

อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมมิกซ้าแนวต่อสมบัตินของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม
เฟอร์ริติก เกรด AISI 430

INFLUENCES OF MULTIPASS MIG WELDING PARAMETERS ON
AISI 430 FERRITIC STAINLESS STEEL WELDS PROPERTIES

โสวัตร ประพันธ์มิตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมมิกซ์แนวต่อสมบัติของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม
เฟอร์ริติก เกรด AISI 430

โสวัตร ประพันธ์มิตร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมมิกซ์แนวต่อสมบัติของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก เกรด AISI 430
ชื่อ - นามสกุล	นายโสวัตร ประพันธ์มิตร
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

การเชื่อมขั้วแนว คือ การเชื่อมที่ใช้ในงานเชื่อมซ่อมบำรุงโครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม การศึกษาสมบัติของแนวเชื่อมขั้วทำให้เกิดประโยชน์ในการเตรียมข้อมูลสำคัญสำหรับภาคการผลิตต่อไป ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการประยุกต์การเชื่อมมิกซ์แนวรอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 และศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติของแนวเชื่อมแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430 ความหนา 3 มิลลิเมตร ถูกลำมาต่อชนและยึดแน่นในอุปกรณ์จับยึด ร่องบากรวมของรอยต่อ 60 องศา รอยต่อถูกเชื่อมมิกซ์แนวโดยการเปลี่ยนแปลงตัวเชื่อมประกอบด้วย กระแสไฟเชื่อม 90-110A ความเร็วในการเชื่อม 300-500 มม/นาที และชนิดของแก๊ส 3 ชนิด รอยต่อที่ได้ถูกนำไปทำการเตรียมและตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและโครงสร้างจุลภาค

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ กระแสเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ความเร็วเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงลดลง แก๊สปกคลุมผสมให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและแนวเชื่อมขั้วเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สปกคลุมทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของรอยต่อเพิ่มขึ้น การเชื่อมที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุม Ar80% + CO₂20% ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 300 มม/นาที เชื่อมขั้วครั้งที่ 3 มีค่าแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 970 MPa

คำสำคัญ : การเชื่อมมิกซ์ โครงสร้างจุลภาค เหล็กกล้าไร้สนิม

Thesis Title	Influences of Multipass MIG Welding Parameters on AISI430 Ferritic Stainless Steel Welds Properties
Name - Surname	Mr. Sowat Praphantamit
Program	Manufacturing Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Khittipong Khimamong, Ph. D.
Academic Year	2012

ABSTRACT

Multi-pass welding was an important process that was applied for repairing the structure and machine part in an industry. An investigation of the welded properties that was produced by multipass welding could be an advantage and an important data for welding repair in manufacturing process in the near future. Therefore, this research aimed to apply multipass MIG welding to produce the AISI430 ferritic stainless steel and investigate the welding parameters effect on the weld properties.

A material used in this experiment was 3.0 mm thick of AISI430 ferritic stainless steel rolled plate. A butt joint that had a groove angle of 60 degree and a root opening of 1.0 mm was setup and clamped firmly in a jig. The joint was multipass MIG welded using variation of welding parameters such as welding current of 90-110A, welding speed of 300-500 mm/min and 3 type of shielded gas. The joint was prepared and investigated the relationship between the joint strength and micro structure of the joint.

The results of the experiment can be summarized as follows. The tensile strength of the butt joint increased when the welding current was increased, the welding speed was decreased and the number of the pass was increased. Increase of carbon dioxide amount in a shielded gas affected to increase the tensile of the joint. The tensile strength of the joint also increased when the number of the welding pass increased. The optimized welding parameter that showed the tensile strength of 970 MPa was the welding current of 110A, the welding speed of 300 mm/min and the shielded gas of Ar80%+CO₂20%.

Keywords: MIG welding, microstructure, stainless steel

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากการช่วยเหลือของผู้มีอุปการคุณ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ที่ได้ให้ทุนการศึกษา เพื่อใช้เป็นค่าเล่าเรียน และจัดงานวิจัยเรื่องนี้ ขอขอบพระคุณ ดร.สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล ดร.ชัยยะ ปราณิตพลกรัง ผศ.ดร. พิชัย จันทรมณี และ ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ ที่ได้คำแนะนำและข้อเสนอแนะตลอดจนการแก้ไขปัญหา ต่างๆ ขอขอบคุณคณะผู้บริหารวิทยาลัยการอาชีพร้อยเอ็ดที่ให้การสนับสนุนและให้โอกาสในการศึกษา ในครั้งนี้

ขอขอบคุณคณะครูแผนกวิชาโลหะการ วิทยาลัยการอาชีพร้อยเอ็ดที่ให้ความช่วยเหลือและให้ คำปรึกษาเกี่ยวกับข้อมูลในการจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ขอขอบคุณครูสุวัฒน์ ภูภาและคณะครูแผนกวิชา โลหะการวิทยาลัยเทคนิคชัยนาท ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดลองในครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณอรัญ จากบริษัท ไทสเปอร์เซียมแก๊ส ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ เกี่ยวกับข้อมูลแก๊สปกคลุมและอุปกรณ์สำหรับทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง ขอขอบคุณอาจารย์สุริยา ประสมทองและอาจารย์สุริยา น้ำแก้ว ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขตสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องทดลองทางโลหะวิทยา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอใช้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นการทดแทนพระคุณของ บิดา มารดา และ ครูบา อาจารย์ผู้มีพระคุณทั้งหลายตลอดจนครอบครัวและญาติ พี่น้อง เพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุน ต่อการศึกษาตลอดมา จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

โสวัตร ประพันธ์มิตร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel).....	4
2.2 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic Stainless Steel).....	8
2.3 การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW).....	11
2.4 แก๊สปกคลุม.....	17
2.5 อุปกรณ์จับยึด.....	26
2.6 ตัวแปรในการเชื่อม (Welding Parameter).....	27
2.7 อิทธิพลของความเร็วและอุณหภูมิที่มีผลต่องานเชื่อม.....	30
2.8 การแข็งตัวของรอยเชื่อม (Solidification of Weldmental).....	33
2.9 การทดสอบทางกล.....	44
2.10 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure Investigation).....	49
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	52
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	57
3.1 วัสดุ.....	57

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2 กระบวนการเชื่อม.....	59
3.3 การทดสอบทางกล	64
3.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	67
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	69
4.1 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ	69
4.2 อิทธิพลของกระแสเชื่อมต่อสมบัติของแนวเชื่อม.....	72
4.3 อิทธิพลของแก๊สปกคลุมต่อสมบัติของแนวเชื่อม.....	83
4.4 อิทธิพลของความเร็วในการเชื่อมต่อสมบัติของแนวเชื่อม	84
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	97
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	97
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	97
รายการอ้างอิง.....	98
ภาคผนวก.....	100
ภาคผนวก ก ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430.....	102
ภาคผนวก ข ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม.....	104
ภาคผนวก ค มาตรฐาน ASTM E340 – 00 (2006).....	106
ภาคผนวก ง มาตรฐาน ASTM E8 M.....	108
ภาคผนวก จ มาตรฐาน ASTM E 92	111
ภาคผนวก ฉ มาตรฐาน AWS D1.1/D1.1 M :2006.....	113
ภาคผนวก ช ใบรับรองส่วนผสมแก๊สปกคลุม	115
ภาคผนวก ซ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	117
ประวัติผู้เขียน	120

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเลือกใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิม	6
2.2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430.....	9
2.3 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430.....	10
2.4 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม.....	16
2.5 กลุ่มรหัสของลวดเชื่อมแต่ละประเภท ตามมาตรฐาน AWS.....	17
2.6 ขนาดน้ำหนักรหัสที่ใช้กดแต่ละสเกล.....	47
3.1 การออกแบบการทดลอง	62



สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะของกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม	12
2.2 การเปรียบเทียบความยาวอาร์กที่แตกต่างกันด้วยเส้นโค้งคุณสมบัติแรงดันและกระแส ของเครื่องเชื่อมชนิดแรงดันคงที่	14
2.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม	15
2.4 ลักษณะรอยเชื่อมเหล็กกล้าเมื่อใช้อาร์กอน และอาร์กอนผสมออกซิเจน	20
2.5 ลักษณะรอยเชื่อม และการซึมลึกเมื่อใช้ แก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ	20
2.6 ลักษณะการถ่ายโอนโลหะทั้ง 4 แบบ	22
2.7 ลักษณะการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่	24
2.8 การถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร	25
2.9 ลักษณะกระแสและขั้นตอนการถ่ายโอนโลหะแบบพัลส์.....	26
2.10 ระยะ โพล์ลวดเชื่อม.....	29
2.11 ช่วงอุณหภูมิบริเวณแอ่งหลอมละลายกระจายออกไป	30
2.12 การกระจายอุณหภูมิของการเชื่อมงานแผ่นบาง.....	31
2.13 การกระจายอุณหภูมิของการเชื่อมงานหนา	31
2.14 ลักษณะ โครงสร้างแนวเชื่อมเมื่อแข็งตัวหลังจากการหลอมละลาย	32
2.15 แผนภูมิสมดุลของเหล็ก และเหล็กคาร์ไบด์.....	32
2.16 กลไกการเกิดนิวคลีไอของรอยเชื่อม	33
2.17 ระบายสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว.....	35
2.18 การเปลี่ยนระนาบสัมผัส (Interface) ตามการเพิ่มขึ้นของอันเดอร์คูลลิง	36
2.19 ลำดับการเกิดขึ้นของ โครงสร้างเกรน	36
2.20 รูปตัดขวางของโลหะผสม Pb – Zn (ก) แสดงการเกิดเซตลูลาร์ (ข)แสดงการเกิดคอสม์ นาร์เดนไดรต์ (ค) แสดงการเกิดอิกวิแอกซ์เดนไดรต์ (ง) แสดงอิกวิแอกซ์เดนไดรต์ 3 มิติ	37
2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความชันของอุณหภูมิ และอัตราการเย็นตัว	38
2.22 ลักษณะการแข็งตัวที่แตกต่างกันในตำแหน่งต่างๆ ของรอยเชื่อม	39
2.23 การเปลี่ยน โครงสร้างเกรนจากผลกระทบที่เกิดจากอันเดอร์คูลลิง (DT).....	40
2.24 ผลของการเย็นตัวอย่างยิ่งยวดต่อลักษณะการแข็งตัวระหว่างการเชื่อม	41
2.25 การเคลื่อนที่ของโครงสร้างเกรน.....	43

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.26 ลักษณะการเกิดของแข็งแบบระนาบราบ, เซลลูลาร์, คอรัมน์คาร์บอนไดรต์และอิควิแอกซ์ เดนไดรต์.....	43
2.27 แสดงลักษณะชั้นทดสอบภาคตัดวงกลม	44
2.28 แสดงลักษณะชั้นทดสอบภาคตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก	45
2.29 แสดงลักษณะชั้นทดสอบภาคตัดขวางกลมหลังจากขาด	45
2.30 แสดงลักษณะปลายยึดชั้นทดสอบโดยการดึง.....	46
2.31 แสดงการวัดขนาดเส้นทแยงมุมของรอยบวมจากการกดเพื่อหาค่าความแข็ง	48
2.32 การหาขนาดความโตเม็ดเกรน.....	51
3.1 รอยต่อชนและชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ในการทดลองเชื่อม.....	58
3.2 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมทดลองและชุดอุปกรณ์เครื่องตัดแก๊สแบบอัตโนมัติ	59
3.3 ลวดเชื่อมมิก ตามมาตรฐาน AWS A 5.9 ขนาด 1.2 มม.....	60
3.4 ถังแก๊สชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อม	61
3.5 อุปกรณ์และลักษณะการจับยึดชิ้นงาน.....	62
3.6 ขั้นตอนการเชื่อมซ้ำแนว	63
3.7 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง (ASTM E8M)	64
3.8 เครื่องทดสอบแรงดึง	65
3.9 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส	65
3.10 การตัดชิ้นงานสำหรับการทดสอบ.....	66
3.11 ตำแหน่งของจุดทดสอบความแข็ง.....	66
3.12 กล้องจุลทรรศน์ และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล.....	67
4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมที่แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO ₂ 20% กระแสไฟ เชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม/นาที	69
4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุม Ar 100% กระแสไฟเชื่อม 100 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม/นาที.....	70
4.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุม CO ₂ 100% กระแสไฟเชื่อม 100A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม/นาที.....	71

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.4 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO ₂ 20% เชื่อมครั้งที่ 1.....	73
4.5 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO ₂ 20% เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2.....	74
4.6 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO ₂ 20% เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3.....	75
4.7 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO ₂ 20% เชื่อมครั้งที่ 1.....	76
4.8 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO ₂ 20% เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2.....	77
4.9 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO ₂ 20% เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3.....	78
4.10 การเปรียบเทียบลักษณะ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมและระบุตำแหน่งที่ใช้สำหรับ วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของกระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO ₂ 20%.....	79
4.11 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมที่กระแส 90 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO ₂ 20% ความเร็ว ในการเชื่อม 300 มม./นาที เชื่อมครั้งที่ 3.....	81
4.12 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมที่กระแส 100 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO ₂ 20% ความเร็ว ในการเชื่อม 300 มม./นาที เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3.....	81
4.13 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO ₂ 20% ความเร็ว ในการเชื่อม 300 มม./นาที เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3.....	82
4.14 การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงสูงสุดจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมครั้งที่ 1.....	83
4.15 การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงสูงสุดจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2.....	84
4.16 การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงสูงสุดจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3.....	85

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.17 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมครั้งที่ 1	86
4.18 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2.....	87
4.19 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3.....	88
4.20 การเปรียบเทียบลักษณะ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมและระบบตำแหน่งที่ใช้สำหรับ วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่ให้ค่าความแข็งสูงสุดของการเชื่อมแต่ละครั้งที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุม CO ₂ 100 % ความเร็วในการเชื่อม 300มม./นาที่.....	89
4.21 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม ที่แก๊สปกคลุม CO ₂ 100 % กระแสเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที่ เชื่อมครั้งที่ 1	91
4.22 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม ที่แก๊สปกคลุม CO ₂ 100 % กระแสเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที่ เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2	91
4.23 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม ที่แก๊สปกคลุม CO ₂ 100 % กระแสเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที่ เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3	92
4.24 การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงจากอิทธิพลด้านความเร็วในการเชื่อม กับจำนวนครั้ง ในการเชื่อมซ้ำที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุม Ar80% + CO ₂ 20%.....	93
4.25 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านความเร็วในการเชื่อมซ้ำที่ กระแส 110 A แก๊สปกคลุม CO ₂ 100%.....	94
4.26 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งสูงสุด ที่ความเร็วในการเชื่อม300 มม./นาที่ ที่แก๊สปกคลุม CO ₂ 100 % กระแสเชื่อม 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3.....	95
4.27 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งต่ำสุด ที่ความเร็วในการเชื่อม 500 มม./นาที่ ที่แก๊สปกคลุม CO ₂ 100 % กระแสเชื่อม 110 A เชื่อมครั้งที่ 1	96

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันการเชื่อมโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW) เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมชนิดใหม่ที่ถูกนำมาใช้แทนกรรมวิธีการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ เนื่องจากเทคนิคของกรรมวิธีการเชื่อม GMAW สามารถทำการเชื่อมได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่องประหยัดเวลาในการทำ ความสะอาดเนื่องจากไม่มีสแลกปกคลุมแนวเชื่อม สามารถเชื่อมได้ทั้งระบบกึ่งอัตโนมัติและอัตโนมัติ เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อมที่ต้องการคุณภาพสูง [1].

ในกรรมวิธีการเชื่อม GMAW ชนิดของกระแสเชื่อมและแก๊สคลุมถือเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่จะส่งผลต่อการถ่ายโอนโลหะ (Metal Transfer) และป้องกันบรรยากาศจากภายนอก เข้ามารบกวนในขณะที่แนวเชื่อมหลอมละลาย ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพในงานเชื่อมเป็นอย่างมาก ปัจจุบันความจำเป็นในอุตสาหกรรมการผลิตที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านโลหะ จำเป็นต้องมีเทคโนโลยีการเชื่อมเข้ามาเกี่ยวข้องอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงอิทธิพลตัวแปรและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของงานเชื่อม ทั้งนี้ เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการเชื่อมวัสดุแต่ละชนิดให้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม การเลือกปัจจัยและกระบวนการเชื่อมสำหรับการเชื่อมวัสดุแต่ละชนิดก็จะต้องมีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ต้องการนำมาเชื่อมนั่นเอง [2].

เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 จัดอยู่ในกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกแต่มีราคาถูกกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม กลุ่มออสเทนนิติก [3] สามารถทำการเชื่อมได้ดีและเชื่อมได้โดยไม่ต้องให้ความร้อนก่อนทำการเชื่อมหรือให้ความร้อนหลังการเชื่อม แต่สิ่งที่ต้องระวัง คือ ผลของความร้อนที่สูงเกินไปจะทำให้เกรนหยาบและไม่ทนต่อแรงกระแทกนอกจากนี้อุณหภูมิสูงจะทำให้ชิ้นงานบิดเบี้ยวได้ [4] เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ขยายตัวได้มากที่อุณหภูมิสูงแต่การนำความร้อนต่ำเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอน การแก้ไขทำได้โดยการปรับกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมให้ต่ำเพื่อควบคุมปริมาณความร้อนที่ให้กับชิ้นงานหรือใช้อุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงานหรือทำการเชื่อมทีละน้อยๆ จะลดการบิดเบี้ยวได้ ปัญหาอีกประการหนึ่ง คือ การเกิดโครเมียมคาร์ไบด์บริเวณรอยเชื่อม ทำให้ขาดการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์เพื่อป้องกันการเกิดสนิม ดังนั้นบริเวณรอยเชื่อมจะถูกกัดกร่อนได้ง่าย [5] นิยมคาร์ไบด์บริเวณรอยเชื่อมการเชื่อมให้ต่ำ ในอุตสาหกรรมการผลิตมีการแข่งขันกันทางด้านตลาดเป็นอย่างมากจึงได้มีการปรับเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการผลิตเพื่อลดต้นทุน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสินค้า

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการใช้วัสดุทดแทนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 304 เพื่อลดต้นทุน ซึ่งเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีสมบัติที่โดดเด่นเหนือกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก สมบัติการนำความร้อนได้ดีกว่า การไม่เกิดออกไซด์ชั้นที่อุณหภูมิสูง การขยายตัวเนื่องจากความร้อนน้อยกว่าและสมบัติเชิงกลโดยรวมจะมีค่าความแข็งแรงจำนวน(yield strength) สูงกว่าแต่มีค่าความแข็งแรงสูงสุด(tensile strength) การยึดตัวและค่าความแข็งต่ำกว่าซึ่งสามารถนำไปตัด พับหรือแปรรูปได้ง่ายกว่าและมีราคาถูกกว่า [6] ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนในการผลิต ผู้วิจัยจึงได้ทำการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 โดยใช้วิธีการเชื่อมมิกซ้่านวรอยต่อชน เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อรอยเชื่อมและมีผลต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของรอยเชื่อมซึ่งจะสามารถเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุทดแทนเพื่อลดต้นทุนในการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลตัวแปร (Parameter) การเชื่อมมิกแบบซ้่านวในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430

1.2.2 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของรอยเชื่อม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้วัสดุในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 ความหนา 3 มิลลิเมตร

1.3.2 ใช้เครื่องเชื่อมมิกประกอบติดตั้งกับเครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรง

1.3.3 ใช้ลวดเชื่อมมิกตามมาตรฐาน AWS A5.9 : ER-430 ขนาด 1.2 มิลลิเมตร

1.3.4 ใช้กรรมวิธีการเชื่อมมิกแบบซ้่านวในการเชื่อมทำารบรอยต่อชนบากร่องวี

1.3.5 ระยะห่างระหว่างชิ้นงานทั้งสอง (Root Opening) 1 มิลลิเมตร

1.3.6 ใช้ตัวแปรในการเชื่อม 3 ตัว คือ กระแสไฟ แก๊สปกคลุมและความเร็ว

1.3.7 ใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 3 อัตราส่วน ได้แก่ Ar80%+CO₂20% Ar100% และ CO₂100%

1.3.8 ใช้อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 12 ลิตร/นาที

1.3.9 ใช้กระแสไฟในการเชื่อม 3 ระดับ ได้แก่ 90 100 และ 110 แอมแปร์

1.3.10 ใช้ความเร็วในการเชื่อม 3 ระดับ ได้แก่ 300 400 และ 500 ม.ม./นาที

1.3.11 ทำการเชื่อม 1 แนว เชื่อมซ้่า 2 แนวและเชื่อมซ้่า 3 แนว

1.3.12 เชื่อมเสร็จแล้วปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในอากาศ

1.3.13 ทดสอบสมบัติทางกล ด้านค่าการรับแรงดึงสูงสุดบริเวณรอยเชื่อมตามมาตรฐาน ASTM E8 M

1.3.14 ทดสอบสมบัติทางกล ด้านความแข็งบริเวณรอยเชื่อมตามมาตรฐาน ASTM E92

1.3.15 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมตามมาตรฐาน ASTM E340-00(2006)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงอิทธิตัวแปรของการเชื่อม ที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 โดยกรรมวิธีการเชื่อมมิกซ์้าแนว

1.4.2 เป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนากระบวนการเชื่อมต่อไปในอนาคต

1.4.3 เป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุทดแทน



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

เหล็กกล้าต่างๆ ไป จะเกิดสนิมได้ง่ายในบรรยากาศที่มีความชื้น และการเกิดสนิมจะเกิดต่อไปไม่มีการหยุด กล่าวคือสนิมจะหนาขึ้นเรื่อยๆ ยิ่งถ้าเหล็กอยู่ในน้ำก็จะยิ่งเป็นสนิมหรือผุกร่อนไปได้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) เพราะเหล็กมีความเป็นแอโนด (Anode) สูงเมื่อธาตุโครเมียมในเหล็กมีปริมาณสูง เหล็กจะมีคุณสมบัติต้านทานต่อการเกิดสนิมได้มากขึ้นจนกระทั่งไม่เกิดสนิมแม้จะอยู่ในน้ำหรือในสารละลายที่เป็นกรดเจือจาง กล่าวได้ว่าเหล็กผสมโครเมียมมีคุณสมบัติเป็นแอโนดลดลงหรือเป็นแคโทด (Cathode) เพิ่มขึ้น เหล็กที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้จะเรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) โครเมียมเป็นธาตุที่สำคัญในเหล็กกล้าไร้สนิม ตัวโครเมียมเองมีแอโนดสูงกว่าไฮโดรเจน (เราจัดว่าไฮโดรเจนอยู่ตรงกลางระหว่างแอโนดและแคโทด กล่าวคือค่าปฏิกิริยาไฟฟ้าจะมีค่าเป็นศูนย์) โครเมียมจะมีคุณสมบัติที่พิเศษอยู่ประการหนึ่ง คือ เมื่ออยู่ในกรดไนตริกหรือกรดโครมิก ในตอนแรกจะมีคุณสมบัติเป็นแอโนดแต่พอทิ้งไว้สักครู่มันจะกลับกลายเป็นแคโทด ซึ่งมีค่าจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีไปทางด้านแคโทด ประมาณ 0.8 ถึง 0.9 โวลต์ ทำให้ไม่เกิดการผุกร่อนต่อไปที่เป็นเช่นนี้เพราะโครเมียมเมื่อรวมกับออกซิเจนจะเกิดเป็นโครเมียมออกไซด์เป็นฟิล์มที่เกาะติดแน่นและมีความทึบจนเป็นเสมือนเกราะป้องกันไม่ให้ไอเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านหรือผ่านได้น้อยลง จึงทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเกิดได้ยากขึ้น การสึกหรอจึงหยุดลง [7]

2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นโลหะเหล็กกล้าผสมที่มีส่วนผสมของธาตุโครเมียม อยู่อย่างน้อย 10.5 % ชื่อในภาษาไทยแปลมาจากภาษาอังกฤษว่า (Stainless Steel) เนื่องจากโลหะผสมดังกล่าวไม่เกิดสนิมอันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างออกซิเจนในอากาศกับโครเมียมในเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิม เกิดเป็นฟิล์มบางๆ เคลือบผิวไว้ ทำหน้าที่ปกป้องการเกิดความเสียหายให้กับตัวเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิม ได้เป็นอย่างดีปกป้องการเกิดการกัดกร่อน (Corrosion) และไม่ชำระสึกกร่อนง่ายอย่างโลหะทั่วไป สำหรับในสหรัฐอเมริกาและในหลายประเทศโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการบิน นิยมเรียกโลหะนี้ว่า คลอโรซันริซิสแทนท์สตีล (Corrosion Resistant Steel) เมื่อไม่ได้ระบุชัดว่าเป็นโลหะผสมชนิดใดและคุณภาพระดับใด แต่ในท้องตลาดเราสามารถพบเห็น เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 18-8 มากที่สุด ซึ่งเป็นการระบุถึงธาตุที่เจือลงในเนื้อเหล็กคือ โครเมียมและนิกเกิลตามลำดับ เหล็กกล้าไร้สนิมประเภทนี้จัดเป็นเกรดการค้าคือมีใช้ทั่วไป หาซื้อได้ง่าย มักใช้ทำเครื่องใช้ทั่วไป ซึ่งเราสามารถจำแนก

ประเภทเหล็กกล้าไร้สนิม ได้จากเลขรหัสที่กำหนดขึ้น ตามมาตรฐาน AISI เช่น 304, 304L, 316 และ 316L เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมจะเป็นตัวกำหนดเกรดของเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งมีความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกัน เหล็กกล้าไร้สนิมกับการเกิดสนิมปกติ เหล็กกล้าไร้สนิม จะไม่เป็นสนิมเพราะที่ผิวจะมีฟิล์มโครเมียมออกไซด์บางๆ เคลือบผิวอยู่ อันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างโครเมียมในเหล็กกล้าไร้สนิมกับออกซิเจนในอากาศ การทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นสนิมคือการถูกทำลายฟิล์มโครเมียมออกไซด์ที่เคลือบผิวออกไปในสภาวะที่เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถเกิดสนิมได้ก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมาอีกครั้ง เช่น ถ้าเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดรอยขีดข่วนแล้วบริเวณนั้นมีความชื้นซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยากับธาตุเหล็กก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมา ก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมขึ้นได้ [8]

2.1.1 การแบ่งกลุ่มของเหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถแบ่งได้ 5 กลุ่มหลักๆ ดังนี้ [5]

- 1) เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic Stainless Steel)
- 2) เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steel)
- 3) เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก (Martensitic Stainless Steel)
- 4) เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกผลึก (Precipitation Hardening Stainless Steel)

5) เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (Duplex Stainless Steel)

2.1.2 ผลของธาตุผสมในเหล็กกล้าไร้สนิม [3]

