



ผลกระทบของกรรมวิธีการเชื่อมทิกประสิทธิภาพสูงโดยใช้แก๊สแอคทีฟ เป็นแก๊สปกคลุมต่อรูปร่างของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304

Effect of High Efficiency TIG Welding Process Using Active Gas on 304 Stainless Steel Weld Geometries

ประกาศ เมืองจันทบุรี¹, มุฮามัด เต๊ะยอ², จรรย์ ธรรมใจ³

Prapas Muangjumburee¹, Muhamad Tehyo², Jaran Tamjai³

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของแนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมทิกประสิทธิภาพสูงโดยใช้แก๊สแอคทีฟเป็นแก๊สปกคลุมเพื่อเชื่อมรอยต่อชนหาราบเหล็กกล้าไร้สนิมออสติติก เกรด 304 โดยทำการออกแบบชุดหัวเชื่อมระบบน้อตเชิลสองชั้น และศึกษาผลการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแบบไม่เติมเนื้อเชื่อม (Autogeneous) โดยมีตัวแปรที่ศึกษาคือ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมชั้นในซึ่งเป็นแก๊สอาร์กอน และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมชั้นนอกซึ่งเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมชั้นในต่อแก๊สปกคลุมชั้นนอก (Ar/CO₂) ในปริมาณที่แตกต่างกัน ได้แก่ 3/9, 4/8, 5/7 ลิตรต่อนาที เปรียบเทียบกับการเชื่อมทิกแบบธรรมดา (Conventional) ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุม 12 ลิตรต่อนาที โดยมีตัวแปรคงที่คือ กระแสเชื่อม DCEN 150 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะอาร์ค 3 มิลลิเมตร หลังจากทดลองเชื่อมนำแนวเชื่อมที่ได้มาวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค ได้แก่ สัดส่วนการหลอมละลายลึก (D/W) และโครงสร้างจุลภาค จากการทดลองพบว่าการเชื่อมระบบแก๊สปกคลุมสองชั้น เมื่อใช้อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมน้อยสุด และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมชั้นนอกสูงสุด (Ar/CO₂ = 3/9 ลิตรต่อนาที) ให้ค่าสัดส่วนการหลอมละลายลึกเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.31 เมื่อเทียบกับทุกสภาวะการเชื่อม สำหรับโครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อมมีลักษณะเป็นแบบ skeletal δ-ferrite dendritic

คำสำคัญ: กรรมวิธีการเชื่อมทิก แอคทีฟแก๊ส แก๊สปกคลุมสองชั้น

Abstract

This research aims to investigate effect of welding formation obtained from the high efficiency Tungsten Inert Gas (TIG) welding of 304 stainless steel joints by using double shielding gases. The variable factors include with flow rate of inner shielding Ar gas to outer shielding CO₂ gas (Ar/CO₂ = 3/9, 4/8 and 5/7 l/min) and flow rate of shielding Ar gas (12 l/min), and the fixed factors consist of welding current (DCEN 150 A), welding speed (100 mm/min) and arc length (3 mm). After welding, welding formation was analyzed the macrostructure in penetration of depth per width (D/W) and microstructure. From experiment, it was found that the maximum flow rate of outer shielding CO₂ gas (Ar/CO₂ = 3/9 l/min) gave penetration of depth per width (0.31), when compared with the other conditions. Likewise, the welding microstructure contains skeletal δ-ferrite dendritic structure.

Keywords: Tungsten Inert Gas (TIG), Active Gas, Double Shielding Gas

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

¹ Department of Mining and Material Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

² สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

² Program in Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

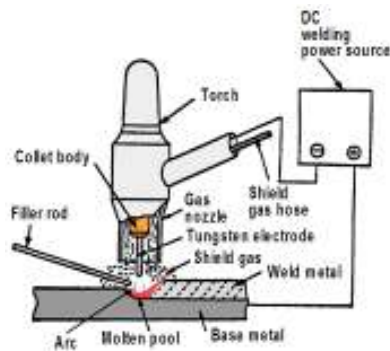
³ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

³ Department of Industrial Education, Faculty of Industrial Education and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya



บทนำ

ปัจจุบันกรรมวิธีการเชื่อมทิกหรืออเมริกันเรียกว่าการเชื่อมแบบ GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) (Leonard, 1991) เป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่ให้คุณภาพของแนวเชื่อมสูงและสะอาด จึงมักนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรประเภทอาหาร เครื่องดื่ม อากาศยาน ปีโตรเคมี น้ำมัน ซ่อมแซมชิ้นส่วนแก๊สเทอร์ไบน์และแม่พิมพ์ เป็นต้น กรรมวิธีการเชื่อมทิกเป็นกรรมวิธีการเชื่อมโลหะ โดยที่ชิ้นงานหลอมละลายด้วยความร้อนที่เกิดจากการอาร์คระหว่างปลายแท่งอิเล็กโทรดทังสเตน (Tungsten Electrode) กับชิ้นงานและในขณะที่อาร์คก็จะมีแก๊สเฉื่อยมาปกคลุมเปลวอาร์คและบ่อหลอมละลาย เพื่อป้องกันบรรยากาศจากภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม (รูปที่ 1 แสดงหลักการเชื่อมทิก) โดยที่แท่งอิเล็กโทรดทังสเตนไม่หลอมละลายซึ่งอาจจะมีการใช้ลวดเชื่อมหรือไม่ใช้ลวดเชื่อมก็ได้และความร้อนที่ได้จากการอาร์คสูงมาก แก๊สปกคลุมที่ใช้ในกรรมวิธีการเชื่อมทิกปัจจุบันจะใช้แก๊สเฉื่อย (Inert Gas) เช่น แก๊สอาร์กอน แก๊สฮีเลียม เป็นต้น แต่ในอุตสาหกรรมการเชื่อมส่วนใหญ่มักจะนิยมใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สปกคลุม เนื่องจากให้คุณภาพของแนวเชื่อมที่ดี นอกจากนี้แก๊สอาร์กอนยังสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาปานกลาง

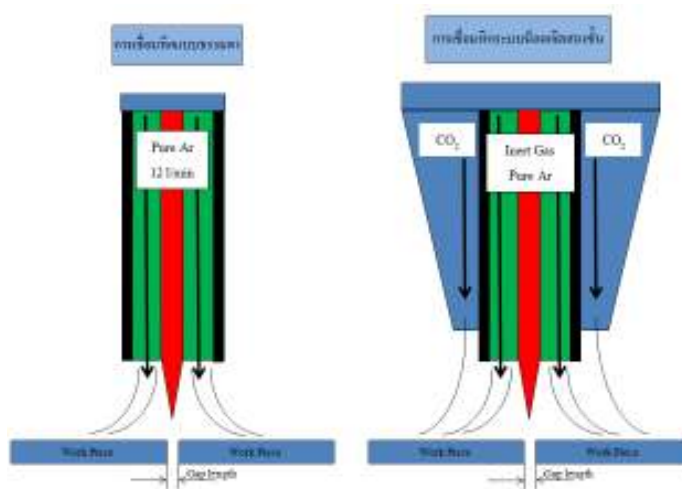


ภาพที่ 1 หลักการเชื่อมทิกแบบธรรมดา

ที่มา: Leonard (1991)

