

ผลกระทบของไนโตรเจนในก๊าซปกคลุมอาร์กอนที่มีต่อปริมาณเดลต้าเฟอร์ไรท์ใน
เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304L กรณีการเชื่อมทิก

EFFECT OF NITROGEN IN ARGON SHIELDING GAS ON DELTA-FERRITE CONTENT IN
304L AUSTENITIC STAINLESS STEEL: A CASE OF TIG WELDMENT PROCESS

สมชาย พัวจินดานทร และ ณัฐ มาตรการชัยภูมิ

Somchai Puajindanetr and Nat Martchaipoom

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

โทรศัพท์ 02-2186814-7 โทรสาร 02-2513969

E-mail: fiespj@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณก๊าซ N_2 ในก๊าซปกคลุม Ar_2 ที่มีผลต่อปริมาณเดลต้าเฟอร์ไรท์ (δ -Fe) ในบริเวณพื้นที่รอยเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 304L โดยการเชื่อมทิก ชิ้นงานแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 150 มม.หนา 4 มม. ถูกเชื่อมให้มีความยาว 120 มม. ภายใต้ก๊าซ Ar_2 ที่ถูกผสมด้วยปริมาณก๊าซ N_2 ต่างๆกัน ตั้งแต่ 0 ถึง 10 15 20 25 30 35 40 และ 100% โดยปริมาตร ตรวจสอบสภาพผิวรอยเชื่อมตามมาตรฐาน DIN8563 ผลการทดลอง พบว่า (1) การเพิ่ม N_2 มากขึ้นถึง 9% มีผลให้ปริมาณ δ -Fe ตรงบริเวณหลอมละลายมีแนวโน้มลดลง ขณะที่ บริเวณผลกระทบร้อนกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สภาพผิวรอยเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ดี (2) การเพิ่ม $N_2 > 10\%$ ขึ้นไป ส่งผลให้ δ -Fe ที่บริเวณหลอมละลายกลับเพิ่มขึ้น และ (3) การเติมก๊าซ N_2 2-5% ในก๊าซ Ar_2 คือช่วงอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด ที่ให้ปริมาณ δ -Fe ในรอยเชื่อม 5-10% โดยปริมาตร สภาพผิวรอยเชื่อมดี และไม่พบวัตถุเจือปน

ABSTRACT

The objective of the research work was to study the effect of nitrogen in argon as a shielding gas on delta-ferrite content in the AISI 304L austenitic stainless steel using Tungsten Inert Gas (TIG) welding process. A square-plate specimen having the size of 150 mm. and thickness of 4 mm. was welded for 120 mm. long under the shielding gas of Ar_2 which was mixed with N_2 from 0 to 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40

and 100% by volume. The weld-bead profile was inspected based on the DIN standard No. 8563. The results found that (1) increasing of N_2 up to 9% provided the δ -Fe in fusion zone decreased whereas in heat affected zone increased; the weld-bead profile was well, (2) increasing of $N_2 > 10\%$ affected on δ -Fe in fusion zone increased, and (3) 2-5% of N_2 in Ar_2 was the best composition providing 5-10% of δ -Fe, good weld-bead profile and without inclusions.

1. บทนำ

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 304L มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุของอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ในอุตสาหกรรมเคมีและอาหาร เป็นต้น เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก 304L นี้ เมื่อผ่านกระบวนการเชื่อม จะทำให้ปริมาณเฟสออสเทนไนท์ (γ -Fe) และเฟสเดลต้าเฟอร์ไรท์ (δ -Fe) เปลี่ยนแปลงไป และถ้าการเย็นตัวของเนื้อโลหะรอยเชื่อมไม่เหมาะสม จะทำให้ปริมาณ δ -Fe เพิ่มขึ้นมากกว่า 10% โดยปริมาตร จากการศึกษาคู่มือของ Hull [1] พบว่า δ -Fe ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 5-10% ซึ่งจะช่วยเพิ่มความต้านทานการเกิดรอยแตกเร็ววขณะร้อนให้สูงขึ้น แนวทางหนึ่งในการลดการเกิด δ -Fe ในรอยเชื่อมก็คือ การเติมไนโตรเจนในก๊าซปกคลุม ทั้งนี้ เพราะไนโตรเจนเป็นธาตุที่ทำให้โครงสร้างออสเทนไนท์มีความเสถียร ช่วยเพิ่มสมบัติทางกลและความต้านทานการกัดกร่อนได้ นอกจากนี้

ไนโตรเจนยังสามารถละลายในเนื้อโลหะขณะเชื่อม [2-3] ช่วยให้โครงสร้างจุลภาคมีความละเอียดมากขึ้น และช่วยเพิ่มอุณหภูมิในน้ำโลหะหลอมเหลว หรืออุณหภูมิขณะอาร์คเพิ่มสูงขึ้น [4-5] ซึ่งมีผลทำให้อัตราการเย็นตัวช้าลง

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

- เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 304L ที่มีขนาดกว้าง ขาวหนาเท่ากับ 150, 150 และ 4 มม. ตามลำดับ โดยมีส่วนผสมทางเคมีได้แสดงไว้ในตารางที่ 1
- เครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบทิก (Tungsten Inert Gas : TIG)
- ชุดควบคุมส่วนผสมก๊าซปกคลุม Ar_2 และ N_2
- เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณธาตุไนโตรเจน (Optical Emission Spectrometer)
- เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุออกซิเจนและไนโตรเจน

2.2 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- นำชิ้นงานตัวอย่างมาวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมี
- ทำความสะอาดชิ้นงาน ขจัดคราบสิ่งสกปรกและไขมันด้วยอะซิโตน ทิ้งให้แห้ง 12 ชั่วโมง ก่อนจึงนำมาเชื่อม
- ควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการเชื่อมดังตารางที่ 2
- ควบคุมอัตราส่วนผสมของก๊าซ N_2 ใน Ar_2 ให้คงที่ขณะทำการเชื่อมแต่ละการทดลอง โดยกำหนดให้ปริมาณก๊าซ N_2 อยู่ที่ 0, 1, 2, 3,... ถึง 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, และ 100% โดยปริมาตร ตามลำดับ
- เชื่อมชิ้นงานให้ได้ตามแนวเส้นตรงยาวต่อเนื่องและไม่ติดขัด และให้ความยาวรอยเชื่อมประมาณ 120 มม.
- ตรวจสอบสภาพผิวรอยเชื่อมตามมาตรฐาน DIN 8563 [6]
- หาปริมาณ δ -Fe ในรอยเชื่อมตรงบริเวณพื้นที่หลอมละลาย (Fusion Zone) และพื้นที่ผลกระทบร้อน (Heat Affected Zone) (ดังในรูปที่ 1) โดยวิธี Quantitative Metallography และนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าทางสถิติ โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่น 95%

- หาปริมาณธาตุไนโตรเจนในรอยเชื่อม

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

3.1 ผลของสภาพผิวรอยเชื่อม

ผลการเติมก๊าซไนโตรเจนในก๊าซปกคลุมอาร์คก่อนในปริมาณ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9% โดยปริมาตร พบว่ารอยเชื่อมมีผิวสวยงาม มัน และวาว ซึ่งไม่พบข้อบกพร่องตามมาตรฐาน DIN 8563 ดังรูปที่ 2 (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ) สำหรับการเติมก๊าซไนโตรเจนที่ปริมาณ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 100% โดยปริมาตร พบว่ารอยเชื่อมปรากฏให้เห็นเป็นโพรงอากาศ รอยเชื่อมสีดำ แสกล และสะเก็ดเชื่อม ดังรูปที่ 2 (ฉ) (ช) (ซ) (ฅ) และ (ญ) ซึ่งไม่ผ่านตามมาตรฐาน DIN 8563

นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราส่วนผสมก๊าซ N_2 ที่ 0 ถึง 5% ในก๊าซปกคลุม Ar_2 นั้นไม่พบวัตถุเจือปน (Inclusions) ในรอยเชื่อม

3.2 ผลของปริมาณ δ -Fe ในบริเวณหลอมละลาย

การเชื่อมด้วยก๊าซปกคลุมอาร์คก่อน 100% พบว่าที่บริเวณพื้นที่หลอมละลาย (Fusion Zone) โครงสร้าง δ -Fe จะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน และมีความหนาแน่นค่อนข้างสูง และกระจายตัวอยู่ทั่วไปของพื้นที่ ดังรูปที่ 3 (ก) (โปรดดูในเส้นรอบวง) เมื่อเพิ่มส่วนผสมก๊าซไนโตรเจนในก๊าซปกคลุมอาร์คก่อนตั้งแต่ 1% จนถึง 9% โดยปริมาตร พบว่าลักษณะ δ -Fe จะมีขนาดสั้นๆ กระจายตัวออก และมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 3 (ข) ถึง (ง) สาเหตุเนื่องจากก๊าซ N_2 ในก๊าซปกคลุม Ar_2 สามารถละลายในเนื้อโลหะรอยเชื่อมได้ ซึ่งคุณสมบัติของไนโตรเจนนั้นเป็นธาตุที่ทำให้โครงสร้างออสเทนไนต์มีความเสถียร (Austenite stabilizer) และถ้ามีปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณ δ -Fe ลดลง

เมื่อเพิ่มปริมาณก๊าซ N_2 จาก 10% ถึง 40% โครงสร้าง δ -Fe กลับมีค่าเพิ่มขึ้น และยังคงมีลักษณะเป็นเส้นสั้นๆ แต่เกาะกันเป็นกลุ่มมากขึ้น ดังในรูปที่ 3 (จ) (ฉ) และ (ช) ทั้งนี้เนื่องจากการเติมก๊าซ N_2 ในปริมาณมากเกินไปนั้น N_2 ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่า Ar_2 จะลอยตัวขึ้นสูงทำให้ออกซิเจนในอากาศมีโอกาสแทรกซึมเข้ามาและทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ มีผลให้ความสามารถในการปกคลุมบ่อน้ำโลหะขณะเชื่อมลดลง

