

อิทธิพลของกระแสไฟเชื่อมในกระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเทน ที่มีผลต่องานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201

Influence of Welding Current in Tungsten Arc Welding Process Effected on Stainless Steel AISI 201 Weldment

ตรีเนตร ยิงสัมพันธ์เจริญ^{1*} และ นครินทร์ ศรีสุวรรณ²
Trinet Yingsamphancharoen^{1*} and Nakarin Srisuwan²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของกระแสไฟเชื่อมในกระบวนการเชื่อมอาร์กด้วยทังสเทนที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคในบริเวณเชื่อม ความเค้นแรงดึง และการตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์ ชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 ได้รับการเชื่อมแบบอาร์กทังสเทนโดยใช้ลวดเชื่อมอิตาลี 308 แอล กระแสไฟเชื่อมปรับตั้งค่าที่ 60, 70, 80, 90 และ 100 แอมแปร์ ด้วยรูปแบบการเชื่อมแบบต่อหัวกระแสไฟตรงขั้วตรง และเปลี่ยนเป็นแบบต่อหัวกระแสไฟตรงกลับขั้ว ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเม็ดเกรนในบริเวณเชื่อมมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อปรับเพิ่มค่ากระแสแบบกระแสไฟตรงกลับขั้ว และเม็ดเกรนมีขนาดเล็กลง เมื่อปรับเพิ่มค่ากระแสแบบกระแสไฟตรงขั้วตรงซึ่งมีผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล จากการทดสอบความเค้นแรงดึง พบว่าชิ้นงานที่เชื่อมแบบต่อหัวกระแสไฟตรงขั้วตรงและแบบต่อหัวกระแสไฟตรงกลับขั้วให้ค่าความเค้นแรงดึงในช่วง 361- 416 และ 353 - 389 เมกกะปาสกาล ตามลำดับ จากการวิเคราะห์โครงสร้างมหภาคและจุลภาค แสดงให้เห็นว่าในบริเวณกระทบความร้อน

ความร้อนของชิ้นงานที่เชื่อมแบบต่อหัวกระแสไฟตรงขั้วตรงมีการตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์มากกว่าการเชื่อมแบบต่อหัวกระแสไฟตรงกลับขั้ว จากที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่าการเชื่อมชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 ที่ 60 แอมแปร์ โดยใช้การเชื่อมแบบต่อหัวกระแสไฟตรงขั้วตรงเป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากชิ้นงานมีการซึมลึกที่ดี มีการตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์น้อยในบริเวณกระทบความร้อน และมีค่าความเค้นแรงดึงสูง

คำสำคัญ: เหล็กกล้าไร้สนิม การเชื่อมอาร์กทังสเทน ความเค้นแรงดึง โครเมียมคาร์ไบด์

Abstract

This research investigated influence of welding current in tungsten arc welding process on microstructures in welding area, tensile strength and chromium carbide precipitation. AISI 201 stainless steel specimens were arc welded with tungsten by using

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมงานเชื่อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² นักวิจัย ฝ่ายเทคโนโลยีการกัดกร่อน สถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* Corresponding Author, Tel 02-913-2500 Ext. 6417, E-mail : Trinet2518@kmutnb.ac.th

ER 308L welding electrode. The welding currents used were varied; at 60, 70, 80, 90, and 100 amperes with direct current electrode negative (DCEN) and direct current electrode positive (DCEP) subsequently. The results showed that the grain size of the specimen in the welding area was larger when increasing DCEP welding current while the grain size became smaller when increasing the DCEN welding current, which affected the mechanical properties. With respect to the tensile test, it was found that the specimen welded with DCEN and DCEP exhibited the tensile strength in the range of 361.2-416.9 and 355.6-440.1 MPa respectively. According to the macro-structure and microstructure analysis, the heat affected zones (HAZ) of the specimens welded with DCEN yielded higher chromium carbide precipitation (Cr_{23}C_6) than the specimens welded with DCEP did. It can, therefore, be concluded that welding AISI 201 stainless steel with DCEN at 60 amperes is the most suitable since it yielded well penetration, low chromium carbide precipitation in HAZ, and high tensile strength.

Keywords: Stainless Steel, Tungsten Arc Welding, Tensile Strength, Chromium Carbide

1. บทนำ

ในปัจจุบันเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติกเกรด 201 ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์อย่างมาก เนื่องจากเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีการคิดค้นส่วนผสมทางเคมีขึ้นมาใหม่ ซึ่งมีสมบัติเชิงกลและสามารถต้านทานการเกิดสนิมได้ดี รวมทั้งยังมีราคาถูกกว่าเกรด 304 อีกด้วย ผู้ประกอบการจึงนิยมนำมาผลิตเป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ชิ้นส่วนเครื่องจักรหรือของใช้ในครัวเรือน เป็นต้น [1] ซึ่งในงานบางประเภทจำเป็นต้องมีการเชื่อมเพื่อประกอบเหล็กกล้าไร้สนิมเข้าด้วยกัน เช่น ท่อไอเสียรถยนต์ หรือ