อย่างไรก็ตามข้อดีของการเชื่อมทิกที่ใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สปกคลุมก็คือ เชื่อมได้ช้าและการหลอมละลายลึกต่ำ (Low Penetration) โดยมีอัตราส่วนความลึกของแนวเชื่อมต่อความกว้างของแนวเชื่อม (D/W) ประมาณ 0.2 (Shanping, Hidetoshi, & Kiyoshi, 2009, Venkatesan, George, Sowmyarsi & Muthupandi, 2014) ปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นมาเป็นเวลานานแล้วและได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาแก้ไข (Yangchuan, Zhen, Zunyue & Yida, 2016, Jun, Ming & Xiaoyan, 2010) และอาจจะแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนแก๊สคลุม (Dongjie, Shanping, Dianzhong & Yiyi, 2014) เช่น จากแก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สฮีเลียม ซึ่งแก๊สฮีเลียมจะทำให้ค่าความร้อนของเปลวอาร์คสูงกว่าแก๊สอาร์กอน แต่แก๊สฮีเลียมมีราคาสูงมากเมื่อเทียบกับราคาของแก๊สอาร์กอน โดยหน้าที่หลักของแก๊สปกคลุมในการเชื่อมทิกจะมีหน้าที่อยู่ 2 อย่าง อย่างแรกคือ ทำให้วิธีการเชื่อมทิกสมบูรณ์ โดยทำให้เกิดการอาร์คและรักษาสภาพของแท่งทังสเตนไว้ไม่ให้เสียหาย อย่างที่สองคือทำหน้าที่ปกคลุมแนวเชื่อมหรือบ่อหลอมละลายไม่ให้อากาศจากภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยาในระหว่างการเชื่อมซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของงานเชื่อมต่ำได้ ในอดีตมีการพัฒนาการเชื่อมทิกแบบธรรมดาซึ่งมีนอตเชิลชิ้นเดียว (Single Nozzle) โดยการใช้แก๊สคลุมเป็นแก๊สผสมระหว่างแก๊สฮีเลียมกับแก๊สออกซิเจน ($\text{He}+\text{O}_2$) แก๊สผสมระหว่างแก๊สฮีเลียมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{He}+\text{CO}_2$) และแก๊สผสมระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{Ar}+\text{CO}_2$) เพื่อเพิ่มการหลอมละลายลึกและความเร็วในการเดินเชื่อม (Hidetoshi, Toyoyuki, Shanping & Kiyoshi, 2007) อย่างไรก็ตามการใช้แก๊สผสมในนอตเชิลชิ้นเดียวก็เป็นสาเหตุของการสิ้นเปลืองหรือลดอายุการใช้งานของแท่งอิเล็กโทรดทังสเตนได้อีกเช่นกัน เนื่องจากแท่งอิเล็กโทรดทังสเตนเกิดการออกซิไดซ์ (Oxidized)

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถูกนำมาผสมในกรรมวิธีการเชื่อมโลหะอาร์คคูลุ่ม (Gas Metal Arc Welding หรือ GMAW) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการเชื่อมแก๊ส (Metal Active Gas หรือ MAG) เพื่อเพิ่มความเร็วในการเดินเชื่อมและการหลอมละลายลึกลง (ประกาศ เมืองจันทบุรี, 2549) ในการเชื่อมเหล็กกล้ากรรมวิธีการเชื่อมทีกระบบแก๊สปกคลุมสองชั้นจะใช้หลักการทำงานจากกรรมวิธีการเชื่อมที่ซึ่งเดิมส่วนใหญ่มักจะใช้แก๊สเฉื่อย เช่น แก๊สอาร์กอนและแก๊สฮีเลียม เป็นแก๊สปกคลุมและใช้เป็นแก๊สช่วยในการเกิดพลาสมา (Plasma) ให้ไอออนแตกตัวเป็นความร้อนช่วยในการหลอมละลายวัสดุงานเชื่อม โดยปกติแก๊สแอคทีฟจะไม่สามารถนำมาใช้ในการเชื่อมที่ทำได้ เนื่องจากแก๊สแอคทีฟจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแท่งอิเล็กโทรดทั้งสแตนเลสทำให้เกิดการออกซิไดส์ของแท่งทั้งสแตนเลสและทำให้สูญเสียปลายอิเล็กโทรดทั้งสแตนเลสไปด้วย แต่แก๊สแอคทีฟที่สามารถที่จะช่วยให้การเกิดพลาสมาที่สูงกว่าแก๊สอาร์กอน จึงมีความต้องการที่จะนำแก๊สแอคทีฟมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหลอมละลายและการหลอมละลายลึกลง จึงได้มีการออกแบบระบบโดยใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สปกคลุมชั้นในและใช้แก๊สแอคทีฟเป็นแก๊สปกคลุมชั้นนอก เพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมดังแสดงในภาพที่ 2 การเชื่อมทีแบบใช้แก๊สคูลุ่มสองชั้น แก๊สปกคลุมชั้นในจะทำให้เกิดพลาสมาอาร์ค และทำให้ปฏิกิริยาของการเชื่อมทีสมบูรณ์ ในขณะที่เดียวกันช่วยป้องกันความร้อนที่เกิดกับอิเล็กโทรดทั้งสแตนเลสไปด้วย ส่วนแก๊สคูลุ่มชั้นนอกจะทำหน้าที่คลุมแนวเชื่อมโดยเฉพาะบริเวณกว้าง นอกจากนี้ยังช่วยให้เกิดการอาร์คที่แรงขึ้น แก๊สคูลุ่มชั้นในและแก๊สคูลุ่มชั้นนอกส่วนมากจะเป็นแก๊สชนิดเดียวกัน การใช้แก๊สคูลุ่มสองชั้นยังสามารถช่วยลดกระแสในการเชื่อมได้ถึงร้อยละ 30-40 เมื่อเทียบกับการเชื่อมทีแบบธรรมดา (John, 2006)



ภาพที่ 2 (a) หลักการเชื่อมทีแบบธรรมดา (b) แสดงหลักการเชื่อมทีแบบแก๊สสองชั้น

จากข้อมูลและเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ โดยจะทำการออกแบบสร้างและศึกษาการเชื่อมทีในสภาพที่ใช้ระบบหัวนอตเซลสองชั้น โดยชั้นในนี้จะใช้แก๊สเฉื่อยคือ แก๊สอาร์กอนเหมือนเดิมแต่จะใช้อัตราการไหลของแก๊สที่ปริมาณต่ำลง ส่วนนอตเซลชั้นนอกจะมีการใช้แก๊สแอคทีฟ (Active Gas) คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพื่อทำหน้าที่เป็นแก๊สปกคลุม และนอกจากนี้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก็ช่วยเพิ่มค่าความร้อนของการอาร์คได้อีกด้วย ดังนั้นน่าจะเพิ่มการหลอมละลายลึกลงและความเร็วในการเดินเชื่อมได้ ในขณะเดียวกันก็จะส่งผลถึงอายุการใช้งานของแท่งอิเล็กโทรดทั้งสแตนเลสด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบของแนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมทีประสิทธิภาพสูงโดยใช้แก๊สแอคทีฟเป็นแก๊สปกคลุม สองชั้น (Double Nozzle) ที่มีผลต่อรูปร่างของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304