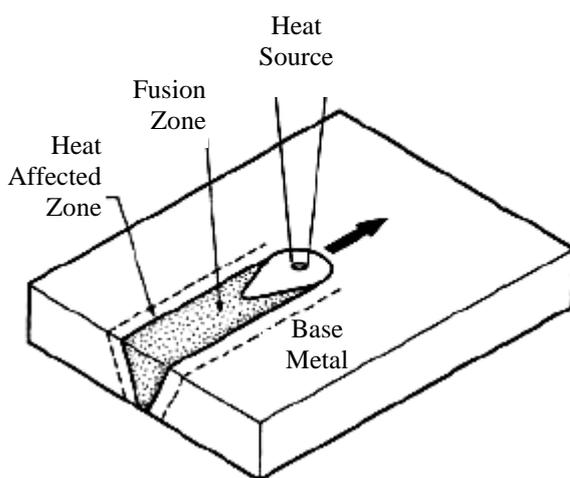
ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 L ที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณธาตุ % โดยน้ำหนัก	C	Si	Mn	P	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	V	N*
	0.01	0.42	1.4	0.04	0.01	18.37	0.22	8.28	0.36	0.07	0.04

หมายเหตุ * วิเคราะห์โดยเครื่อง LECO 400

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมเครื่องเชื่อม TIG

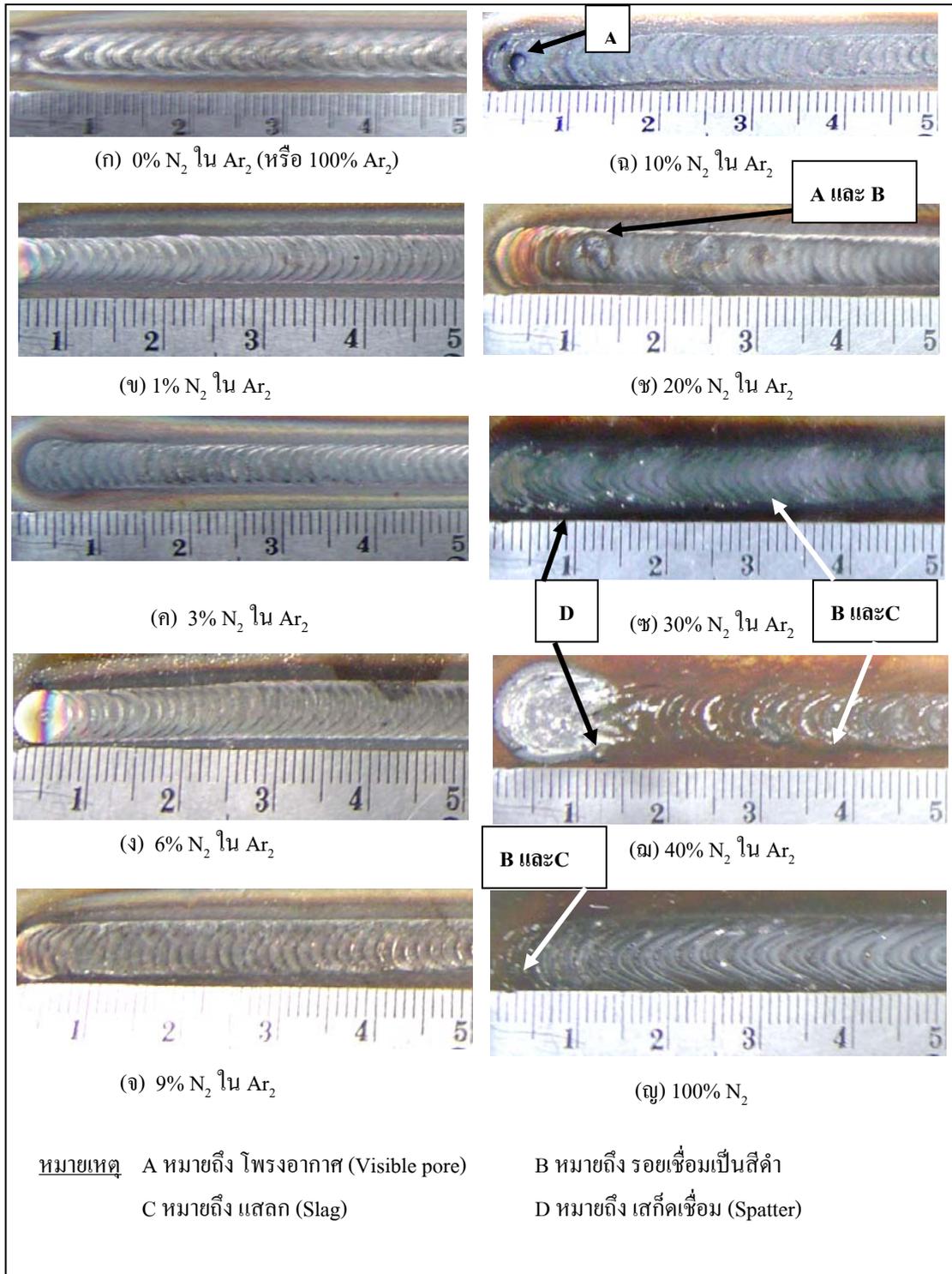
1. กระแสไฟฟ้าพัลส์และเบส	130 และ 70 แอมแปร์
2. ความต่างศักย์	15 ± 1 Volt
3. ระยะอาร์ค	2.5 ± 0.5 มิลลิเมตร
4. อิเล็กโทรด	ทั้งสแตนเลสทอเรียม 2 % โดยน. Ø 2.4 มม. มุมปลาย 60°
5. แก๊สปกคลุม	แก๊สอาร์กอนบริสุทธิ์ 99.995 %
6. อัตราไหล่แก๊สปกคลุมบนและล่าง	16 ลิตร/นาที และ 8 ลิตร/นาที
7. หัว Torch	Ø ของ Orifice 11 มิลลิเมตร ระบายความร้อนด้วยน้ำ
8. ระยะการยื่นของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร
9. หัว Torch ทำมุมกับชิ้นงานทดลอง	75 องศา
10. ความถี่พัลส์	2 รอบต่อวินาที
11. ความเร็วเชื่อม	3.4 มิลลิเมตรต่อวินาที