1) คาร์บอน (Carbon) คาร์บอน (C) เป็นธาตุที่มีอยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิม โดยทั่วไปจะไม่เกิน 0.15% (ยกเว้นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติก) เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีคาร์บอนต่ำจะเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนตามขอบเกรน เพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็น ตลอดจนเพิ่มความสามารถในการเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมคาร์บอนอยู่ 2 ช่วง คือ 0.02% (0.03%) และ 0.07% (0.04-0.15%) นอกจากนี้ การผสมไนโตรเจนหรือไนโอเบียมไปในเหล็กกล้าไร้สนิมจะช่วยให้จับตัวกับคาร์บอนและให้ผลดีต่อคุณสมบัติทั้งสามข้อที่กล่าวมาเหมือนเหล็กกล้าไร้สนิมคาร์บอน 0.02% เหล็กกล้าไร้สนิมที่ในเกรดมีอักษร “L” กำกับจะควบคุมคาร์บอนไม่ให้เกิน 0.03% ทำให้สามารถเชื่อมได้ดี มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular Corrosion) และความสามารถในการขึ้นรูปเย็นสูงกว่าเกรดที่มีคาร์บอนสูงกว่า

2) โครเมียม (Chromium) โครเมียม (Cr) ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนในสภาวะบรรยากาศทั่วไป โดยผสมอยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างน้อย 10.5% แต่เพื่อให้มั่นใจว่าเนื้อเหล็กกล้าไร้

สนิมมีการกระจายของโครเมียมอย่างน้อย 10.5% อย่างสม่ำเสมอ จึงมักผสมโครเมียมมากกว่าเล็กน้อย เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมโครเมียมอยู่ 2 ช่วง คือ 12% (10.5-14.0%) และ 17% (16.0-24.0%) ถ้าผสมโครเมียมเกินกว่า 30% จะทำให้เหล็กเปราะ

3) นิกเกิล (Nickel) นิกเกิล (Ni) ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบมูมอับในสารละลายกรด เพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็น ตลอดจนเพิ่มความสามารถในการเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมนิกเกิลอยู่ 2 ช่วง คือ 0% (ปริมาณเล็กน้อยติดมากับเหล็ก) และ 9% (6.0-15.0%)

4) โมลิบดีนัม (Molybdenum) โมลิบดีนัม (Mo) ช่วยเสริมผลความต้านทานต่อการกัดกร่อนของโครเมียม โดยเฉพาะการกัดกร่อนแบบมูมอับ และช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนในสภาพคลอไรด์ด้วย เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมโมลิบดีนัมอยู่ 2 ช่วง คือ 0% (ปริมาณเล็กน้อยติดมากับเหล็ก) และ 2% (1.0-3.0%)

5) ไทเทเนียม (Ti) หรือไนโอเบียม (Nb) ไทเทเนียม (Ti) หรือไนโอเบียม (Nb) ช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบขอบเกรน (Intergranular Corrosion) โดยสารทั้งสองตัวจะช่วยป้องกันการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ นอกจากนี้ไทเทเนียมหรือไนโอเบียมยังเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็นและความสามารถในการเชื่อมด้วย

ตารางที่ 2.1 การเลือกใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิม [3]

กลุ่ม	เกรด	ด้านการกัดกร่อน	ขึ้นรูป	เชื่อม	คุณสมบัติ	ตัวอย่างการใช้งาน
เฟอร์ริติก	430	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ผสมโครเมียมประมาณ 17% มีนิเกิลต่ำมาก (ติดมากับวัตดูดิบ) เป็นเกรดที่ใช้งานกันแพร่หลาย	งานสถาปัตยกรรมภายใน งานตกแต่งเครื่องใช้ภายในบ้าน
เฟอร์ริติก	430Ti	ปานกลาง	ดี	ดีมาก	คือเกรด 430 ที่ผสมไททาเนียมทำให้เชื่อมและขึ้นรูปได้ดี	เครื่องใช้ภายในบ้าน อ่างล้างจานท่อ

เฟอร์ริติก	409	ปานกลาง	ดี	ดี	เป็นเหล็กกล้าโครเมียม 12% ที่ผสมไทเทเนียม ทนความร้อนและการเกิดออกซิไดซ์ง่ายต่อการขึ้นรูปและเชื่อม	ระบบท่อไอเสียรถยนต์
ออสเตนนิติก	304	ดี	ดีมาก	ดี	เป็นเกรดที่นิยมใช้กันมากที่สุดมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดีสามารถขึ้นรูปเย็นและเชื่อมได้ดี	เครื่องใช้ในบ้าน ภาชนะเครื่องครัว เครื่องหุงต้ม ความดันแก๊สน้ำ อ่างช้อนส้อม

2.1.3 การทำความสะอาดเหล็กกล้าไร้สนิมภายหลังการเชื่อม[4]
ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ใช้สารเคมีส่วนใหญ่จะใช้สารละลายกรด $\text{HNO}_3 + \text{HF}$ ในการกำจัดข้อบกพร่องต่างๆ จากการเชื่อม เช่น สเกลหรือรอยไหม้ แต่ไม่ควรใช้กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติกที่เกิดการสูญเสียโครเมียมในรูปของคาร์ไบด์ หรือบริเวณขึ้นสนิมที่สัมผัสกับเหล็กกล้าคาร์บอน นอกจากนี้ยังมีการใช้เจลสำหรับทาลงไปที่ยรอยเชื่อมเพื่อขจัดสเกลและทำความสะอาดผิวด้วย โดยการใช้เจลจะมีข้อดี คือ ช่วยให้สามารถทำความสะอาดรอยเชื่อมในแนวตั้งได้

2) กระบวนการทางกลใช้การเจียรผิวออกหรือการขัดออก การพ่นทราย (Sand Blasting) ใช้แปรงลดเหล็กกล้าไร้สนิมขัด เป็นต้น ซึ่งจะสามารถขจัดเศษโลหะหลอมจากการเชื่อมที่กระเด็นมาติดบนผิวแผ่นเหล็กหรือรอยเชื่อม หรือแผลงจากฟลักซ์หุ้มลวดเชื่อมได้ อย่างไรก็ตามข้อเสียของกระบวนการนี้ คือ การสังเกตข้อบกพร่องที่มีขนาดเล็กจะทำได้ยาก

3) ทำ Passivation โดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น 20-40 % ที่อุณหภูมิ 50-60 °C เพื่อให้เกิดการฟอร์มของชั้นฟิล์มโครเมียมออกไซด์ และทำการล้างน้ำภายหลังการทำ Passivation ด้วย

2.2 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic Stainless Steel)

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic Stainless Steel) เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกที่ใช้กันมากจะผสมโครเมียม (Cr) ประมาณ 12% หรือ 17% (ช่วงของส่วนผสมของ Cr +/-1%) มีนิเกิลน้อยมาก (คิดมากับวัตดุดิบ) เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะมีโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์และมีคุณสมบัติที่แม่เหล็กสามารถดูดติดได้ มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield Strength) และค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ปานกลาง มีค่าความยืด (Elongation) สูง เช่น เกรด 430, 409 เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเฟอร์ริติกมีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มออสเทนนิติก แต่อาจพบปัญหาเรื่องเกรนหยาบ (Grain Coarsening) และสูญเสียความแกร่ง (Toughness) หลังการเชื่อม การใช้งาน เช่น ชิ้นส่วนเครื่องซักผ้า ชิ้นส่วนระบบท่อไอเสีย และในบางเกรดจะผสมโครเมียมสูงเพื่อใช้กับงานที่ต้องทนอุณหภูมิสูง [3]

โครเมียมที่ผสมในเนื้อเหล็กจะรวมตัวกับออกซิเจนเกิดเป็นฟิล์มของโครเมียมออกไซด์เคลือบผิวอยู่ที่ผิว ป้องกันการผุกร่อนในเนื้อเหล็ก ความหนาของการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ขึ้นอยู่กับปริมาณของโครเมียมเป็นสำคัญ สำหรับธาตุอื่นๆ ที่ผสมในเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางด้านต่างๆ มีดังนี้

- 1) เพิ่มสมบัติทางด้านต่างๆ ตามที่ต้องการ จะผสมธาตุ นิเกิล (Ni) โมลิบดีนัม (Mo) แมงกานีส (Mn) ซึ่งธาตุเหล่านี้ไม่ส่งผลเสียต่อการเชื่อม
- 2) เพิ่มสมบัติเชิงกล และ โลหะวิทยา จะผสมธาตุ คาร์บอน (C) ซิลิกอน (Si) นีโอเบียม (Nb) หรือ โคบอลต์ (Cb) และ ไททาเนียม (Ti) โดยการผสมธาตุเหล่านี้ต้องควบคุมปริมาณให้เหมาะสม
- 3) เพิ่มสมบัติให้ง่ายต่อการตกแต่งด้วยวิธีกล เช่น งานกลึง งานไส ได้ง่าย จะผสมธาตุ กำมะถัน (S), ฟอสฟอรัส (P), เซเลเนียม (Se) โดยรวมกันแล้วไม่เกิน 0.03%

การนำไปใช้งาน มีการนำเหล็กกล้าไร้สนิมไปใช้งานกว้างขวางมากในอุตสาหกรรมที่ต้องการป้องกันการกัดกร่อน โดยมีการนำไปใช้งานดังนี้

- 1) งานที่ต้องการความต้านทานการกัดกร่อน
- 2) งานที่ต้องการการทนต่อความร้อน
- 3) งานที่ใช้ในอุณหภูมิต่ำ
- 4) งานที่ต้องการความแข็งแรงสูงๆ
- 5) งานที่ต้องการความสะอาด และป้องกันการติดเชื้อ

แต่ในการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมเนื่องด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมมีหลายเกรดจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะกับชนิดของงานที่ใช้ตามเกรดของเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีอยู่ด้วย

2.2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก

ที่ใช้ในการทดลอง เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีคาร์บอนผสมอยู่ต่ำ มีเฉพาะโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักอยู่ประมาณ 11 – 18% ไม่สามารถเพิ่มความแข็งโดยการชุบแข็งได้ ซึ่งได้แก่กลุ่ม 400 เช่น 430, 409 เกรดนี้ไม่สามารถจะทำให้เป็นมาร์เทนไซด์โดยการเย็นตัว สำหรับเหล็กกล้าไร้

สนิมกลุ่มนี้แม่เหล็กดูดติด โดยส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Ni	%Cr	%Mo	%Ti	%Nb
0.119	0.230	0.363	0.032	0.0013	0.028	0.121	18.00	0.002	0.0061	0.44

%Al	%Co	%V	%W	%Pb	%Sn	%Mg	%As	%Zr	%Bi	%Ce
0.0164	0.0060	0.0716	0.0100	0.0041	0.0019	0.0115	0.0015	0.0015	0.0075	0.0092

%Sb	%Te	%B	%Zn	%La	%Fe
<0.0020	0.0058	<0.00050	0.0212	0.0013	81.3

2.2.2 ลักษณะทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430

- ความหนาแน่น 7.7 g/cm^3
- ค่าแรงต้านทานไฟฟ้าโอห์ม $0.60 \text{ mm}^2/\text{m}$
- ความจุความร้อนจำเพาะ $0 - 100 \text{ }^\circ\text{C} = 460 \text{ J/Kg }^\circ\text{C}$
- ค่าการนำความร้อน $100 \text{ }^\circ\text{C} = 26 \text{ W/m }^\circ\text{C}$
- สัมประสิทธิ์การขยายตัว $0 - 200 \text{ }^\circ\text{C} = 10.5$
- ยังโมดูลัสความยืดหยุ่น $\times 10^3 = 220 \text{ N/mm}^2$
- มีความต้านทานการกัดกร่อนปานกลาง
- ขึ้นรูปได้ปานกลาง เช่น พักภาชนะก้นตื้น
- แม่เหล็กดูดติด

- ชุบแข็งไม่ได้เนื่องจากไม่สามารถเปลี่ยนรูปโครงสร้างอสเทนไนต์ได้เมื่อถูกกระทำด้วยความร้อน

2.2.3 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430

มีความเหนียวต่ำ ด้านทานแรงกระแทกได้น้อยเกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรน เนื่องจากการรวมตัวของโครเมียมและคาร์บอนในช่วงอุณหภูมิ 427 – 700 องศาเซลเซียส เกิดสารประกอบโครเมียมคาร์ไบด์ ได้ง่ายต้องแก้โดยให้ความร้อนหลังการเชื่อม และทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว หรือเพิ่มธาตุที่ทำให้ส่วนผสมของโครเมียมเสถียร ได้แก่ ไททาเนียม (Ti) โคบอลต์ (Cb) หรือนีโอเบียม (Nb) เข้าไปในส่วนผสมของเหล็กกล้าไร้สนิม เพราะธาตุเหล่านี้จะรวมตัวกับธาตุคาร์บอนได้เร็วกว่าจึงเป็นการป้องกันการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์การขยายตัว ใกล้เคียงกับเหล็กกล้าคาร์บอนแต่ค่าการนำความร้อนต่ำกว่าเหล็กผสมครั้งหนึ่งสำหรับค่าการรับแรงต่างๆ ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430

ตามมาตรฐาน ASTM A240-05a			
YS Min/MPa	TS Min/MPa	EI Min %	Hardness Max/HRB
205	450	22	89

YS = ความแข็งแรงจํานน (Yield Strength)

TS = ความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

EI = ค่าการยืดตัว (Elongation)

HRB = ค่าความแข็งหน่วยร็อกเวลสเกลบี

2.2.4 การนำไปใช้งานของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430

- ชิ้นส่วนรถยนต์
- ประดับภายในอาคาร
- อุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม
- งานปีโตรเคมี
- อุปกรณ์เคมี
- อุตสาหกรรมต่อเรือ

- ผลิตภัณฑ์ที่ป้องกันการกัดกร่อนและที่ใช้ในงานอุณหภูมิสูง

2.2.5 การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดเฟอร์ริติก

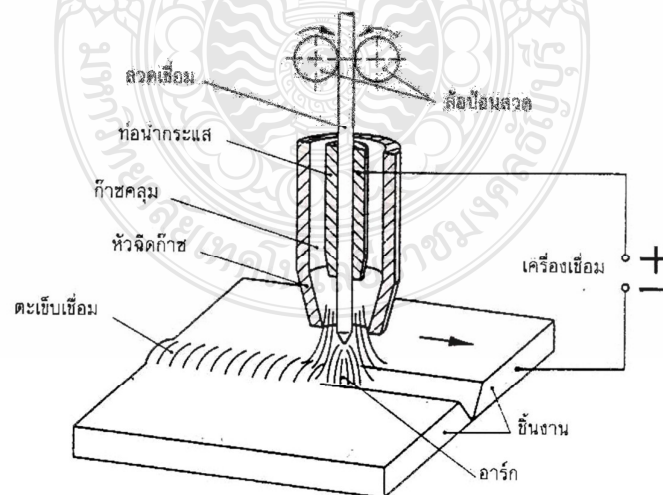
โครงสร้างสำคัญของเนื้อโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดเฟอร์ริติกประกอบไปด้วยส่วนผสมหลักของธาตุเหล็ก (Fe) + โครเมียม (Cr) + คาร์บอน (C) โดยมีส่วนผสมของโครเมียมสูง 17 – 24 % และมีส่วนผสมของธาตุที่ช่วยให้เป็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์เสถียร เมื่อชิ้นงานมีความร้อนสูง ดังนั้นโครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดเฟอร์ริติกจึงไม่เปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์ แต่จะคงโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรต์ ทุกสภาวะอุณหภูมิจนกระทั่งจนถึงจุดหลอมละลาย เหล็กกล้าไร้สนิมเกรดเฟอร์ริติกจึงไม่สามารถชุบแข็งได้ เพราะไม่สามารถผ่านขั้นตอนจากโครงสร้างเฟอร์ไรต์ไปเป็นโครงสร้างออสเทนไนต์และจากโครงสร้างออสเทนไนต์ไปเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ได้นอกจากนี้ส่วนผสมของธาตุคาร์บอน และไนโตรเจนจะมีผลทำให้เกิดโครงสร้างออสเทนไนต์เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงจากการเชื่อม จึงจำเป็นต้องเพิ่มส่วนผสมของโครเมียมหรือธาตุที่ทำให้เกิดโครงสร้างเฟอร์ไรต์เสถียร เช่น อะลูมินัม โคลัมเบียม ไททาเนียม และ โมลิบดีนัม โดยเฉพาะธาตุโคลัมเบียมและไททาเนียมจะช่วยให้โครงสร้างเฟอร์ไรต์เสถียรที่อุณหภูมิสูงโดยจะผลกดันทำให้เกิดการรวมตัวในรูปของคาร์บอนไนไตรด์เป็นการดึงธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนออกจากสารละลาย ป้องกันการเกิดโครงสร้างออสเทนไนต์ยกเว้นชนิดที่มีส่วนผสมของโครเมียมมากกว่า 21 % ได้รับความร้อนสูงกว่า 815 °C โครงสร้างบางส่วนจะกลายเป็นออสเทนไนต์และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศส่วนที่เป็นออสเทนไนต์ก็จะแข็งตัวกลายเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งและเปราะเล็กน้อย โครงสร้างมาร์เทนไซต์นี้จะปรากฏตามขอบเกรนของโครงสร้างเฟอร์ไรต์ทำให้ความเหนียวลดลงและอาจเกิดการแตกร้าวได้ง่าย แต่ปรากฏการณ์นี้จะน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดมาร์เทนซิติกโดยตรง ดังนั้นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดเฟอร์ริติกเมื่อผ่านการขึ้นรูปร้อน หรือการเชื่อมจะต้องแก้ปัญหานี้ด้วยการอบอ่อน คือการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 760 – 815 °C แล้วควบคุมให้มีการเย็นตัวอย่างรวดเร็วเพื่อให้ผ่านช่วงอุณหภูมิ 427 – 760 °C ป้องกันการเกิดเกรนโตทำให้เนื้อโลหะส่วนที่เป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์กลับเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์และทำให้แถบยาวของซีเมนไตต์กลายเป็นคาร์ไบด์กลมเล็กๆ แทรกกระจายอยู่ทั่วไปซึ่งทำให้ความแข็งแรงลดลง

2.3 การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW)

กระบวนการในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมเป็นกระบวนการเชื่อมแบบสลับเปลือย ลวดเชื่อมขนาดเล็ก จากม้วนลวดส่งผ่านหัวเชื่อมออกมาอย่างต่อเนื่อง ผ่านท่อนำลวดและ ท่อนำกระแส

จนลวดเชื่อมสัมผัสกับชิ้นงาน อาศัยการอาร์ค ระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน โดยมีแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมเพื่อป้องกันอากาศภายนอกเข้ามารวมตัวกับแนวเชื่อมซึ่งจะทำให้เกิดข้อบกพร่องขึ้นที่แนวเชื่อม ได้รับความร้อนที่เกิดจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน ซึ่งจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปตามชนิดของก๊าซที่ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อม เช่น การเชื่อมมิก จะใช้ก๊าซ อาร์กอน หรือ ก๊าซฮีเรียม หรือใช้อาร์กอนผสมกับฮีเลียม และการเชื่อมแมก จะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปกคลุมแนวเชื่อม ซึ่งการเชื่อมอาร์ค โลหะแก๊สคลุมเป็นการเชื่อมที่มีการหลอมละลายชิ้นงานและลวดเชื่อมเติมลงไป ในแนวเชื่อม ลักษณะคล้ายกับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์แต่จะแตกต่างกันตรงที่ การเชื่อมอาร์ค โลหะก๊าซคลุมไม่มีฟลักซ์จะใช้ก๊าซปกคลุมแนวเชื่อมแทนทำให้แนวเชื่อมที่ได้มีความสะอาดและมีคุณภาพสูง เหมาะกับการเชื่อมที่ต้องการคุณภาพในงานสูงๆ

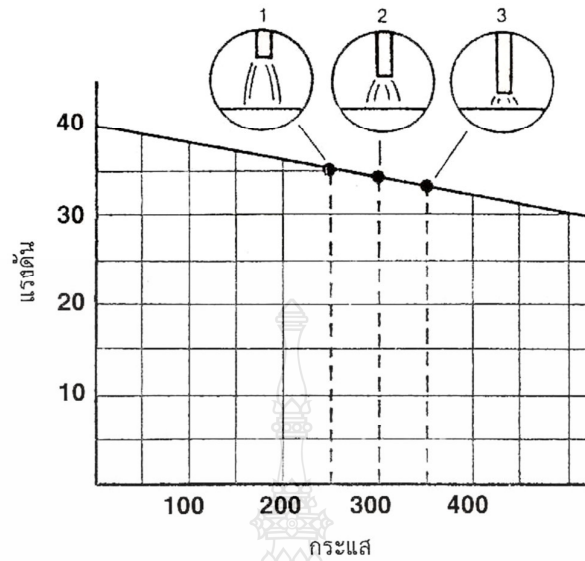
กระบวนการเชื่อมอาร์ค โลหะแก๊สคลุม สามารถเชื่อมงานได้อย่างกว้างขวางทั้งการเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็ก และ โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ตั้งแต่ชิ้นงานที่มีความบาง ไปจนถึงชิ้นงานที่มีความหนามากๆ โดยลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะในการอาร์ค จะขึ้นอยู่กับขนาดของลวดเชื่อม ชนิดของแก๊สที่ใช้ในการปกคลุม และขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม องค์ประกอบที่สำคัญของกระบวนการเชื่อมอาร์ค โลหะแก๊สคลุม คืออัตราการเติมเนื้อโลหะ ลงสู่บ่อหลอมละลายได้รวดเร็วและมากกว่ากระบวนการอื่น จึงทำให้เคลื่อนหัวเชื่อมได้เร็วจึงทำให้ปริมาณความร้อนจากการอาร์คเข้าสู่งานได้น้อย จึงส่งผลกระทบต่อชิ้นงานน้อยเพราะการแผ่กระจายของความร้อนอยู่ในบริเวณแคบๆ ทำให้งานบิดตัวน้อยจึงสามารถเชื่อมงานบางๆ ได้ผลดี [9]



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของกระบวนการเชื่อมอาร์ค โลหะแก๊สคลุม [9]

การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งวิธีการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ และอัตโนมัติ แต่ที่ใช้กันมากคือการเชื่อมเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ โดยช่างเชื่อมจะเป็นผู้ดำเนินการเองทั้งหมด ตั้งแต่การตั้งค่าแรงดัน ปรับอัตราการไหลของแก๊สคลุม และการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมด้วยมือ ส่วนการเชื่อมแบบอัตโนมัติไม่ค่อยนิยมเชื่อมกัน ส่วนใหญ่จะไปใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตที่มีปริมาณมากๆ เช่น โรงงานผลิตรถยนต์ วิธีการควบคุมการเชื่อมจะเป็นแบบอัตโนมัติทั้งหมด ช่างเชื่อมเพียงทำหน้าที่สังเกตความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการเชื่อมเท่านั้น กระบวนการเชื่อมนี้สามารถทำการเชื่อมได้ทุกตำแหน่งแนวเชื่อม แต่ก็ขึ้นอยู่กับขนาดลวดเชื่อมและลักษณะการถ่ายโอนโลหะด้วย กรณีใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปกคลุมแนวเชื่อม และลวดเชื่อมขนาดใหญ่ จะเชื่อมได้ดีเฉพาะตำแหน่งแนวราบและแนวระดับ การถ่ายโอนโลหะแบบล่องเหมาะกับการเชื่อมแนวราบและแนวระดับ ถ้าต้องการเชื่อมแนวเหนือศีรษะ ให้ใช้ลวดเชื่อมขนาดเล็ก การเชื่อมอาร์ค ด้วยวิธีนี้จะมีปัญหาบ้างก็เฉพาะการเชื่อมแนวตั้ง แต่แก้ไขได้โดยเปลี่ยนการถ่ายโอนโลหะเป็นแบบลัดวงจร หรือพัลส์แทนระบบการอาร์ก

กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม สามารถใช้เครื่องเชื่อมชนิดกระแสคงที่ (Constant Current) และแรงดันคงที่ (Constant Voltage) ทำการเชื่อมได้ เครื่องเชื่อมชนิดแรงดันคงที่ได้รับความนิยมกับการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมมากกว่าชนิดกระแสคงที่ โดยแรงดันคงที่จะใช้เชื่อมกับลวดเชื่อมเปลือยตัน (Solid) และลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux – Core) การปรับแรงดันจะปรับที่ปุ่มปรับของเครื่อง กระแสเชื่อมได้จากการปรับอัตราการเร็วป้อนลวดเชื่อม ถ้าลวดเชื่อมป้อนเร็วกระแสก็จะสูง ถ้าลวดเชื่อมป้อนช้ากระแสก็จะต่ำ ความยาวอาร์คก็มีความสำคัญ อัตราการเติมเนื้อโลหะของลวดเชื่อมขึ้นอยู่กับกระแสเชื่อม หากกระแสต่ำอัตราการหลอมเหลวของลวดจะลดลง เมื่อกระแสสูงอัตราการหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 2 ตรงจุดที่ 2 ความยาวอาร์ค แรงดันและกระแสจำนวนหนึ่งเป็นจุดเปรียบเทียบกับพฤติกรรมจุดอื่น ตรงจุดที่ 1 พบว่าถ้าความยาวอาร์คมาก แรงดันจะเพิ่มขึ้นจากเดิมแต่ไม่มากนัก ขณะเดียวกันกระแสจะต่ำลงทำให้อัตราหลอมเหลวของลวดลดลงเช่นกัน



ภาพที่ 2.2 การเปรียบเทียบความยาวอาร์คที่แตกต่างกันด้วยเส้นโค้งคุณสมบัติแรงดันและกระแสของเครื่องเชื่อมชนิดแรงดันคงที่[9]

ข้อดีของการเชื่อม MIG เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดการเชื่อมอื่น[3]

- 1) สามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม
- 2) แนวเชื่อมไม่มีสแลกปกคลุมจึงไม่เสียเวลาในการเคาะสแลกออก
- 3) ไม่มีเขม่าและควันขณะเชื่อม
- 4) สามารถมองเห็นบ่อหลอมละลายของการเชื่อมได้อย่างชัดเจน
- 5) การเชื่อมกระทำได้เร็ว จึงประหยัดเวลาและลดต้นทุนการผลิต
- 6) งานเชื่อมมีการเสียรูปน้อย
- 7) คุณภาพของแนวเชื่อมสูง
- 8) สามารถเชื่อมงานที่มีระยะห่างรอยต่อ (Gap) มากๆ ได้อย่างต่อเนื่อง
- 9) ลวดเชื่อมเป็นม้วนยาวสามารถเชื่อมได้แนวยาว และไม่มีเศษปลายลวดเชื่อมที่ต้องทิ้ง

มากเหมือนกับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

ข้อเสียของการเชื่อม MIG เมื่อเปรียบเทียบกับเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์[3]

- 1) อุปกรณ์ซับซ้อนและไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย
- 2) ไม่สามารถเชื่อมในบริเวณจำกัดได้

3) ถ้าเชื่อมเหล็กที่สามารถชุบแข็งได้ อาจทำให้แนวเชื่อมแตกเนื่องจากไม่มีสแลกปกคลุมแนวเชื่อมเพื่อช่วยลดอัตราเย็นตัว

4) ไม่เหมาะกับงานสนามหรือภายนอกอาคาร เนื่องจากลมจะพัดเอาแก๊สปกคลุมหนีไป (ถ้าจะเชื่อมในสนามหรือภายนอกอาคาร ควรทำที่กำบังลมให้ดี) เครื่องเชื่อมชนิดแรงดันคงที่

2.3.1 เครื่องเชื่อมและอุปกรณ์ในกระบวนการเชื่อม MIG [10]