ระเบียบวิธีวิจัย

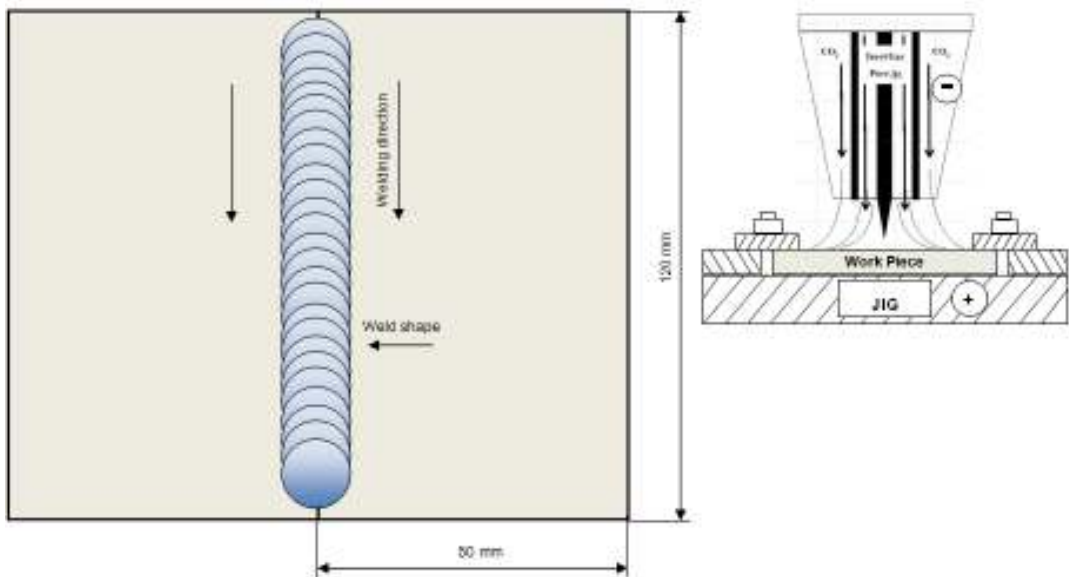
1. วัสดุและตัวแปรในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก เกรด 304 แบบแผ่น มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 ทำการเชื่อมต่อนหาราบ (Butt Joint) โดยชิ้นงานมีขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาว 120 มิลลิเมตร และความหนา 6 มิลลิเมตร และตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมแต่ละสภาวะดังแสดงในตารางที่ 2 และจะนำมาเปรียบเทียบกับ การเชื่อมทิกแบบธรรมดาที่มีอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน 12 ลิตรต่อนาที และการเชื่อมทิกแบบแก๊สปกคลุมสองชั้นจะใช้อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมชั้นในและชั้นนอกรวมกันได้ 12 ลิตรต่อนาที โดยจะใช้แก๊สอาร์กอนที่เป็นแก๊สปกคลุมชั้นใน ในอัตราที่น้อยกว่าแก๊สปกคลุมชั้นนอก

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก เกรด 304 (Shigeaki, 2006)

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Others
0.08	2.0	1.0	19.00	9.25	0.05	0.03	-

ในการทดลองจะใช้หัวเชื่อมทิกที่มีระบบแก๊สปกคลุมสองชั้นคือ ชั้นในเป็นน็อตเซิลเซรามิกแบบเดิมและชั้นนอกจะเป็นน็อตเซิลที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นใหม่ โดยนำมาประกอบเข้ากับหัวเชื่อมทิก แล้วติดตั้งกับเครื่องเดินเชื่อมแบบอัตโนมัติ ซึ่งชิ้นงานจะถูกจับยึดไว้บนแผ่นรองเชื่อม (Jig) ดังแสดงในภาพที่ 3



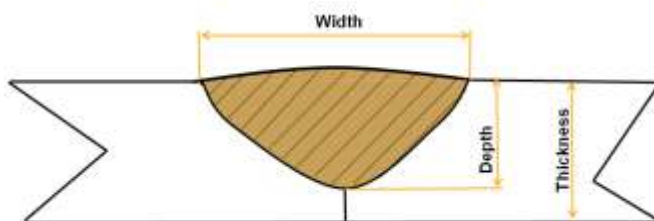
ภาพที่ 3 หลักการจับชิ้นงานและการทดลองเชื่อม

ตารางที่ 2 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

Welding parameter	Value	Unit
Electrode type	W-2%ThO ₂	-
Diameter of electrode	2.4	มิลลิเมตร (mm)
Inner nozzle shielding gas	Ar	-
Inner nozzle gas flow	3, 4, 5	ลิตรต่อนาที (l/min)
Outer nozzle shielding gas	CO ₂	-
Outer nozzle gas flow	9, 8, 7	ลิตรต่อนาที (l/min)
Electrode extension	3	มิลลิเมตร (mm)
Arc length	3	มิลลิเมตร (mm)
Welding current (Polarity)	DCEN, 150	แอมแปร์ (A)
Welding speed	100	มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min)

2. โครงสร้างทางโลหะวิทยา

หลังจากเชื่อมชิ้นงานทดสอบเรียบร้อยแล้ว ชิ้นทดสอบจะถูกตัดตั้งฉากกับแนวเชื่อม จากนั้นนำไปขัดด้วยกระดาษทรายและผ้าสักหลาด นำผิวหน้าของชิ้นงานไปกัดกรด (Etching) ด้วยสารละลายเจือจางของ HCl 50 มิลลิลิตร กับ CuSO₄ 25 มิลลิลิตร ในน้ำ 25 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 1 วินาที และนำไปทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายช่วง 5-10 เท่า เพื่อดูลักษณะโครงสร้างทางมหภาคและลักษณะการหลอมละลายลึก รวมถึงรูปร่างของแนวเชื่อม และใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) เพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของกรรมวิธีการเชื่อมทิกแบบนอตเชิลสองชั้นเปรียบเทียบกับกรรมวิธีการเชื่อมทิกแบบธรรมดา ดังแสดงในภาพที่ 4

**ภาพที่ 4** ลัดส่วนการหลอมละลายลึกของแนวเชื่อม (Depth/Width)**ผลการวิจัย**

จากการทดลองเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมทิกด้วยระบบนอตเชิลสองชั้นเปรียบเทียบกับ การเชื่อมพลาสมา ซึ่งรูปร่างของเปลวอาร์ค อิเล็กโทรดทั้งสแตน และคุณลักษณะแนวเชื่อมที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปรที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไขของการเชื่อม ซึ่งค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองสามารถแสดงเป็นข้อๆ ดังนี้

