

การศึกษาการกระจายตัวของรูพรุนและผลกระทบจากการเชื่อมอลูมิเนียมผสม
เกรด 5154 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม (GMAW)

The Study on Welding Effect and Porosity Distribution of 5154 Aluminum
Alloys by Gas Metal Arc Welding (GMAW)

วสันต์ สังข์ด้วง^{1*} ปรียสุทธิ์ วัฒนธรรม¹ และ กฤตธี เอียดเหตุ²

¹ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเชื่อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมพระนครเหนือ

²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและเทคโนโลยีการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: wasan.ceo@gmail.com*

Wasan Sangduang^{1*} Pariyasut Wattanatham¹ and Krittee Eidhed²

Department of Production Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bang Mot, Thung Khru, Bangkok, 10140,

E-mail: phonsak.ler@kmutt.ac.th*

Received 21 Jun 2020; Accepted 11 Sep 2020;

Available online 28 Dec 2020

บทคัดย่อ

กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม (Gas metal arc welding, GMAW) ถูกใช้ในการเชื่อมอลูมิเนียมผสม เกรด 5154 (Aluminum Alloys 5154) ข้อบกพร่องแบบรูพรุน (Porosity) มักเกิดขึ้นโดยทั่วไปในการเชื่อมวัสดุกลุ่มอลูมิเนียมผสม ส่งผลให้คุณสมบัติทางกล ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด มอก. 2707-2558 (ISO 20703:2006) จึงทำการศึกษาการกระจายตัวของรูพรุนในแนวเชื่อม โดยควบคุมกระแสไฟ (Current) และความเร็วในการเชื่อม (Travel Speed) จากนั้นจึงทำการทดสอบการดัดโค้ง (Bend Test), การรับแรงดึง (Tensile Test) และคุณภาพของรอยเชื่อม โดยจากการวิเคราะห์โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค (Macrostructure and Microstructure Analysis), และการถ่ายภาพรังสี (Radiographic Testing) พบว่า ที่กระแส 210 Amp. ความเร็วในการเชื่อม 75 cm. ต่อนาที เกิดรูพรุนมากกว่าที่กระแส 200 Amp. มีค่าการรับแรงดึงของรอยเชื่อมดีที่สุด

คำหลัก: อลูมิเนียมผสม เกรด 5154, กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม, การกระจายของรูพรุน, การถ่ายภาพรังสี

Abstract

Gas metal arc welding (GMAW) is used for Aluminum Alloys 5154 welding process. The weld porosity defect often occurred in the aluminum Alloys welding that could affect mechanical properties. Accordingly, the mechanical properties did not meet the regulation TISI. 2707-2558 (ISO 20703:2006). Thus, the current and

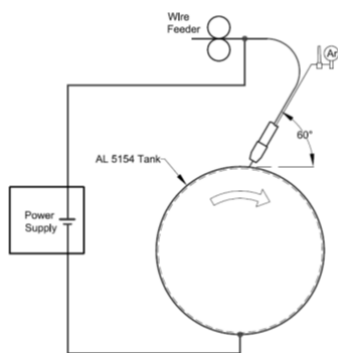
travel speed were studied. The bend testing, tensile testing and weld bead quality were assessed along with macrostructure analysis, microstructure analysis and radiographic testing. The study was found that the best condition for the finest weld bead was at the current 200 Amp with the travel speed 75 cm/min.

Keywords: Aluminum Alloy 5154, GMAW, Porosity Distribution, Radiographic Testing

1. บทนำ

ในปัจจุบันอลูมิเนียมผสม (Aluminum-Alloy) เกรด 5154 เป็นวัสดุที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้แทนเหล็กกล้าในอุตสาหกรรม [1,3,8] เช่นกลุ่มอุตสาหกรรมเรือ (Ships) และกลุ่มการผลิตภาชนะรับแรงดัน [4] ด้วยเหตุผลหลายประการเช่น มีน้ำหนักน้อยกว่าเหล็กกล้าประมาณ 2.5 เท่า อีกทั้งมีความสามารถในการเชื่อมและการขึ้นรูปเย็น (Cold worked) ที่ดีเยี่ยม [3] และด้วยน้ำหนักที่เบา ทำให้สามารถประหยัดต้นทุนในการขนส่งการใช้งานและการเคลื่อนย้ายด้วยแรงงานคน