งานตกแต่งทางด้านสถาปัตยกรรมต่างๆ โดยการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 ในอดีตนิยมใช้การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเพราะเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากและสะดวกในการทำงานทั้งภายในและภายนอกสถานที่ ซึ่งจะต่อข้อกระแสไฟทั้งแบบกระแสตรงขั้วตรงและแบบกระแสตรงกลับขั้ว และนิยมใช้ลวดเชื่อม ER308L เพราะราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย

อย่างไรก็ตาม เมื่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 เป็นที่นิยมในการใช้งานมากขึ้น จึงควรศึกษาผลดี-ผลเสียของการใช้กระแสไฟเชื่อมทั้ง 2 แบบ ซึ่งน่าจะมีความแตกต่างจากเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 โดยประเด็นสำคัญอยู่ที่การต่อข้อกระแสไฟเชื่อมแบบใด สภาวะใดจึงจะเหมาะสมกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 ซึ่งจะพิจารณาผลการทดลองจากการตรวจสอบลักษณะของแนวเชื่อม สมบัติเชิงกลและเชิงเคมี

ข้อควรระวังในการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 คือเมื่อวัสดุได้รับความร้อนที่สูงเกินไปจะทำให้เนื้อวัสดุมีขนาดเกรนที่ขยายใหญ่ขึ้นและทนต่อแรงกระแทกได้ลดลง เพราะเหล็กกล้าไร้เกรด 201 ขยายตัวได้มากที่อุณหภูมิสูง (High Thermal Expansion) แต่มีการนำความร้อนต่ำ (Low Thermal Conductivity) เมื่อเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอน อีกประการหนึ่ง คือการเกิดการตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์ (Cr_{23}C_6) ตามขอบเกรนในบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน (HAZ) ของแนวเชื่อม ทำให้บริเวณแนวเชื่อมขาดโครเมียมในการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์เพื่อป้องกันกาเกิดสนิมบริเวณแนวเชื่อมจึงมักเกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular Corrosion) ได้ง่าย [2]

อนึ่ง เมื่อปี พ.ศ. 2553 วีระชาติ คชเชนทร์และคณะ [3] ได้ทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 304L ที่มีการเชื่อมด้วยวิธีเชื่อมอาร์กทั้งสแตน ซึ่งใช้กระแสไฟแบบกระแสตรงขั้วตรง โดยพบว่าการปรับลบลูมของเสาของหัวเชื่อมและกระแสไฟเชื่อมที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์ในบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน (HAZ) ของแนวเชื่อม ซึ่งหากเลือกสภาวะ

การเชื่อมได้เหมาะสมก็จะสามารถป้องกันการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ และการกัดกร่อนตามขอบบริเวณได้ ดังนั้น ทางคณะผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมอาร์กทั้งสแตน แบบใช้กระแสตรงขั้วตรง (DCEN) และกระแสตรงกลับขั้ว (DCEP) ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณกระแสไฟเชื่อมให้แตกต่างกัน 5 ระดับ (ซึ่งอยู่ในช่วงแนะนำในการเลือกใช้กระแสไฟเชื่อม [4]) และวิเคราะห์ความแตกต่างของแนวเชื่อมจากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคและมหภาค ทดสอบความสามารถเชิงกล และพิจารณาการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ตามขอบเกรนในบริเวณกระทบร้อน (Heat Affected Zone: HAZ) ของแนวเชื่อม เพื่อรวบรวมเป็นข้อมูลอ้างอิงในงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 ต่อไปในอนาคต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย [5]

การเชื่อมอาร์กทั้งสแตน (Tungsten Inert Gas Arc Welding: TIG) หรือบางที่ใช้คำว่า Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) เป็นการเชื่อมโลหะที่นิยมใช้กับโลหะที่เชื่อมติดกันได้ยาก เช่น แมกนีเซียม อลูมิเนียม และเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งวิธีการนี้ค้นพบครั้งแรกประมาณปี ค.ศ. 1940 ในอุตสาหกรรมสร้างเครื่องบิน

ปัจจุบันกรรมวิธีเชื่อมแบบนี้ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างกว้างขวางในงานเชื่อมโลหะทั่วไป เพราะให้งานเชื่อมประกอบโครงสร้างที่มีความเที่ยงตรงและมีคุณภาพของรอยเชื่อมสูง สามารถเชื่อมโลหะแผ่นที่มีความบางต่ำที่สุดถึง 0.25 มิลลิเมตร โดยมีหลักการทั่วไป คือความร้อนที่ทำให้โลหะหลอมลึกลงนั้นเกิดจากการอาร์กกระหว่างอิเล็กโทรดลวดทั้งสแตนกับชิ้นงาน ในขณะที่เดียวกันบริเวณที่มีการอาร์กจะมีแก๊สเฉื่อย (Inert Gas) ปกคลุมอยู่รอบๆ เพื่อป้องกันออกซิเจน ไนโตรเจน และความชื้นที่จะเข้ามารวมกับโลหะที่กำลังหลอมลึกลง (รูปที่ 1) แต่เนื่องจากลวดทั้งสแตนเป็นวัสดุที่สิ้นเปลืองและไม่หลอมละลายเติมเป็นเนื้อโลหะเชื่อม (Non Consumable Electrode) จึงจำเป็นต้องเติมเนื้อโลหะเชื่อมลงในบ่อหลอมลึกลงนั้นด้วย ยกเว้นในกรณีที่เชื่อมโลหะแผ่นบางๆ อาจไม่จำเป็นต้องเติมลวดเชื่อม