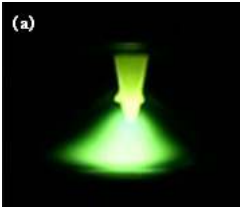
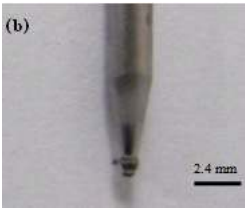
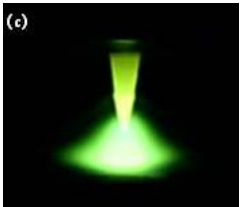
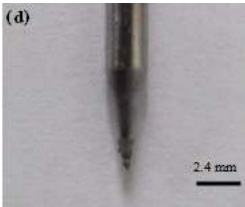
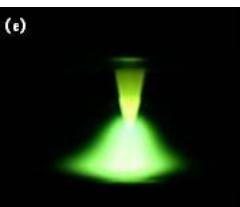
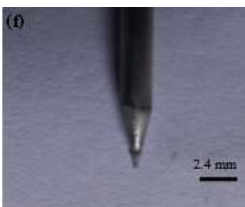
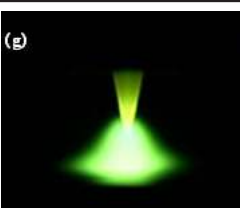
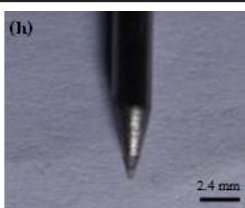
1. ลำแสงเปลวอาร์คและผลกระทบต่ออิเล็กโทรดทั้งสแตน

ผลจากการเชื่อมทิกแบบธรรมดาและระบบนอตเชิลสองชั้น แสดงให้เห็นรูปร่างลักษณะของลำแสงเปลวอาร์ค และปฏิกิริยาต่ออิเล็กโทรดทั้งสแตนในลักษณะต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 5 ลักษณะของลำแสงเปลวอาร์คที่อัตราการไหล











ของแก๊สปกคลุมชั้นในและชั้นนอกแตกต่างกันเล็กน้อย โดยเฉพาะที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 3 และ 4 ลิตรต่อนาทีนั้น จะพบว่ามี การเกิดปฏิกิริยาออกซิไดส์ที่ปลายของอิเล็กโทรดทั้งสแตนเลสซึ่งจะมีผลทำให้ลำแสงของเปลวอาร์คมีความกว้างเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับการเชื่อมทิกแบบธรรมดาที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 12 ลิตรต่อนาที

ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิไดส์ที่ปลายอิเล็กโทรดทั้งสแตนเลสนั้นมีผลมาจากอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมชั้นในที่มีปริมาณน้อย จึงส่งผลให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นแก๊สปกคลุมชั้นนอกที่มีอัตราการไหลมากกว่านั้นเข้าไปทำปฏิกิริยากับอิเล็กโทรดทั้งสแตนเลสจนเกิดเป็นทั้งสแตนไดออกไซด์แล้วลึกรหรือไป (Manabu, Shinichi, Masao, Tsuneo, Anthony & John, 2006) ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพในการเชื่อมลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตามผลที่เกิดจากการนำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้เป็นแก๊สปกคลุมชั้นนอก ยังจะให้ค่าความร้อนที่สูงและสามารถทำให้การหลอมละลายของชิ้นงานเชื่อมให้ติดกันอย่างรวดเร็วกว่าการเชื่อมทิกแบบธรรมดา และไม่มี การกระเด็นของเม็ดโลหะ (Spatter) หลังการเชื่อม จึงไม่ต้องทำความสะอาดผิวงานหลังการเชื่อม ซึ่งผลที่ได้ดังกล่าวมาจากการสังเกตพฤติกรรมกรหลอมละลายขณะทำการทดลองเชื่อม และแสดงผลจากการสังเกตรูปร่างของแนวเชื่อมและการหลอมละลายลึกลงแสดงไว้ในภาพที่ 5 ซึ่งจะรายงานในหัวข้อถัดไป

Shielding Gas	Plasma Arcs	Tungsten Electrode
Inner Ar 3 ลิตรต่อนาที Outer CO ₂ 9 ลิตรต่อนาที		
Inner Ar 4 ลิตรต่อนาที Outer CO ₂ 8 ลิตรต่อนาที		
Inner Ar 5 ลิตรต่อนาที Outer CO ₂ 7 ลิตรต่อนาที		
Inner Ar 12 ลิตรต่อนาที (Conventional)		

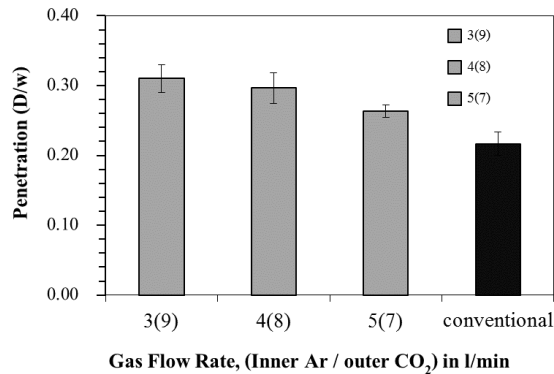
ภาพที่ 5 ลักษณะลำแสงเปลวอาร์คและทั้งสแตนไดออกไซด์อิเล็กโทรดหลังเชื่อม

Shielding Gas	Weld Shape	Weld Penetration
Inner Ar 3 ลิตรต่อนาที Outer CO ₂ 9 ลิตรต่อนาที		
Inner Ar 4 ลิตรต่อนาที Outer CO ₂ 8 ลิตรต่อนาที		
Inner Ar 5 ลิตรต่อนาที Outer CO ₂ 7 ลิตรต่อนาที		
Inner Ar 12 ลิตรต่อนาที (Conventional)		

ภาพที่ 6 โครงสร้างทางมหภาคและผิวแนวเชื่อม

2. รูปร่างของแนวเชื่อมและการหลอมละลายลึก

จากภาพที่ 6 แสดงผลจากการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสติติก เกรด 304 โดยการตัดชิ้นงานทดสอบในทิศทางตั้งฉากกับแนวเชื่อม และให้แนวเชื่อมอยู่ตรงกลางชิ้นทดสอบ ทำการตัดตามแนวขวางรอยเชื่อม เพื่อตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่บริเวณตรงกลางแนวเชื่อม บริเวณเขตที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 6(a-h) โดยใช้ตัวแปรคงที่คือ กระแสเชื่อม DCEN 150 แอมแปร์ ระยะอาร์ค 3 มิลลิเมตร ความเร็วเดินเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที และตัวแปรเปลี่ยนเป็นอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม ผลการทดลองเชื่อมแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมส่วนใหญ่จะผันแปรไปตามตัวแปรเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งสังเกตเห็นขอบเขตรูปร่างของแนวเชื่อมได้อย่างชัดเจน โดยการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมส่งผลให้รูปร่างของแนวเชื่อมเปลี่ยนไป การใช้อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นในที่น้อย (3 ลิตรต่อนาที) และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมชั้นนอกที่สูง (CO₂ 9 ลิตรต่อนาที) จะให้ค่าการหลอมละลายลึกโดยเฉลี่ยสูงกว่าทุกตัวแปรการทดลองเท่ากับ 3.21 มิลลิเมตร และมีความกว้างแนวเชื่อมโดยเฉลี่ยที่แคบลงเท่ากับ 10.21 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 6(a และ e) เมื่อเทียบกับการเชื่อมทิกแบบธรรมดาที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุม 12 ลิตรต่อนาที (ภาพที่ 6(d และ h)) ซึ่งรูปร่างของแนวเชื่อมจะมีลักษณะที่กว้างและตื้นกว่า โดยมีขนาดความลึกของแนวเชื่อมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.29 มิลลิเมตร และมีความกว้างของแนวเชื่อมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10.44 มิลลิเมตร สำหรับการทดลองที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 4 ลิตรต่อนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 8 ลิตรต่อนาที มีความลึกโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.10 มิลลิเมตร ความกว้างของแนวเชื่อมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10.33 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 6(b และ f) และที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 5 ลิตรต่อนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 7 ลิตรต่อนาที มีการหลอมละลายลึกและความกว้างของแนวเชื่อมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.8 และ 10.43 มิลลิเมตร ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 6(c และ g) โดยที่สัดส่วนการหลอมละลายลึกต่อความกว้างของแนวเชื่อมในแต่ละตัวแปรเชื่อมจะแสดงไว้ในภาพที่ 7