ปัญหาสำคัญของการนำอลูมิเนียมผสม มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม คือ การเชื่อมวัสดุกลุ่มอลูมิเนียม โดยทั่วไปในอุตสาหกรรม นิยมเชื่อมวัสดุกลุ่มอลูมิเนียมด้วยกระบวนการเชื่อม อาร์กโลหะแก๊สปกคลุม (GMAW) ปัญหาคือ คุณสมบัติทางกล และคุณภาพของรอยเชื่อม ไม่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด มอก. 2707-2558 (ISO 20703:2006) [4] บ่อยครั้ง คือ การทดสอบการดัดโค้ง (Bend Test) และ การตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมด้วย การถ่ายภาพรังสี (Radiographic Testing)



รูปที่ 1 อธิบายแผนผังอุปกรณ์ในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม

การเกิดข้อบกพร่องแบบรูพรุน เป็นปัญหาหลักของการเชื่อมอลูมิเนียมผสม ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม [8] ด้วยเหตุผลดังกล่าว ทำให้เกิดข้อเสียในขั้นตอนการผลิต และอัตราการเชื่อมซ่อมสูง ส่งผลกระทบทั้งต้นทุน และกำลังการผลิตเป็นอย่างมาก

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการกระจายตัวของรูพรุน และผลกระทบจากการเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรด 5154 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม เชื่อมด้วยแนวเชื่อมต่อชนแบบข้างหนึ่งชดเชยระยะ (Butt Weld With One Plat Edge offset) [2] เพื่อทำการศึกษาลักษณะการเกิดรูพรุนในแนวเชื่อม โดยใช้ระดับการแสไฟในการเชื่อมที่แตกต่างกัน วิเคราะห์โครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาค รวมถึงผลกระทบจากตัวแปรควบคุมที่มีต่อคุณสมบัติทางกล ด้วยวิธีการทดสอบการรับแรงดึง การทดสอบการดัดโค้ง และตรวจสอบคุณภาพของแนวเชื่อม ด้วยวิธีการถ่ายภาพรังสี

2. ขั้นตอนการทดลอง (Experimental Procedure)

อลูมิเนียมผสม เกรด 5154 เป็นอลูมิเนียมผสมในกลุ่มของ อลูมิเนียม- แมกนีเซียม (Aluminum-Magnesium) โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ อลูมิเนียมผสมเกรด 5154 H34 เป็นโลหะฐาน (Base Metal)

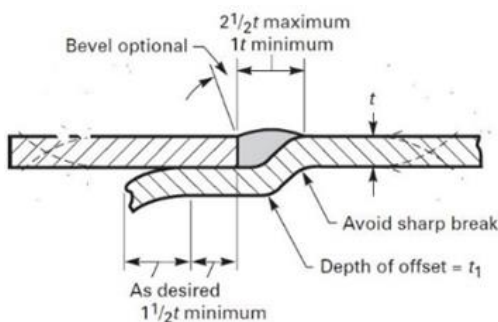
ถึงภาชนะรับแรงดันตามข้อกำหนด มอก. 2707-2558 [4] ถูกเชื่อมด้วยแนวเชื่อมต่อชนแบบข้างหนึ่งชดเชยระยะ และเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม โดยใช้โลหะเติม (Filler metal) ER5356 [5]

แผ่นอลูมิเนียมผสม เกรด 5154 ความหนา 4 มม. ถูกตัดเป็นเปล่า (Blank Sheet) รูปวงกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (Diameter) 628 มม. จากนั้นถูกนำไปผ่านกระบวนการลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) หลังจากผ่านกระบวนการลากขึ้นรูปลึกแล้ว ฝักรันถัง (Bottom Cap) จะถูกนำไปขึ้นรูปรอยต่อ (Joint) แบบ

ชุดเซาะระยะบริเวณขอบ (Edge Offset) [2] เพื่อให้สามารถสวมกับฝั้งถึงด้านบน (Top Cap) โดยฝาด้านบนจะทำความสะอาดบริเวณผิวรอยต่อก่อนจะทำการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องเชื่อม Miller Automatic 1A ฝั้งอุปกรณ์ดัง รูปที่ 1 มีลักษณะรอยต่อของแนวเชื่อมดังรูปที่ 2 และกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อม เป็นไปดังตารางที่ 1 โดยคุณสมบัติทางกล ส่วนผสมทางเคมีของโลหะฐานและโลหะเติม เป็นไปดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