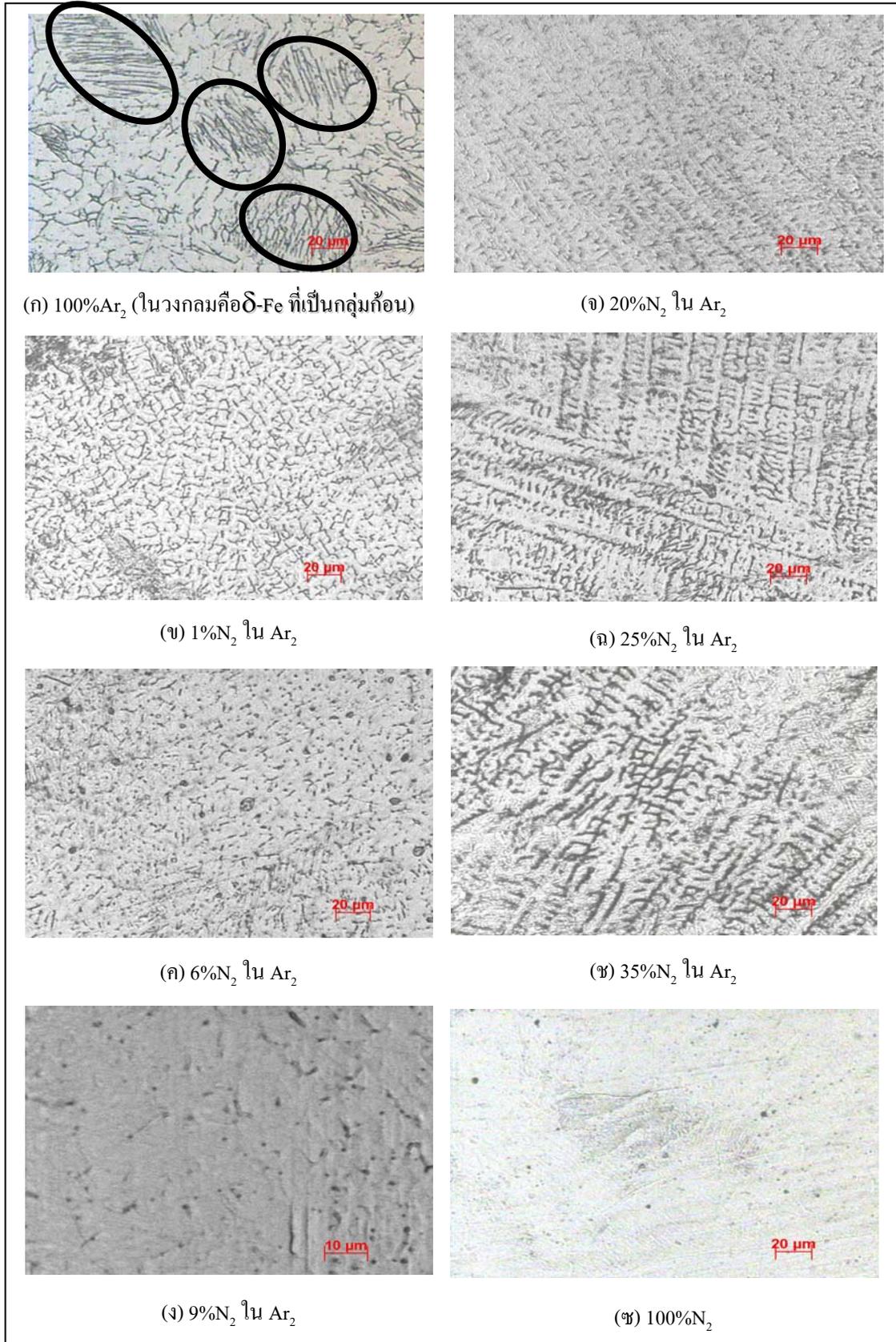
พื้นที่ต่างๆในแนวเชื่อม จำแนกได้ 3 บริเวณ

1. บริเวณหลอมละลาย (Fusion Zone)
2. บริเวณผลกระทบร้อน (Heat Affected Zone: HAZ)
3. บริเวณพื้นโลหะเดิม (Base Metal)

รูปที่ 1 บริเวณพื้นที่ที่จำแนกในแนวเชื่อม [7]



รูปที่ 2 สภาพรอยเชื่อมที่ส่วนผสมก๊าซ N₂ ต่างๆ ในก๊าซปกคลุม Ar₂



รูปที่ 3 ลักษณะ δ-Fe ตรงบริเวณพื้นที่หลอมละลาย ที่อัตราส่วนผสมก๊าซ N₂ ต่างๆ และที่ก้ำลิ่งขยาย 200 เท่า