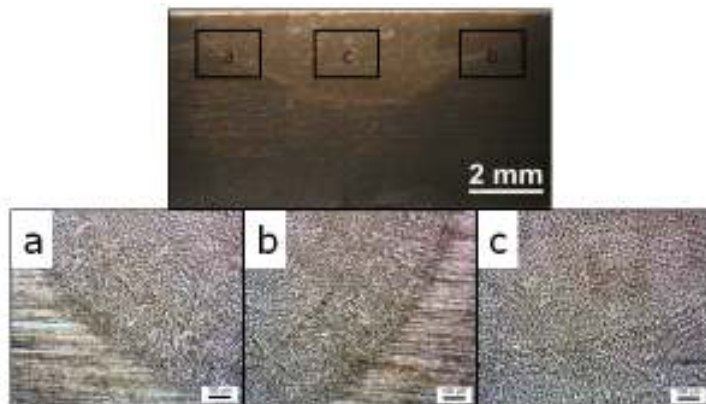


ภาพที่ 7 สัดส่วนการหลอมละลายลึกต่อความกว้างของแนวเชื่อม

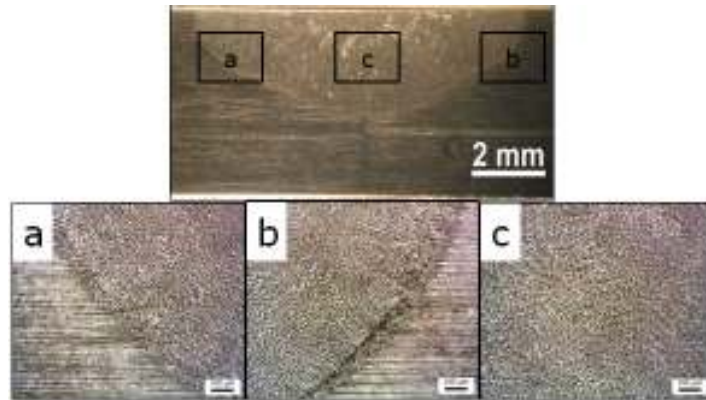
ดังนั้นจากการทดลองเชื่อมได้แสดงให้เห็นว่าการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สปกคลุมชั้นนอก สามารถช่วยให้การหลอมละลายลึกมีความสมบูรณ์มากขึ้น (Manabu, Hidetoshi & Kiyoshi, 2006) และยังสามารถที่จะลดปริมาณการไหลของแก๊สอาร์กอนซึ่งเป็นแก๊สปกคลุมชั้นในที่มีราคาสูงกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สปกคลุมชั้นนอก อีกทั้งหากต้องการที่จะให้การหลอมละลายลึกมีความใกล้เคียงกับการเชื่อมทิกแบบธรรมดายังสามารถที่จะลดกระแสเชื่อมลง และหากไม่ลดกระแสเชื่อมก็ยังสามารถที่จะเพิ่มความเร็วเดินเชื่อมได้อีกทางหนึ่งด้วย ดังนั้นในกรรมวิธีการเชื่อมทิกนี้จะช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานรวมทั้งประหยัดทั้งต้นทุนและเวลาในการทำงานด้วย

3. โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม

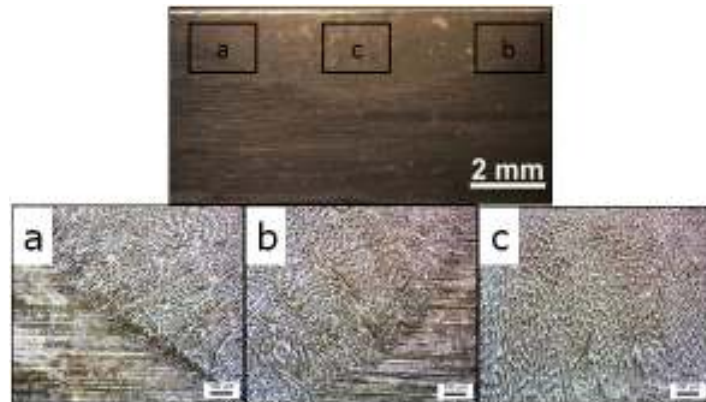
จากการทดลองพบว่าโครงสร้างจุลภาคบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone หรือ HAZ) ของแต่ละตัวแปรเชื่อม โดยเฉพาะการทดลองเชื่อมที่มีระบบสองแก๊สปกคลุมนั้น มีบางเกรนมีทิศทางการเรียงตัวของเกรนไม่เป็นไปตามทิศทางการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากการทดลองที่มีระบบสองแก๊สปกคลุมจะได้รับความร้อนที่สูงดังแสดงในภาพที่ 8-10 จึงทำให้การเรียงตัวของเกรนบางเกรนไม่เป็นไปตามทิศทางการถ่ายเทความร้อน (Tabish, Abbas, Farhan, Atiq & Butt, 2014) ส่วนที่ตัวแปรเชื่อมจากการเชื่อมทิกแบบธรรมดา (Ar 12 ลิตรต่อนาที) (ภาพที่ 11) พบว่าทิศทางการเรียงตัวของเกรนจะมีทิศทางเดียวกับการถ่ายเทความร้อน สำหรับโครงสร้างเกรนบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในแต่ละตัวแปรเชื่อมทั้งหมดจะมีโครงสร้างเป็นแบบ skeletal δ -ferrite dendritic ส่วนโครงสร้างที่บริเวณเนื้อเชื่อม (Weld Metal) ในแต่ละตัวแปรเชื่อมมีโครงสร้างเป็น skeletal δ -ferrite dendritic เช่นกัน