หลังจากการเชื่อม ถึงอุณหภูมิเย็นผสมจะถูกนำไปถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจสอบความไม่สมบูรณ์และการเกิดรูพรุนในแนวเชื่อม ด้วยวิธีการถ่ายภาพแบบ ภาพเดี่ยวสองผนัง (Double Wall Single Image) จากนั้นจึงตัดชิ้นงานในแนวตัดขวางของแนวเชื่อม และตัดตามแนวเส้นรอบวงของแนวเชื่อม ดังรูปที่ 3 (ข) และ (ค) นำไปขัดผิวด้วยเครื่องขัดกระดาษทราย (Sand Paper) และขัดเงาด้วยผ้าขัดสั้กหลาด (Polishing Paper) จากนั้นจึงกัด (Etching) ด้วยสารละลายกรด (Poulton's Reagent) เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค ด้วยกล้อง Nikon SMZ800 และสารละลายกรด (Keller's Reagent) วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ด้วยกล้อง Nikon ECLIPSE MA100 ทำการทดสอบแรงดึง และการตัดโค้งโดยชิ้นงานทดสอบ (Specimen) จะถูกตัดดังรูปที่ 3 (ง) และทำการทดสอบการรับแรงดึงและการตัดโค้ง ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง INSTRON 4493



รูปที่ 2 ภาพลักษณะแนวเชื่อมต่อชนแบบข้างหนึ่ง
ชุดเซาะระยะ [2]

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรควบคุมในการเชื่อม

Parameter	Volt	Amp.	Travel speed cm/min	Gas Flow (99.99 % Ar) L/min
A*	24	200	75	20
B	24	210	75	20
C	24	220	75	20

หมายเหตุ * มีการทำความสะอาดผิวรอยต่อทั้งผาบนและผาล่าง

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล (Results and discussion)

3.1 การกระจายของรูพรุนในแนวเชื่อม (Characteristics of pores)

การกระจายตัวของรูพรุนในภาคตัดขวางของแนวเชื่อมใน รูปที่ 5 (ก) เพื่อให้สามารถวิเคราะห์การกระจายตัวได้โดยง่าย จึงทำการแบ่งส่วนของหน้าตัดแนวเชื่อมออกเป็น 4 ส่วน คือ R1, R2, R3 และ R4 โดยมีลักษณะดังรูปที่ 3 (ก) โดยเส้นแบ่งส่วนแต่ละเส้นจะห่างกัน 2 มม.

ลักษณะของการกระจายตัวของชิ้นงานเชื่อมด้วยตัวแปรควบคุม A* ดังรูปที่ 5 (ก) มีการกระจายตัวของรูพรุนทั้ง 4 ส่วน และมีปริมาณมากในส่วนของ R1 รองลงมาเป็นส่วนของ R2 เกิดการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion) ในส่วนของ R3 มีรูปร่างหน้าตัดรอยเชื่อมที่ดี การเชื่อมลึกที่ดีในส่วน R3 และ R4

รูปที่ 5 (ข) ถูกเชื่อมด้วยตัวแปรควบคุม B มีการกระจายตัวของรูพรุนในส่วน R1 และ R2 ค่อนข้างมาก บางส่วนอยู่ในบริเวณผลกระทบร้อน (Heat Effected Zone: HAZ) แต่ไม่พบในส่วน R3 และ R4 มีการเชื่อมลึกไม่สมบูรณ์ (Incomplete Penetration) ในส่วนของ R3 จากการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ และลงไปถึงส่วน R4 เพียงเล็กน้อย

รูปที่ 5 (ค) ถูกเชื่อมด้วยตัวแปรควบคุม C มีการกระจายตัวของรูพรุนส่วน R1, R2 และ R3 อยู่ในบริเวณผิวแนวเชื่อมและ ผลกระทบร้อน เกิดการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ส่วน R3 การเชื่อมลึกในส่วน R3 ไม่สมบูรณ์

จากการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ และลงไปไม่ถึงส่วน R4

ผลของการกระจายตัวเชิงสถิติ [8] ดังรูปที่ 4 (ง) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการกระจายตัว จากผลของตัวแปรควบคุมในการเชื่อม A*, B และ C ของส่วน R1, R2, R3, และ R4 ตามลำดับ

ลักษณะการกระจายตัวของรูพรุนจากรูปที่ 6 โดยมีการกระจายในลักษณะ ลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนมากขึ้น เมื่อกระแสเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน นอกจากนั้น ยังพบการหลอมละลายไม่สมบูรณ์บางส่วน ในรูปที่ 6 (ก) และตลอดแนวเชื่อม ในรูปที่ 6 (ค)