เครื่องเชื่อมและอุปกรณ์พื้นฐานของการเชื่อมของ GMAW มีส่วนประกอบที่สำคัญ

1) เครื่องเชื่อม (Welding Machine) จะเป็นเครื่องเชื่อมกระแสตรง ชนิดแรงเคลื่อนคงที่ ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับการเชื่อม ซึ่งจะมีการต่อวงจรการเชื่อม โดยให้ลวดเชื่อมเป็นขั้วบวก และชิ้นงานเป็นขั้วลบ

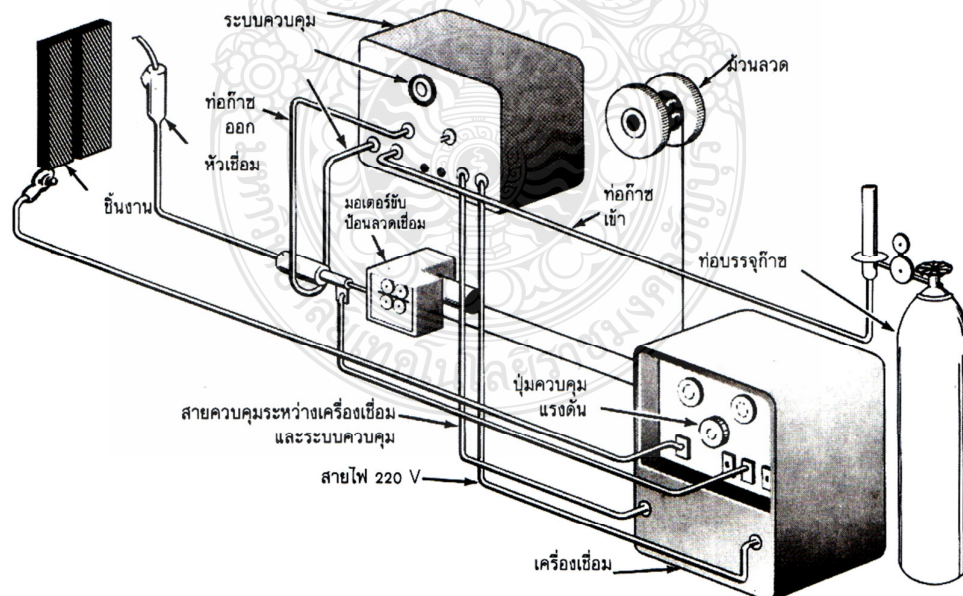
2) ชุดป้อนลวดเชื่อม (Wire Feed Unit) จะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการป้อนลวดเชื่อมและส่งลวดเชื่อมไปยังหัวเชื่อม เพื่อใช้ในการเชื่อม

3) ชุดหัวเชื่อมและท่อนำลวด (Welding Gun and Cable) จะเป็นส่วนที่นำลวดเชื่อม

4) แก๊สปกคลุมและกระแสไฟเชื่อมไปยังชิ้นงาน

5) ชุดควบคุมการไหลของแก๊ส (Shielding Gas Unit) จะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการไหล

6) ของแก๊สปกคลุมที่จะส่งไปยังการเชื่อม



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม [9]

2.3.2 ลวดเชื่อม

ลวดเชื่อมอาร์กโลหะก๊าซคลุม จะมีลักษณะเป็นเส้นกลมตันยาวเป็นม้วนคล้ายเส้นลวดใช้ ในการเชื่อมอย่างต่อเนื่อง โดยมีหลายขนาดให้เลือกใช้ โดยลวดเชื่อมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางค่อนข้าง เล็กเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมแบบอื่น โดยมีขนาดตั้งแต่ 0.8 – 1.6 มม. ซึ่งเป็นขนาดที่นิยม ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีขนาดเล็กสุด 0.5 มม. และโตสุด 3.2 มม. ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ ลวดเชื่อมจะมีผลต่อความกว้างของแนวเชื่อม ระยะซึมลึก และอัตราความเร็วในการเชื่อม ลวดเชื่อมที่ มีขนาดใหญ่จะใช้กระแสสูงและให้อัตราการเติมเนื้อโลหะมากกว่า แต่อัตราการหลอมเหลวของลวด เชื่อมจะเป็นฟังก์ชันกับความหนาแน่นของกระแส ถ้าลวดเชื่อมขนาดใหญ่ และลวดเชื่อมขนาดเล็ก ใช้ กระแสไฟเชื่อมเท่ากันในการเชื่อม ลวดเชื่อมที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการเติมเนื้อโลหะมากกว่า เพราะ มีความหนาแน่นของกระแสสูงกว่า ลวดเชื่อมมีมาตรฐาน AWS A5.8 : ER430 มีส่วนผสมของ ลวดเชื่อม ดังตารางที่ 2.4

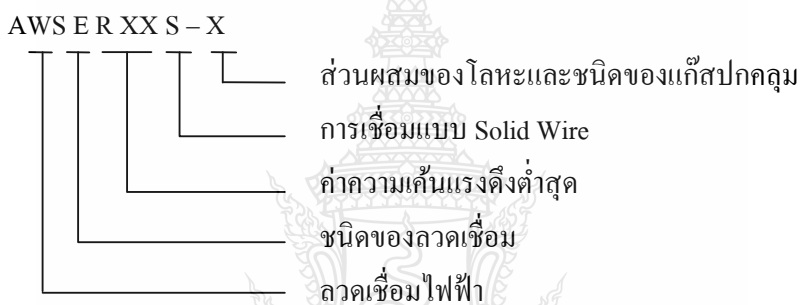
ตารางที่ 2.4 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม [11]

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Ni	%Cr	%Mo	%N	%Nb
0.013	0.39	0.36	0.023	0.0037	0.098	0.30	18.00	0.05	0.012	0.49

ลวดเชื่อมหรือวัสดุประสานในงานเชื่อม มีมากมายหลากหลายชนิดให้เลือกใช้ตามความ เหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการ และวัสดุที่ใช้สำหรับงานเชื่อม ลักษณะของลวดเชื่อมมีก จะมี ขนาดเล็กเป็นเส้นยาวติดต่อกันคล้ายเส้นลวดบรรจุอยู่ในม้วน ซึ่งขนาดบรรจุอยู่ที่ผู้ผลิตจะจัดทำขึ้น ลวดเชื่อมมีกจะถูกเคลือบด้วยทองแดงไว้เพื่อป้องกันการเกิดสนิม สามารถเก็บใช้งานได้นาน ลวด เชื่อมมีกเป็นลวดเชื่อมแบบสั่นเป็ลือง เวลาเชื่อมจะเกิดการหลอมละลายและถ่าย โอนเป็นน้ำโลหะเติม ลงในแนวเชื่อม ในการใช้งานจะเลือกใช้ตามมาตรฐานของลวดเชื่อมมีก ซึ่งลวดเชื่อมมีกตามมาตร ฐานสมาคมการเชื่อมของอเมริกา AWS, A5.9, A5.18 และ ASTM กำหนดมาตรฐานไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.5 กลุ่มรหัสของลวดเชื่อมแต่ละประเภท ตามมาตรฐาน AWS [12]

AWS Specification	โลหะ
A 5.7	ทองแดงและทองแดงเจือ
A 5.9	เหล็กกล้าไร้สนิม
A 5.10	อลูมิเนียมและอลูมิเนียมเจือ
A 5.14	นิกเกิลและนิกเกิลเจือ
A 5.16	ไทเทเนียมและไทเทเนียมเจือ
A 5.18	เหล็กกล้าคาร์บอน



2.4 แก๊สปกคลุม

ในกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม แก๊สที่ใช้ปกคลุมแนวเชื่อมจะมีผลต่อสมบัติของแนวเชื่อม และช่วยป้องกันอากาศภายนอกเข้ารวมตัวกับแนวเชื่อม ซึ่งจะส่งผลทำให้แนวเชื่อมเกิดข้อบกพร่อง เพราะบรรยากาศรอบๆ แนวเชื่อมจะมีส่วนประกอบของแก๊ส ไนโตรเจน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไอน้ำ แก๊สเหล่านี้ถ้าเข้ารวมตัวกับแนวเชื่อมจะเป็นสาเหตุของความบกพร่องในแนวเชื่อม เช่น การเกิดรอยร้าว เกิดรูพรุน หรือเกิดฟองอากาศ ในแนวเชื่อม ทำให้คุณภาพของแนวเชื่อมต่ำ ไม่สามารถใช้งานในวิศวกรรมที่ต้องการความแข็งแรงสูงได้

นอกจากนี้แก๊สปกคลุมยังมีผลต่อการเชื่อมอาร์ก ทางด้านอื่นๆ ด้วย เช่น การซึมลึกของแนวเชื่อม การเกิดเม็ดโลหะกระเด็น ความเสถียรของการอาร์ก การถ่ายโอนน้ำโลหะแบบต่างๆ การใช้แก๊สปกคลุมเพียงชนิดเดียว ไม่สามารถทำให้เกิดการถ่ายโอนน้ำโลหะแบบต่างๆ ได้ การเชื่อมวัสดุหรือโลหะบางชนิด หรือการถ่ายโอนน้ำโลหะบางแบบ ต้องเลือกใช้แก๊สปกคลุมที่เป็นแก๊สผสม หรือแม้แต่วัสดุชนิดเดียวกันถ้าเลือกใช้แก๊สผสมที่ถูกต้อง ในการปกคลุมก็จะได้ลักษณะและคุณภาพของแนวเชื่อมที่ดี กว่าที่ใช้แก๊สปกคลุมชนิดเดียว

2.4.1 ชนิดของแก๊สคลุม

แก๊สที่นำมาใช้ปกคลุมแนวเชื่อม สำหรับกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม แบ่งเป็น 4 ชนิด คือ

1) แก๊สเฉื่อย อาร์กอน (Ar) ฮีเลียม (He) เหมาะกับการใช้คลุมป้องกันแนวเชื่อม ในการเชื่อมเหล็กกล้า แต่ไม่สามารถใช้ได้กับโลหะทุกชนิด จึงต้องผสมแอกทิฟแก๊ส เช่น คาร์บอน ไดออกไซด์ หรือออกซิเจนเข้าไป เพื่อให้การอาร์กเสถียรมีประกายโลหะจากการเชื่อมลดลง

2) แอกทิฟแก๊ส คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) หรือเป็นแก๊สผสมกันระหว่างแก๊สอาร์กอน กับแอกทิฟแก๊สบางตัว เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊สไนโตรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือแก๊สไฮโดรเจน [2]

3) อันริแอกทิฟแก๊ส คือ ไนโตรเจน (N₂) ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อมสำหรับการเชื่อมทองแดง และทองแดงเจือ ให้คุณสมบัติการเชื่อมคล้ายกับฮีเลียม แต่การซึมลึกดีกว่าอาร์กอน และการถ่ายโอนโลหะเป็นแบบหยดขนาดใหญ่ ไนโตรเจนใช้แทนฮีเลียมได้ กรณีไม่มีฮีเลียม และอาจผสมอาร์กอน จะทำให้การอาร์กเสถียรและราบเรียบ ลดความปั่นป่วนในบ่อหลอมละลาย ขณะทำการเชื่อม แก๊สผสมนี้อาจใช้เชื่อมอลูมิเนียมเชื่อมได้เช่นกัน

4) แก๊สผสม เช่น อาร์กอน ผสม คาร์บอนไดออกไซด์ (Ar/CO₂) อาร์กอนผสมออกซิเจน (Ar/O₂) อาร์กอนผสมออกซิเจนผสมคาร์บอนไดออกไซด์ (Ar/O₂/CO₂) จะนำมาใช้คลุมรอยเชื่อม เพื่อเพิ่มคุณภาพการเชื่อมและงานเชื่อมให้สูงขึ้นหรือเกิดการถ่ายโอนโลหะตามต้องการ การผสมจะใช้เครื่องผสมแก๊ส โดยแก๊สจะผสมกันก่อนจ่ายออกสู่หัวเชื่อม โดยในการผสมแบ่งออกได้ 4 อย่างคือ

1. แก๊สเฉื่อย ผสมกับแก๊สเฉื่อย
2. แก๊สเฉื่อย ผสมแก๊สเฉื่อย และแอกทิฟแก๊ส
3. แก๊สเฉื่อย ผสมแอกทิฟแก๊ส
4. แอกทิฟแก๊สผสมกันเอง

คุณสมบัติเด่นของแก๊สคลุมแต่ละชนิดที่มีผลต่อสมบัติรอยเชื่อมก่อนนำมาผสมมีดังนี้ [9]

1. ฮีเลียม ให้ความร้อนเปลวอาร์คสูงรอยเชื่อมจะกว้าง ระยะซึมลึกตื้น
2. อาร์กอน เป็นแก๊สที่ให้ประจุบวก ได้ดีช่วยให้เปลวอาร์คและกระแสเชื่อมคงที่แนวเชื่อมกว้าง ระยะซึมลึกมากทั้งด้านข้าง และด้านล่างแนวเชื่อม
3. คาร์บอนไดออกไซด์ จะให้รอยซึมลึกกว้าง และลึก ผิวหน้าแนวเชื่อมมีเกล็ดหยาบ และนูน โก้งเกิดสภาพประจุบวกต่ำ ขนาดหยดโลหะไม่สม่ำเสมอ เม็ดโลหะกระเด็นมากแต่มีรัศมีการปกคลุมบริเวณบ่อหลอมละลายอย่างทั่วถึง

ออกซิเจน ทำให้หยดน้ำโลหะกระจายเป็นฝอยมีกระแสเชื่อมต่ำขณะเกิดหยดละอองโลหะ แนวเชื่อมกว้างความหนาต่ำ ผิวแนวเชื่อมเป็นเกร็ดละเอียดไม่เกิดการอาร์คคัลดวงจรและหยดโลหะมีเม็ดขนาดเล็กส่งผลให้อุณหภูมิที่บ่อหลอมเหลวสูงชนิดของแก๊สผสมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีดังนี้ ชนิดของแก๊สผสมที่ใช้ในปัจจุบันมีดังนี้

1) อีเลียม - อาร์กอน

แก๊สผสมชนิดนี้จะให้คุณสมบัติในการเชื่อมด้วยแก๊สเฉื่อยอย่างเต็มที่ โดยมีอีเลียมให้คุณสมบัติด้านการซึมลึกดี ส่วนอาร์กอนให้การถ่ายโอนโลหะแบบละออง และการอาร์กมีความเสถียรใกล้เคียงกับการใช้อาร์กอนบริสุทธิ์ คลุมรอยเชื่อม งานเชื่อมบางชนิดถ้าใช้อีเลียมอย่างเดียวเปลวอาร์กก็จะร้อนเกินไป ถ้าเฉพาะอาร์กอนเปลวอาร์กก็ร้อนน้อยกว่า จึงนำเอาแก๊สทั้งสองชนิดมาผสมกัน เพื่อให้ได้ผลดีต่อการเชื่อมมากที่สุด

2) อาร์กอน – คาร์บอนไดออกไซด์

การผสมคาร์บอนไดออกไซด์เข้ากับอาร์กอนมีจุดประสงค์เช่นเดียวกับอาร์กอน – ออกซิเจน การผสมคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไป จะทำให้การอาร์กมีความเสถียร การถ่ายโอนโลหะจากลวดเชื่อมไปยังชิ้นงานได้ดี มีแรงเกาะยึดบ่อหลอมดีกว่า และลดประกายโลหะกระเด็นเมื่อเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็กให้คุณสมบัติการอาร์กดี ขณะเชื่อมบ่อหลอมละลายจะขยายออกไปถึงขอบรอยต่อ จึงไม่ทำให้เกิดรอยกินลึกที่ขอบรอยเชื่อม

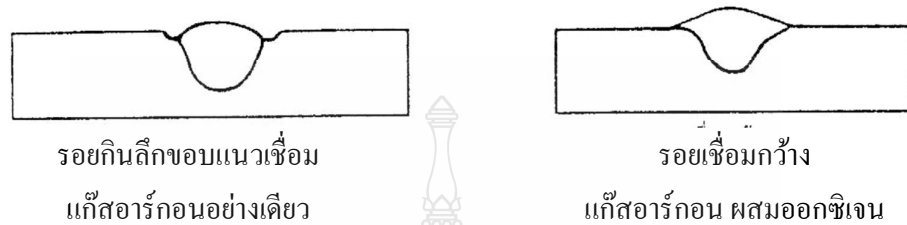
3) อีเลียม – อาร์กอน – คาร์บอนไดออกไซด์

แก๊สผสมชนิดนี้จะให้แรงเกาะยึดของบ่อหลอมเหลวดีกว่า และการถ่ายโอนโลหะเป็นแบบคัลดวงจร นิยมใช้กับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก ทำปฏิกิริยากับบรรยากาศได้เล็กน้อย แต่ไม่ลดความต้านทานการกัดกร่อน การผสมควรให้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เปอร์เซ็นต์ต่ำ เพราะคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นตัวลดความเหนียวของเนื้อโลหะเชื่อมลักษณะของแนวเชื่อมที่ได้จากแก๊สผสมชนิดนี้จะแบนราบ ซึ่งเป็นผลดีคือไม่ต้องทำการเจียรระนาดแต่งแนวเชื่อมมาก จึงเหมาะกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมหรือเชื่อมท่อ

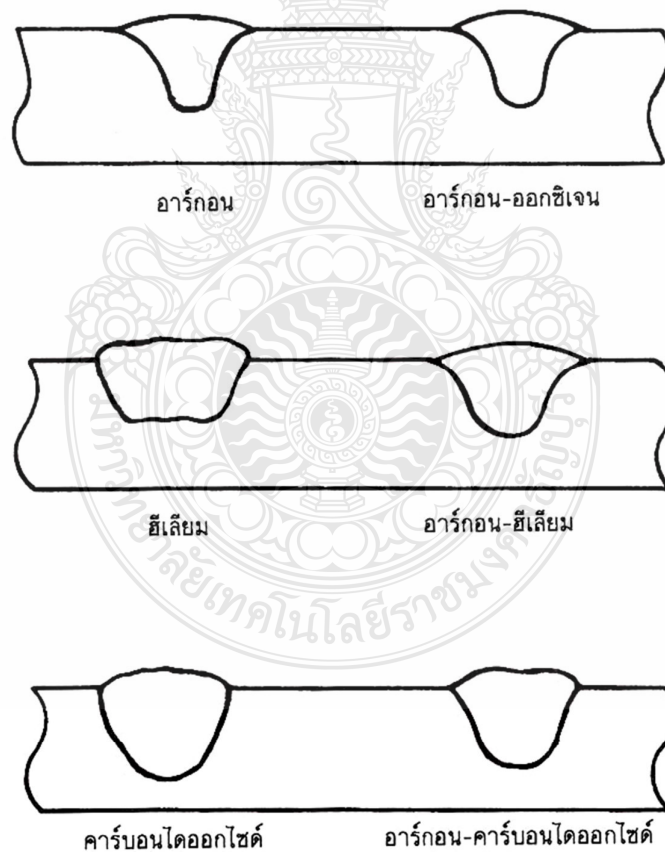
4) อาร์กอน – ออกซิเจน

การผสมออกซิเจนจำนวนเล็กน้อยกับแก๊สอาร์กอน จะทำให้เกิดออกไซด์ซึ่งขึ้นแต่ไม่มากนักลวดเชื่อมที่เลือกใช้ต้องมีธาตุดีออกไซด์เซอร์ เพื่อขจัดออกซิเจนออกจากบ่อหลอมละลาย ป้องกันการเกิดรูพรุนของเนื้อโลหะเชื่อม การใช้อาร์กอนบริสุทธิ์จะให้คุณสมบัติการอาร์กที่ไม่ดีเมื่อเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็ก และลวดเชื่อมที่หลอมเหลวมีแนวโน้มต่อการไหลพุ่งไม่เป็นเส้นตรง แต่การผสมออกซิเจนปริมาณเพียงเล็กน้อย 1 – 5 % จะช่วยให้การอาร์กมีความเสถียรดี ประกายโลหะ

กระเด็นน้อย ตะเข็บเชื่อมมีลักษณะดีขึ้น การซึมลึกของรอยเชื่อมกว้างกว่าการใช้อาร์กอน
 อย่างเดียวไม่ทำให้เกิดรอยการกินลึกขอบแนวเชื่อม เมื่อเชื่อมเหล็กกล้า แต่ถ้าใช้อาร์กอนอย่างเดียวใน
 การเชื่อมเหล็กกล้าจะเกิดรอยกินลึกที่ขอบแนวเชื่อม



ภาพที่ 2.4 ลักษณะรอยเชื่อมเหล็กกล้าเมื่อใช้อาร์กอน และอาร์กอนผสมออกซิเจน [9]



ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะรอยเชื่อม และการซึมลึกเมื่อใช้ แก๊สปกคลุมชนิดต่างๆ [9]

2.4.2 อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม และระยะห่างของหัวฉีด สำหรับการไหลของแก๊สปกคลุม และระยะห่างของหัวฉีดนี้มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ และความเหนียวของเนื้อโลหะเชื่อม ในการเลือกใช้อัตราการไหลของแก๊สคลุมและระยะห่างของหัวฉีดที่เหมาะสม จะพิจารณาจากค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการเชื่อม อิทธิพลของระยะห่างของหัวฉีด และอัตราการไหลของแก๊สคลุมมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ และปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะเชื่อมด้วย ในการปรับค่าของแก๊สปกคลุมปกติจะใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

สูตรในการกำหนดปริมาณแก๊สเฉื่อย [13]

ปริมาณแก๊ส ลิตร / นาที = $10 \times$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อม (มม.)

ตัวอย่าง

ลวดเชื่อม = 1.0 มม.

แทนค่า = 10×1.0 มม.

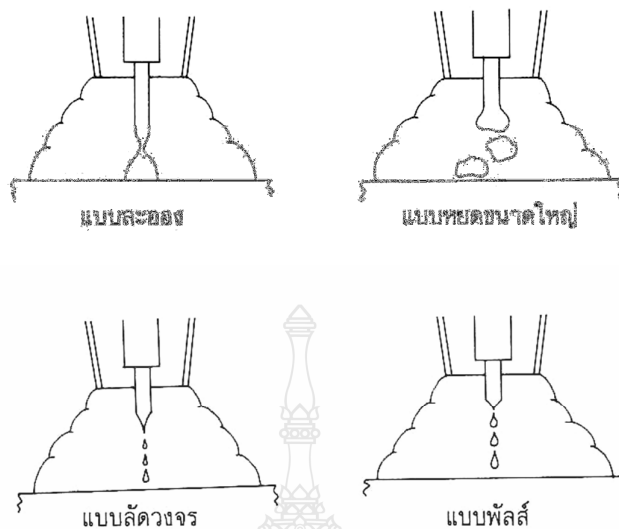
= 10 ลิตร / นาที

2.4.2 การถ่ายโอนโลหะ

การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เป็นกระบวนการที่มีความสามารถในการเชื่อมสูง เมื่อเทียบกับกระบวนการเชื่อมอื่นๆ คือ เชื่อมได้ทั้งโลหะที่เป็นเหล็ก และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ทั้งหนาและบาง เพราะมีการถ่ายโอนโลหะที่แตกต่างกันหลายแบบ การถ่ายโอนโลหะ หมายถึง การที่โลหะลวดเชื่อมหลอมเป็นหยดหลุดออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านอาร์คเข้าสู่บ่อหลอมเหลวบนโลหะชิ้นงาน ซึ่งการถ่ายโอนของหยดโลหะเกิดจากแรงกระทำต่อหยดโลหะที่ปลายลวดเชื่อม โดยเป็นปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างแรงและส่วนผสมทางเคมี ของลวดเชื่อมชนิดของแก๊สคลุมกระแสเชื่อม แรงดันเชื่อมและขนาดลวดเชื่อม แรงกระทำต่อหยดโลหะมีดังนี้

- 1) ความดันพลาสมา (จากความเสียดทานของพลาสมาเจต)
- 2) แรงดันปลายลวดเชื่อม ทำให้หยดโลหะคอดกึ่งวง
- 3) ความดันเนื่องจากการกลายเป็นไอของวัสดุ
- 4) แรงจากความดันก๊าซที่ปลายลวดเชื่อม
- 5) แรงแม่เหล็กไฟฟ้า
- 6) แรงโน้มถ่วง
- 7) แรงตึงผิว

การถ่ายโอนโลหะแบ่งออกได้ 4 แบบ คือ แบบละออง (Spray) แบบหยดขนาดใหญ่ (Globular) แบบลัดวงจร (Short Circuit) และแบบพัลส์ (Pulsed)



ภาพที่ 2.6 ลักษณะการถ่ายไอออนโลหะทั้ง 4 แบบ [9]

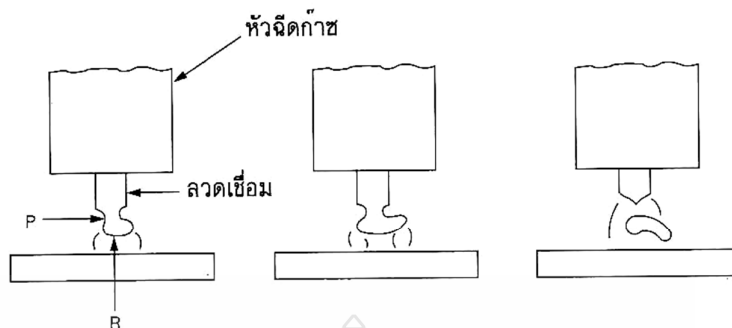
1) การถ่ายไอออนแบบละออง (Spray)

การถ่ายไอออนแบบละออง เกิดจากการหลอมของลวดเชื่อมเป็นหยดโลหะขนาดเล็กกว่า จักรการถ่ายไอออนโลหะเริ่มขึ้น เมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมเหลวแล้วก่อตัวเป็นหยดโลหะขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อม หยดโลหะจะรีวเล็กลงตรงส่วนที่ต่ออยู่ระหว่างปลายลวดเชื่อม และหยดนี้จะแยกตัวหรือ ถูกกั๊กหลุดออกจากปลายลวดเชื่อมด้วยแรงแม่เหล็กไฟฟ้า หยดโลหะถูกถ่ายไอออนอย่างรวดเร็ว ผ่านพลาสมาอาร์คสู่บ่อหลอมเหลวอย่างคงที่ต่อเนื่องไปไม่หยุด ตลอดเวลาที่กระแสเชื่อมยังไหลผ่านลวดเชื่อมอยู่ ปริมาณหยดโลหะที่ถ่ายไอออนอาจต่ำกว่าหรือสูงกว่า เป็นหลายร้อยหยดในเวลาหนึ่งวินาที กระบวนการถ่ายไอออนแบบละอองต้องใช้ความหนาแน่นของกระแสสูง เพื่อลวดเชื่อมจะได้หลอมเป็นหยดขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเชื่อมอย่างรวดเร็ว หยดที่มีขนาดเล็กนี้ไม่มีผลต่อเสถียรภาพของการอาร์ค เช่น กรณีของการถ่ายไอออนแบบหยดขนาดใหญ่แต่อย่างใด การไหลพุ่งของหยดโลหะจึงเป็นเส้นตรงจากศูนย์กลางปลายลวดเชื่อมสู่บ่อหลอมเหลว ทำให้กำหนดทิศทางการถ่ายไอออนได้ตามต้องการ ปริมาณความร้อนเข้าสู่งานสูงแม้ลวดเชื่อมจะมีขนาดใหญ่ก็สามารถหลอมเป็นหยดขนาดเล็กได้ทันที ส่งผลให้เกิดการซึมลึกของรอยเชื่อมมาก การถ่ายไอออนแบบละอองใช้เชื่อมงานได้ทั้งโลหะที่เป็นเหล็ก และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ถ้าเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็กควรใช้ก๊าซผสมระหว่างอาร์กอนกับออกซิเจนคลุมรอยเชื่อม ก๊าซอาร์กอนจะช่วยให้หยดโลหะเป็นเม็ดกลมขนาดเล็กและเกิดแรงกั๊กหลุดออกจากปลายลวดเชื่อม ส่วนออกซิเจน