ทำให้รอยเชื่อมเกิดข้อบกพร่อง (defects) อย่างเห็นได้ชัดเจน เช่น การเกิดสะเก็ดเชื่อม รอยเชื่อมสีดำ แสกกและวัตถุเจือปน (Inclusions) เป็นต้น และรูปที่ 3 (ข) ที่ปริมาณก๊าซ N_2 100% ทำให้ปริมาณ δ -Fe มีค่าลดลงมากจนเกือบจะไม่มีเลย และเกิด Inclusions เล็กน้อย

3.3 ผลของปริมาณ δ -Fe ในบริเวณผลกระทบร้อน

การเติมก๊าซ N_2 ที่ปริมาณ 0 ถึง 9% โดยปริมาตร พบว่า δ -Fe มีการเกาะกันเป็นกลุ่มตรงบริเวณพื้นที่ผลกระทบร้อน (HAZ) และปริมาณ δ -Fe มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะอัตราการเย็นตัวที่ช้าลง อันเนื่องจากการเติมก๊าซ N_2 มีผลช่วยเพิ่มปริมาณความร้อน (Heat input) ให้กับเนื้อโลหะที่บริเวณหลอมละลายด้วย (โดย Thermal Conductivity ของ N_2 เท่ากับ 65×10^3 W/K-m ขณะที่ Ar_2 มีค่าเท่ากับ 46×10^3 W/K-m) การเพิ่มอัตราส่วนของก๊าซ N_2 จาก 10% ถึง 40% พบว่าลักษณะและปริมาณ δ -Fe มีความผันแปร ดังเช่นในรูปที่ 4 (จ) และ (ฉ) ซึ่งเป็นผลจากการเชื่อมเมื่อใช้ปริมาณก๊าซ N_2 ที่ 20% และ 25% ตามลำดับ พบว่าลักษณะ δ -Fe มีการกระจายตัวออกเป็นสายสั้นๆ และ δ -Fe มีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับก่อนหน้า รูปที่ 4 (ข) ใช้ปริมาณก๊าซ N_2 ที่ 35% พบว่าลักษณะ δ -Fe จะจับเป็นกลุ่มและมีปริมาณมากขึ้น และรูปที่ 4 (ซ) เมื่อใช้ปริมาณก๊าซ N_2 100% เกิดโครงสร้าง δ -Fe น้อยมาก

อย่างไรก็ดี จากรูปที่ 5 ได้แสดงแนวโน้มของปริมาณ δ -Fe ที่บริเวณหลอมละลาย และบริเวณผลกระทบร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมต่างๆของก๊าซ N_2 ในก๊าซปกคลุม Ar_2 พบว่า (1) การเพิ่มส่วนผสมก๊าซ N_2 ระหว่าง 1 ถึง 10% โดยปริมาตร มีผลให้ปริมาณ δ -Fe ในบริเวณหลอมละลายมีแนวโน้มลดลงโดยเฉลี่ยจาก 11% ถึง 4% โดยปริมาตร ขณะที่บริเวณผลกระทบร้อน δ -Fe กลับมีปริมาณแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจาก 13% ถึง 18% โดยปริมาตร อิทธิพลของอัตราส่วนผสมของก๊าซ N_2 ในก๊าซปกคลุม Ar_2 ที่มีผลต่อปริมาณ δ -Fe ของทั้งสองบริเวณ ได้แสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการ Exponential ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การประเมินความเหมาะสมของความสัมพันธ์ (The coefficient of determination: R^2)