3.2 ผลจากการทำความสะอาดรอยต่อ (Influence of Joint Cleaning)

คุณภาพของการเชื่อมอาร์กของอลูมิเนียมนั้น ขึ้นอยู่กับความชื้น ความสะอาดของออกไซด์ฟิล์มบางๆ บนชิ้นงาน โดยทั่วไปแล้ว สาเหตุของการเกิดรูพรุนในการเชื่อมอลูมิเนียมมาจาก ไฮโดรเจน (Hydrogen) ความชื้นต่างๆ (Moisture) และ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนด์

(Hydrocarbons) ในบริเวณอาร์ก ที่แยกตัวและให้ไฮโดรเจน [3,7]

ไฮดรอกไซด์ (Hydrated Oxide) และคราบน้ำ (Water Strain) ของวัสดุนั้น เกิดจากการจัดเก็บที่ไม่ถูกต้อง สามารถสร้างปัญหาได้ หากชั้นออกไซด์ฟิล์มที่มีความหนาจะเป็นการยากที่จะเอาทำความสะอาดจากผลของการอาร์ก เนื่องจากออกไซด์ฟิล์มนั้น มีจุดหลอมเหลวที่ 2,038 องศาเซลเซียส ประมาณสามเท่าตัวของจุดหลอมละลายของอลูมิเนียมผสม [3]

จากรูปที่ 3 (ก) ผิวงานเชื่อมหลังการเชื่อมด้วยตัวแปรควบคุม A* ซึ่งผิวชิ้นงานถูกทำความสะอาดผิวทั้งด้านบน และด้านล่าง ไม่ปรากฏคราบเขม่าบริเวณแนวเชื่อม [6] แตกต่างจากรูปที่ 4 (ข) และ (ค) ซึ่งปรากฏคราบเขม่าบริเวณแนวเชื่อมฝั่งของด้านล่าง ซึ่งไม่มีการเปิดผิวก่อนการเชื่อม โดยพบว่ามีเขม่ามากขึ้นเมื่อกระแสเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบ รูปที่ 4 (ก)

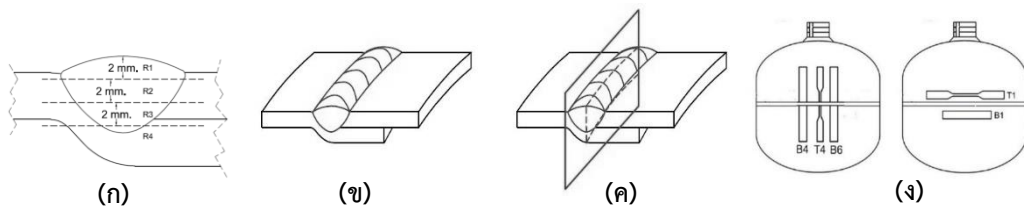
และจากรูปที่ 5 (ข) และ (ค) มีลักษณะการรวมกลุ่มกันของรูพรุนในบริเวณผลกระทบร้อน และเกิดการหลอมละลายไม่สมบูรณ์บริเวณของรอยต่อ

ตารางที่ 2 ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมผสม เกรด 5154 [1] และโลหะเติม ER5356 [5]

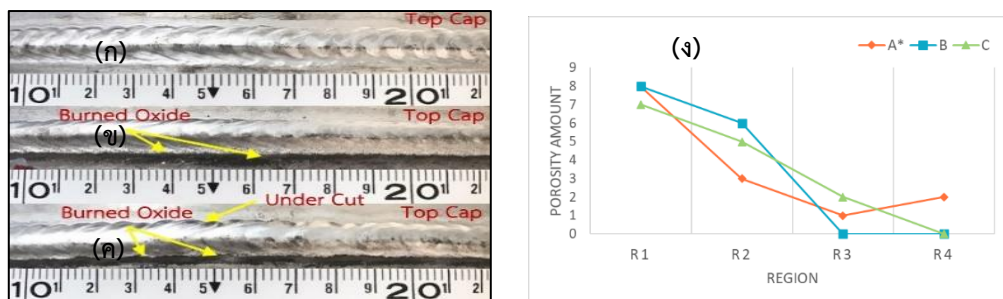
Alloys	Elements, wt. %								Other Elements		
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Other	Total	Al
5154	0.25	0.40	0.10	0.10	3.1-3.9	0.15-0.35	0.20	0.20	0.05	...	Rem.
5356	0.25	0.40	0.10	0.05-0.20	4.5-5.5	0.05-0.20	0.10	0.06-0.20	0.05	0.15	Rem.