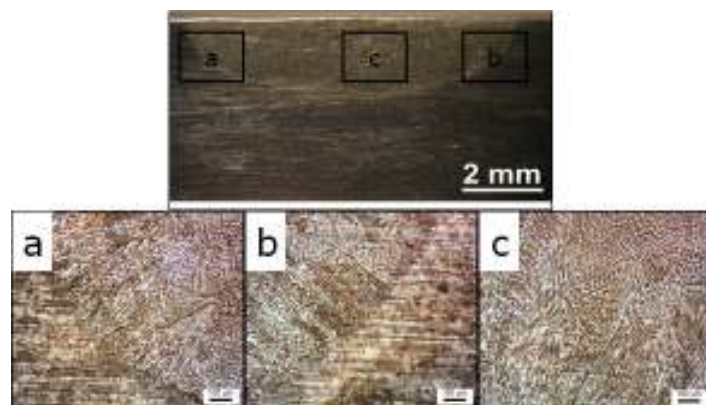
ภาพที่ 8 โครงสร้างทางจุลภาคของแนวเชื่อมจากการเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมชั้นใน Ar 3 ลิตรต่อนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก 9 ลิตรต่อนาที กำลังขยาย 50 เท่า



ภาพที่ 9 โครงสร้างทางจุลภาคของแนวเชื่อมจากการเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมชั้นใน Ar 4 ลิตรต่อนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก 8 ลิตรต่อนาที กำลังขยาย 50 เท่า



ภาพที่ 10 โครงสร้างทางจุลภาคของแนวเชื่อมจากการเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมชั้นใน Ar 5 ลิตรต่อนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก 7 ลิตรต่อนาที กำลังขยาย 50 เท่า



ภาพที่ 11 โครงสร้างทางจุลภาคของแนวเชื่อมจากการเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม Ar 12 ลิตรต่อนาที (Conventional) กำลังขยาย 50 เท่า



อภิปรายผล

จากการทดลองพบว่าการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สปกคลุมชั้นนอกในอัตราที่สูงนั้น (9 ลิตรต่อนาที) มีผลทำให้อิเล็กทรอนิกส์ทั้งสแตนด์เกิดการออกซิไดส์เล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งจะสังเกตได้ในภาพที่ 5(b) เป็นผลทำให้การส่งถ่ายความร้อนจากปลายของอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสแตนด์น้อยลง และจะส่งผลกระทบต่อการหลอมละลายลิกซ์ของชิ้นงานเชื่อม ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อมได้ สำหรับการทดลองเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 4 ลิตรต่อนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 8 ลิตรต่อนาที (ภาพที่ 5(c) และ 5(d)) และที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 5 ลิตรต่อนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 7 ลิตรต่อนาที (ภาพที่ 5(e) และ 5(f)) จะสังเกตเห็นว่ามี การออกซิไดส์ของอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสแตนด์น้อยกว่าการเชื่อมทิกที่มีอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 9 ลิตรต่อนาที อย่างชัดเจนซึ่งต่างจากรายงานของ Hidetoshi, Toyoyuki, Shanping และ Kiyoshi (Hidetoshi, Toyoyuki, Shanping & Kiyoshi, 2007) เล็กน้อยซึ่งกล่าวไว้ว่าการใช้หลอดเซิลสองชั้นในการเชื่อมทิกโดยใช้แก๊สแอคทีฟเป็นแก๊สปกคลุมชั้นนอกจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแท่งอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสแตนด์ จากการศึกษารายงานของนักวิจัย Suban และ Tusek (Suban & Tusek, 2001) พบว่าความหนาแน่นของแก๊สปกคลุมมีอิทธิพลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการปกคลุมในระหว่างการเชื่อมและป้องกันเนื้อหลอมจากอากาศภายนอก โดยค่าความหนาแน่นจะบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของแก๊สปกคลุมที่จะนำไปพิจารณาต่อสภาพอากาศในระหว่างการเชื่อมเป็นอันดับแรก ซึ่งแก๊สอาร์กอนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีความหนาแน่นที่สูงมาก ดังนั้นจึงมีประสิทธิภาพในการป้องกันอากาศจากภายนอกรอบๆ บริเวณอาร์ค นอกจากนี้กลุ่มนักวิจัย Shanping, Hidetoshi และ Kiyoshi (Shanping, Hidetoshi & Kiyoshi, 2009) และกลุ่มนักวิจัย Lu, Qin และ Dong (Lu, Qin & Dong, 2013) ยังมีการทดลองเชื่อมโดยใช้แก๊สคลุมสองชั้น ซึ่งใช้แก๊สคลุมชั้นในเป็นแก๊สเฉื่อยและแก๊สคลุมชั้นนอกเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สเฉื่อยผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จากการทดลองที่กระแสเชื่อมเดียวกัน (120-240 แอมแปร์) จะให้ค่าแรงดันเชื่อมเท่ากับ 19 โวลท์ ซึ่งมีค่ามากกว่าการเชื่อมทิกแบบธรรมดา โดยใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สปกคลุมชั้นเดียวซึ่งให้ค่าแรงดันเชื่อมเท่ากับ 12 โวลท์ ในขณะที่พบว่าเมื่อใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับแก๊สเฉื่อยในปริมาณสูงถึงร้อยละ 20 พบว่าไม่มีการลึกรของอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสแตนด์ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สปกคลุมชั้นนอกสามารถช่วยบีบเปลวอาร์คให้แคบลง จึงช่วยเพิ่มความเข้มข้นของความร้อนถึง 10 เท่า เมื่อเทียบกับการเชื่อมทิกแบบธรรมดา

ดังนั้นจากการทดลองเชื่อมทิกแบบใช้แก๊สคลุมสองชั้นจะแสดงให้เห็นว่าแก๊สคลุมชั้นในจะทำหน้าที่ป้องกัน และระบายความร้อนให้กับอิเล็กทรอนิกส์ และคลุมบริเวณเนื้อหลอมละลาย (เปลวอาร์ค) นอกจากนี้แก๊สคลุมชั้นในยังทำหน้าที่บีบเปลวอาร์คให้แคบลง ส่วนแก๊สคลุมชั้นนอกจะทำหน้าที่คลุมแนวเชื่อมโดยเฉพาะบริเวณกว้าง นักวิจัย John (John, 2006) ได้กล่าวด้วยว่าการใช้แก๊สคลุมสองชั้นยังสามารถช่วยลดกระแสในการเชื่อมได้ถึงร้อยละ 30-40 เมื่อเทียบกับการเชื่อมทิกแบบธรรมดาในการเชื่อมทิกเหล็กกล้าไร้สนิมออสติไนติก โดยใช้กรรมวิธีการเชื่อมทิกแบบแก๊สคลุมสองชั้น โดยชั้นในจะใช้แก๊สอาร์กอนแบบปกติ ส่วนชั้นนอกจะใช้แก๊ส Ar+1%CO₂ และ 100%CO₂ ผลการทดลองพบว่า ในกรณีของการใช้แก๊สปกคลุมชั้นนอกเป็น 100%CO₂ จะทำให้แนวเชื่อมมีการซึมลึกมากขึ้นและมีสัดส่วนของความลึกต่อความกว้างเท่ากับ 0.41 ซึ่งมีค่ามากกว่าในกรณี Ar+1%CO₂ นอกจากนี้ยังได้ทำการวิจัยการเชื่อมทิกแบบธรรมดา (นอตเซิลชั้นเดียว) โดยใช้แก๊สผสม เช่น Ar+O₂ หรือ Ar+CO₂ พบว่าจะทำให้อิเล็กทรอนิกส์ทั้งสแตนด์เกิดการออกซิไดส์ ส่งผลให้อายุการใช้งานของแท่งทั้งสแตนด์สั้นลง (Shanping, Hidetoshi & Kiyoshi, 2009) งานวิจัยจาก Tanaga, Tashiro, Kashima, Anthony และ John (Tanaga, Tashiro, Kashima, Anthony & John, 2006) และ Lu, Qin และ Dong (Lu, Qin & Dong, 2013) ก็สนับสนุนแนวคิดดังกล่าวด้วยเช่นกัน