รูปที่ 1 การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนและเครื่องมือพื้นฐาน

2.1 ระบบกระแสไฟที่ใช้สำหรับการเชื่อม

กระแสตรงขั้วตรง (DCEN) คืออิเล็กโทรดหรือหัวเชื่อมเป็นกระแสไฟขั้วลบ และตำแหน่งชิ้นงานจะเป็นกระแสไฟขั้วบวก ลักษณะนี้ประจุไฟฟ้าลบจะไหลจากหัวเชื่อมไปสู่ชิ้นงานร้อนจึงเกิดขึ้นบนชิ้นงานเชื่อมมาก ซึ่งแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะแคบและหลอมลึกได้ดี

กระแสตรงกลับขั้ว (DCEP) คืออิเล็กโทรดหรือหัวเชื่อมเป็นกระแสไฟขั้วบวก และตำแหน่งชิ้นงานจะเป็นกระแสไฟขั้วลบซึ่งความร้อนเกิดขึ้นกับหัวเชื่อมมากกว่ากระแสไฟเชื่อมแบบ DCEN ทำให้ปลายทั้งสแตนอิเล็กโทรดมีโอกาสที่จะร้อนจนหลอมละลายได้ เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นที่ทั้งสแตนอิเล็กโทรด แนวเชื่อมที่เกิดขึ้นจึงมีลักษณะกว้างและการหลอมลึกลงต่ำ

โดยที่ระดับกระแสไฟเท่ากันทั้งสแตนอิเล็กโทรดที่ใช้เชื่อมแบบกระแสตรงกลับขั้ว ต้องเลือกใช้ขนาดที่โตกว่าทั้งสแตนอิเล็กโทรดที่ใช้เชื่อมแบบกระแสตรงขั้วตรง

2.2 ทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

การทดสอบแรงดึง [6] เป็นการทดสอบสมบัติทางกลประเภทหนึ่ง เพื่อให้หาคุณสมบัติเชิงกลอันเนื่องจาก

Current Type	DCEN	DCEP
Electrode Polarity	Negative	Positive
Electron and Ion Flow		
Penetration Characteristics		
Oxide Cleaning Action	No	Yes
Heat Balance In The Arc (Approx.)	70% At Work End 30% At Electrode End	30% At Work End 70% At Electrode End
Penetration	Deep; Narrow	Shallow; Wide
Electrode Capacity	Excellent 1/8" (3.2mm) 400 A	Poor 1/4" (6.4mm) 120 A

www.mooseforge.com/tig.html

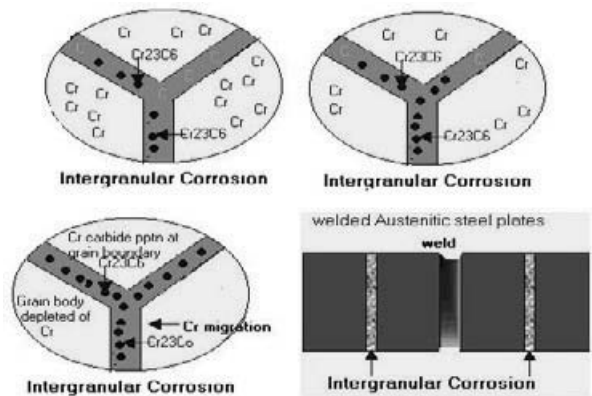
รูปที่ 2 ข้อมูลการเชื่อมที่เกี่ยวกับรูปแบบการต่อหัวเชื่อมแบบ DCEN และ DCEP

การที่ชิ้นงานทดสอบแรงดึงถูกดึงให้ยืดจนขาดในแนวแกนยาว (Y) โดยกำหนดให้ความเร็วในการดึงมีค่าต่ำและคงที่ตลอดการดึง ทั้งนี้เพื่อให้ค่าที่ได้จากการทดสอบมีความผิดพลาดคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงนั้นมีหลายค่าด้วยกัน เช่น ค่าความเค้น ณ จุดคราก ค่าความเค้นเฉลี่ย ค่าความเค้นแรงดึง ค่าความเหนียว ค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น เป็นต้น (ตารางที่ 1) โดยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและกระบวนการเชื่อม ทำให้สามารถนำค่าที่ได้จากการทดสอบแรงดึงมาเปรียบเทียบกับหาสถานะที่เหมาะสมในงานเชื่อมแบบต่างๆ ได้

