้าต่างชนิด AISI304และ AISI1015. คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [17] กิตติศักดิ์ สงวนศักดิ์ถาวร, สุรเดช แม้นศิริพรหม, ชีรพล แวกปัญญา (2560) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [18] Dr. Mohammed Mosleh Salman and Asmaa Mahdi Ali (2019) THE PROBLEMS OF ROTARY KILN OF CEMENT AND THEIR REMEDIES, Civil Engineering Department, College of Engineering, University of Mustansiriyah, Iraq, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET).
- [19] ชูชาติ ด้วงสงค์, การทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ, 3 ed. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กทม, 2555.
- [20] Asad Yousaf, Riffat Asim Pasha, Ashfaq Muhammad (2564, Mechanical Engineering Department University of Engineering and Technology Taxila Pakistan.
- [21] K. Karthick, S. Malarvizhi, V. Balasubramania, S. A. Krishnan, G. Sasikala and Shaju K. Albert (2016) Tensile properties of shielded metal arc welded dissimilar joints of nuclear grade ferritic steel and austenitic stainless steel.
- [22] Ntsikelelo Ngonyozo (2014) The Influence of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Inter-pass Temperature on the ferrite Number of weld joints made on AISI 304H Stainless Steel.
- [23] 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.
- [24] นิเวศน์ เติณห์เกียรติ, สันติรัฐ นันสะอาจ, สิทธิชัย แก้วแก้วกุล. อิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI2205) กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [25] 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
- [26] S. Kimer and A. S. Shan, "Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded AISI 304 Stainless steel joints," Materials & Design, vol. 32 pp. 3617-3623, 6//2011
- [27] M. Jovanovic and G. Ribar. "Analyst of Ultrasonic indications in Lack of Fusion Occuring in Welds," ECHOT Poster 213, vol. Poster 215, pp. 18, 2006
- [28] A. K. Laminarayanan, K. Shanmugam, and Valasexamanian, Effect of Adogenous Art: Welding Processes on Tensile and Impact Properties of Ferrite Stainless Steel Joints, Journal of Iron and Steel Research, international, vol. 16, pp. 62-66, 17/ 2009



[29] วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

Scanning Eletron Microscopy (SEM) [Online]

[30] Donal T Hawkins and Ralph Hultgren , 1995,

Metal Hand book. Volume 8, Metallography

Structures and Phase Diagram, 8 th Edition,

American Society forMetalsASM) , Metal

Parks,Ohio,USA., p. 291 ,304.