ทำให้การอาร์คมีเสถียรภาพที่ดี เกิดเม็ดโลหะกระเด็นน้อย และการซึมลึกของรอยเชื่อมเป็นวงกว้าง และป้องกันการเกิดรอยกินลึก ถ้าผสมอาร์คกับออกซิเจนใช้กับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ปานกลาง เหล็กกล้าเจือต่ำ เหล็กกล้ากำลังสูงและเหล็กกล้าไร้สนิม ตำแหน่งเชื่อมแนวราบและแนวระดับ

2) การถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่ (Globular)

การถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่จะเริ่มเมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมเป็นหยดโลหะ นี้จะก่อตัวเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อมประมาณ 1.5 หรือ 2 เท่า ก่อนจะหลุดจากปลายลวดเชื่อมแล้วถ่ายโอนผ่านการอาร์คสู่บ่อหลอมละลายด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ซึ่งจะให้อัตราการเติมเนื้อโลหะมาก และความร้อนสูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร กระแสและแรงดันเชื่อมที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่จะต่ำ แต่ก็อยู่ในช่วงที่สูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร กระแสและแรงดันเชื่อมที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่จะต่ำ แต่ก็อยู่ในช่วงที่สูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร คือกระแสจะไม่เกินระดับของกระแสช่วงเปลี่ยน โดยพิสัยของกระแสช่วงเปลี่ยนจะเพิ่มจากค่าต่ำสุดขณะที่ปลายลวดเชื่อมกำลังหลอมไปถึงจุดที่มีค่าสูงสุดเพื่อชักนำให้เกิดการถ่ายโอนเหมือนแบบละออง ดังนั้นพฤติกรรมของการถ่ายโอนโลหะแบบนี้ จึงอยู่ระหว่างการถ่ายโอนแบบลัดวงจร และแบบละอองแต่มีขนาดหยดโลหะใหญ่กว่าแบบละออง อัตราการถ่ายโอนโลหะต่อวินาทีที่กระแสต่ำจะมีเพียง 2 – 3 หยดเท่านั้น ขณะที่หยดโลหะขนาดเล็กจำนวนมากถูกถ่ายโอนไปแล้วตอนกระแสเพิ่มสูงขึ้น เมื่อหยดโลหะมีขนาดโตพอแล้วก็จะแยกตัวออกจากปลายลวด ถ่ายโอนผ่านการอาร์คสู่บ่อหลอมละลายหยดโลหะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ และเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเองเนื่องจากแรงกายภาพของการอาร์ค จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หยดน้ำโลหะนี้กลมไม่สม่ำเสมอโดยหยดที่มีขนาดใหญ่กว่าจะไปแตะกับบ่อหลอมละลายทำให้เกิดการลัดวงจร ผ่านการอาร์คและการอาร์คจะดับไปชั่วขณะ พฤติกรรมนี้จะนำไปอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เสถียรภาพการอาร์คต่ำ การอาร์คจะรุนแรง การอาร์คผิดพลาดในบางจังหวะทำให้ระยะซึมลึกตื้นและเกิดคลื่นการอาร์ค รอบหยดโลหะบนปลายลวดเชื่อมซึ่งเป็นเหตุให้มีเม็ดโลหะกระเด็นมากการถ่ายโอนหยดน้ำโลหะขนาดใหญ่สู่บ่อหลอมละลายจะใช้แรงโน้มถ่วงมากกว่าแรงที่เกิดจากการอาร์ค ดังนั้นกระบวนการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่จึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการคุณภาพงานเชื่อมสูง มีขอบเขตใช้งานจำกัดเพราะปริมาณความร้อนเข้าสู่งานต่ำ หยดน้ำโลหะมีขนาดใหญ่และเป็นการถ่ายโอนด้วยแรงโน้มถ่วงจึงไม่เหมาะกับการเชื่อมงานที่อยู่ในตำแหน่งนอกเหนือจากแนวราบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวเชื่อมเหนือศีรษะ เพราะหยดโลหะมีแนวโน้มต่อการตกลงในหัวเชื่อม จะเชื่อมได้ดีกับงานที่อยู่ในแนวราบและแนวระดับ ใช้ระดับกระแสและแรงดันเชื่อมสูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร

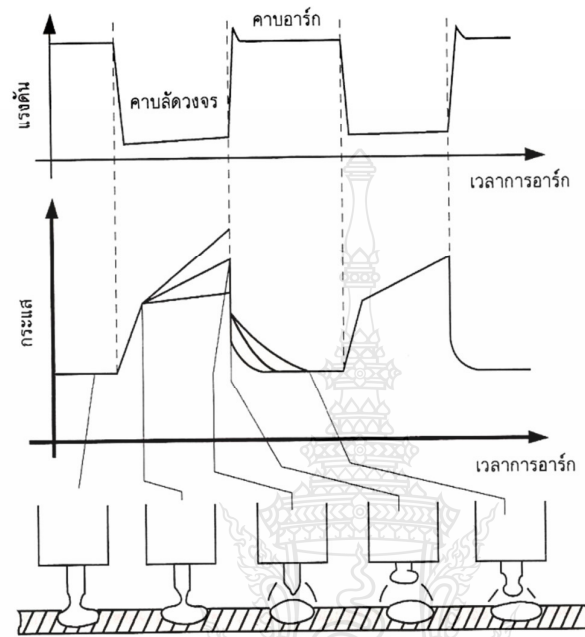


ภาพที่ 2.7 ลักษณะการถ่ายไอโลหะแบบหยดขนาดใหญ่ [9]

3) การถ่ายไอแบบลัดวงจร (Short Circuit)

การถ่ายไอแบบนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายกว่าการถ่ายไอแบบอื่นๆ การถ่ายไอเริ่มจากปลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานถูกทำให้เกิดการอาร์คและมีอุณหภูมิสูงพอที่จะหลอมปลายลวดเป็นหยดโลหะขนาดเล็ก ขณะเดียวกันลวดเชื่อมจะถูกป้อนเข้าสู่บ่อหลอมละลายด้วยอัตราสูง ทำให้หยดโลหะบนปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมละลายก่อนจะแยกออกจากปลายลวดเชื่อม ซึ่งเป็นสาเหตุของการลัดวงจรไฟฟ้า การอาร์คจะดับไปชั่วขณะ จังหวะที่ลัดวงจรอยู่นี้กระแสจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ปลายลวดเชื่อมที่หลอมเป็นหยดจะถูกกักออกและถ่ายไอสู่บ่อหลอมละลายด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวจากพฤติกรรมดังกล่าวหยดโลหะที่ปลายลวดจึงเปรียบเสมือนสะพานเชื่อมต่อระหว่างช่องว่างปลายลวดเชื่อมกับบ่อหลอมเหลว เมื่อหยดโลหะหยดแรกหลุดจากปลายลวดเชื่อมแล้วก็จะเริ่มต้นอาร์คใหม่อีกครั้งขณะที่ปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมละลายจะมีหน้าที่คล้ายกับฟิวส์ไฟฟ้า และเกิดการระเบิดเรียงต่อกันไปเพราะความหนาแน่นของกระแสสูง การระเบิดทำให้เกิดช่องว่างอาร์ค ระหว่างปลายลวดเชื่อมกับผิวโลหะชิ้นงานเมื่อเริ่มต้นอาร์คใหม่นี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันไปอย่างรวดเร็วมาก คือ มีความถี่ของการลัดวงจร 20 – 200 ครั้งต่อวินาที แต่ในทางปฏิบัติประมาณ 10 – 100 ครั้งต่อวินาที ซึ่งสังเกตได้จากแผ่นฟิล์มความเร็วสูงเท่านั้น กระแสและแรงดันเชื่อมจะตั้งในช่วงต่ำ จึงมีปริมาณความร้อนเข้าสู่งานน้อยสามารถใช้ลวดขนาดเล็กได้ การถ่ายไอโลหะแบบลัดวงจร เชื่อมงานได้หลายขนาดความหนา และเหมาะสมกับการเชื่อมงานหน้าตัดบาง ถ้าใช้กระแสตรงกลับขั้วเชื่อมงานได้ทุกขนาดความหนา ใช้เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ปานกลาง เหล็กกล้าเจือต่ำกำลังสูง หรือเชื่อมอลูมิเนียม แต่แนวเชื่อมจะเย็นตัวเร็วทำให้ก๊าซถูกดักในบ่อหลอมละลายแนวเชื่อมเกิดรูพรุน ส่วนเหล็กนำความร้อนต่ำการเย็นตัวช้าจึงมีเวลาพอที่ฟองก๊าซจะลอยขึ้นสู่ผิวบ่อหลอมละลาย และระเหยหนีไปได้ สามารถเชื่อมงานได้ทุกตำแหน่งแนวเชื่อมและรอยต่อทุกแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรอยต่อที่ประกอบไม่เรียบร้อยหรือรอยต่อชนที่มีช่องว่างระหว่างฐานรอย

เชื่อมกว้าง การถ่ายโอนแบบลัดวงจรจะก่อให้เกิดสะพานเชื่อมต่อช่องว่างจึงสามารถใช้งานงานเชื่อมโลหะแผ่นหนา และเชื่อมท่อได้ดี

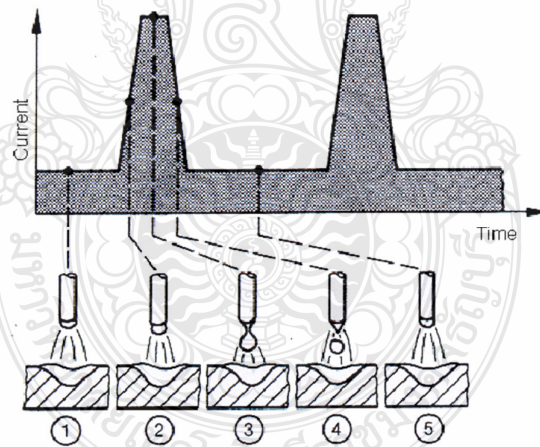


ภาพที่ 2.8 การถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร [9]

4) การถ่ายโอนแบบพัลส์ (Pulsed)

เป็นการถ่ายโอนที่พัฒนามากจากการถ่ายโอนแบบละออง เพราะมีข้อจำกัดการใช้งานแต่ยังเป็นการถ่ายโอนแบบละอองอยู่ การพัลส์ของกระแสเชื่อมจากระดับต่ำสุดถึงสูงสุดที่ 60 ไซเคิลต่อวินาที จังหวะการพัลส์แต่ละครั้งจะทำให้ปลายลวดเชื่อมหลอมเป็นหยดโลหะได้หนึ่งหยด แล้วถ่ายโอนผ่านอาร์คสู่บ่อหลอมเหลวด้วยความถี่สม่ำเสมอต่อเนื่องกันไประดับกระแสต่ำสุดจะตั้งในช่วงการถ่ายโอนแบบละอองการถ่ายโอนหยดโลหะจะเกิดขึ้นเมื่อการพัลส์กระแสถึงระดับสูงสุด หลังจากถ่ายโอนหยดโลหะแล้ว กระแสจะลดลงต่ำสุดเท่าที่ตั้งไว้กระแสต่ำจะช่วยขยให้การอาร์คเกิดอยู่ตลอดเวลา และการพัลส์เพิ่มขึ้นถึงระดับสูงสุดได้ ช่วงจังหวะนี้การถ่ายโอนหยดโลหะไม่เกิดขึ้น การพัลส์ของกระแสสูงและต่ำลงจะมีผลต่อการควบคุมปริมาณความร้อนเข้าสู่งานเชื่อม โดยความร้อนเฉลี่ยจะต่ำกว่าการถ่ายโอนแบบละออง จึงเหมาะกับการเชื่อมงานบางที่มีปัญหาหาการหลอมทะลุเนื่องจากความร้อนสูง เชื่อมงานที่อยู่ในตำแหน่งแนวเชื่อมนอกเหนือมาตรฐานได้ง่าย งานบิดตัวน้อย

ใช้ลวดเชื่อมขนาดใหญ่ได้ แต่การถ่ายโอนหดรโลหะผ่านอาร์คยังเป็นหดรขนาดเล็กอยู่จึง ประหยัดกว่าการใช้ลวดขนาดเล็กซึ่งมีป็นหาการป้อนลวดเชื่อมด้วยการเกิดกระแสพัลส์ได้จากการปิด เปิดวงจรระหว่างกระแสต่ำสุดกับสูงสุด ดังนั้นในเครื่องเชื่อมตัวเดียวจึงมีต้นกำลัง แยกออกเป็นสอง ส่วนคือ ส่วนที่ทำให้กระแสต่ำสุด และส่วนที่ทำให้กระแสพัลส์สูงสุด เพื่อให้กระแสพัลส์สูงสุดต้องตั้ง ให้สูงกว่าระดับกระแสช่วงเปลี่ยนของการถ่ายโอนแบบละอองและกระแสต่ำสุด ตั้งในช่วงการถ่าย โอนแบบหดรขนาดใหญ่ ปลายลวดเชื่อมจะหลอมที่วัตถุจกรต่ำสุดเมื่อกระแสเพิ่มขึ้นสูงกว่าจุดช่วง เปลี่ยน หดรโลหะจะแยกตัวออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านอาร์คสู่บ่อหลอมเหลว วัตถุจกรนี้จะเกิดขึ้น ซ้ำๆ กันอย่างต่อเนื่องขณะปฏิบัติการเชื่อม บ่อหลอมจะแข็งตัวเร็วกว่าการถ่ายโอนแบบละออง การ อาร์ค รุนแรงกว่าแต่ความถี่ของการถ่ายโอนลดลง กระแสพัลส์สามารถเชื่อมได้ทั้งโลหะที่เป็นเหล็ก และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก เพราะมีปริมาณความร้อนที่เข้าสู่งานต่ำทำให้สามารถเชื่อมงานที่มีตำแหน่ง แนวเชื่อมนอกเหนือมาตรฐาน เพราะกระแสพัลส์และบ่อหลอมละลายแข็งตัวเร็ว เชื่อมเหล็กกล้า คาร์บอน เหล็กกล้าเจือไนเกิลสูง เหล็กกล้าเจือต่ำ เหล็กกล้าไร้สนิม ทองแดง ทองแดงเจือลูมิเนียมและ โลหะเจือชนิดอื่นๆ เชื่อมงานบาง กับหนา ปานกลางได้ดี และเชื่อมได้ทุกรอยต่อ



ภาพที่ 2.9 ลักษณะกระแสและขั้นตอนการถ่ายโอนโลหะแบบพัลส์ [9]

2.5 อุปกรณ์จับยึด

อุปกรณ์จับยึดงานใช้สำหรับจับยึดงานชั่วคราวเพื่อที่จะเชื่อมยึดชิ้นส่วนให้ติดกันก่อนจะนำไปเชื่อมให้แข็งแรงอุปกรณ์จับยึดงานมีหลายชนิด ได้แก่

2.5.1 ซี - แคลมป์ (C-Clamps) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันทั่วไปและมีหลายขนาดให้เลือกใช้ ซึ่งแคลมป์ได้ออกแบบพิเศษใช้กับงานเชื่อม เนื่องจากสะกดเชื่อมมักจะกระเด็นติดกับตัวสกรูทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นจึงได้ออกแบบสกรูของซีแคลมป์ให้สามารถป้องกันสะกดเชื่อมกระเด็นติด โดยใช้ทองแดงผสมทำสกรูของซีแคลมป์แทนเหล็กกล้า

2.5.2 บาร์-แคลมป์ (Bar-Clamps) เป็นอุปกรณ์จับยึดงานขนาดใหญ่หรือยาว โดยที่แท่งคานของแคลมป์สามารถเลื่อนให้ได้ขนาดตามความยาวที่ต้องการ การใช้งานบาร์-แคลมป์ สามารถเลื่อนปากจับงานของปากจับข้างที่เลื่อนได้ให้ชิดกับงาน แล้วจึงขันสกรูปากจับอีกข้างหนึ่งให้จับงาน บาร์-แคลมป์ สามารถปรับให้จับงานที่มีขนาดความยาวต่างๆ ได้

2.5.3 แคลมป์จับท่อ (Pipe Clamps) เป็นอุปกรณ์จับท่อให้อยู่ในแนวตำแหน่งที่ต้องการหรือจับท่อให้ได้แนวกัน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ บาร์-แคลมป์ สามารถจับงานท่อขนาดและความยาวต่างๆ ได้

2.5.4 คีมล็อก (Locking Pliers) มีขนาดต่างๆ และปากจับได้ออกแบบไว้ให้สามารถจับงานลักษณะต่างๆ ได้คีมล็อกบางชนิดสามารถจับงานที่ความหนาต่างๆ ในช่วงความหนานั้นโดยไม่ต้องปรับสกรูของคีมใหม่

2.5.5 แคลมป์ล็อก ซึ่งเป็นที่จับยึดงานรูปแบบต่างๆ โดยใช้จับยึดงานร่วมกับจิกและฟิกเจอร์สำหรับการประกอบงานเพื่อนำไปเจาะรูหรือนำไปเชื่อมแคลมป์ล็อกชนิดนี้ที่รู้จักกันคือ (Toggle-Clamps)

2.5.6 แคลมป์ชนิดพิเศษ ได้แก่แคลมป์จับยึดท่อเชื่อมซึ่งแคลมป์ชนิดพิเศษได้ออกแบบเพื่อจับงานลักษณะต่างๆ ทำให้การผลิตงานได้เร็วและมีความถูกต้อง

2.6 ตัวแปรในการเชื่อม (Welding Parameter) [10]

ตัวแปรในการเชื่อมจะเกี่ยวข้องการควบคุมกระบวนการเชื่อมและคุณภาพของงานเชื่อม การเลือกตัวแปรการเชื่อม (Parameter) ที่เหมาะสมจะช่วยให้การปฏิบัติงานเชื่อมได้ดี และมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติและรูปร่างของรอยเชื่อม ในกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุมจะปรับเปลี่ยนแรงดันเชื่อมที่หน้าเครื่องเชื่อม ส่วนกระแสเชื่อมจะแปรผันตามอัตราเร็วป้อนลวดขณะดำเนินการเชื่อมอยู่ ผู้ปฏิบัติงานงานเชื่อมยังสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรในการเชื่อมต่างๆ ได้อีก เช่น ความสูงต่ำของระยะโผล่ของลวดเชื่อมหรือมุมลวดเชื่อม ถ้าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อม

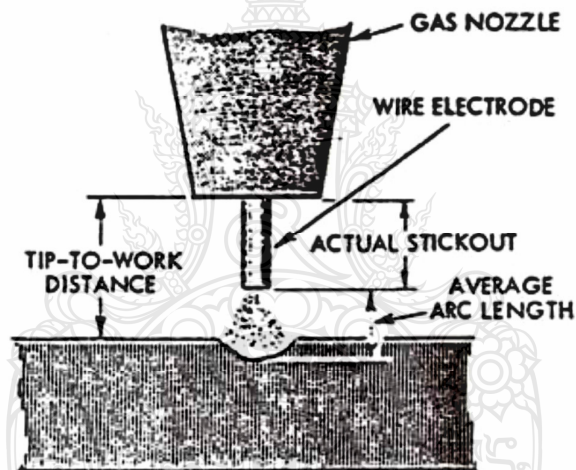
ทั้งหมดสมดุลกัน จะทำให้การเชื่อมการอาร์คจะเรียบสม่ำเสมอและเนื้อโลหะเชื่อมที่เติมลงสู่แนวเชื่อมก็จะมีคุณภาพสูง ตัวแปรสำคัญของการเชื่อมมีดังนี้

2.6.1 กระแสเชื่อม (Welding Current) จำนวนกระแสเชื่อมที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมจะมีผลกระทบอย่างมากต่ออัตราการเติมเนื้อโลหะ ขนาดและรูปร่างทรงของรอยเชื่อมและระยะซึมลึกของแนวเชื่อม ในระบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage) กระแสเชื่อมจะถูกควบคุมด้วยอัตราการป้อนลวดเชื่อม (Wire Feed Speed) บนชุดควบคุมการป้อนลวด เมื่ออัตราการป้อนลวดเชื่อมเพิ่มขึ้นกระแสเชื่อมก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่ถ้ระบบเชื่อมเป็นระบบกระแสคงที่ (Constant Current) จะปรับเปลี่ยนกระแสเชื่อมที่ป้อนด้านหน้าของเครื่องเชื่อม เมื่อทำการเพิ่มปริมาณกระแสเชื่อมจะทำให้อัตราการหลอมของลวดเชื่อมเพิ่มขึ้น และอัตราการเติมน้ำโลหะสู่แนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้นเช่นกันถ้าปริมาณกระแสที่ใช้เชื่อมกับลวดเชื่อมมีค่าน้อยเกินไป เป็นผลให้การถ่ายโอนน้ำโลหะจากลวดเชื่อมสู่แนวเชื่อมช้า จะส่งผลให้ระยะการซึมลึกของแนวเชื่อมและการหลอมของโลหะชิ้นงานไม่ดี แนวเชื่อมขรุขระเปราะแข็งมาก ถ้าใช้กระแสเชื่อมสูงเกินไประยะซึมลึกของตะเข็บเชื่อมจะซึมลึกมากอาจเกิดรอยหลอมทะลุที่อีกด้านหนึ่งของชิ้นงาน และรอยกินลึกที่ข้างตะเข็บมีลักษณะไม่สวยงาม ถ้าปริมาณกระแสสูงเกินไปการอาร์คไม่เสถียร การใช้ปริมาณกระแสเชื่อมต่ำหรือสูงเกินไปยังส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน ในส่วนที่เป็นเนื้อโลหะเชื่อม (Weld Metal) ด้วยโดยที่ค่าความต้านทานแรงดึงและความอ่อนตัวจะลดลงอาจเกิดความพูนในเนื้อโลหะเชื่อมได้

2.6.2 แรงดันเชื่อม (Welding Voltage) แรงดันเชื่อมที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม จะขึ้นอยู่กับขนาดของลวดเชื่อม ชนิดของก๊าซปกคลุม ตำแหน่งแนวเชื่อม ชนิดของรอยต่อและความหนาของชิ้นงาน แรงดันในการเชื่อมจะมีผลต่อรูปร่างของรอยเชื่อม เมื่อลดแรงดันเชื่อมตะเข็บเชื่อมจะแคบและนูนสูง ระยะซึมลึกตื้นกว่าระยะซึมลึกที่เหมาะสม (Optimum Voltage) แต่ถ้าแรงดันเชื่อมต่ำเกินไป ลวดเชื่อมจะหลอมติดกับชิ้นงานเกิดรอยพูนและรอยเกย (Over Lapping) ที่รอยเชื่อม

2.6.3 อัตราการเคลื่อนที่หัวเชื่อม (Travel Speed) อัตราการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมคืออัตราการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมต่อ 1 หน่วยเวลา อัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะถูกควบคุมโดยผู้ปฏิบัติการเชื่อม กรณีเป็นการเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ ถ้าเป็นแบบอัตโนมัติจะถูกควบคุมด้วยกลไก อัตราการเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะมีผลกระทบต่อระยะซึมลึกของแนวเชื่อม ขนาดของตะเข็บและลักษณะของรูปร่างของรอยเชื่อม เมื่อทำการเพิ่มหรือลดอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อม ถ้าทำการเพิ่มอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมมากเกินไป จะส่งผลทำให้การถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานลดลง ทำให้การหลอมของโลหะชิ้นงานไม่ดี ระยะซึมลึกตื้น ตะเข็บเชื่อมกว้างและนูนสูง และจะเกิดรอยกินลึกที่ขอบตะเข็บเชื่อมเพราะการเติมเนื้อโลหะหลอมเหลวไม่เต็มรอยต่อ เกิดประกาย การลดอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะเพิ่มความสูงของตะเข็บ จะเกิดรอยเกยของเนื้อโลหะที่ขอบแนวเชื่อม และอาจเกิดความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานสูงมาก ส่งผลให้บริเวณกระพุ้งกว้าง การหลอมตัวของโลหะชิ้นงานไม่ดีมีระยะซึมลึกมากเกินไป ความ

พรมเนื้อโลหะเชื่อมมากมีสารมลทินฝังอยู่ภายในและตะเข็บเชื่อมขรุขระ ระยะโผล่ลวดเชื่อม (Electrode Stick Out) ระยะโผล่ลวดเชื่อมคือระยะห่างระหว่างปลายท่อนำกระแส (Contact Tip) และปลายลวดเชื่อม ซึ่งถ้าระยะโผล่ลวดเชื่อมเพิ่มขึ้นความต้านทานไฟฟ้าของลวดจะเพิ่มขึ้นตาม ทำให้ลวดเชื่อมถูกอุ่นก่อนที่จะหลอมเหลว เป็นการลดลงอย่างอัตโนมัติ (Automatically Decreased) ขณะที่ความเร็วลวดเท่าเดิม จะทำให้การซึมลึกน้อยลงในทางกลับกันถ้าระยะโผล่สั้นลง การอุ่นลวดเชื่อมก่อนที่ลวดเชื่อมจะหลอมละลายก็ลดลงด้วยเครื่องเชื่อมก็จะจ่ายกระแสออกมาปริมาณที่มากขึ้น เพื่อให้มีการหลอมละลายของลวดเชื่อมมากขึ้นจึงทำให้การซึมลึกของแนวเชื่อมก็มากขึ้นเช่นกัน แต่ถ้าระยะโผล่ลวดเชื่อมยาวเกินไปจะมีผลให้อัตราการเติมเนื้อโลหะมากที่ความร้อนต่ำ ตะเข็บเชื่อมจะไม่ค่อยสวยงาม ระยะซึมลึกตื้น เสถียรภาพการอาร์คลดลง



ภาพที่ 2.10 ระยะโผล่ลวดเชื่อม [10]

2.6.4 ขนาดของลวดเชื่อม (Electrode Size) จะมีผลต่อรูปร่างของแนวเชื่อม เนื่องจากลวดเชื่อมที่มีขนาดโตจะต้องใช้กระแสไฟเชื่อมมากกว่าลวดเชื่อมที่มีขนาดเล็ก เพื่อใช้สำหรับการส่งถ่ายน้ำโลหะ

2.6.5 วิธีการเชื่อม การเชื่อมแบบเชื่อมถอยหลังเป็นเทคนิคในการเชื่อมแบบหนึ่งในจำนวน 2 แบบ ที่ใช้เชื่อมในกระบวนการเชื่อม เพราะในการเชื่อมมีการเชื่อมแบบถอยหลังและเดินหน้า สำหรับเทคนิคการเชื่อมแบบถอยหลังเป็นลักษณะการเชื่อมถอยหลังคือลวดเชื่อมจะเดินหน้านำแนวเชื่อมและลวดเชื่อมจะทำมุมตรงข้ามกับแนวเชื่อม ส่วนการเชื่อมแบบเดินหน้าจะเป็นการเชื่อม