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค

AISI Type	Yield Strength (0.2% offset)		Tensile Strength		Elongation in 2 inch (50.8 mm), %
	kpsi	N/m ²	kpsi	N/m ²	
201	55	379.2	115	792.9	55
202	55	378.2	105	724	55
304	42	289.6	84	579.2	55
304L	39	268.9	81	558.5	55
308	35	241.3	85	586.1	50
316	42	289.6	84	579.2	50



www.sudeshnapaul.com/material.science/corrosionforms.html

รูปที่ 3 การเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ตามขอบเกรนบริเวณแนวเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค

2.3 การตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์

ความร้อนในระหว่างการเชื่อมที่เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิคได้รับอาจสูงมากกว่า 1,200°C ซึ่งในช่วงอุณหภูมิประมาณ 427-810°C ถือเป็นช่วงอุณหภูมิวิกฤตของการเกิดสภาวะ Sensitized ซึ่งทำให้เกิดการรวมตัวระหว่างโครเมียมกับคาร์บอนแล้วตกตะกอนเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ ($Cr_{23}C_6$) ในตามขอบเกรนในบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน (HAZ) ซึ่งทำให้สมบัติเชิงกลและความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนลดลง [7], [8] โดยสามารถสังเกตปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นจากการถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคซึ่งจะมีลักษณะเป็นเม็ดสีดำขนาดเล็กบริเวณขอบเกรนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิคที่มีปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์มากจะทำความแข็งแรงและความเปราะเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึงจึงลดลง ส่วนความสามารถในการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ก็จะลดลงด้วย ทำให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรนได้ง่าย

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเลือกใช้และการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

- วัสดุที่ใช้ทดสอบ คือเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 ซึ่งผ่านการตรวจสอบหาส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่อง

Emission Spectrometer ตามตารางที่ 2

- นำชิ้นงานทดสอบมาตัดให้ได้ขนาดกว้าง 75 มม ยาว 200 มมหนา 3 มม สำหรับนำไปเชื่อมตามสภาวะการเชื่อมแบบต่างๆ

ตารางที่ 2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 201 เปรียบเทียบกับเกรด 304

Type	Composition (wt. %)									
	C	Cr	Ni	Mo	Si	P	S	Mn	Nb	Fe
201	0.071	16.456	4.202	0.076	0.518	0.049	0.014	6.814	0.012	Bal.
304	0.050	18.806	8.27	0.082	0.452	0.030	0.01	1.09	0.007	Bal.

3.2 ขั้นตอนและกระบวนการเชื่อม

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้กระบวนการเชื่อมแบบอาร์กทั้งสแตน [9], [10] ใช้ท่าเชื่อมแบบท่าราบ โดยใช้กระแสไฟเชื่อมแบบกระแสตรงต่อขั้วตรง (DCEN) และกระแสตรงต่อกลับขั้ว (DCEP) ปรับใช้กระแสเชื่อม 5 ระดับ (60, 70, 80, 90 และ 100 Amp.) ที่แรงดันไฟขณะอาร์ก 10 V. มีอิเล็กโทรดทั้งสแตน EWT-2 ขนาด Ø 1.6 มม ลับปลายมุมของแท่งอิโทรดทั้งสแตนที่ 30 องศา ใช้ลวดเติมเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด ER 308L ขนาด Ø 1.6 มม โดยมีแก๊สอาร์กอน 97% เป็นแก๊สปกคลุม (20 L/min) และ Backing Gas (6 + 1.0 L/min) ควบคุมความเร็วในการเชื่อม 20 มม ต่อนาที

3.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและการทดสอบ

- เมื่อทำการเชื่อมชิ้นงานเสร็จ ทำความสะอาดและตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตาเพื่อตรวจสอบจุดบกพร่องจากการเชื่อม จากนั้นนำชิ้นงานไปตัดย่อยสำหรับการทดสอบแรงดึงและตรวจสอบโครงสร้าง

- การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing) จะเลือกชิ้นงานที่มีแนวเชื่อมที่สมบูรณ์มาตัดเป็นชิ้นงาน สำหรับทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370 [6] ในแต่ละสภาวะการทดสอบ อย่างละ 3 ชิ้น

- การทดสอบโครงสร้างจุลภาค จะเลือกชิ้นงานที่มีแนวเชื่อมสมบูรณ์มาตัดให้ได้ขนาดกว้าง 25 มม ยาว 30 มม ในแต่ละสภาวะการทดสอบ อย่างละ 1 ชิ้น แล้วขัดชิ้นงานเพื่อขัดลิ่งสกปรกที่ผิวงานเชื่อมด้วยกระดาษ

ทรายขัดเหล็ก เบอร์ 240, 320, 400, 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ ล้างด้วยน้ำกลั่น และขัดมันด้วยผงอลูมินา ล้างชิ้นงานในอะซิโตนด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิก เป่าลมร้อนให้ชิ้นงานแห้ง