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมผสม เกรด 5154 [1]

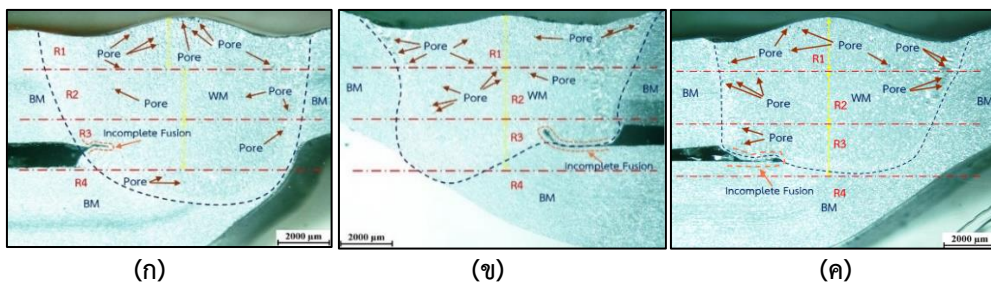
Alloys	Temper	Specification	Tensile Strength,		Yield Strength		Elongation in 2 in. or 4x	
		thickness, mm.	MPa.		(0.2 % offset), MPa.		Diameter, min, %	
			min	max	min	max		
5154	H34	1.3-4.0	270	317	200	...		6



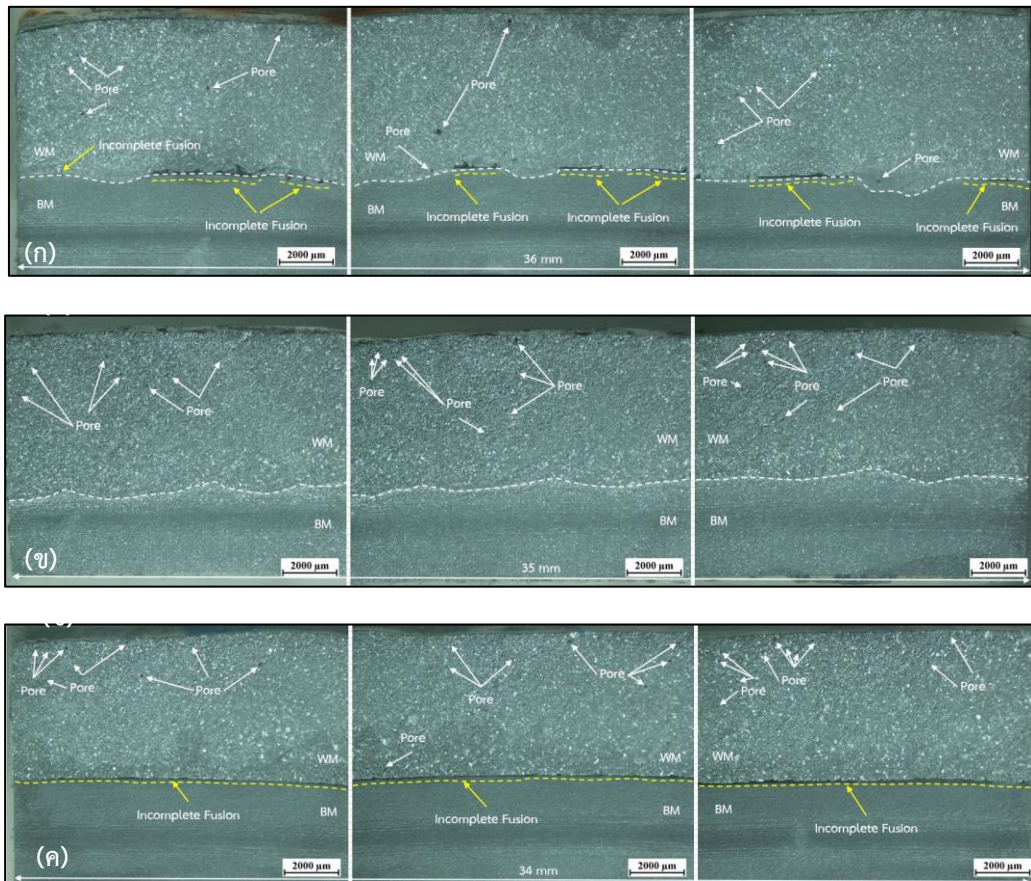
รูปที่ 3 (ก) ลักษณะเส้นแบ่งส่วนพื้นที่ภาคตัดขวางรอยเชื่อม (ข) ภาพตำแหน่งและรูปร่างชิ้นทดสอบ (ค) รูปตัดขวางรอยเชื่อมแนวเส้นรอบวง และ (ง) ภาพอธิบายตำแหน่งชิ้นงานทดสอบแรงดึง T4 และ T1 การตัดโค้ง B4, B6 และ B1 ของแนวเชื่อมและโลหะฐานตามลำดับ