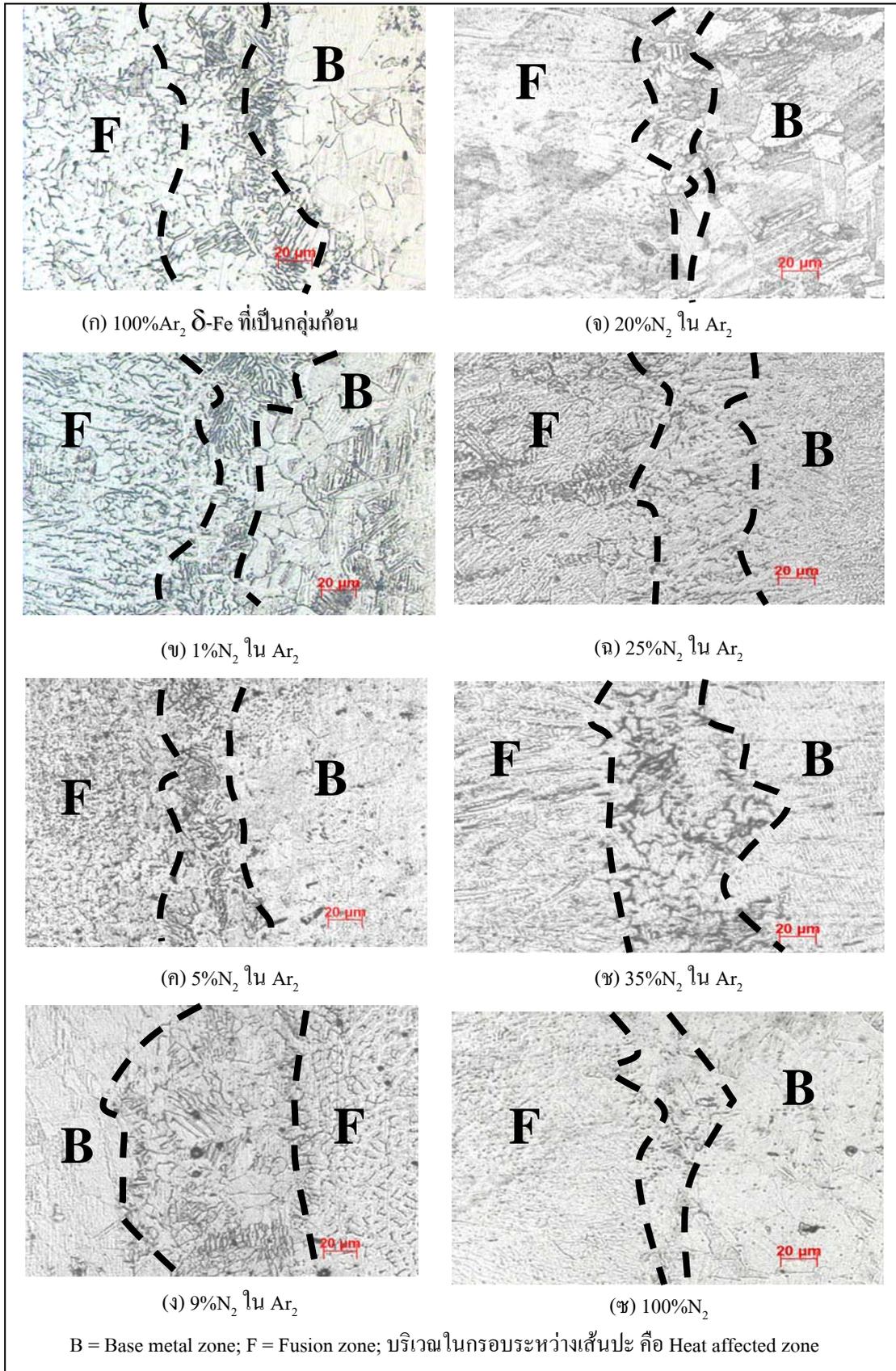
เท่ากับ 0.86 และ (2) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมก๊าซ N_2 ในช่วง 10% ถึง 40% พบว่าปริมาณ δ -Fe ในบริเวณหลอมละลายกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมาอีกครั้ง ที่มีค่าเฉลี่ยในช่วง 6% ถึง 16% โดยปริมาตร โดยความสัมพันธ์อยู่ในรูปสมการ Exponential ที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.71 ขณะที่บริเวณผลกระทบร้อนนั้น ปริมาณ δ -Fe มีความแปรปรวน

3.4 ผลของธาตุไนโตรเจนที่มีต่อปริมาณ δ -Fe ในรอยเชื่อม

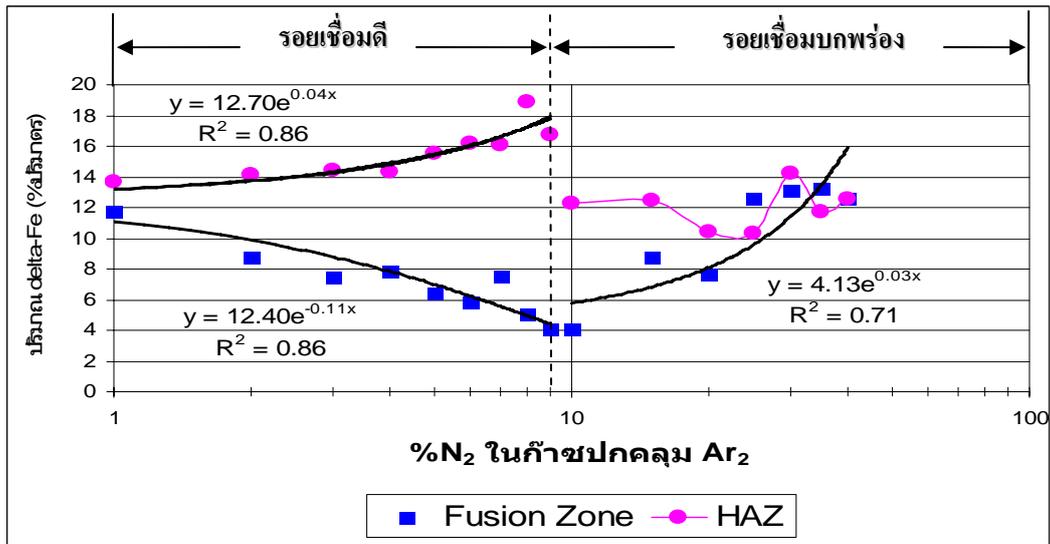
รูปที่ 6 แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมก๊าซ N_2 ในก๊าซปกคลุม Ar_2 กับปริมาณธาตุไนโตรเจนในเนื้อโลหะ รอยเชื่อม ในรูปสมการเส้นตรง ที่ให้ R^2 เท่ากับ 0.83 พบว่าธาตุ N ในรอยเชื่อมจะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออัตราส่วนผสมของก๊าซ N_2 เพิ่มขึ้น