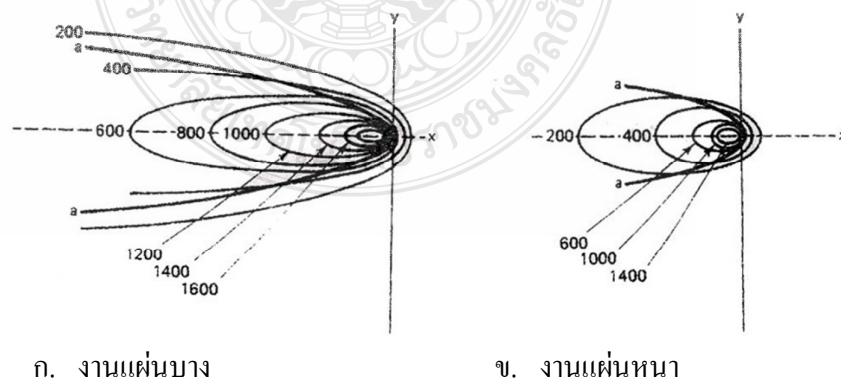
เดินหน้าคือลวดเชื่อมทำมุมขนานกับแนวเชื่อม ถ้าดูตามลักษณะของมือจะพบว่าการเชื่อมแบบถอยหลังคือการเดินแนวเชื่อมไปในทิศทางหลังมือ ส่วนการเชื่อมแบบเดินหน้าคือการเดินแนวเชื่อมไปในทิศทางหน้ามือ

2.7 อิทธิพลของความเร็วและอุณหภูมิที่มีผลต่องานเชื่อม [14]

ในกระบวนการเชื่อมที่เกิดการอาร์ก อุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะสูงมาก โดยสูงถึง 5000 – 6000 องศาเซลเซียส ซึ่งบริเวณที่อยู่ถัดจากการอาร์กจะถูกทำให้ร้อนและหลอมละลาย พลังงานความร้อนที่ส่งถ่ายให้รอยเชื่อมเรียกว่าความร้อนเข้า (Heat Input) แต่ในการเชื่อมจะมีอุณหภูมิจำนวนหนึ่งที่สูญเสียไปประมาณ 50 – 90 % แล้วแต่กระบวนการที่ใช้เชื่อม ซึ่งอุณหภูมิที่หายไปคืออุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานบริเวณใกล้ๆ แนวเชื่อมมีอุณหภูมิสูงขึ้นใกล้จุดหลอมละลายนอกจากนั้นก็เป็อุณหภูมิที่สูญเสียไปจากการกระเด็นของสะเก็ดน้ำโลหะ และอุณหภูมิที่ให้ความร้อนต่อลวดเชื่อม การแผ่รังสี และการพาความร้อนให้กับอากาศบริเวณรอบๆ การเชื่อม ในการวิเคราะห์ผลของความร้อนต่อแนวเชื่อมจำเป็นต้องพิจารณาถึงสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้

- 1) อัตราความร้อนที่เกิดขึ้น
- 2) อุณหภูมิสูงสุดที่เกิดขึ้น
- 3) ช่วงเวลา ณ อุณหภูมิ
- 4) อัตราการเย็นตัว

องค์ประกอบเหล่านี้เป็นเรื่องยากในการพิจารณา แต่อย่างไรก็ตามสามารถวิเคราะห์หาผลที่เกิดต่อแนวเชื่อมได้โดยประมาณ

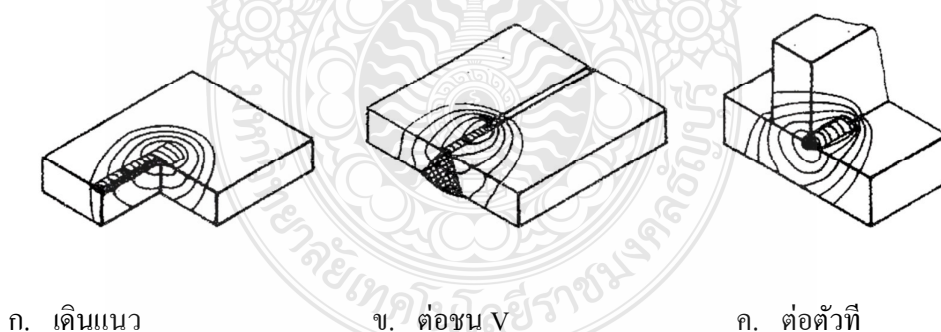


ภาพที่ 2.11 ช่วงอุณหภูมิบริเวณแอ่งหลอมละลายกระจายออกไป [14]

ในงานเชื่อมบริเวณแอ่งหลอมละลายที่เกิดเป็นแนวเชื่อม โดยการหลอมละลายของชิ้นงาน และลาวเชื่อมจึงเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด อุณหภูมิจะแผ่กระจายออกจากแอ่งหลอมละลายห่างออกไปเรื่อยๆ ทำให้บริเวณตั้งแต่แอ่งหลอมละลายออกไปจะมีอุณหภูมิลดหล่นลงไปจนถึงบริเวณที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนของแนวเชื่อม คือมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ลักษณะการกระจายของอุณหภูมินี้ อธิบายด้วยหลักการของไอโซเทอร์มอล การกระจายอุณหภูมิของแต่ละกระบวนการเชื่อม ความเร็วการเชื่อม และความหนาของชิ้นงานเชื่อม จึงมีความแตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 2.11, 2.12 และ 2.13



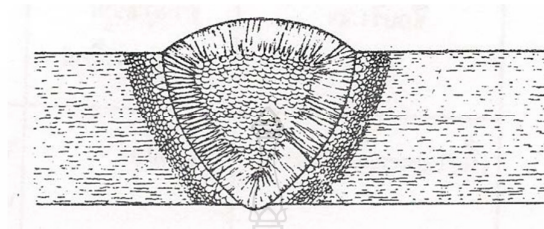
ภาพที่ 2.12 การกระจายอุณหภูมิของการเชื่อมงานแผ่นบาง [14]



ภาพที่ 2.13 การกระจายอุณหภูมิของการเชื่อมงานหนา [14]

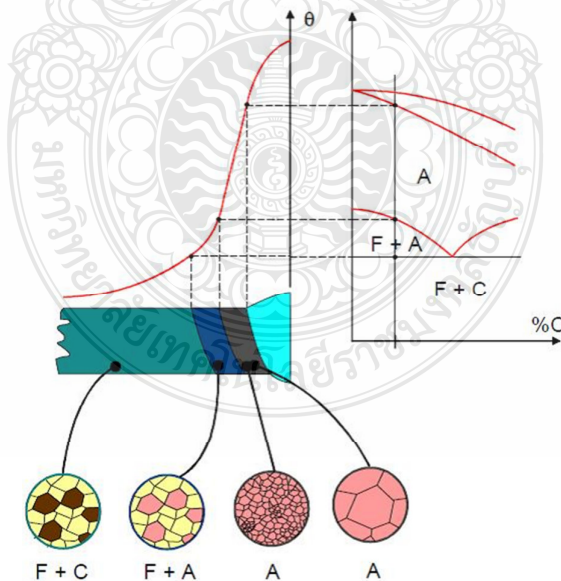
การเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยการอาร์กแบบต่างๆ ความร้อนจะส่งผลต่อชิ้นงานและลักษณะของโครงสร้างทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ขึ้น โดยผลจากความร้อนเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่เชื่อมด้วยแก๊ส คือชิ้นงานได้รับผลจากความรอนน้อยกว่า ชิ้นงานได้รับความรอนน้อยกว่า

แนวเชื่อมแคบกว่า การเย็นตัวของแนวเชื่อมก็ไวกว่า บริเวณที่ร้อนน้อยกว่า และลักษณะเกรนหยาบจะแคบกว่า ถ้าการเชื่อมมีการถ่ายสวดเชื่อมเป็นแนวกว้างจะทำให้แอ่งหลอมละลายมีอุณหภูมิสูงปริมาณความร้อนมาก และเมื่อเย็นตัวลงจะเกิดแรงดึงและแรงอัดเกิดขึ้นภายใน



ภาพที่ 2.14 ลักษณะโครงสร้างแนวเชื่อมเมื่อแข็งตัวหลังจากการหลอมละลาย [14]

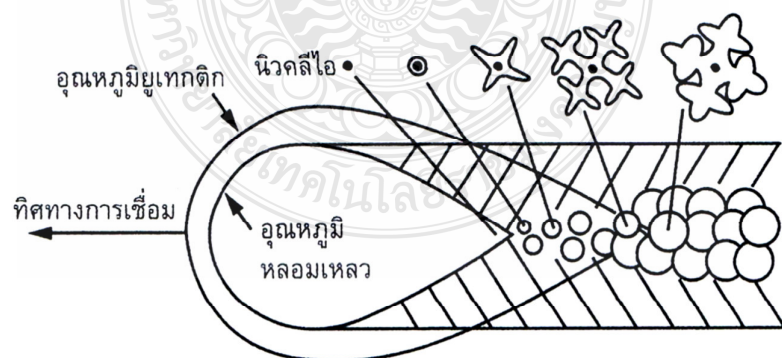
การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากอุณหภูมิในกระบวนการเชื่อม อุณหภูมิบริเวณต่างๆ ตั้งแต่บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากแนวเชื่อม ไปจนถึงบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนสามารถใช้แผนภูมิสมดุลของเหล็กและเหล็กคาร์ไบด์ ($Fe - Fe_3C$ Diagram) มาอธิบายลักษณะโครงสร้างที่อุณหภูมิต่างๆ ของแนวเชื่อมได้ แสดงดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 แผนภูมิสมดุลของเหล็ก และเหล็กคาร์ไบด์ [14]

2.8 การแข็งตัวของรอยเชื่อม (Solidification of Weldmetal)

น้ำโลหะจากบ่อหลอมเหลวนั้น เป็นมวลของโลหะที่อยู่ในสภาวะของการหลอมเหลว เนื่องจากได้รับความร้อนจากการเชื่อม อุณหภูมิของน้ำโลหะจะสูงกว่าอุณหภูมิในการหลอมเหลวมาก ที่ระดับหนึ่ง อุณหภูมิสูงลักษณะนี้เรียกว่า ซูเปอร์ฮีต (Superheated) ซึ่งเมื่อน้ำโลหะจากปลายลวดเชื่อมถูกป้อนเติมเข้าไปในบ่อหลอมเหลวได้แล้ว ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ หลังจากนั้น น้ำโลหะที่อยู่ภายในบ่อหลอมจะคลายความร้อนไปให้กับผนังของบ่อหลอมเหลว เสมือนว่าเป็นแบบหล่อที่น้ำโลหะนั้นสัมผัสอยู่ การคลายความร้อนดังกล่าวจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ กับทำให้น้ำโลหะเกิดการแข็งตัว ซึ่งในระหว่างการแข็งตัวนั้นอุณหภูมิของน้ำโลหะจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาการแข็งตัวของรอยเชื่อมเกิดจากบ่อหลอมเหลวที่มีสภาวะอันเดอร์คูลลิ่ง ที่บริเวณระนาบสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว เมื่ออุณหภูมิของระบบลดลงจากอุณหภูมิสมดุลระหว่างโลหะแข็งกับน้ำโลหะ กลุ่มของอะตอมเหล่านั้นจะแยกตัวออกมาจากน้ำโลหะ แล้วเคลื่อนเข้ามารวมกันพร้อมกับมีพันธะโลหะยึดอะตอมเหล่านั้นให้กลายเป็นอนุภาคของมวลก้อนโลหะแข็ง เพื่อพร้อมที่จะเป็นจุดเริ่มต้นของการแข็งตัวแขนงลอยรวมกับโลหะ และพันธะโลหะที่เกิดขึ้นจะต้องมีค่ามากกว่าแรงตึงผิวของน้ำโลหะ เนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำโลหะจะพยายามขัดขวางการแยกตัวของอะตอม และอนุภาคของมวลก้อนโลหะแข็งออกมาจากน้ำโลหะ ต้องมีขนาดมากกว่าขนาดวิกฤติ ($r > r^*$) ส่วนพลังงานที่อะตอมใช้ในการแยกตัวออกจากน้ำโลหะนั้น จะมาจับรวมกันกลายเป็นผลึกของนิวเคลียส หรือนิวคลีโอ โดยจะมีค่าเท่ากับผลต่างของพลังงานอิสระระหว่างน้ำโลหะและอนุภาคของมวลก้อนโลหะแข็ง และจะมีค่าเป็นลบเมื่อเกิดสภาวะอันเดอร์คูลลิ่งขึ้นในน้ำโลหะ

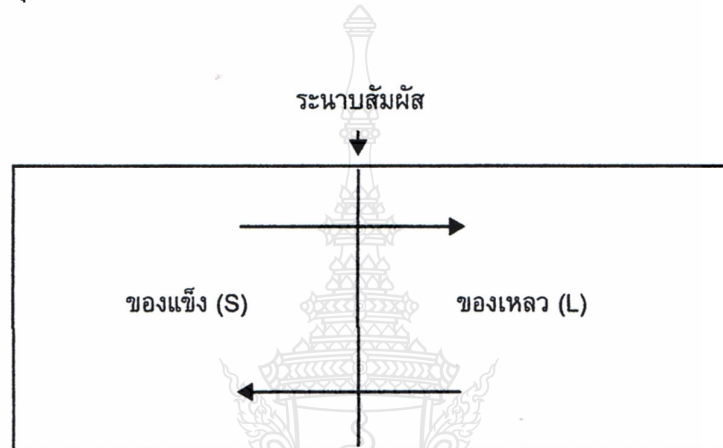


ภาพที่ 2.16 กลไกการเกิดนิวคลีโอของรอยเชื่อม

เมื่อมีการคลายความร้อนเกิดขึ้น กลุ่มอะตอมจะจับตัวรวมกัน และพร้อมที่จะเป็นจุดเริ่มต้นของการแข็งตัวเรียกว่า นิวคลีโอ (Nuclei) และนิวคลีโอนี้จะหนาแน่นมากที่ตรงบริเวณด้านหลังตามรูปเส้นโค้งของบ่อหลอมเหลว ดังแสดงในภาพที่ 2.16 เนื่องจากบริเวณนี้เป็นบริเวณที่อันเดอร์คูลิ่งสูงมาก ซึ่งในทางทฤษฎีนั้น ถ้าอุณหภูมิของน้ำ โลหะจากบ่อหลอมเหลวลดลงจากอุณหภูมิในการแข็งตัวเพียงเล็กน้อย กระบวนการในการแข็งตัวของน้ำ โลหะจะเริ่มเกิดขึ้นทันที หรืออาจกล่าวได้ว่า ถ้ามีการถ่ายเทความร้อนหรือพลังงานอิสระออกไป น้ำ โลหะก็จะเกิดการแข็งตัวได้ และจะแข็งตัวต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ทรานเซอที่พลังงานยังคงถูกถ่ายเทออกจากระบบอย่างต่อเนื่อง ไม่เพียงเท่านั้นในขณะที่น้ำ โลหะมีระดับอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของการแข็งตัวเพียงเล็กน้อย ระบบจะมีแรงขับมากพอที่จะทำให้อะตอมแยกตัวออกจากน้ำ โลหะเข้ามาเกาะพอกนิวเคลียสของการแข็งตัว ทำให้การแข็งตัวนั้นดำเนินต่อเนื่องเรื่อยไป จนน้ำ โลหะแข็งตัวทั่วทั้งปริมาณของบ่อหลอมเหลว ส่วนการเชื่อมผนังของบ่อหลอมเหลวจะรับการถ่ายเทพลังงานความร้อนมาจากน้ำ โลหะและการแข็งตัวจะไม่เกิดขึ้นในทันที แม้ว่าอุณหภูมิของน้ำ โลหะจะลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิการแข็งตัวแล้วก็ตาม จากภาวะที่อุณหภูมิของน้ำ โลหะต่ำกว่าอุณหภูมิแข็งตัว และน้ำ โลหะยังคงไม่เริ่มต้นกระบวนการแข็งตัวนี้เราเรียกว่า อันเดอร์คูลิ่ง เมื่อระยะเวลาที่น้ำ โลหะอยู่ในสภาวะดังกล่าว กลุ่มของอะตอมบางกลุ่มจะมีระดับพลังงานลดลง เมื่อพลังงานทั้งหมดของกลุ่มอะตอมลดลงในปริมาณที่มากพอจนสามารถเอาชนะแรงดึงดูดของโลหะหลอมเหลวได้ กลุ่มอะตอมดังกล่าวจะจับตัวกันเป็นอนุภาคของมวลก้อน โลหะแข็งและแยกตัวออกจากน้ำ โลหะ และอนุภาคของมวลก้อน โลหะแข็งที่เกิดขึ้นนั้นไม่ได้เกิดขึ้นเพียงก้อนเดียว แต่จะเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก และรวมตัวกันเป็นมวลก้อนลอยปะปนกับน้ำ โลหะในหลายๆ ตำแหน่ง และกระจายทั่วๆ ไปในตำแหน่งที่อุณหภูมิของน้ำ โลหะลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิของการแข็งตัวของน้ำ โลหะรอบๆ เส้นโค้งของบ่อหลอมเหลวนั้น ดังนั้น จึงสามารถกล่าวได้ว่า การแข็งตัวของน้ำ โลหะจากบ่อหลอมเหลวเกิดจากการเปลี่ยนแปลงภาวะสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อระดับพลังงานอิสระของส่วนต่างๆ ในแต่ละบริเวณของน้ำ โลหะเกิดความแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีภาวะอันเดอร์คูลิ่งเกิดขึ้นที่บริเวณใดๆ ในมวลของน้ำ โลหะแล้ว บริเวณดังกล่าวจะมีระดับของพลังงานทั้งหมดต่ำกว่าส่วนอื่นๆ ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกัน จึงเป็นผลทำให้เกิดแรงขับหรือแรงผลักดันให้อะตอมของโลหะแยกตัวออกจากน้ำ โลหะ มาจับรวมกันกลายเป็น นิวคลีโอของการแข็งตัว และเกาะพอกโตใหญ่ขึ้นจนกลายเป็นนิวเคลียส จนสามารถพัฒนาไปเป็นโครงสร้างเกรนได้ในที่สุด

2.8.1 ระนาบสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว (Solid – liquid Interface)

บริเวณพื้นที่เล็กๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะหลอมเหลวและส่วนที่เป็นของแข็งเราเรียกพื้นที่นี้ว่า ระนาบสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว (Interface) การที่โลหะหลอมเหลวจากบ่อหลอมเหลวจะแข็งตัวไปสู่การเป็นโครงสร้างเกรนใดๆ ได้นั้น จำเป็นต้องมีจุดเริ่มต้นจากบริเวณนี้ ส่วนการจะสามารถวิวัฒนาการไปเป็นโครงสร้างเกรนใดได้นั้น ขึ้นอยู่กับอันเดอร์คูลิ่งหรือการปนเปื้อนของธาตุในโลหะงานที่จะนำมาเชื่อม



ภาพที่ 2.17 ระนาบสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว

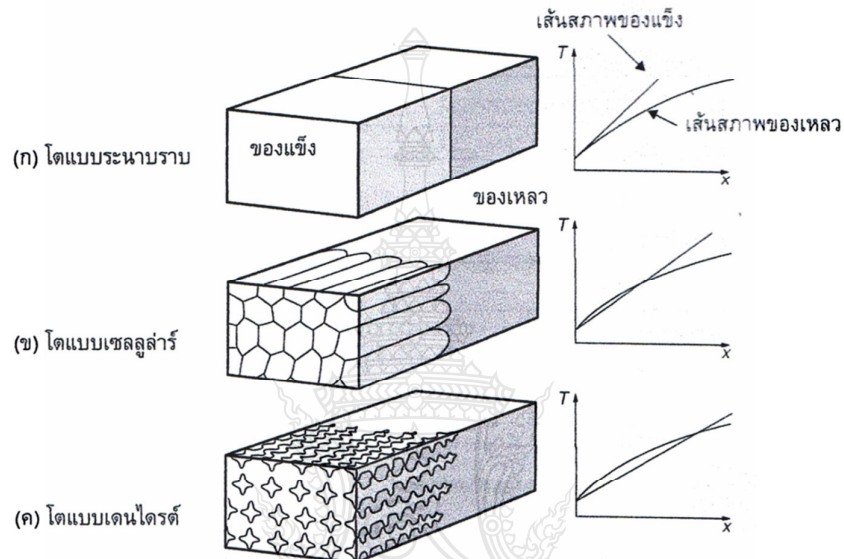
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.17 พบว่า ที่ระนาบสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว จะพบวัตถุอยู่สองอย่างที่มีอุณหภูมิต่างกันมาแตะกันหรือสัมผัสกัน โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีการคายความร้อนออกมา ส่วนวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะรับอุณหภูมิเข้าไปจนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากันจึงจะหยุดการถ่ายเท สำหรับบ่อหลอมเหลวในงานเชื่อมนั้น การถ่ายเทพลังงานจะเกิดขึ้นในบริเวณนี้และที่ระนาบสัมผัสจะเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดเป็นโครงสร้างเกรนต่างๆ ได้ตามลำดับดังนี้

1) ระนาบราบ (Planar) พบว่าของแข็งที่เกิดขึ้นจะมีรัศมีของนิวเคลียสไม่เสถียรภาพพอ หรือ มีขนาดเล็กกว่าขนาดของรัศมีวิกฤติ ($r < r^*$) จึงไม่พอที่จะทำให้การแข็งตัวดำเนินต่อไปได้ และจะถูกหลอมกลับเข้าไปอยู่ในส่วนของของเหลวได้เหมือนเดิม เนื่องจากมีระนาบราบอันเดอร์คูลิ่งค่อนข้างต่ำ ส่วนใหญ่แล้วมักพบการแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์มากกว่า

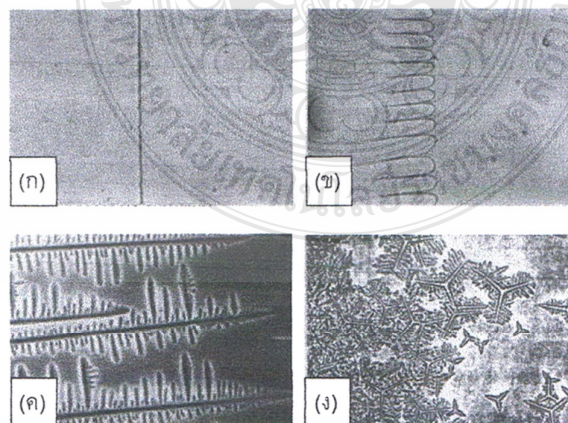
2) เซลลูลาร์ (Cellular) พบว่าอนุภาคของมวลก้อนโลหะแข็งสามารถเกิดเป็นนิวเคลียสได้ และรัศมีนิวเคลียสสามารถอยู่ได้หรือมีขนาดมากกว่าขนาดของรัศมีวิกฤติ ($r < r^*$) แต่ไม่สามารถโตในแบบ 2 แขนได้ เนื่องจากระนาบสัมผัสบริเวณนี้มีอันเดอร์คูลิ่งค่อนข้างต่ำอยู่

3) คอลัมน์เดนไดรต์ (Columnar Dendrite) พบว่าเมื่ออันเดอร์คูลิ่งเพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้โครงสร้างเซลล์ลาร์สามารถเปลี่ยนเป็นโครงสร้างเกรนแบบคอลัมน์เดนไดรต์ได้

4) อีควิแอกซ์เดนไดรต์ (Equiaxed Dendrite) เป็นโครงสร้างเกรนที่มีอันเดอร์คูลิ่งมากที่สุด คือ เป็นการเพิ่มมากกว่าคอลัมน์เดนไดรต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 และ 2.19

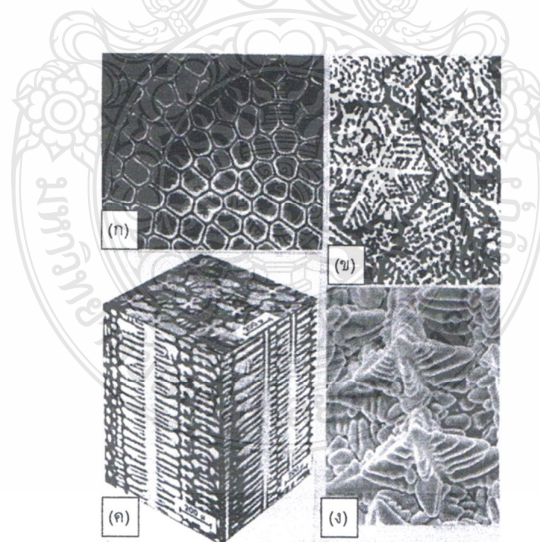


ภาพที่ 2.18 การเปลี่ยนระนาบสัมผัส (Interface) ตามการเพิ่มขึ้นของอันเดอร์คูลิ่ง

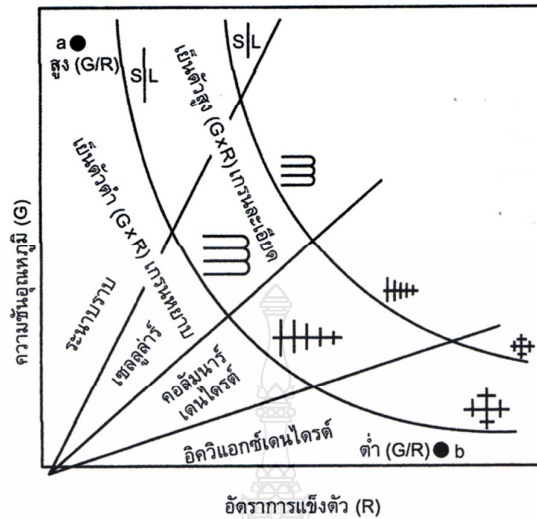


ภาพที่ 2.19 ลำดับการเกิดขึ้นของโครงสร้างเกรน

เมื่อพิจารณาในภาพที่ 2.19 (ก) แสดงกลไกการแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์ จะพบว่ารูปร่างของของแข็งที่เกิดขึ้นมักจะเป็นลักษณะระนาบราบ หรือ Planar แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเชื่อมโลหะที่มีการเจือปนของธาตุผสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น หรือปริมาณของอันเดอร์คูลลิ่งที่เพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้โครงสร้างเกรนมีโอกาสเป็นไปได้ทั้งระนาบราบ (Planar), เซลลูลาร์ (Cellular), คอลัมนาร์เดนไดรต์ (Columnar Dendrite) และอิกวิแอกซ์เดนไดรต์ (Equiaxed Dendrite) ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของนิวคลีเอชัน, อันเดอร์คูลลิ่ง (Under Cooling) และชนิดของโลหะผสมนั้นๆ ด้วย และในภาพที่ 2.19 (ข) จะเป็นการเชื่อมโลหะที่มีการเติมธาตุผสมหรือสารปนเปื้อนเข้าไป ทำให้ระนาบราบเปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างแบบเซลลูลาร์ได้ โดยจะมีทิศทางการแข็งตัวในลักษณะเป็นแขนยื่นเข้าไปในของเหลว และเมื่อทำการเชื่อมโลหะที่มีการปนเปื้อนหรือการเจือปนของธาตุผสมในปริมาณที่มากขึ้น ก็จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีลักษณะของโครงสร้างเกรนเป็นลักษณะรูปร่างคล้ายๆ กับกิ่งไม้ที่ยื่นเข้าไปในของเหลว ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า คอลัมนาร์เดนไดรต์ ดังแสดงในภาพที่ 2.19 (ค) ส่วนในบางกรณีที่มีการปนเปื้อนหรือสัดส่วนของความชันของอุณหภูมิต่ออัตราการแข็งตัว (Temperature Gradient/Growth Rate) ต่ำสุด จึงมีโอกาสที่จะเกิดการแข็งตัวแบบอิกวิแอกซ์เดนไดรต์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.19 (ง) ซึ่งมีลักษณะการแข็งตัวคล้ายๆ กับกรณีในภาพที่ 2.19 (ค) แต่เดนไดรต์ที่เกิดขึ้นไม่ได้ อยู่ในลักษณะของคอลัมนาร์