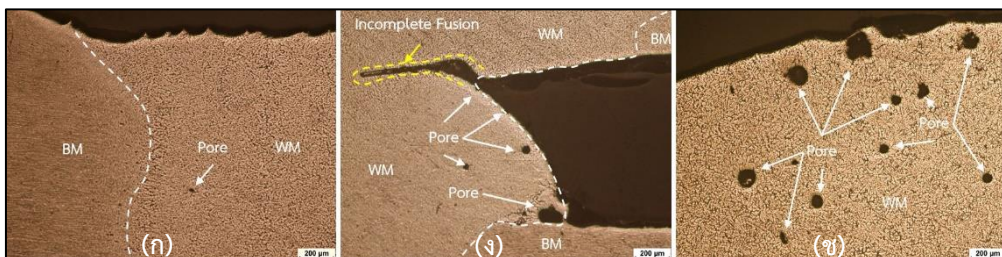
รูปที่ 4 ผิวแนวเชื่อมภายนอก (ก), (ข) และ (ค) เชื่อมด้วยตัวแปรความถี่ A*, B และ C ตามลำดับ, (ง) ภาพอธิบายความสัมพันธ์ของจำนวนรูพรุนในภาคตัดขวางของแนวเชื่อมในส่วน R1, R2, R3, และ R4

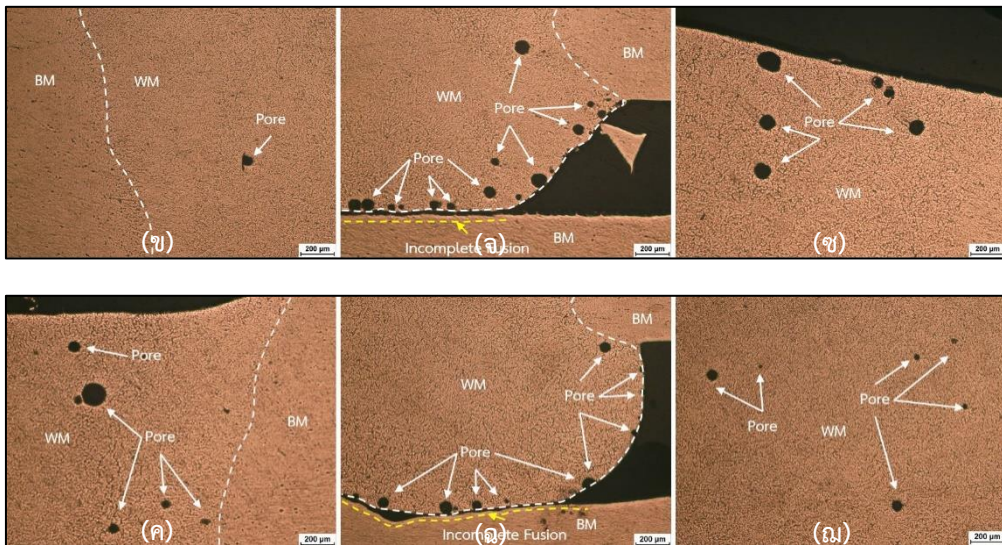


รูปที่ 5 ภาพตัดขวางแนวเชื่อม อธิบายลักษณะการกระจายของรูพรุน ด้วยโปรแกรม ImageJ (ก), (ข) และ (ค) ตัวแปรความถี่ A*, B และ C ตามลำดับ



รูปที่ 6 ภาพตัดกลางแนวเชื่อมในแนวเส้นรอบวง (ก), (ข) และ (ค) อธิบายการกระจายของรูพรุน จากตัวแปรความคุม A*, B และ C ตามลำดับ





รูปที่ 7 อธิบายลักษณะการกระจายตัวของรูพรุน (ก), (ข), (ค) บริเวณผลกระทบร้อน จากตัวแปรควบคุม A*, B และ C ตามลำดับ, (ง), (จ), (ฉ) และ (ช), (ฌ), (ฉ) บริเวณรอยต่อ และ เนื้อเชื่อม (Weld). ตามลำดับ