จากการศึกษาขนาดความกว้างและความลึกของแนวเชื่อมโดยใช้อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 6) ส่งผลให้ค่าความกว้างและความลึกของแนวเชื่อมแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่ามีสาเหตุมาจากการใช้แก๊สปกคลุมชั้นในซึ่งเป็นแก๊สอาร์กอนโดยมีหน้าที่ในการทำให้เกิดลำแสงพลาสมาและปกป้องไม่ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สปกคลุมชั้นนอกเข้ามาทำปฏิกิริยากับแท่งอิเล็กโทรดทั้งสอง ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สปกคลุมชั้นนอกจะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความร้อนจากการอาร์ค (ช่วยเพิ่มความร้อนในการเชื่อม) และทำให้การเชื่อมที่มีความสมบูรณ์มากขึ้น คือช่วยปกคลุมอากาศจากภายนอกไม่ให้เข้าไปในบริเวณบ่อหลอมและช่วยเพิ่มความร้อนในการเชื่อมได้อีกด้วย ดังนั้นการทำงานร่วมกันของระบบบ่อเตลิ่งทั้งสองจึงมีผลทำให้ความลึกจากการเชื่อมมีการหลอมละลายที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shanping, Hidetoshi และ Kiyoshi (Shanping, Hidetoshi, & Kiyoshi, 2009) จากการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมพบว่าการใช้แก๊สปกคลุมชั้นนอกในอัตราส่วนร้อยละ 100 จะทำให้แนวเชื่อมมีการหลอมละลายลึกมากขึ้นและมีสัดส่วนความลึกต่อความกว้างเท่ากับ 0.41 ในทางกลับกันกลุ่มนักวิจัย John (John, 2006) ได้กล่าวถึงผลการวิจัยกรรมวิธีการเชื่อมทิกจากการผสมแก๊สออกซิเจนในแก๊สอาร์กอนว่า เมื่อผสมอัตราส่วนของแก๊สผสม Ar 0.1vol%O₂ รูปร่างของแนวเชื่อมจะมีลักษณะตื้นและกว้าง โดยมีความกว้างเท่ากับ 8.84 มิลลิเมตร สำหรับที่อัตราส่วนผสมของแก๊สปกคลุม Ar 0.3vol%O₂ รูปร่างของแนวเชื่อมมีลักษณะที่แคบและลึก โดยมีความลึกเท่ากับ 3.75 มิลลิเมตร โดยให้เหตุผลถึงการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนการหลอมละลายลึกว่ามีสาเหตุมาจากส่วนผสมออกซิเจนในเนื้อเชื่อมซึ่งพบว่าเมื่อมีปริมาณออกซิเจนในเนื้อเชื่อมเกินกว่า 100 ppm (Part Per Million) จะทำให้สัดส่วนการหลอมละลายลึกมีค่าเพิ่มขึ้น

จากการวัดขนาดของสัดส่วนความลึกต่อความกว้างของแนวเชื่อม ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งจะสังเกตเห็นลักษณะการหลอมละลายลึกของแนวเชื่อมได้จากภาพที่ 6(e-h) ผลปรากฏว่าที่สภาวะการเชื่อมตัวแปรคงที่เดียวกัน พบว่าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลแก๊สปกคลุมชั้นในและแก๊สปกคลุมชั้นนอกจะส่งผลโดยตรงต่อรูปร่างของแนวเชื่อม ซึ่งส่งผลทั้งด้านความลึกและความกว้างของแนวเชื่อม และที่สำคัญจะส่งผลถึงสมบัติทางกลของแนวเชื่อมอีกด้วย โดยในสภาวะการเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 3 ลิตรต่อนาที และแก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 9 ลิตรต่อนาที มีค่าการหลอมละลายลึกสูงสุดและมีความกว้างของแนวเชื่อมต่ำ จึงส่งผลให้มีค่าสัดส่วนการหลอมละลายลึกเฉลี่ยสูงถึง 0.31 เมื่อเทียบกับการเชื่อมทิกแบบธรรมดา ที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุม 12 ลิตรต่อนาที พบว่าค่าการหลอมละลายลึกของแนวเชื่อมจะต่ำกว่า แต่ในทางกลับกันพบว่าค่าความกว้างของแนวเชื่อมมีค่าสูงกว่า จึงส่งผลให้มีค่าสัดส่วนการหลอมละลายลึกเฉลี่ยเท่ากับ 0.21 สำหรับการทดลองในสภาวะการเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 4 ลิตรต่อนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 8 ลิตรต่อนาที และในสภาวะการเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 5 ลิตรต่อนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 7 ลิตรต่อนาที พบว่ามีสัดส่วนการหลอมละลายลึกรองลงมาเท่ากับ 0.29 และ 0.26 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งจากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สปกคลุมชั้นนอกในอัตราการไหลที่สูงทำให้สามารถปรับเปลวอาร์คให้แคบลง (Manabu, Shinichi, Masao, Tsuneo, Anthony & John, 2006) เมื่อเทียบกับการเชื่อมทิกแบบธรรมดา ส่งผลให้เปลวอาร์คมีความร้อนเพิ่มขึ้นจนทำให้ชิ้นงานมีสัดส่วนของการหลอมละลายลึกที่สูง จากงานวิจัยของ Lu, Qin และ Dong (Lu, Qin & Dong, 2013) การเชื่อมทิกโดยใช้แก๊สปกคลุมสองชั้นและใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สปกคลุมชั้นนอกส่งผลให้การหลอมละลายลึกเพิ่มขึ้น และความกว้างของแนวเชื่อมลดลงเมื่อเทียบกับการเชื่อมทิกแบบธรรมดา อย่างไรก็ตามเมื่อผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในแก๊สปกคลุมชั้นนอกอ้อยละ 20 จะส่งผลให้เนื้อเชื่อมมีความลึกและความแคบสูงสุด