- นำชิ้นงานเชื่อมตัวอย่างไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้น้ำยากัดกรดออกซาลิกเข้มข้น 10%

- เตรียมสารละลายกรดออกซาลิก (Oxalic Acid) 10 % สำหรับใช้กัดชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค โดยใช้ไฟฟ้า 10 โวลท์ ใช้เวลาราว 2.30 นาที แล้วล้างชิ้นงานให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นและเป่าลมร้อนให้ชิ้นงานแห้ง

- ทำการวัดขนาดเม็ดเกรน (Grain Size) โดยใช้โปรแกรม NIS Elements D 3.1 เทียบตามมาตรฐาน ASTM E1382-97(2010) [11] ใช้กล้องจุลทรรศน์ของ Nikon รุ่น MA 100 ตรวจสอบและเปรียบเทียบความแตกต่างของชิ้นงานเชื่อมในแต่ละสภาวะการทดสอบ

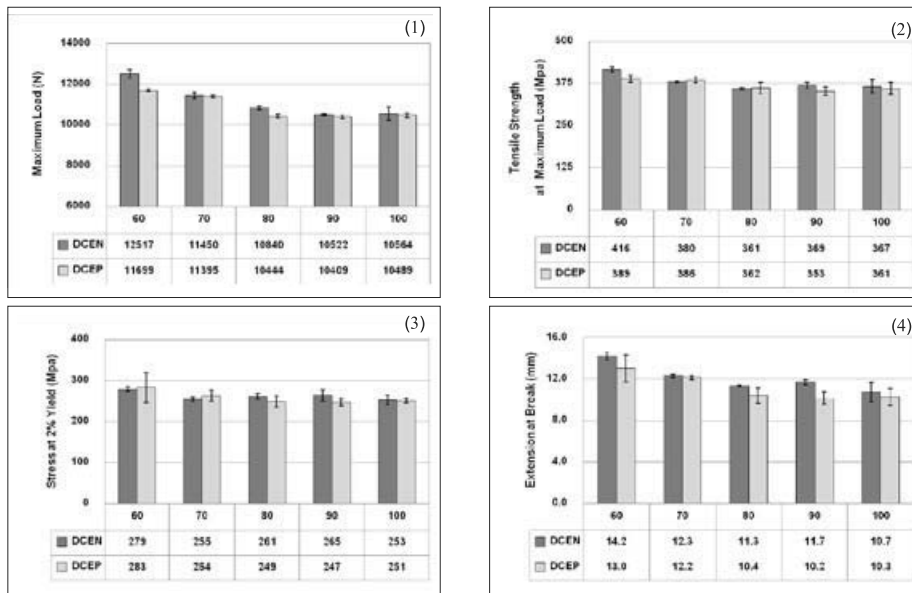
4. ผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)

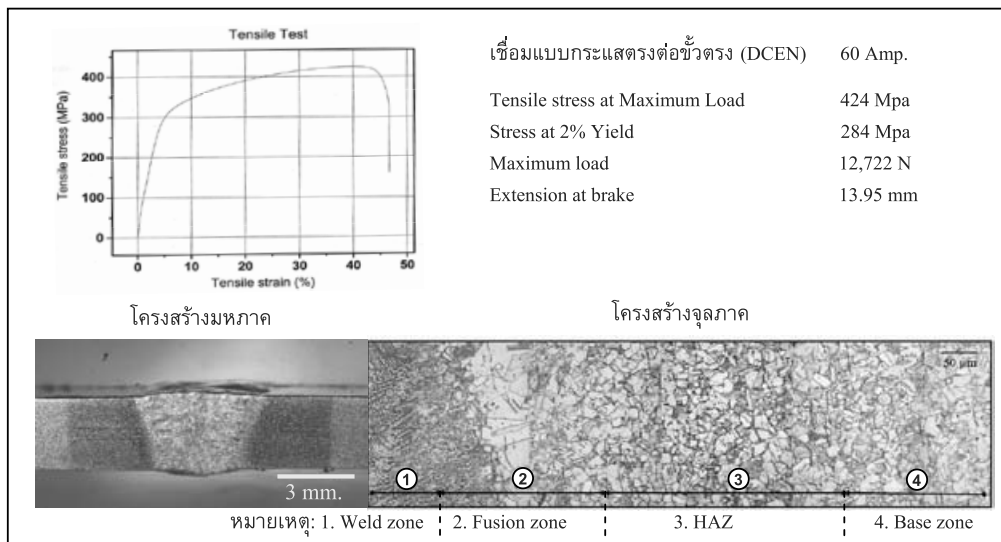
การทดสอบความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมแบบกระแสตรงต่อขั้วตรง (DCEN) และกระแสตรงต่อกลับขั้ว (DCEP) ซึ่งปรับใช้กระแสเชื่อม 5 ระดับ โดยค่าที่ได้เป็นข้อมูลการยึดตัวของชิ้นงานก่อนเกิดการฉีกขาด ดังรูปที่ 4