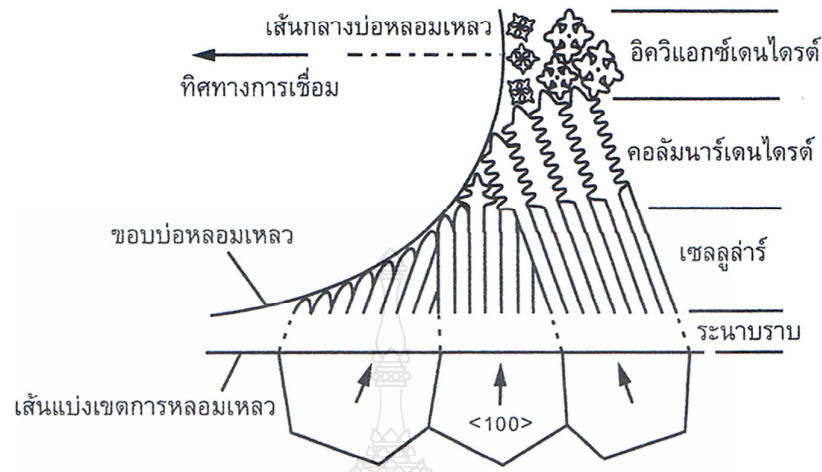
ภาพที่ 2.20 รูปตัดขวางของโลหะผสม Pb – Zn (ก) แสดงการเกิดเซลลูลาร์ (ข) แสดงการเกิดคอลัมนาร์เดนไดรต์ (ค) แสดงการเกิดอิกวิแอกซ์เดนไดรต์ (ง) แสดงอิกวิแอกซ์เดนไดรต์ 3 มิติ



ภาพที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความชันของอุณหภูมิ และอัตราการแข่งขัน

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่มีต่อลักษณะของการเกิดโครงสร้างเกรน นอกจากจะพิจารณาที่ผลกระทบจากองศาของการเย็นตัวหรืออันเดอร์คูลลิงที่ได้เคยอธิบายไปแล้วนั้น สำหรับกลไกการแข่งขันตัวของโครงสร้างเกรนนั้น ยังมีอีกหลายปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดทิศทางเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเกรนคือ ความสัมพันธ์ระหว่างความชันของอุณหภูมิ (G) ต่ออัตราการแข่งขัน (R) ดังแสดงในภาพที่ 2.21 ทั้งนี้จะพบว่าหากสัดส่วนของ G/R ลดลงได้อย่างต่อเนื่อง โดยให้พิจารณาจากเส้นแบ่งเขตการหลอมเหลวไปยังเส้นกึ่งกลางของบ่อหลอมเหลว จะทำให้ลักษณะการแข่งขันของโครงสร้างเกรนเริ่มต้นเปลี่ยนไปจากแนวระนาบราบ เลื่อนไปเป็นเชลลูลาร์ จนมาถึงคออลิมนาร์เดนมาร์ค และอิกวิแอกซ์เดนมาร์ค ตามลำดับ ลักษณะนี้เรียกว่า ความชันของอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 2.22

ทั้งนี้ความชันของอุณหภูมิ (Temperature Gradient) หมายความว่า ถ้าในบ่อหลอมเหลว อุณหภูมิในการหลอมเหลวและอุณหภูมิในการแข็งตัวแตกต่างกันน้อย แสดงว่ามีความชันของอุณหภูมิสูงมาก และการแข่งขันตัวของโครงสร้างเกรนก็จะได้แบบระนาบราบเท่านั้น แต่ถ้าในการเชื่อมบ่อหลอมเหลวมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิทั้งสองมาก โอกาสที่กระบวนการการแข่งขันตัวของโครงสร้างเกรนจะมีวิวัฒนาการ โดยเริ่มต้นจากระนาบราบไปยังเชลลูลาร์จนถึงคออลิมนาร์เดนมาร์ค และไปจบสิ้นกระบวนการที่อิกวิแอกซ์เดนมาร์ค นั่นก็คือสิ่งที่เราต้องการมากในกลไกการแข่งขันของรอยเชื่อม



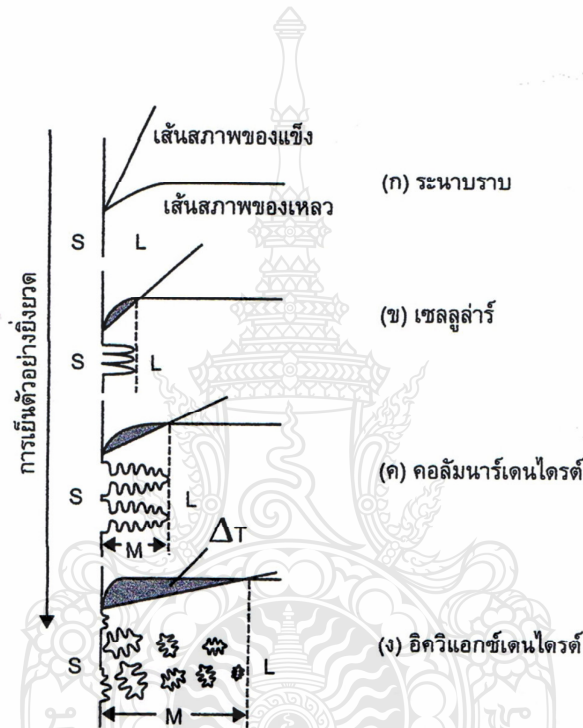
ภาพที่ 2.22 ลักษณะการแข็งตัวที่แตกต่างกันในตำแหน่งต่างๆ ของรอยเชื่อม

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ลักษณะการแข็งตัว (Solidification) ของรอยเชื่อมจะมีขั้นตอนเริ่มต้นจากการเกิดนิวคลีโอ แล้วจึงมีการโตของเกรน (Grain Growth) เกิดขึ้นตามลำดับ ฉะนั้นการเกิดนิวคลีโอ (Nucleation) จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก เพราะลักษณะของโครงสร้างเกรนในรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นนั้น ถ้าหากเราได้โครงสร้างเกรนที่มีขนาดเล็กและละเอียด จะทำให้เกิดผลดีต่อสมบัติทางกล คือ ทำให้โครงสร้างของเกรนมีความแข็งแรงและเหนียวแน่นมากขึ้น แต่ถ้าเราได้โครงสร้างของเกรนที่มีขนาดใหญ่และหยาบ สมบัติทางกลก็จะเกิดขึ้นในลักษณะตรงกันข้าม ซึ่งถ้าเราสังเกตถึงลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาในการแข็งตัวของรอยเชื่อม และศึกษารูปแบบการเกิดขึ้นของระบบโครงสร้างเกรนในแต่ละช่วงของการแข็งตัวในบ่อหลอมเหลว ตลอดจนการศึกษาการเย็นตัว การแข็งตัวในบ่อหลอมเหลว พร้อมๆ กับการถ่ายเทความร้อนไปสู่เนื้อของโลหะงานที่น้ำโลหะนั้นกำลังสัมผัสอยู่ ลักษณะนี้เป็นสิ่งสำคัญมากในกระบวนการหลอมเหลว และมีความจำเป็นอย่างมากต่อความสมบูรณ์ของเนื้อเชื่อม โดยไม่มีรอยตำหนิใดๆ เกิดขึ้นหลังจากการแข็งตัวของรอยเชื่อม เมื่อเสร็จสิ้นจากกระบวนการแข็งตัวแล้ว

2.8.2 ผลกระทบต่อองค์ประกอบในการแข็งตัว (Effect to Constitutionals to Solidification)

ผลิตภัณฑ์ของโครงสร้างเกรนเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงสมบัติทางกล ซึ่งผูกไว้กับกลไกการแข็งตัวที่มีอยู่ 2 ขั้นตอน คือ นิวคลีโอ และเกรนโต ซึ่งผลลัพธ์ของโครงสร้างเกรนที่ได้ก็มาจาก 2 ขั้นตอนนี้ ถ้าเราสามารถบังคับขั้นตอนทั้งสองนี้ได้ ก็จะได้ผลลัพธ์ของโครงสร้างเกรนที่มีสมบัติทาง

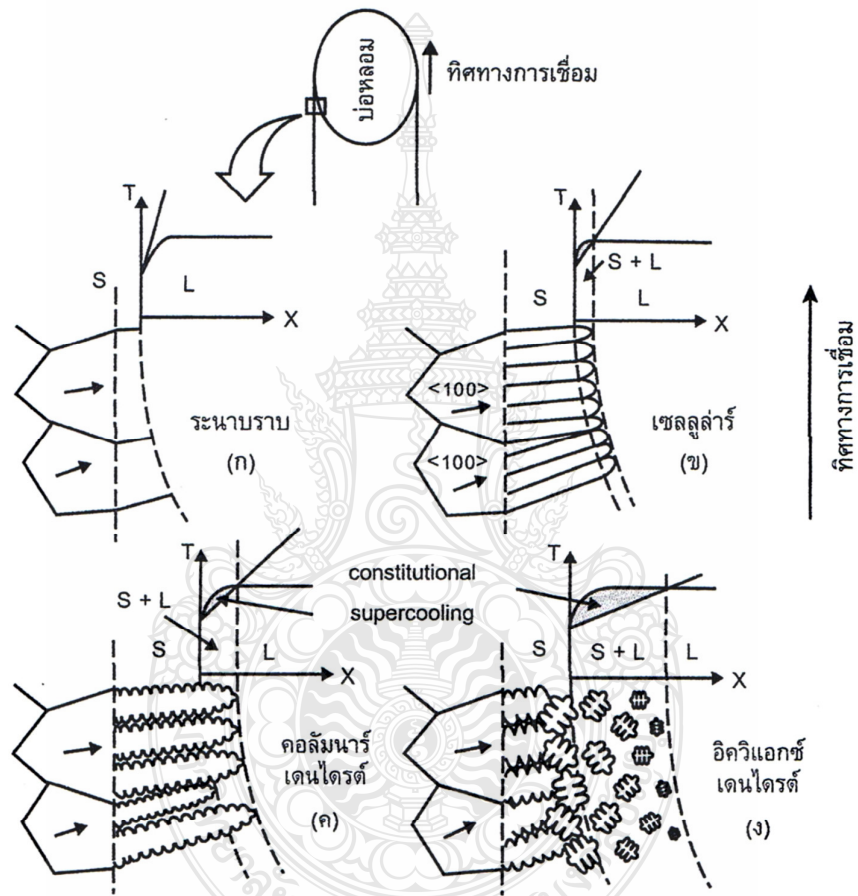
กลในเชิงบวก แต่จากทั้ง 2 ขั้นตอน สิ่งที่สามารถบังคับได้ก็คือ กระบวนการนิวเคลียสแทนที่ ซึ่งต้องการให้เกิดโครงสร้างคอลัมน์เร็นไดรต์ และอะคิแอกซ์เดนไดรต์ ฉะนั้นประเด็นสำคัญในกรณีของงานเชื่อมเราไม่สามารถบังคับการแข็งตัวได้ เพราะระบบของการแข็งตัวนั้นจะเป็นตัวบังคับให้เกิดปรากฏการณ์ของโครงสร้างได้เองทั้งหมด เนื่องจากการเชื่อมที่บริเวณของบ่อหลอมเหลวจะมีอันเดอร์คูลลิงแต่ละจุดที่แตกต่างกันมาก ฉะนั้นโครงสร้างเกรนที่ได้ของแต่ละตำแหน่งจึงมีความแตกต่างกันไปด้วย



ภาพที่ 2.23 การเปลี่ยนโครงสร้างเกรนจากผลกระทบบที่เกิดจากอันเดอร์คูลลิง (DT)

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าโครงสร้างเกรนที่เกิดขึ้นจากผลกระทบบของอันเดอร์คูลลิงจะมีอยู่ 4 ประเภท คือ ระบายราบ, เซลลูลาร์, คอลัมน์เร็นไดรต์ และอีควิแอกซ์เดนไดรต์ การอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.23 คือ ขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงจาก (ก) ถึง (ง) ตามลำดับนั้น จะเป็นลักษณะของการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของความชันของอุณหภูมิ (Temperature Gradient) การเปลี่ยนแปลงที่จุด (ก) มีการแข็งตัวเป็นโครงสร้างแบบระบายราบ (Planar) เนื่องจากมีอันเดอร์คูลลิงต่ำที่สุด หมายความว่า ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ

หลอมเหลวกับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการแข็งตัวนั้นแตกต่างกันน้อย แต่ถ้ามีการเพิ่มอันเดอร์คูลิ่ง ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็น ดังแสดงในจุด (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลต่อโครงสร้างสุดท้าย ดังนั้นการเกิดโครงสร้างเกรนจะมีความสำคัญมากในบริเวณบ่อหลอมเหลว เพราะเป็นตัวกำหนดสมบัติทางกลของรอยเชื่อม



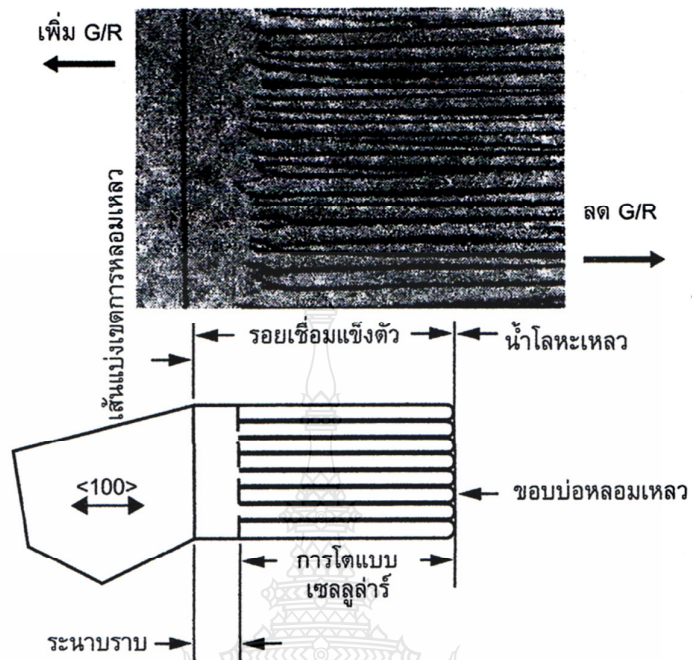
ภาพที่ 2.24 ผลของการเย็นตัวอย่างยิ่งยวดต่อลักษณะการแข็งตัวระหว่างการเชื่อม

เมื่อพิจารณาลักษณะการแข็งตัวของรอยเชื่อม ดังแสดงในภาพที่ 2.24 ในส่วนของบริเวณบ่อหลอมเหลว (Weld Pool) ปรากฏการณ์การแข็งตัวของโครงสร้างเกรนจะเกิดขึ้น โดยเริ่มตั้งแต่นิรูป (ก) ถึง (ง) โดยเป็นการเพิ่มองศาของอันเดอร์คูลิ่ง หมายความว่าในรูป (ก) มีอันเดอร์คูลิ่งต่ำที่สุดและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงถึงรูป (ง) ที่มีอันเดอร์คูลิ่งสูงที่สุด และความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้จะเห็น

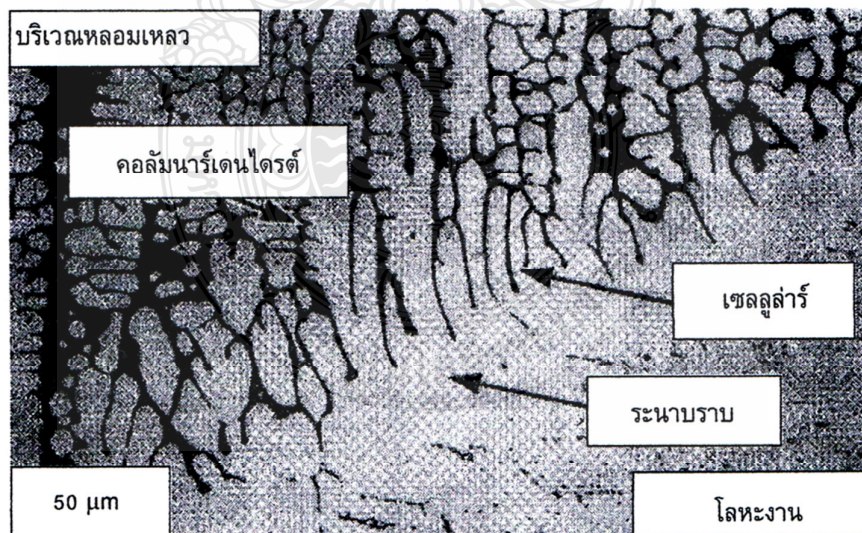
ว่าในรูป (ก) คือ โครงสร้างของระนาบราบ จะเกิดการแข็งตัวได้จริง แต่จะเป็นการแข็งตัวที่ไม่เสถียรภาพ ซึ่งของแข็งที่เกิดขึ้นนี้พร้อมที่จะถูกหลอมเหลวเข้าไปเป็นของเหลวได้ทุกขณะ ส่วนในรูป (ข) คือ โครงสร้างเกรนแบบเซลล์ูลาร์ คือ การเพิ่ม ΔT ที่เกิดขึ้นมาจากรูป (ก) จากปรากฏการณ์ที่พบนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น และผลของการเปลี่ยนแปลงนั้นก็ทำให้โครงสร้างเกรนเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งถ้าพิจารณาที่จุด S หรือขอบเขตของของแข็ง (Solid Zone) ในการก่อกำหนดของโครงสร้างเกรนจะพบว่า ได้เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออันเดอร์คูลิ่งสูงขึ้น ถ้าพิจารณาต่อที่รูป (ค) และ (ง) จะเห็นว่าโครงสร้างเกรนที่ได้คือ คอลัมน์าร์เดนไดรต์ และอิกวิแอกซ์เดนไดรต์ตามลำดับ

2.8.3 การเคลื่อนที่ของโครงสร้างเกรน (Grain Structure Transition)

การเคลื่อนที่ของโครงสร้างเกรนหนึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างเกรนอีกอย่างหนึ่งได้นั้น เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเคลื่อนที่ของโครงสร้างเกรน (Grain Structure Transition) เช่น การเคลื่อนที่ของโครงสร้างแบบระนาบราบไปเป็นโครงสร้างเกรนแบบเซลล์ูลาร์, คอลัมน์าร์เดนไดรต์ และโครงสร้างแบบอิกวิแอกซ์เดนไดรต์ โดยที่โครงสร้างเกรนหนึ่งๆ จะสามารถเปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างเกรนอย่างอื่นได้ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างเกรนต่างๆ ได้นั้นคือ การเพิ่มหรือลดลงของอัตราส่วนระหว่าง G/R ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.25 และเมื่อพิจารณาในภาพที่ 2.25 แสดงการเคลื่อนที่ของโครงสร้างเกรนโดยการเชื่อมอาร์กทั้งสเดนแก๊สคลุม (GTAW) แบบไม่ป้อนเติมลวดเชื่อม (Autogenous) พบว่าการเคลื่อนที่ของโครงสร้างเกรนนั้น สามารถเป็นไปได้นี้คือ ถ้าพิจารณาการเคลื่อนที่ระหว่างการโตแบบระนาบราบ (Planar Growth) ไปเป็นการโตแบบเซลล์ูลาร์ (Cellular Growth) จะพบว่าในกรณีของการโตแบบระนาบราบนั้นคือ อัตราส่วนระหว่างความชันของอุณหภูมิ (G) กับอัตราการแข็งตัว (R) โดยมีทิศทางที่เพิ่มขึ้น ก็จะทำให้การเคลื่อนที่ของโครงสร้างขยับไปหาการโตแบบระนาบ แต่ถ้าอัตราส่วนระหว่างความชันของอุณหภูมิ (G) กับอัตราการแข็งตัว (R) ลดลงไปได้เรื่อยๆ ก็จะทำให้การเคลื่อนที่ของโครงสร้างเกรนดำเนินไปข้างหน้า ตั้งแต่ระนาบราบ, เซลล์ูลาร์, คอลัมน์าร์เดนไดรต์ ไปจนถึงโครงสร้างอิกวิแอกซ์เดนไดรต์ ดังนั้นกระบวนการทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นผลที่เกิดจากอัตราส่วนระหว่างความชันของอุณหภูมิ G และอัตราการแข็งตัวของ R ที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 2.25 การเคลื่อนที่ของโครงสร้างเกรน

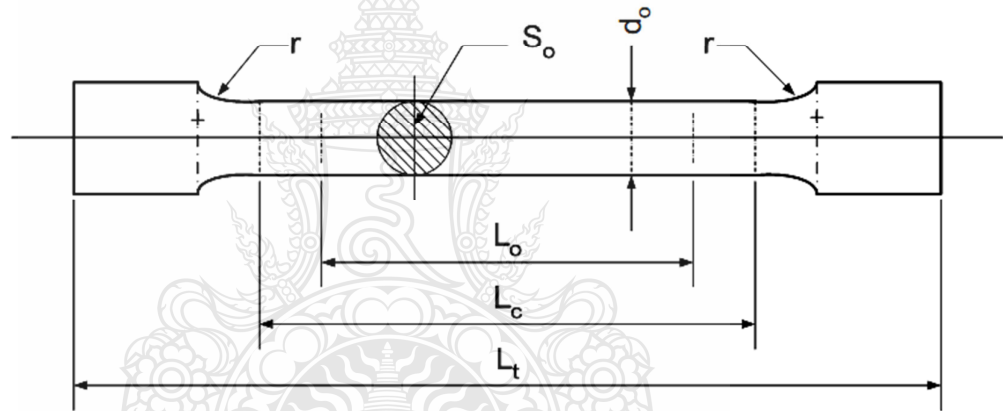


ภาพที่ 2.26 ลักษณะการเกิดของแข็งแบบระนาบราบ, เซลล์ลาร์, คอลัมน์นาร์เดนไดรต์และอิควิแอกซ์เดนไดรต์

2.9 การทดสอบทางกล

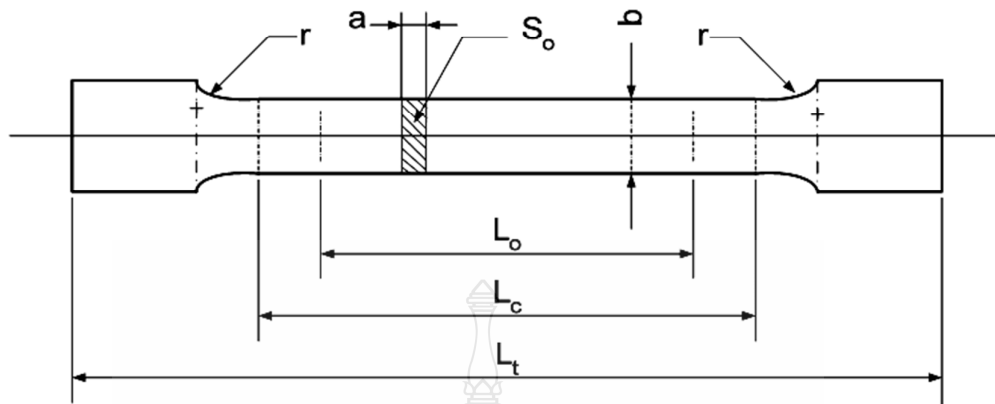
2.9.1 การทดสอบแรงดึง (ASTM E8M)

การทดสอบโดยการดึง เป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายที่สุดในทุกวิธีการทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ และนิยมทดสอบกันมาก เพราะสามารถให้ผลที่เป็นคุณสมบัติทางกลพื้นฐานพอสมควรเช่นให้ผลเกี่ยวกับความต้านทานแรงดึง ความยืดตัว ความเหนียว ความเปราะและลักษณะการแตกหักของวัสดุ ซึ่งนับว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไปโดยทั่วไปการทดสอบต้องใช้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ดึงขึ้นทดสอบให้ยืดออกและขาดในที่สุด สำหรับการทดสอบโดยการดึงนั้นนิยมทดสอบวัสดุที่มีคุณสมบัติเหนียวมากกว่าวัสดุเปราะ



ภาพที่ 2.27 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดขวางกลม [10]

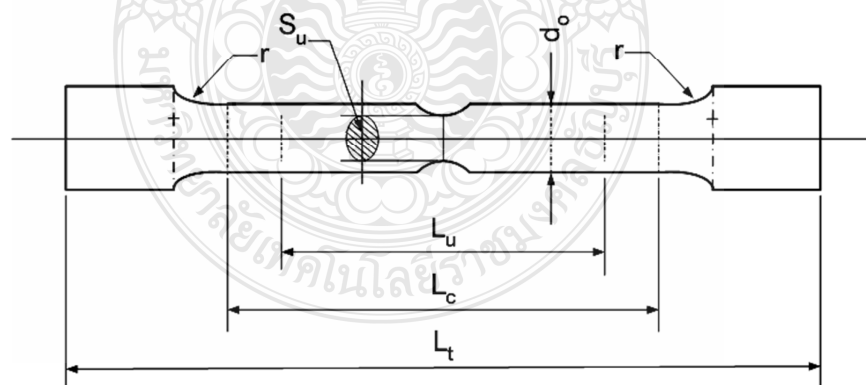
1) ชิ้นทดสอบ (Specimens) การทดสอบโดยการดึง จะมีลักษณะภาคตัดขวางหลายแบบ อาจจะเป็นวงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือในกรณีพิเศษอาจจะเป็นรูปอื่นก็ได้สำหรับชิ้นทดสอบที่เป็นโลหะ ส่วนมากจะเตรียมโดยการกลึงให้มีพื้นที่ภาคตัดขวางกลม หรืออาจจะเตรียมให้มีพื้นที่ภาคตัดที่ภาคตัดขวางสี่เหลี่ยมมุมฉากก็ได้ดังภาพที่ 27 และ 28



ภาพที่ 2.28 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก [10]

2) ความยาวพิกัด (Gauge Length) คือความยาวระหว่างจุดที่กำหนดขึ้น 2 จุดในส่วนที่ขนานกันของชิ้นทดสอบ เพื่อใช้หาความยืดระหว่างการทดสอบ

3) ความยาวพิกัด (L_0) หมายถึงความยาวพิกัดก่อนการทดสอบความยาวพิกัดสุดท้าย (L_a) หมายถึง ความยาวพิกัดหลังจากชิ้นทดสอบถูกดึงให้ขาดแล้วนำส่วนที่ขาดมาวางต่อเข้าด้วยกันให้สนิทที่สุดในแนวเส้นตรงเดียวกันดังภาพที่ 29



ภาพที่ 2.29 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดขวางกลมหลังจากขาด [10]

4) ความยาวพิักัดสำหรับเครื่องวัดการยืด คือความยาวระหว่างจุดที่กำหนดขึ้น 2 จุด ใน ส่วนขนานของชิ้นทดสอบ เพื่อใช้สำหรับวัดหาการยืด ความยาวนี้อาจจะแตกต่างจากความยาวพิักัด เดิม (L_0) และอาจจะมีค่าใดก็ได้ที่มากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) หรือความกว้าง (b) ของชิ้นทดสอบ แต่ต้องน้อยกว่าความยาวของส่วนขนาน