รูปที่ 7 แสดงอิทธิพลของธาตุ N ในรอยเชื่อมที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลปริมาณ δ -Fe ในรอยเชื่อมลดลง สำหรับกรณีการเพิ่มส่วนผสมก๊าซ N_2 ระหว่าง 0 ถึง 9% ในก๊าซปกคลุม Ar_2 โดยความสัมพันธ์อยู่ในรูปสมการ Exponential ที่มี R^2 เท่ากับ 0.84 ธาตุ N ในเนื้อโลหะที่บริเวณรอยเชื่อมนี้ เป็นการละลายแบบการแทรกตัว (Interstitial solid solution) ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีธาตุที่ละลายเข้าไปนั้นมีขนาดอะตอมที่เล็กกว่า

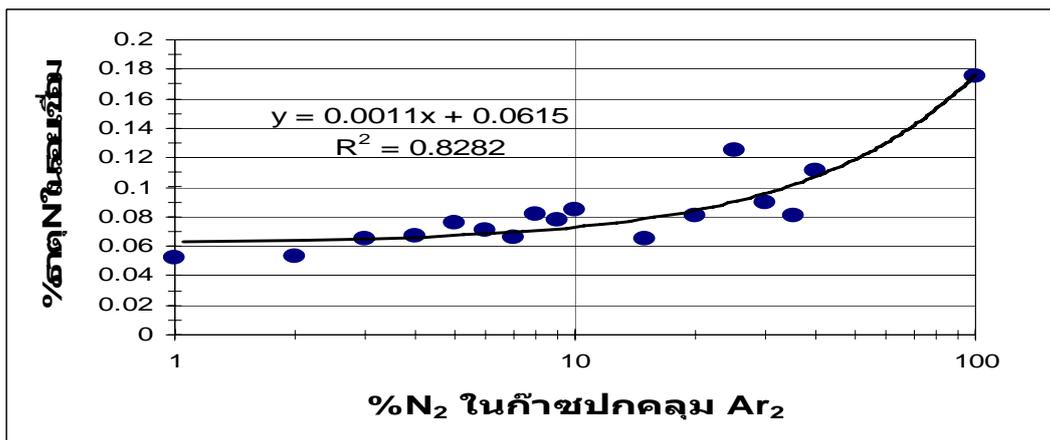
นอกจากนี้ รูปที่ 8 ได้แสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมของก๊าซ N_2 ในก๊าซปกคลุม Ar_2 ตั้งแต่ 0% ถึง 9% โดยปริมาตร และปริมาณ δ -Fe ในรอยเชื่อม ที่มีค่าสัมพันธ์ในรูปสมการยกกำลังสอง และให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.89 โดยในช่วงการเพิ่มอัตราส่วนผสมของก๊าซ N_2 จาก 2% ถึง 9% โดยปริมาตรนั้น มีผลให้ปริมาณ δ -Fe ในรอยเชื่อมลดลงโดยเฉลี่ยจาก 10% ถึง 5% โดยปริมาตร ซึ่งเป็นช่วงปริมาณที่ช่วยเพิ่มความต้านทานการเกิดรอยแตกเร็ววขณะร้อนให้สูงขึ้น [1] ดังนั้น ถ้าพิจารณากำหนดให้ปริมาณ δ -Fe ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมระหว่าง 5 ถึง 10% สภาพรอยเชื่อมอยู่ในเกณฑ์ดีเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพการเชื่อมของ DIN 8563 และไม่มีวัตถุเจือปนแล้ว การใช้ปริมาณก๊าซ N_2 ในระหว่าง 2% ถึง 5% โดยปริมาตร ในก๊าซปกคลุม Ar_2 นั้น คือส่วนผสมที่ดีที่สุด



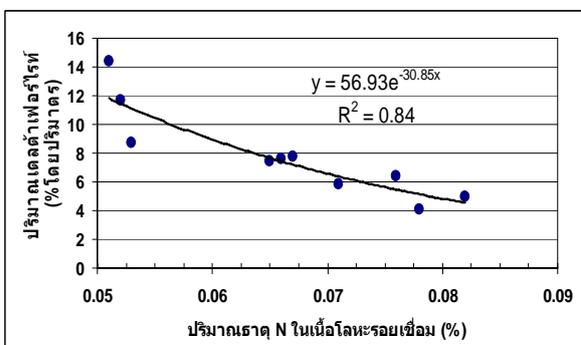
รูปที่ 4 ลักษณะ δ-Fe ตรงบริเวณพื้นที่ผลกระทบร้อน (HAZ) ที่อัตราส่วนผสมก๊าซ N₂ ต่างๆ และที่กำลังขยาย 200 เท่า



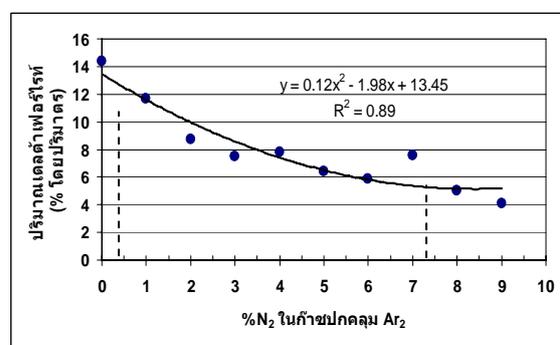
รูปที่ 5 ปริมาณเคลดดำเฟอร์ไรท์ในบริเวณหลอมละลาย (Fusion Zone) และบริเวณผลกระทบบร้อน (Heat Affected Zone) ที่อัตราส่วนผสมของก๊าซ N₂ ต่างๆ ในก๊าซปกคลุม Ar₂