โดยพบว่าชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 60 Amp. แบบ DCEN สามารถรับ Maximum Load ได้สูงที่สุด ซึ่งค่า Maximum Load มีแนวโน้มปรับลดลงเมื่อใช้กระแสไฟเชื่อมเพิ่มมากขึ้น ส่วนกระแสไฟเชื่อมแบบ DCEP ที่ 80, 90 และ 100 Amp. ให้ค่า Maximum Load ที่ใกล้เคียงกัน

สำหรับค่า Tensile Stress at Maximum Load (ความเค้นสูงสุดก่อนชิ้นงานฉีกขาด) ของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 60 Amp. ทั้งแบบแบบ DCEN และแบบ DCEP จะมีค่าสูงกว่ากระแสไฟเชื่อมอื่นๆ เช่นเดียวกับค่า Stress at 2% Yield (การต้านทานความเครียดของชิ้นงานที่จะทำให้ชิ้นงานเสียรูป) และค่า Extension at Break (การยืดตัวของชิ้นงานก่อนเกิดการฉีกขาด)



รูปที่ 4 ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานเชื่อมที่สภาวะ การทดสอบต่างๆ (1) Maximum Load (2) Tensile Stress at Maximum (3) Stress at 2% Yield (4) Extension at Break

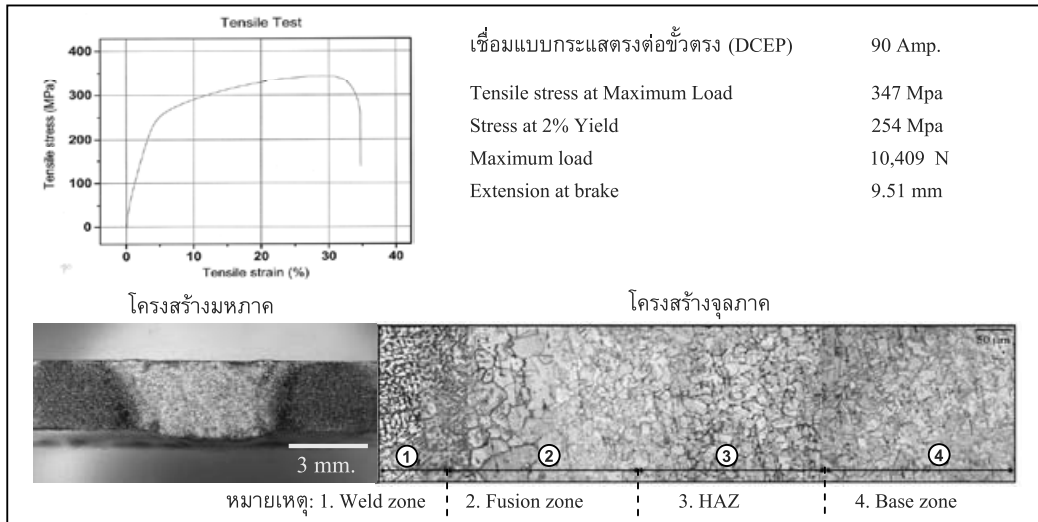


รูปที่ 5 ข้อมูลของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 60 Amp. แบบ DCEN

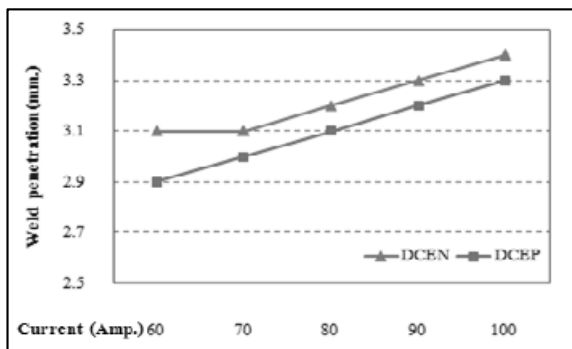
ที่มีแนวโน้มลดลง เมื่อปรับเพิ่มกระแสไฟเชื่อม ดังนั้น จึงไม่ควรใช้กระแสไฟเชื่อมเกิน 70 Amp.

อนึ่ง ผลทดสอบโดยรวมพบว่ากระแสไฟเชื่อม 60 Amp. แบบ DCEN แสดงค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุด ส่วนกระแส

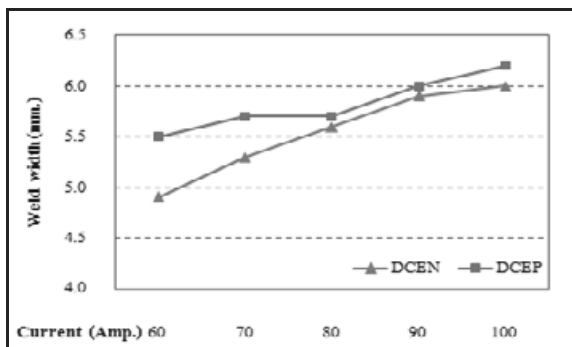
ไฟเชื่อม 90 Amp. แบบ DCEP แสดงค่าสมบัติเชิงกลต่ำที่สุด โดยแสดงข้อมูลการทดสอบและรูปถ่ายโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคไว้ในรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 6 ข้อมูลของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 90 Amp. แบบ DCEP