3.3 ผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกล (Effect on Mechanical Properties)

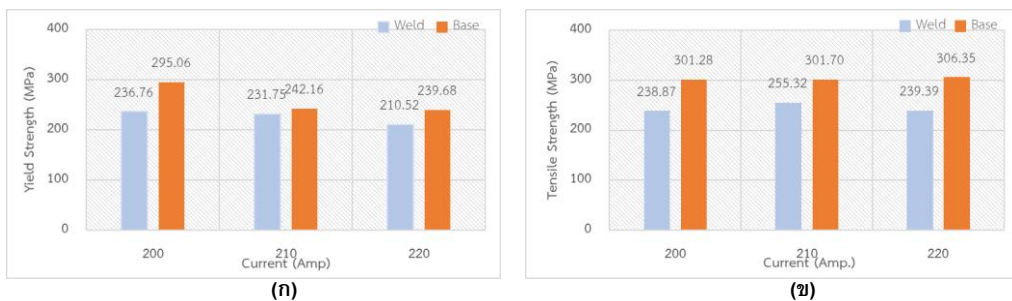
ผลการทดสอบการรับแรงดึง ตามรูปที่ 8 (ข) อธิบายความสัมพันธ์ ของกระแสไฟ และความแข็งแรง การรับแรงดึง (Tensile Strength) ของทั้งแนวเชื่อมและ โลหะฐาน โดยพบว่ากระแสไฟในการเชื่อมไม่ส่งผลต่อ ความแข็งแรงการรับแรงดึงของโลหะฐาน สำหรับความ แข็งแรงการรับแรงดึงของแนวเชื่อม สัมพันธ์กับความ สมบูรณ์ของการหลอมละลายดัง รูปที่ 6 (ก), (ข) และ (ค) ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 200, 210 และ 220 Amp. ตามลำดับ และจากรูปที่ 8 (ก) พบว่ากระแสไฟในการ เชื่อม ส่งผลต่อความแข็งแรงที่จุดคราก (Yield Strength) อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ เมื่อกระแสไฟที่ใช้ในการ เชื่อมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงที่จุดครากลดลงทั้ง ในส่วนของแนวเชื่อม และโลหะฐาน

ผลการทดสอบการดัดโค้งตามรูปที่ 9 (ก) พบว่า เกิดการแตกหักในการทดสอบการดัดโค้ง โดยผิวด้าน นอกการรับแรงดึง (Outer Surface in Tension) ในชั้น ทดสอบที่เชื่อมตัวแปรควบคุม C และยังพบอีกว่า รูปที่ 9 (ข) เกิดรอยแตกเร็วในชั้นทดสอบการดัดโค้ง โดยผิว

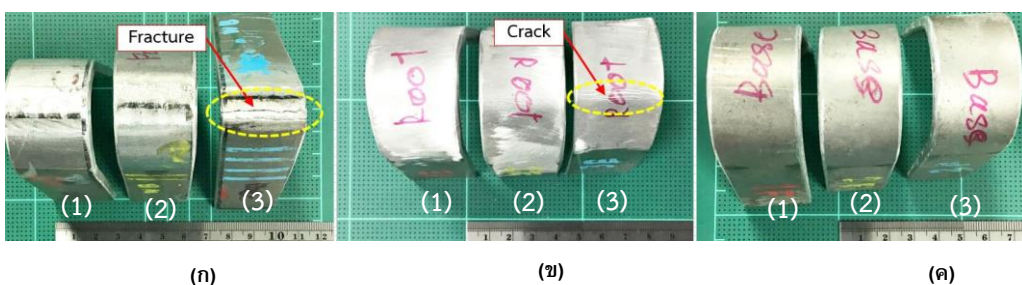
ด้านในรับแรงดึง (Inner Surface in Tension) ที่เชื่อม ด้วยตัวแปรควบคุม C เช่นกัน

3.4 การทดสอบด้วยการถ่ายภาพรังสี (Radiographic Testing)

จากรูปที่ 10 สามารถมองเห็นเส้นลวดที่เล็กที่สุด ที่เห็นได้ชัดเจนของ DIN IQI Type No.10 เส้นที่ 4 หรือ ลวดหมายเลข 13 ซึ่งมีขนาด 0.2 มม. เมื่อพิจารณาจาก รูปที่ 7 แล้ว รูพรุนที่เกิดจากตัวแปรควบคุมในการ ทดลอง มีขนาดน้อยกว่า 0.2 มม. จึงไม่ปรากฏบนฟิล์ม ภาพถ่ายรังสี แต่พบการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ในรูปที่ 10 ชั้นงานทดสอบ (ก) และ (ค) เชื่อมด้วย ตัวแปร ควบคุม A* และ C ตามลำดับ