สำหรับโครงสร้างแบบ skeletal δ -ferrite dendritic ที่เกิดขึ้นมีสาเหตุเกิดจากความร้อนจากการเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมในอัตราที่แตกต่างกัน (John, Damian & Kotecki, 2005) โดยที่ขนาดของเดนไดรต์ในแต่ละตัวแปรการทดลองมีขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากปัจจัยของความร้อนเข้า (Heat Input) และเวลาของการเย็นตัว (Cooling Time) เพราะว่ในสภาวะที่เนื้อเชื่อมหลอมละลายและเริ่มเข้าสู่กระบวนการแข็งตัวซึ่งจะเกิดเดลต้าเฟอร์ไรต์เป็นอันดับแรกต่อมาเมื่ออุณหภูมิลดลงถึงช่วง 1,300-800 องศาเซลเซียส ออสเตนไนต์จะเกิดการตกตะกอนที่บริเวณขอบของเดนไดรต์ ด้วยเหตุนี้ส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคในการทดลอง โดยใช้แก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 3 ลิตรต่ออนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 9 ลิตรต่ออนาที (ภาพที่ 8) มีขนาดของเดนไดรต์เล็กสุดเมื่อเทียบกับตัวแปรในการทดลองเชื่อมอื่นๆ เพราะว่ในการทดลองนี้ได้รับความร้อนเข้าสูงกว่าการทดลองอื่นๆ ทำให้ต้องใช้เวลาในการเย็นตัวยาวนาน ดังนั้นออสเตนไนต์จึงมีเวลาในการตกตะกอนบริเวณขอบเดนไดรต์มากขึ้น (Jun, Ming & Xiaoyan, 2010) และรองลงมาคือ การทดลองเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 5 ลิตรต่ออนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 7 ลิตรต่ออนาที และแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 4 ลิตรต่ออนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 8 ลิตรต่ออนาที ดังแสดงไว้ในภาพที่ 9 และ 10 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันการทดลองที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุม 12 ลิตรต่ออนาที ดังแสดงในภาพที่ 11 จะเห็นรูปร่างของเดนไดรต์ได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการทดลองนี้ได้รับความร้อนเข้าต่ำสุดทำให้ใช้เวลาในการเย็นตัวเร็วสุด ดังนั้นออสเตนไนต์จึงมีเวลาน้อยในการตกตะกอนบริเวณขอบเดนไดรต์ทำให้เดนไดรต์มีขนาดโตกว่าการทดลองที่ตัวแปรอื่นๆ

สรุป

ผลกระทบของกรรมวิธีการเชื่อมที่ประสิทธิภาพสูงด้วยระบบแก๊สปกคลุมสองชั้นสามารถที่จะเพิ่มการหลอมละลายลึกได้ โดยการลดอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมชั้นในซึ่งใช้แก๊สอาร์กอนที่มีราคาสูงกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจากการทดลองศึกษาตัวแปรในการเชื่อมที่มีผลต่อรูปร่างของแนวเชื่อมและโครงสร้างทางมหภาคของแนวเชื่อม ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) จากการทดลองเชื่อมพบว่าที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 3 ลิตรต่ออนาที และแก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 9 ลิตรต่ออนาที มีสัดส่วนการหลอมละลายลึกสูงที่สุด
- 2) โครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อมและบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อนของทุกสภาวะการเชื่อมเป็นแบบ skeletal δ -ferrite dendritic ซึ่งมีขนาดของเฟอร์ไรต์ที่แตกต่างกัน โดยการเชื่อมที่อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุมชั้นใน 3 ลิตรต่ออนาที แก๊สปกคลุมชั้นนอก CO₂ 9 ลิตรต่ออนาที มีขนาดของเกรนโตเล็กสุด
- 3) การเชื่อมที่โดยใช้แก๊สแอคทีฟเป็นแก๊สปกคลุมในนอตเชิลชั้นนอก สามารถลดการสูญเสียของแท่งอิเล็กโทรดทั้งสแตนเลสและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้เมื่อเทียบกับการเชื่อมแบบธรรมดา

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการพัฒนาการเชื่อมที่ระบบนอตเชิลสองชั้นเป็นแบบอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของงานให้ดียิ่งขึ้น และเพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้น นอกจากนี้ควรมีการควบคุมให้ขนาดของนอตเชิลทั้งสองชั้นทำงานร่วมกันภายใต้อุปกรณ์ควบคุมเพียงเครื่องเดียว



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนอุดหนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาหมายเลข ENG540635s คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่ในการศึกษาวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รายการอ้างอิง

- ประกาศ เมืองจันท์บุรี. (2549). **Metallurgy of Metal Joining**. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 56-65.
- Dongjie, L., Shanping, L., Dianzhong, L. & Yiyi, L., (2014). Principles giving high penetration under the double shielding TIG process. **Journal of Master Science and Technology**, **30**(2), 172-178.
- Hidetoshi, F., Toyoyuki, S., Shanping, L. & Kiyoshi, N., (2007). Development of an advanced A-TIG (AA-TIG) welding method by control of maragoni convection. **Material Science and Engineering A495**, 296-303.
- John, C., Damian, L. & Kotecki, J., (2005). Welding metallurgy and weldability of stainless steel. **Wiley Interscience**, 141-195.
- John, N., (2006). Advanced welding process technology and process control. Institute of Materials. **Minerals and Mining**, 84-85.
- Jun, Y., Ming, G. & Xiaoyan, Z., (2010). Study on microstructure and mechanical properties of 304 stainless steel joints by TIG, laser and laser TIG hybrid welding. **Optics and Lasers in Engineering**, **48**, 512-517.
- Leonard, P. C., (1991). Welding Technology (Volume 1). **American Welding Society**, 10-11.
- Lu, S. P., Qin, M. P. & Dong, W. C., (2013). Highly efficient TIG welding of Cr13Ni5Mo martensitic stainless steel. **Journal of Materials Processing Technology**, **213**, 229-237.
- Manabu, T., Hidetoshi, F. & Kiyoshi, N., (2006). Application of CO₂ shielded gas tungsten arc to welding of steel sheets. **JWS-JWES TWS Symposium & Seminar 24-25 November 2006 BITEC, Bangkok, THAILAND**.
- Manabu, T., Shinichi, T., Masao, U., Tsuneo, M., Anthony, B. M. & John, J. L., (2006). CO₂ shielded arc as a high intensity heat source. **Vacuum**, **80**, 1195-1198.
- Shanping, L., Hidetoshi, F. & Kiyoshi, N., (2009). Weld shape variation and electrode oxidation behavior under Ar-(Ar-CO₂) double shield GTA welding. **Journal of Materials Science Technology**, **26**(2), 170-176.
- Shigeaki, Y., (2006). **Arc welding of specific steels and cast irons**. Technointer Co., Ltd., third edition, 3.
- Suban, M. & Tusek, J., (2001). Dependence of melting rate in MIG/MAG welding on the type of shielding gas used. **Journal of Materials Processing Technology**, **119**, 185-192.



- Tanaga, M., Tashiro, S., Kashima, T., Anthony, B. M. & John, J. L., (2006). Characteristics of CO₂ shielded gas tungsten arc. **Transactions of Joining and Welding Research Institute**, **35**, No.1.
- Tabish, T. A., Abbas, T., Farhan, M., Atiq, S. & Butt, T. Z., (2014). Effect of heat input on microstructure and mechanical properties of the TIG welded joints of AISI 304 stainless steel. **International Journal of Scientific and Engineering Research**, **5**, 1532-1541.
- Venkatesan, G., George, J., Sowmyasr, M. & Muthupandi, V., (2014). Effect of ternary fluxes on depth of penetration in A-TIG welding of AISI 409 ferritic stainless steel. **Procedia Materials Science**, **5**, 2402-2410.
- Yangchuan, C., Zhen, L., Zunyue, H. & Yida, Z., (2016). Effect of cerium oxide flux on active flux TIG welding of 800 MPa. **Journal of Material Processing Technology**, **230**, 80-87.