ก) ระยะการหลอมลึก



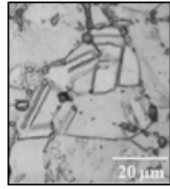
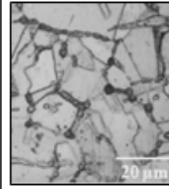
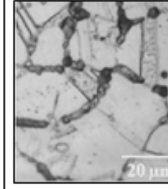
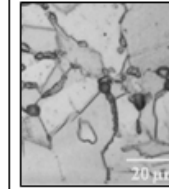
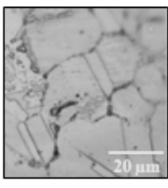
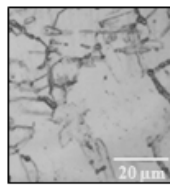
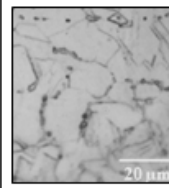
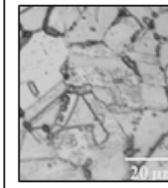
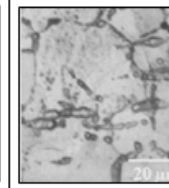
ข) ระยะความกว้างแนวเชื่อม

รูปที่ 7 ข้อมูลของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 201 ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้า DCEP และ DCEN

4.2 ผลการทดสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค

จากรูปที่ 7 แสดงค่าความหลอมลึกและความกว้างของแนวเชื่อม ซึ่งสามารถอธิบายความแตกต่างของการใช้กระแสไฟเชื่อมแบบกระแสตรงต่อขั้วตรง และแบบกระแสตรงต่อกลับขั้ว โดยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของกระแสไฟเชื่อม ชิ้นงานที่ทำการเชื่อมด้วยกระแส กระแสตรงต่อขั้วตรงจะมีการหลอมลึกเพิ่มมากขึ้น (สูงสุด 3.4 มม) แต่แนวเชื่อมกว้างไม่เกิน 6 มม เนื่องจากทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนซึ่งไหลจากแท่งทั้งสแตนเลสเข้าสู่ชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเกิดความร้อนสูง (ประมาณ 70%) ดังนั้นความหนาของแนวเชื่อมจะมีค่ามากกว่าที่กระแสไฟเชื่อมต่ำๆ และลดต่ำลงเมื่อเพิ่มกระแสไฟเชื่อม

ส่วนกระแสไฟเชื่อม DCEP นั้นมีการไหลของอิเล็กตรอนจากแผ่นชิ้นงานไปหาแท่งทั้งสแตนเลสทำให้บริเวณชิ้นงานเกิดความร้อนต่ำ (ประมาณ 30%) เมื่อใช้กระแสไฟเชื่อมต่ำจึงเกิดการหลอมลึกได้ยาก แต่เมื่อเพิ่มกระแสไฟสูงขึ้น แนวเชื่อมที่ได้มีลักษณะแผ่กว้างออกไปมากกว่าการหลอมลึกและความหนาของแนวเชื่อมก็ลดลง

Weld current	60 Amp.	70 Amp.	80 Amp.	90 Amp.	100 Amp.
DCEN (50x)					
Grain size	12.4	12.7	12.5	13.5	12.5
DCEP (50x)					
Grain size	11.4	11.3	11.7	11.5	11.4

รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบความร้อน (Heat Affected Zone) ของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ DCEP และ DCEN

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมด้วยกระแสไฟ DCEN ส่งผลต่อขนาดเม็ดเกรนเพราะความร้อนที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานสูงกว่า (DCEN: 70%, DCEP: 30%) ทำให้ชิ้นงานมีเวลาในการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของเม็ดเกรน โดยชิ้นงานจะมีขนาดเกรนเล็กกว่าการเชื่อมด้วยกระแสไฟ DCEP ซึ่งขนาดเกรนที่เปลี่ยนไปจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของชิ้นงานเชื่อม ตัวอย่างเช่น ชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 90 Amp. แบบ DCEN มีค่า Grain Size สูง (ขนาดเกรนเล็ก) จึงมีค่าสมบัติเชิงกลดีกว่าชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อม 80 และ 100 Amp. ซึ่งมีค่า Grain Size ต่ำกว่า (ขนาดเกรนใหญ่กว่า) แต่การเชื่อมด้วยกระแสไฟสูง จะทำให้แนวเชื่อมมีโครเมียมคาร์ไบด์เกิดมากขึ้นและมีสมบัติเชิงกลของชิ้นงานเชื่อมลดลง (หัวข้อ 4.1) ดังนั้น ชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมต่ำๆ (60 และ 70 Amp.) จึงมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น โดยการเชื่อมด้วยกระแสไฟเชื่อมแบบ DCEN ที่กระแสไฟสูงกว่า 70 Amp. สามารถทำให้ชิ้นงานมีโครเมียมคาร์ไบด์เกิดขึ้นมากกว่าการใช้กระแสไฟเชื่อมแบบ DCEP ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ DCEP และ DCEN