รูปที่ 8 กราฟอธิบายความสัมพันธ์ของกระแสไฟ (ก) ความแข็งแรงที่จุดคราก (ข) ความแข็งแรงการรับแรงดึง



รูปที่ 9 ผลทดสอบ (ก) ผิวด้านนอกรับแรงดึง (ข) ผิวด้านในรับแรงดึง และ (ค) โลหะฐาน (1), (2) และ (3) เชื่อมด้วยตัวแปรควบคุม A*, B และ C ตามลำดับ



รูปที่ 10 ภาพถ่ายรังสี (ก), (ข), (ค) เชื่อมด้วยตัวแปรควบคุม A*, B และ C ตามลำดับ

4. สรุป (Conclusion)

(1) เมื่อกระแสไฟในการเชื่อมเพิ่มขึ้น จำนวนรูพรุนในแนวเชื่อมมีแนวโน้มที่ลดลง และกระจายตัวขึ้นสู่ด้านบนของแนวเชื่อมมากขึ้น การกระจายตัวของรูพรุนยังสัมพันธ์กับการทำความสะอาดผิวชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม โดยพบว่าจำนวนรูพรุนกระจุกตัวหนาแน่นในบริเวณผลกระทบร้อน ของชิ้นทดสอบที่ทำความสะอาดเพียงด้านเดียว และเกิดรูพรุนบริเวณผลกระทบร้อนน้อยที่สุด ที่กระแสไฟ 200 Amp. ความเร็วในการเชื่อม 75 cm./min.

(2) ชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 210 และ 220 Amp. ความเร็วในการเชื่อม 75 cm./min. เกิดการหลอมละลายไม่สมบูรณ์บริเวณรอยต่อเป็นบริเวณกว้างในหน้าตัดของแนวเชื่อม โดยมีลักษณะเป็นชั้นออกไซด์ฟิล์มที่ไม่หลอมละลาย ส่งผลให้รูปร่างหน้าตัดของแนวเชื่อมผิดรูปร่างไป การซึมลึกในส่วน R4 ไม่เพียงพอเป็นผลให้เกิดการแตกหักในการทดสอบการดัดโค้ง โดยด้านผิวด้านนอกรับแรงดึง และมีรอยแตกร้าว โดยด้านผิวด้านในรับแรงดึง

(3) เกิดการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ บริเวณรอยต่อของแนวเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ รูพรุนไม่สามารถออกจากรอยต่อได้ เนื่องจากผิวออกไซด์ไม่หลอมละลาย และพบว่าที่กระแสไฟ 210 Amp. ให้ค่าต้านทานแรงดึงสูงที่สุด 255.32 MPa.

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

งานวิจัยฉบับนี้ ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท เมทอล เมท จำกัด และ สถาบันวิศวกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] ASME BPVC. Section II Part B 2017: 278
- [2] ASME BPVC. Section VIII 2017: 193, 474
- [3] AWS WHB-3 Chapter 1 Aluminum and Aluminum Alloys: 2-48
- [4] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ดึงก๊าซ - ถึงอะลูมิเนียมเชื่อมมีรอยเชื่อมประเภทบรรจุก๊าซได้อีก มอก. 2707 – 2558

- [5] AlcoTec Wire Corporation 2750 Aero Park Dr., Traverse City, MI 49686-9263 U.S.A. 1-800-228-0750
- [6] A.W. AlShaer, L.Li, A.Mistry, The effects of short pulse laser surface cleaning on porosity formation and reduction in laserwelding of aluminium alloy for automotive component manufacture
- [7] Xiaohong Zhan, Yanqiu Zhao, Zemin Liu, Qiyu Gao, Hengchang Bu, Microstructure and porosity characteristics of 5A06 aluminum alloy joints using laser-MIG hybrid welding, Journal of Manufacturing Processes 35 (2018) 437–445
- [8] Chenxiao Zhu, Xinhua Tang, Yuan He, Fenggui Lu, Haichao Cui, Characteristics and formation mechanism of sidewall pores in NG-GMAW of 5083 Al-alloy, Journal of Materials Processing Technology 238 (2016) 274–28