รูปที่ 6 %ธาตุ N ในรอยเชื่อมเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนผสมของก๊าซ N₂ ในก๊าซปกคลุม Ar₂



รูปที่ 7 ปริมาณ δ-Fe และปริมาณธาตุ N ในรอยเชื่อม เมื่อเพิ่ม %N₂ ใน Ar₂ จาก 0 ถึง 9% โดยปริมาตร



รูปที่ 8 ปริมาณ δ-Fe ในรอยเชื่อมและ %N₂ ระหว่าง 0 ถึง 9% โดยปริมาตร ในก๊าซปกคลุม Ar.

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ ดังนี้

- การใช้อัตราส่วนผสมของก๊าซ N_2 ที่ปริมาณไม่เกิน 9% โดยปริมาตรในก๊าซปกคลุม Ar_2 มีผลให้ปริมาณ δ -Fe ในเนื้อโลหะของรอยเชื่อมมีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะตรงบริเวณหลอมละลาย แต่ปริมาณ δ -Fe ในบริเวณผลกระทบร้อนกลับมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และยังมีผลให้รอยเชื่อมมีสภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ไม่เกิดโพรง รูพรุน รอยเชื่อมสีดำ และSlag และเป็นไปตามมาตรฐาน DIN 8563 นอกจากนี้ การใช้อัตราส่วนผสมของก๊าซ N_2 ไม่เกิน 5% โดยปริมาตรนั้น ไม่พบวัตถุเจือปน (Inclusions) ในรอยเชื่อม
- การเพิ่มส่วนผสมของก๊าซ N_2 ตั้งแต่ 10% ถึง 40% โดยปริมาตร ส่งผลให้ปริมาณ δ -Fe ในบริเวณหลอมละลายกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมาอีก แต่ปริมาณ δ -Fe ในบริเวณผลกระทบร้อนนั้น มีความแปรปรวน นอกจากนี้ รอยเชื่อมที่ได้มีสภาพไม่ดี เกิดโพรง รูพรุน รอยเชื่อมสีดำ และมีSlag
- การเพิ่มอัตราส่วนผสมของก๊าซ N_2 ในก๊าซปกคลุม Ar_2 มีผลให้ปริมาณธาตุ N ในรอยเชื่อมเพิ่มมากขึ้น และผลของปริมาณธาตุ N ในรอยเชื่อมที่เพิ่มขึ้นนี้ มีผลให้ปริมาณ δ -Fe ในรอยเชื่อมลดลง
- การเติมปริมาณก๊าซ N_2 ระหว่าง 2% ถึง 5% โดยปริมาตร ในก๊าซปกคลุม Ar_2 เป็นช่วงอัตราการผสมที่ดีที่สุด มีผลให้ปริมาณ δ -Fe ในรอยเชื่อมมีค่าอยู่ระหว่าง 10% ถึง 5% โดยปริมาตร ตามลำดับ นอกจากนี้ สภาพผิวรอยเชื่อมยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ไม่พบวัตถุเจือปน (Inclusions) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพการเชื่อมของ DIN 8563

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานและบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือดังต่อไปนี้

- บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

- ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านวัสดุ อุปกรณ์ และสถานที่การศึกษาและวิจัย
- รศ. ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ และภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องเชื่อมทิก
- บริษัท นครไทยสตรีปมิล จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านวัสดุและการใช้เครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณธาตุไนโตรเจน

เอกสารอ้างอิง

- [1] F. C. Hull, "Effect of Delta Ferrite on hot cracking of stainless steel", Welding Journal 46, Sep. 1967399s-409s.
- [2] Y. Kikuchi, F. Matsuda, T. Okabe, and M. Ohta, "Nitrogen content of 316L welds metal and its fine particle by means of high-pressure MIG arc welding", ISIJ International, Vol. 36, 1996, No. 7, pp. 977-982.
- [3] V. Shankar, T. P. S. Gill, S. L. Mannan, and S. Sundaresan, "Effect of nitrogen addition on microstructure and fusion zone cracking in type 316L stainless steel weld metals", Material science and engineering, A343, 2003, pp 170-181.
- [4] Y. C. Lin, and P.Y. Chen, "Effect of nitrogen content and retained ferrite on the residual stress in austenitic stainless steel weldments", Material science and engineering A307, 2001, pp 165-171.
- [5] K. H. Tseng, and C. P. Chou, "The study of nitrogen in argon on the angular distortion of austenitic stainless steel weldments", Journal of materials Processing Technology, 142, 2003, pp 139-144.
- [6] Quality Assurance of Welding Operation, DIN 8563 PART 3, October 1985.
- [7] S. A. David, S. S. Babu, and J. M. Vitek, "Welding: Solidification and Microstructure", JOM, Vol.55, No.6, June 2003, pp 14.