5. อภิปรายผลและสรุป

จากผลการทดลองพบว่าที่กระแสไฟเชื่อมต่างๆ ในกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคัลลุ่มซึ่งมีการเชื่อมแบบต่อหัวกระแสไฟตรงหัวตรงและต่อหัวกระแสไฟตรงกลับหัวนั้นเมื่อเทียบกับต่อสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นที่ทั้งสแตนเลสสปีคัลลุ่มจากการต่อหัวกระแสไฟตรงกลับหัวมีค่าประมาณ 70% ของความร้อนทั้งหมด ส่งผลให้รอยเชื่อมมีขนาดใหญ่และเพิ่มโอกาสการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ให้มากขึ้นในบริเวณที่ได้รับผลกระทบความร้อน เพราะในแนวเชื่อมนี้มีความร้อนสะสมในช่วงอุณหภูมิวิกฤต (Sensitizing Temperature) มากกว่าการต่อหัวกระแสไฟตรงหัวตรงซึ่งมีความร้อนเกิดขึ้นที่ทั้งสแตนเลสสปีคัลลุ่มเพียง 30% ซึ่งการต่อหัวกระแสไฟตรงหัวตรงสามารถใช้ช่วงกระแสไฟเชื่อมได้หลายช่วง รวมทั้งอายุการใช้งานของแท่งทั้งสแตนเลสสปีคัลลุ่มก็ยาวนานกว่าการต่อหัวกระแสไฟตรงกลับหัว

จากผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่าการใช้กระแสไฟเชื่อม 60 Amp. แบบต่อหัวกระแสไฟตรงหัวตรง ถือว่า

เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 201 เนื่องจากบริเวณแนวเชื่อมมีขนาดเกรนเล็กจึงสามารถรับแรงได้ดี และมีค่าความเค้นแรงดึงสูงที่สุดก่อนที่วัสดุจะฉีกขาด อีกทั้งยังมีโครเมียมคาร์ไบด์เกิดขึ้นน้อยตามขอบเกรนในบริเวณแนวเชื่อม ซึ่งเป็นผลดีต่อการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ที่ทำหน้าที่ป้องกันการกัดกร่อนที่ผิวหน้าของเหล็กกล้าไร้สนิม

แต่การเชื่อมแบบต่อชั่วคราวกระแสไฟตรงกลับขั้ว ที่ใช้กระแสไฟเชื่อมตั้งแต่ 80 Amp. ขึ้นไป บริเวณแนวเชื่อมจะมีขนาดเกรนใหญ่และมีโครเมียมคาร์ไบด์เกิดขึ้นมากตามขอบเกรน ทำให้ชิ้นงานเชื่อมมีความแข็งแรงและเปราะเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเค้นแรงดึงลดลงจึงรับแรงได้ไม่ดี และมีโอกาสที่จะเกิดการกัดกร่อนตามบริเวณขอบเกรนเมื่อนำไปใช้งานได้อีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายเอกพจน์ ทองโคตร นายนิพัทธ์ ก้อนทอง และ นายวรการ สินธุ์ไพฑูรย์ นักศึกษาภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมงานเชื่อมวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่เสียสละเวลามาช่วยทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] KENDO ELECTRIC 2010, TIP&NEWS. *The Advantages of Stainless Steel Appliances*. [Online]. Available: <http://www.kando.co.th/tips.php>
- [2] JR. David, ASM Specialty Handbook Stainless Steel, ASM International Materials Park, Ohio USA. 1999,
- [3] W. Kochchain, T. Ponrprapa, and A. Makmee, "Influence of Tungsten Angle Affecting the Precipitation of Chromium Carbide in Welding Stainless Steel AISI 304L," Welding Technology Department of Welding Engineering Technology, College of Industrial Technology, KMUTNB., 2010 (in Thai).
- [4] *Technical specifications for TIG welding*, USA.: CK WORLDWIDE, 2000.
- [5] S. Tenghongjaroen, *Welding process*, Bangkok, The center of academic support, 2003.
- [6] ASTM A370-01, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. 2001.
- [7] S. Kou, *Welding Metallurgy*, New York: John Wiley and Sons, 2002, pp. 97-117.
- [8] S. Nivitchanyong, *Corrosion and Material Selection*, KMITNB., Bangkok, 2002 (in Thai).
- [9] K. Wannato, *Tungsten Arc Welding with TIG Process*, The Bureau of Supporting Industries Development, 2000 (in Thai).
- [10] American Welding Society, ANSI/AWS A5.22-80 Specification stainless steel electrodes for Gas Tungsten Arc Welding, 1994.
- [11] ASTM E1382-97, Standard Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis, 2010.