5) สัญลักษณ์ และความหมาย จากภาพ 27, 28, 29 จะมีสัญลักษณ์และความหมายใน มาตรฐานของชิ้นทดสอบส่วนอื่นๆ เพิ่มเติมจากที่ได้กล่าวมาแล้วดังนี้

a = ความหนาของส่วนขนานของชิ้นทดสอบ

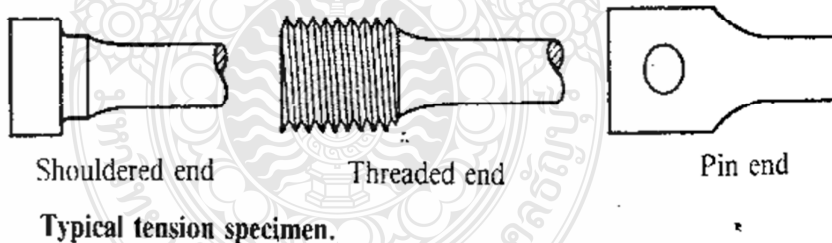
L_t = ความยาวรวมของชิ้นทดสอบ

S_0 = พื้นที่ภาคตัดขวางเดิมภายในความยาวพิักัด

S_u = พื้นที่ภาคตัดขวางน้อยที่สุดหลังจากขาด

r = รัศมีของป้าชิ้นงานทดสอบ

6) ลักษณะการยึดชิ้นทดสอบ การยึดชิ้นทดสอบ โดยการดึงนั้นจะต้องยึดด้วยวิธีที่เหมาะสมว่าจะใช้อุปกรณ์ใดยึดชิ้นทดสอบ และวิธีใดจึงสะดวก ข้อสำคัญในการยึดชิ้นทดสอบก็จะต้องพยายามอย่างดีที่สุดที่จะให้แรงทดสอบกระทำอยู่ในแนวแกนของชิ้นทดสอบ และจะต้องมีความแน่ใจด้วยว่า อุปกรณ์จับยึดชิ้นทดสอบมีความแข็งแรงเพียงพอต่อแรงกระทำจนชิ้นทดสอบขาด



ภาพที่ 2.30 แสดงลักษณะปลายยึดชิ้นทดสอบ โดยการดึง [10]

สำหรับวิธียึดชิ้นทดสอบมีอยู่หลายวิธี เช่น ใช้ลิ่มยึด เกลียวยึด ป้ายึด โดยแต่ละวิธียึดชิ้นทดสอบนั้นจะต้องไม่เกิดการบิดแกว่ง หรือเกิดการคดโค้ง ขณะที่ทำการทดสอบ ดังนั้นตรงปลายยึดชิ้นทดสอบ จึงต้องมีการเตรียมให้มีรูปร่างลักษณะยึดตามวิธีที่เหมาะสม ดังภาพที่ 30 จากภาพจะเห็นว่าลักษณะปลายยึดชิ้นทดสอบจะถูกเตรียมได้หลายแบบ ดังนี้

1. ปลายยึดแบบเกลียวเรียบ (Plain End)
2. ปลายยึดแบบบ่า (Shouldered End)
3. ปลายยึดแบบเกลียว (Pin End)
4. ปลายยึดแบบเจาะรูใส่สลัก (Pin End)

อุปกรณ์สำหรับยึดชิ้นทดสอบนั้นมียู่อหลายชนิด แต่ที่นิยมหรือสะดวกต่อการใช้และสะดวกต่อการเตรียมปลายยึดชิ้นทดสอบ นั้นคือ ลิ่มยึด การยึดด้วยวิธีใช้ลิ่มยึดนั้นเหมาะสำหรับชิ้นทดสอบที่เป็นโลหะเหนียวมากกว่าโลหะเปราะ เพราะการยึดชิ้นทดสอบโลหะเปราะจะทำให้ผิวแตกและอาจจะเกิดการดึงขาดใกล้บริเวณที่จับยึดชิ้นทดสอบก็ได้

2.9.2 การทดสอบความแข็ง (ASTM E92)

การทดสอบความแข็งของโลหะสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่นการทดสอบอย่างง่ายทดสอบโดยใช้ตะไบเป็นเครื่องมือในการทดสอบ โดยเลือกชนิดของตะไบ ที่มีความแข็งสูงสุดโดยการจัดระดับความแข็งของตะไบแต่อันไว้ เมื่อได้ตะไบที่มีความแข็งแตกต่างกันแล้วก็นำไปทดสอบความแข็งโลหะต่างๆ ได้ โดยถ้าตะไบอันไหนตะไบชิ้นงานได้แสดงว่าชิ้นงานมีค่าความแข็งนั้น แต่การตรวจสอบด้วยวิธีก็อาจเกิดข้อผิดพลาดได้ เพราะผู้ตรวจสอบไม่มีความชำนาญ ดังนั้นจึงมีการทดสอบความแข็งด้วยวิธีอื่นๆ เพื่อความถูกต้องของข้อมูลดังนี้

1) การทดสอบความแข็งแบบร็อกเวล

การทดสอบแบบร็อกเวลนี้ วัดได้จากความลึกที่ปรากฏบนผิวทดสอบ อันเกิดจากการกดของหัวกด ตามมาตรฐาน และวัดค่าความแข็งของชิ้นงานได้หลายสเกล เช่น A, B, C, D, E, F และ G เป็นต้น สำหรับน้ำหนักที่ใช้กดแต่ละสเกลแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 ขนาดน้ำหนักที่ใช้กดแต่ละสเกล

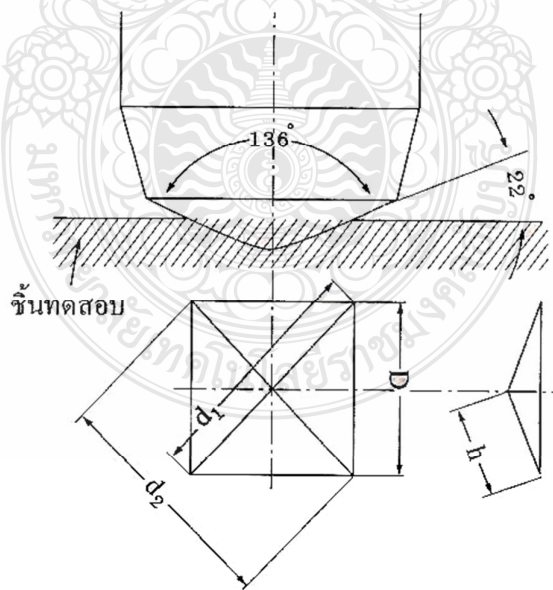
สเกล	หัวกด	น้ำหนักกด (kg)
A	เพชร	60
B	บอล 1/16 นิ้ว	100
C	เพชร	150
D	เพชร	100
E	บอล 1/8 นิ้ว	100
F	บอล 1/16 นิ้ว	60
G	บอล 1/16 นิ้ว	150

แต่มีการวัดบางสเกลเท่านั้นที่นิยมใช้ ซึ่งคือ สเกล C และ สเกล B โดยมีวิธีในการทดสอบ ดังนี้

1. ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัดทดสอบ ก่อนทำการทดสอบ
2. ชิ้นงานทดสอบต้องทำความสะอาดและขนานกันทั้งสองด้าน
3. รอยกดบนผิวทดสอบควรห่างกันอย่างน้อย 3 มิลลิเมตร
4. วัดค่าความแข็งอย่างน้อย 3 จุด แล้วนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย จะได้เป็นค่าความแข็งที่ถูกต้อง
5. ค่าความแข็งที่อ่านได้บนสเกลเป็นค่าที่นำไปใช้ได้เลย จึงมีความรวดเร็วในการทดสอบ
6. ชิ้นงานที่จะทำการทดสอบควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 10 เท่าของรอยกดบนผิวทดสอบ

2) การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (ASTM E92)

การทดสอบความแข็งแบบนี้ มีหลักการคล้ายกับการทดสอบความแข็งแบบบริเนล แต่การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์สามารถวัดความแข็งได้อย่างถูกต้องแน่นอนกว่าแบบบริเนล ทั้งนี้ก็เพราะว่าความแข็งที่ได้มาจากอัตราส่วนของน้ำหนักที่ใช้กดต่อพื้นที่สัมผัสกับหัวกดเพชรรูปพีระมิด



ภาพที่ 2.31 แสดงการวัดขนาดเส้นทแยงมุมของรอยบุ๋มจากการกดเพื่อหาค่าความแข็ง [8]

การทดสอบแบบวิกเกอร์นี้สามารถทดสอบความแข็งของเหล็กได้ทุกชนิดไม่ว่าจะมีขนาดหรือรูปทรงเช่นใดก็ตาม เป็นการทดสอบที่ให้ความละเอียดสูงทั้งนี้ก็เพราะว่าเมื่อทดสอบแล้วจะเกิดรอยกดบนชิ้นงานน้อยมาก จึงต้องนำมาขยายด้วยกล้องขยายและวัดค่าความยาวของเส้นทแยงมุมของรอยกดนั้น เมื่อทราบค่าแล้ว นำมาคำนวณหรือเปิดตารางเปรียบเทียบจึงจะทราบค่าความแข็งของชิ้นงานนั้น โดยการวัดค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการศึกษาวิจัย เนื่องจากสามารถวัดค่าความแข็งได้ในช่วงที่กว้างและมีหน่วยของค่าความแข็งเดียว คือ VHN ทำให้เหมาะสำหรับการทดลองวัสดุได้หลากหลายชนิด ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ควรเลือกน้ำหนักกดให้เหมาะเพื่อให้เกิดรอย Pyramid ที่สมบูรณ์ จากนั้นนำขนาดของรอยมุมไปคำนวณโดยใช้สูตรในการคำนวณตาม 2.1 และ 2.2

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

กำหนดให้

A = พื้นที่รอยกดเป็น มม.²

F = แรงที่ใช้กด เป็น N

d = เส้นทแยงมุมเฉียงของรอยกด เป็น มม.

$$A = \frac{d^2}{1.584} \quad (2.1)$$

$$HV = 0.189 \times \frac{F}{d^2} \quad (2.2)$$

จากค่า d ตามหลักการทดสอบของวิกเกอร์ เราสามารถที่จะทำการอ่านค่าความแข็งจากตารางได้โดยตรง แรงที่ใช้ในการทดสอบ แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

1) ช่วงสูง คือ 980, 490, 294, 196, 98, 49 N ช่วงต่ำ คือ 49, 29.4, 19.6, 9.8, 4.9, 2.94, 1.96 N

แรงที่เลือกใช้ในการทดสอบจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรง และความหนาของชิ้นงานทดสอบ การกำหนดค่าความแข็ง ให้เขียนค่าความแข็งโดยใช้อักษร HV โดยค่าความแข็งจะอยู่ข้างหน้าตัวอักษร ตัวอย่างเช่น 113 HV / 10 ค่าความแข็งคือ 113 แรงที่ใช้กด 9.8 N เวลาทดสอบ 10 S

2.10 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure Investigation) [15]

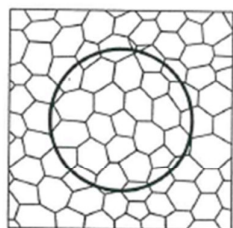
โครงสร้างจุลภาค หมายถึง โครงสร้างขนาดรูปร่างของเกรน (grain) และสิ่งเจือปนต่างๆ ที่กระจายผสมอยู่ในโลหะสามารถส่องขยายดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ขยายตั้งแต่ 50 เท่าขึ้นไป ขึ้นทดสอบ

จะถูกเตรียมด้วยการตัดด้วยแผ่นตัด โดยห้ามมิให้เกิดความร้อนระหว่างการตัดมากเกินไป หรือใช้แรงกดตัดมากเกินไป เพราะจะทำให้โครงสร้างเสียรูป เพื่อสะดวกในการจับชิ้นทดสอบมาทำการขัดให้ผิวเรียบจะมีการหล่อด้วยพลาสติกให้หุ้มชิ้นทดสอบแล้วจึงนำไปขัดกระดาษทรายและสารขัดละเอียดจนให้เกิดผิวเป็นมัน จากนั้นจะมีการกัดด้วยสารเคมีทำให้เกิดเป็นรอยโครงสร้างที่ขอบเม็ดเกรนขึ้นหรือกัดให้ผิวของแต่ละผลึกให้สามารถมองเห็นได้ด้วยการส่องแสงไฟฟ้าไปกระทบผิวชิ้นทดสอบและสะท้อนออกมาแตกต่างกัน การมองตรวจสอบวิธีนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ โครงสร้างของเม็ดเกรนจากขนาดรูปร่างของเม็ดเกรน เช่นเกรนหยาบหรือละเอียด การเกิดระนาบคู่ (twin plane) รูปเข็ม รูปทรงกลม การแผ่กระจายและการเรียงตัวของเม็ดเกรน เช่น เทกซ์เจอร์ (texture) จากการรีดการแยกตัวที่ขอบเม็ดเกรน การหาขนาดความโตของเม็ดเกรนการหาขนาดของเม็ดเกรน โครงสร้างเม็ดเกรนจากการหล่อ การอบอ่อน การชุบแข็ง การอบชุบ โชนคาร์บอน โชนไนไตรด์ โชนความลึกของความแข็ง การเปลี่ยนรูป และการก่อตัวใหม่ที่เม็ดเกรน เช่น ในขณะที่ขึ้นรูปขณะเย็น การตกผลึกใหม่ ประเภทการแยกตัวและรูปร่างการแยกตัวของโครงสร้างที่เป็นอโลหะ การแทรกตัวของซัลไฟต์ในเหล็กกล้าตัดง่าย การแยกตัวของเกล็ดแกรไฟต์ หรือแกรไฟต์รูปกลมในเหล็กหล่อ สำหรับในการหาขนาดของเม็ดเกรน ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติทางกลของวัสดุโลหะ เช่น ความแข็ง ความเค้นคราก และความต้านแรงดึง ด้วยเหตุนี้ความรู้เกี่ยวกับขนาด และการกระจายของเม็ดเกรนจึงสามารถบ่งบอกคุณสมบัติของวัสดุในทางปฏิบัติได้เป็นอย่างมาก ส่วนมากแล้ว มีการหาค่าเฉลี่ยของขนาดเม็ดเกรนตามวิธีการดังต่อไปนี้

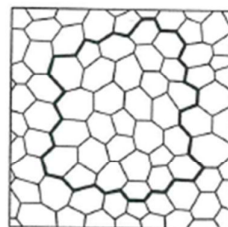
1) วิธีการหาขนาดความโตของเม็ดเกรนแบบวงกลม เป็นภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคที่ขัดผิวแล้วที่เขียนวงกลมด้วยเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่วงกลม จากนั้นการนับจำนวนเม็ดเกรน ที่อยู่ในวงกลม และจำนวนเม็ดเกรนที่ถูกเส้นรอบวงลากผ่านซึ่งผลจะออกมาเป็นจำนวนรวมที่เม็ดเกรน ที่อยู่ในพื้นที่วงกลม ภาพที่เห็นมีกำลังขยายซึ่งจะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดเม็ดเกรน

2) วิธีการหาขนาดความโตเม็ดเกรนแบบหาพื้นที่ มีการขีดเส้นตามแนวช่วงเม็ดเกรนที่มีมุมเป็นเหลี่ยมเกือบเป็นมุมฉาก และขนาดพื้นที่ จะหาด้วยวิธีการระนาบเรขาคณิต (plane geometry) จากจำนวนของเม็ดเกรนที่ถูกขีดด้วยจำนวนของเม็ดเกรน จะทำให้สามารถคำนวณพื้นที่เฉลี่ยของเม็ดเกรนได้

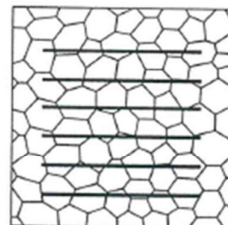
3) วิธีการหาขนาดของความโตเม็ดเกรนแบบวิธีการลากเส้นตรง มีวิธีการแบบขีดเส้นตรงตามความยาว ตามจำนวนเม็ดเกรน ต่อตารางนิ้ว จำนวนของเม็ดเกรนที่ถูกตัดผ่าน และที่กำลังขยายได้ขนาดความโตของเม็ดเกรน ซึ่งโดยปกติจะใช้วิธีการลากเส้นตรง 5 ถึง 10 เส้น ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.32



(ก) วิธีวงกลม



(ข) วิธีหาพื้นที่



(ค) วิธีการลากเส้นตรง

ภาพที่ 2.32 การหาขนาดความโตเม็ดเกรน[15]

2.10.1 การเตรียมขัดผิวชิ้นทดสอบ

การเตรียมจะกระทำโดยการตัดกรณีเป็นวัสดุแท่ง (เหล็กกล้า โลหะไม่ใช้เหล็ก) ด้วยการใช้แก๊สตัดหรือเลื่อยตัด หล่อเย็นด้วยน้ำหรือน้ำมันหล่อเย็น กรณีโลหะแผ่นให้ตัดขวางกับแนวเชื่อม กรณีเหล็กกล้าชุบแข็ง เหล็กหล่อให้ใช้แผ่นตัดทำจากคอร์ันดัม ขนาดชิ้นงานมีขนาด 20x20x15 มม หรือถ้าเป็นแท่ง \varnothing 20x15 มม สำหรับชิ้นทดสอบที่มีขนาด \varnothing เล็กกว่า 10 มม โลหะแผ่นหนาต่ำกว่า 10 มม. หรือชิ้นงานเล็กจะต้องมีการเทหล่อเรซินหุ้มชิ้นงาน ให้มีขนาดโตขึ้นพอเหมาะกับมือที่จะจับ โดยโตประมาณ \varnothing 50 มม เรซินที่ใช้ประกอบด้วยส่วนผสม 2 ชนิด คือ เรซินและสารทำให้แข็ง (hardener) โดยนำมาผสมเข้าด้วยกัน (เรซินจะเหลวผสมสารทำให้แข็ง จะเป็นของเหลวหรือของแข็ง) โดยเวลาแข็งตัวจะอยู่ระหว่าง 6 ถึง 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

2.10.2 การขัดผิวละเอียด (Fine Grinding)

การขัดชิ้นงานจะใช้กระดาษทรายขัดเหล็ก (ทำด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์) เม็ดเบอร์ 220 320 400 และ 600 ตามลำดับ ขัดด้วยน้ำโดยในการขัดกระดาษทรายสองเบอร์สุดท้ายจะต้องขัดให้เกิดรอยกระดาษในทิศทางเดียวตลอดผิวงาน แล้วหมุนชิ้นงานไป 90 องศา ขัดจนรอยเดิมหายไป ในการขัดจะขัดบนแท่นที่มีความเรียบ เช่น แผ่นกระจกหนา (หากผิวไม่เรียบจะทำให้ภาพจากการวิเคราะห์โครงสร้างผิดพลาดได้) จนปราศจากผิวรอยข่วนเล็กๆ กระดาษทรายขัดผิวและวิธีการที่กล่าวมานี้ใช้ในการขัดผิว สำหรับโลหะเหล็ก โลหะที่มีทองแดงเป็นหลัก แมกนีเซียม แมกนีเซียมเจือ และส่วนเจือจากตะกั่ว ดีบุก และสังกะสี ชิ้นงานที่เป็นเหล็กหล่อเหนียว (แกรไฟต์กลม) จะต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษเพราะมักเกิดปัญหาแกรไฟต์กลมหลุดจากผิวขัดได้ง่ายในระหว่างการขัดผิว ทำให้ภาพโครงสร้างที่ได้ผิดพลาดไป

2.10.3 การขัดผิวมัน (Polishing)

หลังจากขัดกระดาษทรายแล้ว จะนำชิ้นงานมาขัดบนผ้าสักหลาด (มีเกรดเดียว) เป็นงานหมุนขัดด้วยมอเตอร์ (Polisher) ความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที สารที่ใช้ขัดจะประกอบไปด้วย น้ำยาหล่อลื่น เป็นส่วนผสมของน้ำ 400 ซีซี น้ำสบู่เหลว 10 ซีซี น้ำมันซลูเบล (soluble) 10 ซีซี กรณีที่เป็นเหล็กแข็งจะใช้เพสต์กากเพชร (diamond pastes) ที่มีขนาดเม็ด 0.1 ถึง 0.4 μm หยอดลงบนงานขัดก่อนแต่โดยปกติจะใช้ผงอะลูมินา (aluminium oxide) แมกนีเซียมออกไซด์ โครมิกออกไซด์ เพอร์ริกออกไซด์หล่อลื่นด้วยน้ำผงอะลูมินาที่ใช้โดยทั่วไปจะมีขนาดเม็ดระหว่าง 0.3-1.5 μm เป็นอัลฟาอะลูมินา ใช้ขัดในตอนเริ่มต้นเมื่อจะขัดผิวเรียบสำเร็จจะใช้ แกรมมาอะลูมินาที่มีขนาดเล็กประมาณ 0.05 μm การกัดผิวงานด้วยกรด (etching) หลังจากขัดมันแล้วจะนำมาล้างทำความสะอาดด้วยเอทิลหรือเมทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 96% แล้วเป่าให้แห้งจากนั้นจะนำชิ้นทดสอบมาทำการกัดผิวด้วยกรดเพื่อที่จะส่องดูโครงสร้างต่อไป

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยงยุทธ คลยกุล. ได้ศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้า คาร์บอนด้วยกระแสเชื่อม และส่วนผสมของแก๊สคลุมที่แตกต่างกัน โดยกรรมวิธีการเชื่อมแม็ก โดยใช้แก๊สคลุมที่แตกต่างกันกับกระแสเชื่อม 2 ชนิด คือกระแสพัลส์ และกระแสมาตรฐาน เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 จากการทดลองพบว่าการเชื่อมด้วยกระแสแบบมาตรฐาน ที่แก๊สคลุม Ar 80 + CO₂ 20% เป็นอัตราส่วนผสมของแก๊สคลุมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 775.47 MPa บริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อน (HAZ) สมบูรณ์ดี แนวเชื่อมเรียบ ส่วนการเชื่อมด้วยกระแสแบบพัลส์การหลอมละลายระหว่างชั้นกับเนื้อโลหะงานบริเวณ (HAZ) มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน การเชื่อมด้วยกระแสแบบมาตรฐานที่แก๊สปกคลุมทุกอัตราส่วนจะให้ค่าความแข็งแรงและความเค้นที่จุดครากสูงกว่าการเชื่อมด้วยแก๊สคาร์บอน ไอออกไซด์ 100 % ส่วนกระแสแบบพัลส์ให้ค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกัน เปรียบเทียบกระแสเชื่อมพบว่า การเชื่อมด้วยกระแสมาตรฐาน ทุกอัตราส่วนผสมของแก๊สปกคลุมจะให้ค่าความแข็งแรงและความเค้นที่จุดครากสูงกว่า การทดสอบความแข็งแรงพบว่า การเชื่อมด้วยกระแสทั้งสองชนิดให้ค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกัน [2]

ปริญญา แสงทอง. ได้ศึกษาผลการแปรพารามิเตอร์ การเชื่อม MIG ต่อโครงสร้าง และสมบัติของงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม โดยมีปัจจัยคือกระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 150 160 และ 170 Amp. แรงดันไฟฟ้ามี่ 3 ระดับ คือ 20 22 และ 24 Volt และแก๊สอาร์กอน 2 ระดับ คือใช้ที่ความบริสุทธิ์ 99.999% และแก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์ 99.999% โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าความความเค้นแรงดึงสูงสุด

คือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและแก๊สอาร์กอน ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว คือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและแก๊สอาร์กอน ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก คือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และแก๊สอาร์กอนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 [3]

ฉัตรทอง ไสแสง. ได้ศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 โดยการวิจัยพบว่าพารามิเตอร์การเชื่อมที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดได้แก่การเชื่อมที่พารามิเตอร์ กระแสเชื่อม 90 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อมที่ 500 ม.ม./นาที่และแก๊สปกคลุม Ar+5% O₂ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 95.89 Kg/cm² เนื่องจากการเชื่อมด้วยกระแสต่ำทำให้โลหะงานได้รับพลังงานความร้อนเข้าในปริมาณที่น้อย จึงส่งผลต่อลักษณะการกระจายออกไปยังบริเวณกระแทกร้อนได้ในปริมาณที่น้อยจึงทำให้บริเวณกระแทกร้อนเกิดการเปลี่ยนแปลงได้น้อยเช่นกัน ประกอบกับการเชื่อมที่ใช้ความเร็วในการเชื่อมในระดับสูง จึงทำให้โลหะงานมีอัตราการเย็นตัวที่รวดเร็ว [16]

อรศิริ จันท์เมือง. ได้ศึกษาชนิดของก๊าซที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ในกระบวนการเชื่อม MIG โดยใช้ก๊าซเพื่อการเปรียบเทียบ 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซอาร์กอน ก๊าซอาร์โกซิล 50 และก๊าซอาร์โกซิล 63 พร้อมทั้งอัตราการไหลของก๊าซที่ 15,20, 25 ลิตร/นาที่ ใช้ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ตามมาตรฐาน AWS. A5.9 308LSi: MIG ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มม.ทำการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมหนา 4 มม. พบว่าค่าความแข็งแรงดึง ของตัวอย่างงานที่ใช้ทดสอบด้วยการเชื่อมก๊าซ 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงของก๊าซอาร์โกซิล 50 เท่ากับ 607.19 MPa ก๊าซอาร์โกซิล 63 เท่ากับ 600.03 MPa และก๊าซอาร์กอนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 588.51 MPa สำหรับอัตราการไหลของก๊าซทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นควรใช้ก๊าซอาร์โกซิล 50 ปริมาณอัตราการไหลที่ 15 ลิตร/นาที่ ในกระบวนการเชื่อม MIG เหล็กกล้าไร้สนิมทุกๆ ไป [10]

อดิศร อุทัยแพน. ได้ศึกษาอิทธิพลของส่วนผสมแก๊สคลุมอาร์กอน (Ar) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และออกซิเจน (O₂) ที่มีผลต่อกระบวนการเชื่อมมิกต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 304 พบว่า ความแข็งแรงสูงสุด ที่กระแสเชื่อม 90 แอมแปร์ ความเร็ว 400 มม./นาที่ และแก๊สคลุม Ar+5 % O₂ มีค่าเท่ากับ 283.75HV ผลต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ กระแส 90 แอมแปร์ ความเร็ว 400 มม./นาที่ และแก๊สคลุม Ar+5 % CO₂ มีค่าเท่ากับ 851.56 N/mm² ผลต่อจุดครากสูงสุด ที่กระแส 90 แอมแปร์ ความเร็ว 400 มม./นาที่ และแก๊สคลุม Ar+5% CO₂ มีค่าเท่ากับ 773.03 N/mm² ผลต่อเปอร์เซ็นต์การยึดตัวสูงสุด ที่กระแส 90 แอมแปร์ ความเร็ว 400 มม./นาที่ และแก๊สคลุม Ar +5%CO₂ มีค่าเท่ากับ 36.33% โครงสร้างจุลภาค

บริเวณรอยเชื่อมและบริเวณกระทบบร้อนมีค่าความแข็งสูงสุด โครงสร้างลักษณะเดนไดท์ และความโตของเม็ดเกรนในบริเวณกระทบบร้อนมีความแตกต่างกันมาก [7]

ภักดี ดำเนินผล. ได้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในกระบวนการเชื่อมมิกต่อโครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลเหล็กกล้าสแตนเลสออสเทนนิติก เกรด 304 พบว่า ผลต่อความแข็งสูงสุดคือ กระแสไฟเชื่อมที่ 100 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อมที่ 400 มม./นาที และแก๊สปกคลุม 85% Ar+15% CO₂ จะมีความแข็งสูงสุดเท่ากับ 300.55 HV ผลการศึกษาต่อเปอร์เซ็นต์การยึดตัวสูงสุด พบว่าปัจจัยหลัก คือ แก๊สที่ใช้ปกคลุมแนวเชื่อมคือแก๊ส 85% Ar+15% CO₂ จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวสูงสุดที่ 56.5% ผลต่อจุดครากพบว่าความเร็วในการเชื่อมที่ระดับ 400 มม./นาที กระแสไฟในการเชื่อมที่ 95 แอมแปร์ และแก๊สปกคลุม 84.5%Ar+0.5%He+15% O₂ จะให้ค่าจุดครากสูงสุดที่ 925.65 N/mm² ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคในบริเวณรอยเชื่อมที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุด พบว่าประกอบด้วย โครงสร้างออสเทนไนท์ และมีผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ (Cr₂₃ C₆) ตามขอบเกรนกระจายทั่วบริเวณ และลักษณะโครงสร้างของ Columnar Dendrite บริเวณผลกระทบบร้อนมีขนาดเกรนโตแตกต่างกันมาก คือขนาดของเดนไดท์จะมีเม็ดเกรนเล็กกว่าในบริเวณกระทบบร้อน (HAZ) [12]

สมศักดิ์ ปามิก และคณะ ได้ศึกษาผลของการใช้แก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กับแก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สคลุมในขณะเชื่อม โดยกระบวนการเชื่อมมิก/แม็ก ใช้ชิ้นงานทดลองเชื่อม เป็นเหล็กเกรด SN490B ขนาด 150x200x28 มิลลิเมตร บากวีด้านเดียวมุม 22.5 องศา เชื่อมในตำแหน่ง ท่าราบ ทำการเชื่อมโดยใช้แก๊สคลุม 6 อัตราส่วน จากการทดลองพบว่า การเชื่อมทุกอัตราส่วนของ แก๊สผสมมีการหลอมละลายระหว่างชิ้น (Interpass Fusion) และการหลอมละลายที่ขอบชิ้นงาน สมบูรณ์ดี ขนาดของเกรนบริเวณที่ได้รับอิทธิพลเนื่องจากความร้อน (HAZ) มีขนาดใกล้เคียงกัน ความหนาผิวหน้าแนวเชื่อม (Face Reinforcement) พบว่าการเชื่อมด้วยแก๊ส 100% CO₂ จะมีลักษณะ หนาสูงกว้างและจะแบนลงเมื่ออัตราส่วนผสมของแก๊ส CO₂ ลดลง การใช้ส่วนผสมของแก๊สคลุม 80% Ar+20% CO₂ จะให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงและค่าความเค้นที่จุดครากสูงสุด ส่วนอัตราส่วนผสมอื่นๆ มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน การทดสอบด้วยแรงดึง ทุกอัตราส่วนผสมของแก๊สคลุมจะให้ค่าความแข็งแรงดึง สูงสุดและความเค้นที่จุดครากมากกว่าเหล็ก SN490B ที่อัตราส่วนผสมแก๊ส 100% CO₂ และแก๊ส 75% Ar+25% CO₂ รับแรงกระแทกได้น้อยกว่าอัตราส่วนผสม 95% Ar+5% CO₂ และ 80% Ar+20% CO₂ ที่ อัตราส่วนผสม 90% Ar+10% CO₂ และ 85% Ar+15% CO₂ จะสามารถรับแรงกระแทกได้ สูงกว่าเหล็ก SN490B เปรียบเทียบด้านราคาต้นทุน พบว่า อัตราส่วนผสมแก๊ส 80% Ar+20% CO₂ ได้น้ำหนักเนื้อเชื่อมมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบราคาแก๊ส 100% CO₂ กับแก๊สผสมอัตราส่วนต่างๆ

ราคาแก๊สจะสูงตามปริมาณของแก๊สอาร์กอนที่ใช้ อัตราส่วนผสม 80% Ar+20% CO₂ จะดีทั้งในด้านราคาต้นทุนและสมบัติทางกลในกลุ่มของแก๊สผสมด้วยกัน [17]

Danat Iordachescu. Et al., (2004) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของแก๊สคลุมและตัวแปรของกรรมวิธีการเชื่อมแบบ MIG Brazing จากการทดลอง พบว่า การใช้แก๊สคลุมอาร์กอนเพียงอย่างเดียว แนวเชื่อมที่ได้จะมีลักษณะแบนเรียบ มีเกล็ดเกิดขึ้นเล็กน้อย การซึมลึกดี ไม่มีรูพรุนที่ผิวหน้าและปราศจากเม็ดโลหะ แต่ลักษณะของเปลวอาร์กอนมีความไวต่อการหักเหเนื่องจากเกิดสนามแม่เหล็กขณะทำการเชื่อม เมื่อทดลองใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผสมลงในแก๊สอาร์กอนที่อัตราส่วน 97.5% Ar+2.5% CO₂ ทำให้แนวเชื่อมเรียบและการซึมลึกดีขึ้น เปลวอาร์กอนมีเสถียรภาพมากขึ้นและไม่เกิดการหักเหเนื่องจากสนามแม่เหล็กในขณะที่ทำการเชื่อม [18]

M.T. Liao และคณะ ศึกษาผลกระทบของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อสมบัติทางกลของการเชื่อมสแตนเลส AISI 304 โดยการผสมแก๊ส CO₂ ในแก๊สอาร์กอน ซึ่งพบว่าแก๊ส CO₂ ตั้งแต่ 2-20 % จะทำให้เกิดสะเก็ดโลหะน้อยลง ที่อุณหภูมิ 196 องศาเซลเซียส CO₂ มีผลต่อความเหนียวขึ้นงานทดสอบ แต่จะมีผลทางรูปร่างและขนาดของ Delta-Ferrite มากกว่า ซึ่งจะเห็นโครงสร้างแบบ Vermicular และ Lathy การเกิดโครงสร้างนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณแก๊ส CO₂ ตั้งแต่ 2-20 % [19]

T.W. NELSON, J.C. LIPPOLD AND M.J. MILLS ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างจุลภาค ในบริเวณของการหลอมละลาย จากการเชื่อมโลหะต่างชนิดกัน ระหว่างเหล็กกล้าสแตนเลสเพอร์ริติก และเหล็กกล้าสแตนเลสออสเทนนิติก ด้วยลวดเชื่อม 70Ni-30Cu (AWS A5.14 ERNiCu-7) หลักสำคัญในการศึกษา คือ ต้องเข้าใจธรรมชาติและปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย จนกระทั่งมีการเย็นตัวของโลหะหลอมเหลวเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกหรือเกิดกระบวนการแข็งตัวของโลหะ ได้หลายรูปแบบ หลักการพื้นฐานคือ คุณสมบัติเฉพาะหรือคุณสมบัติของธาตุผสมที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อความสามารถทางด้านการเชื่อมและความสามารถในการหลอมละลายต่างกัน นอกจากนี้ปรากฏการณ์ดังกล่าวยังส่งผลกระทบต่อบริเวณข้างเคียง คือ บริเวณกระทบร้อน (Heat Affected Zone) ซึ่งจากการศึกษาสรุปได้ว่า โครงสร้างผลึกที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิออสเทนนิติก ซึ่งเกิดโครงสร้างผลึกแบบ FCC จะเป็นโครงสร้างเบื้องต้นของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอย่างอื่น เนื่องจากผลของอุณหภูมิ อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่บริเวณหลอมละลายสามารถมีผลกระทบต่อลักษณะของเกรนที่บริเวณผลกระทบจากความร้อนได้ [20]

Johnson J.A. et al., (2002) ได้ศึกษาการถ่ายโอนน้ำโลหะในกรรมวิธีการเชื่อมแบบ GMAW-P เพื่อศึกษาถึงผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่และความกว้างพัลส์ของวงจรการ

ถ่ายโอนน้ำโลหะ โดยกำหนดให้ตัวแปรการเชื่อมของกระแสพัลส์คงที่ ใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเป็นชิ้นงานทดลองเชื่อม ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน AWS A5.18 ER70S-6 และแก๊สคลุม ในขณะที่เชื่อมเป็นแก๊สผสมระหว่าง $98\%Ar+2\%O_2$ รอยต่อแบบดินแนวนอนชิ้นงาน ตั้งค่าตัวแปรการเชื่อมของกระแสพัลส์จากเครื่องเชื่อมในสภาวะปกติ หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงความถี่และความกว้างพัลส์ จากการทดลอง พบว่า ที่ค่าตัวแปรการเชื่อมในสภาวะปกติ การถ่ายโอนของหยดโลหะมีขนาดโตกว่าลวดเชื่อมเล็กน้อยที่ความกว้างพัลส์สิ้นสุดลง และการเริ่มต้นของกระแสต่ำจะเกิดการแตกตัวเป็นหยดขนาดเล็กก่อนและยังคงรักษาให้เป็นหยดต่อเนื่องจนกระทั่งเกิดการถ่ายโอนหยดโลหะที่ความกว้างพัลส์สิ้นสุดลงในวงรอบต่อไป ส่งผลทำให้เกิดการถ่ายโอนโลหะแบบหยดที่สม่ำเสมอ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าและความกว้างพัลส์หนึ่งเท่า การถ่ายโอนหยดโลหะมีมากขึ้นแต่ขนาดหยดโลหะจะไม่สม่ำเสมอในแต่ละวงรอบ และบางครั้งไม่เกิดการถ่ายโอนหยดโลหะในวงรอบต่อไปจึงเป็นสาเหตุทำให้การถ่ายโอนหยดโลหะมีขนาดใหญ่ขึ้น [21]

P.K. Ghosh Lutz Dorn Shirrang Kulkarni And F.Hofmann ได้ศึกษาคุณลักษณะและพฤติกรรมของการอาร์กในการถ่ายโอนโลหะในการเชื่อมแบบ GMAW กระแสแบบพัลส์ของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยใช้การถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูงในช่วงการเติมเนื้อโลหะของงานเชื่อมอาร์ก ศึกษาลักษณะของเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีการวางแผนไว้ ความยาว ความตึงผิวและพฤติกรรมการถ่ายโอนน้ำโลหะจากขนาดเส้นลวด และขนาดของหยด และความเร็วของการหยด ณ เวลาต่างๆ พบว่าให้ความแปรผันที่แตกต่างกันในเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดโลหะ ค่าที่กำหนด ค่าที่ได้จากการทดลองพบว่าสอดคล้องกันกับค่าทฤษฎีที่ประมาณการไว้จากสูตรทางคณิตที่รายงานไว้ก่อนหน้านี้ การเพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลางหยดโลหะ และอัตราส่วนของ I_b / I_p พบว่าเป็นผลเสียต่อความเสถียรของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม และลักษณะการอาร์ก โดยเฉพาะแรงดันไฟฟ้าที่มีการอาร์กสูง [22]

French I.E. And Bosworth M.R. (1995) ได้ศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมแบบมาตรฐานและแบบพัลส์ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบ GMAW โดยใช้ลวดเชื่อมเปลือยไร้สนิมและลวดเชื่อมไร้ฟลักซ์ ทั้งนี้ เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของการเชื่อมและลักษณะแนวเชื่อม กำหนดการเชื่อมที่ระดับและท่าตั้งเชื่อมขึ้น ใช้เครื่องเชื่อมที่ไม่มีกระแสพัลส์และมีกระแสพัลส์ ควบคุมด้วยการเชื่อมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ใช้แก๊สคลุมขณะเชื่อมเป็นแก๊สผสมระหว่าง $82\%Ar+18\%CO_2$ วัสดุทดลองเชื่อมเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน จากการทดลอง พบว่า การเชื่อมโดยกรรมวิธี GMAW ด้วยเครื่องเชื่อมที่มีกระแสพัลส์ควบคุมการเชื่อมด้วยโปรแกรมของเครื่องเชื่อม ผลของการเชื่อมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการเชื่อมได้ดีขึ้น การซึมลึกดี แนวเชื่อมที่ได้มีสมบัติทางกลดีกว่าการเชื่อมด้วยกระแสมาตรฐานทั้งลวดเชื่อมเปลือยไร้สนิมและลวดเชื่อมไร้ฟลักซ์ [23]

บทที่ 3

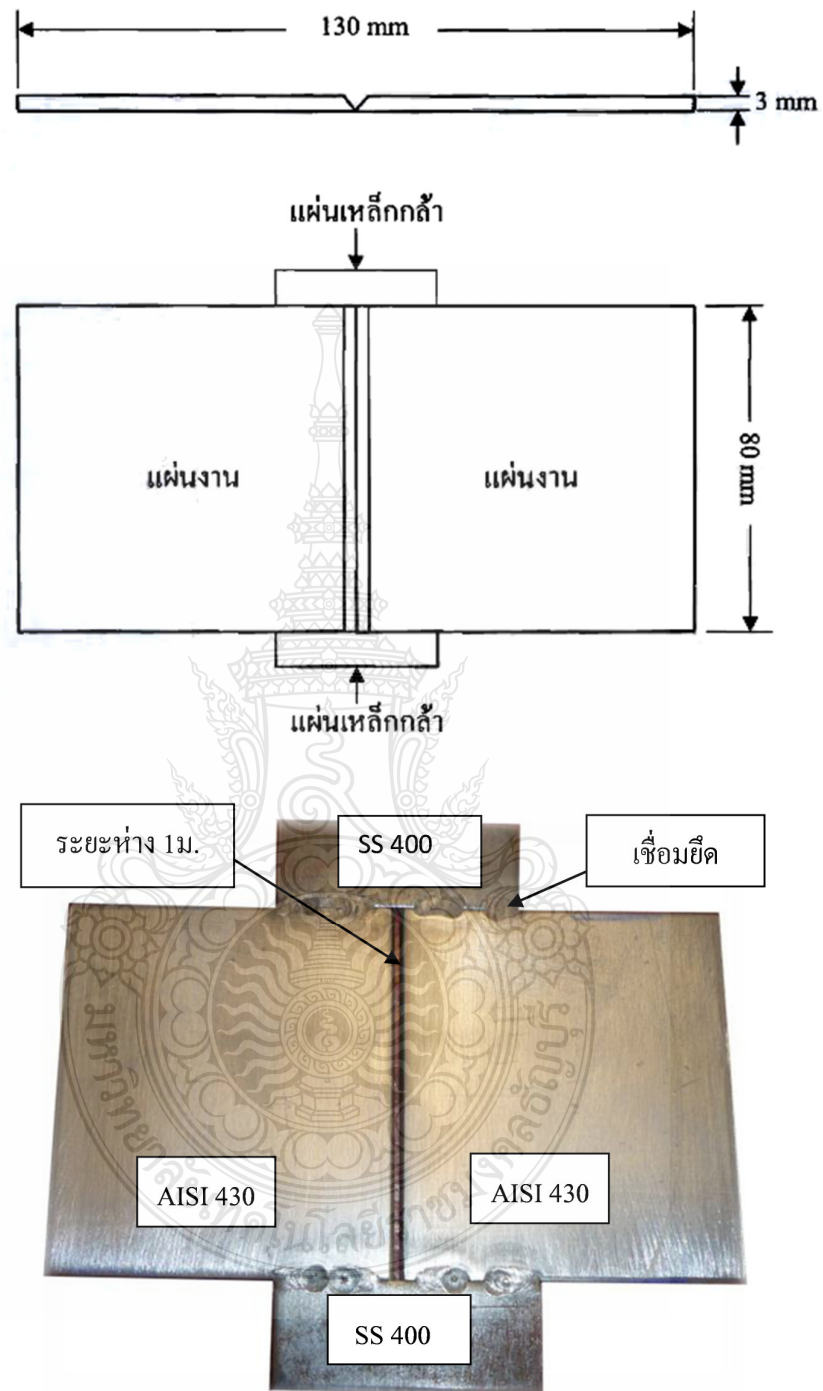
วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิจัยอภิปทผลตัวแปรการเชื่อม การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติของโลหะเชื่อมโดยใช้ตัวแปรจำนวน 3 ตัวแปร อุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง การวางแผนการดำเนินงาน การจัดบันทึกการทำงานรวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลองที่ได้ อย่างมีเหตุมีผล มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการดำเนินการทดลองซึ่งก่อให้เกิดการทำงานที่เป็นระบบระเบียบพร้อมทั้งสอดคล้องกับระยะเวลาที่กำหนดไว้ เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาอภิปทผลตัวแปรการเชื่อมมิกแบบซ้าแนว ต่อสมบัติของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 เป็นการศึกษาโครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกล ที่เกิดจากตัวแปรการเชื่อม โดยการดำเนินการวิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองเชื่อมเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก ตามมาตรฐาน AISI เกรด 430 ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไปความหนาที่ใช้คือ 3 มิลลิเมตร โดยมีส่วนผสมทางเคมี คือ โครเมียม (Cr) 17% คาร์บอน (C) 0.08% การเตรียมชิ้นงานทดลองได้กำหนดครอยต่อตามมาตรฐาน AWS D1.1 / D1.1 M:2006 โดยตัดชิ้นงานทดลองเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 ด้วยเครื่องมือโครคัตเตอร์หล่อเย็นด้วยน้ำให้ได้ขนาด 65 x 80 x 3 มิลลิเมตร หลังจากนั้นบากมุมชิ้นงานแต่ละชิ้นให้ได้ขนาดมุม เท่ากับ 30 องศา วางชิ้นงานเชื่อมในตำแหน่งต่อชนสำหรับเชื่อมท่าราบ ทำการเชื่อมยึดหัวท้ายด้วยแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ขนาด 20x50x3 มิลลิเมตร เพื่อให้ชิ้นงานเชื่อมยึดติดกันและอยู่ในระนาบเดียวกันดังแสดงในภาพที่ 3.1

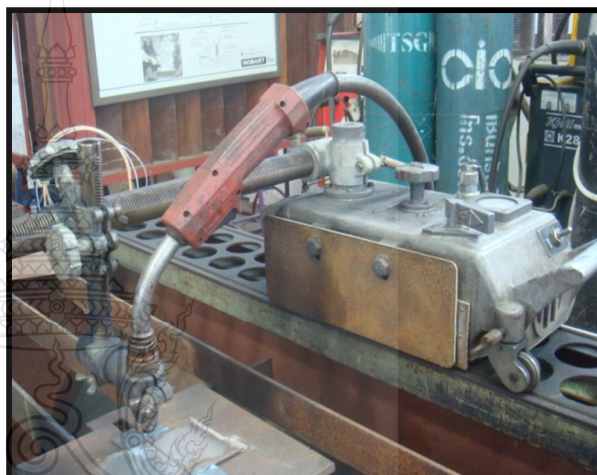


ภาพที่ 3.1 รอยต่อชนและชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ในการทดลองเชื่อม [7]

3.2 กระบวนการเชื่อม

3.2.1 เครื่องเชื่อม

เครื่องเชื่อมมักเป็นระบบอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อโฟรเนียส(Fronius) รุ่น Vario Star 317-2 โดยการประกบหัวเชื่อมเข้ากับชุดอุปกรณ์เครื่องตัดแก๊สแบบอัตโนมัติ ความเร็วของเครื่องตัดสามารถปรับได้ในช่วง 100 -1000 มิลลิเมตร/นาที โดยหัวเชื่อมจะยึดติดแทนที่หัวตัดแก๊สและถูกขับเคลื่อนไปตามรางของเครื่องตัดด้วยความเร็วคงที่ในการเชื่อมแสดงในภาพที่ 3.2 (ก) และ (ข)



ก) เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมทดลอง ข) ชุดอุปกรณ์เครื่องตัดแก๊สแบบอัตโนมัติ

ภาพที่ 3.2 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมทดลองและชุดอุปกรณ์เครื่องตัดแก๊สแบบอัตโนมัติ

3.2.2 ลวดเชื่อม

ลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมทดลอง เป็นลวดเชื่อมประเภทเปลือยตัน (Solid Wire) สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ตามมาตรฐาน AWS A5.9 ER-430 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่มีความเหมาะสมในการเชื่อมต่อชนบาคหน้างาน เพราะลวดเชื่อมที่มีขนาดเล็กจะให้การซึมลึกดีกว่าลวดเชื่อมที่มีขนาดใหญ่กว่า เมื่อใช้กระแสไฟเชื่อมขนาดเดียวกันอีกทั้งขนาดลวดเชื่อมจะต้องขึ้นอยู่กับขนาดความหนาของชิ้นงาน [24] ซึ่งชิ้นงานที่เลือกใช้ในการทดลองหนา 3 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่ามีความหนาไม่มากจึงเหมาะที่จะใช้ลวดเชื่อมที่มีขนาดเล็ก และลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก 430 ขนาด 1.2 มิลลิเมตร ซึ่งหาได้ง่ายตามท้องตลาด จึงเหมาะกับการเชื่อมเหล็กที่มีความ

หนาไม่มากทำให้ง่ายต่อการหลอมละลายและการถ่ายโอนโลหะซึ่งไม่ต้องใช้กระแสไฟในการเชื่อมสูงมากนัก



ภาพที่ 3.3 ลวดเชื่อมมิก ตามมาตรฐาน AWS A 5.9 ขนาด 1.2 มม.

3.2.3 แก๊สปกคลุม

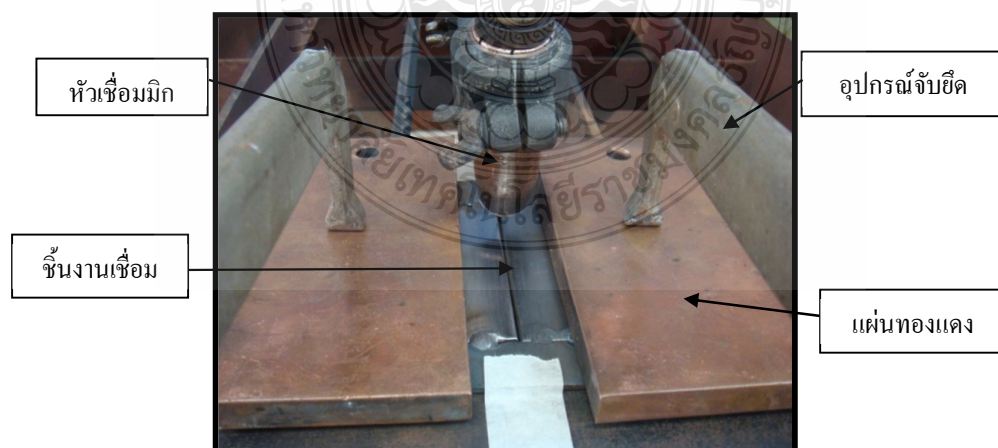
แก๊สปกคลุมที่ใช้มี 2 ชนิด คือ แก๊สอาร์กอนกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในการทดลองเชื่อมกำหนดให้เป็นแก๊สผสมเพื่อใช้เป็นแก๊สปกคลุมขณะเชื่อม 3 อัตราส่วน คือ Ar80%+CO₂20% Ar100 % และ CO₂100 % ในการผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้ากับแก๊สอาร์กอน จะทำให้การอาร์กมีความเสถียร การถ่ายโอนน้ำโลหะจากปลายลวดเชื่อมไปยังชิ้นงานได้ดี มีแรงเกาะยึดบ่อหลอมเหลวดีกว่าและลดประกายโลหะกระเด็นเมื่อเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็กให้คุณสมบัติการอาร์กดี ขณะเชื่อมบ่อหลอมเหลวจะขยายออกไปถึงขอบรอยต่อ จึงไม่ทำให้เกิดรอยกินลึกที่ขอบรอยเชื่อมซึ่งส่วนผสม Ar80% + CO₂20% การถ่ายโอนน้ำโลหะจะเป็นแบบละออง [9] โดยกำหนดอัตราการใช้ของแก๊สคลุมขณะเชื่อมในปริมาณ เท่ากับ 12 ลิตร/นาที สำหรับแก๊สปกคลุมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ผสมจากบริษัทผู้แทนจำหน่ายซึ่งการผสมจะได้มาตรฐานกว่าเราใช้เครื่องผสมเองและทำให้คุณภาพของแนวเชื่อมดีกว่าแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ถังแก๊สชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อม

3.2.4 อุปกรณ์จับยึด

การจับยึดชิ้นงานในการเชื่อมทดลองได้ออกแบบที่จับยึดชิ้นงานเพื่อจับยึดชิ้นงานให้มั่นคงแข็งแรงโดยวางชิ้นงานเชื่อมในตำแหน่งท่าราบบนแผ่นรองหลังงานด้านล่างจะมีท่อส่งแก๊สสำหรับปกคลุมแนวเชื่อมด้านหลังและใช้แผ่นทองแดงวางประกบด้านบนชิ้นงานทั้ง 2 ข้าง ซ้าย-ขวาเพื่อระบายความร้อนออกจากชิ้นงาน แล้วจับยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์จับยึดแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์และลักษณะการจับยึดชิ้นงาน

3.2.5 ตัวแปรในการเชื่อม

ตัวแปรในการเชื่อมประกอบไปด้วย 3 ตัวแปรแต่ละตัวแปรต่างกัน 3 ระดับ

- 1) ชนิดของกระแสเชื่อม (Type Of Welding Current) ใช้กระแสแบบมาตรฐาน 3 ระดับคือ 90,100 และ 110 แอมแปร์
- 2) ความเร็วในการเชื่อม ใช้ความเร็ว 3 ระดับ คือ 300,400 และ 500 มม/นาที
- 3) อัตราส่วนผสมของแก๊สปกคลุม (Mixture Shielding Gas) กำหนดอัตราส่วนผสมของแก๊สปกคลุมขณะเชื่อม 3 อัตราส่วน คือ Ar80% +CO₂20% , Ar100 % และ CO₂100 %

ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลอง

จำนวนครั้งที่เชื่อม กระแสไฟเชื่อม(A)		ความเร็วในการเชื่อม (มม/นาที)								
		300			400			500		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ar80%+CO ₂ 20%	300	A1-1	A1-2	A1-3	A2-1	A2-2	A2-3	A3-1	A3-2	A3-3
	400	B1-1	B1-2	B1-3	B2-1	B2-2	B2-3	B3-1	B3-2	B3-3
	500	C1-1	C1-2	C1-3	C2-1	C2-2	C2-3	C3-1	C3-2	C3-3
Ar 100%	300	D1-1	D1-2	D1-3	D2-1	D2-2	D2-3	D3-1	D3-2	D3-3
	400	E1-1	E1-2	E1-3	E2-1	E2-2	E2-3	E3-1	E3-2	E3-3
	500	F1-1	F1-2	F1-3	F2-1	F2-2	F2-3	F3-1	F3-2	F3-3
CO ₂ 100%	300	G1-1	G1-2	G1-3	G2-1	G2-2	G2-3	G3-1	G3-2	G3-3
	400	H1-1	H1-2	H1-3	H2-1	H2-2	H2-3	H3-1	H3-2	H3-3
	500	I1-1	I1-2	I1-3	I2-1	I2-2	I2-3	I3-1	I3-2	I3-3

3.2.6 วิธีการเชื่อม

เมื่อจัดเตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือพร้อมสำหรับการทดลองเชื่อมแล้ว ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ในการทดลองเชื่อมก่อนทำการเชื่อมตามตัวแปรการเชื่อมที่ละตัวแปร

3.2.7 ขั้นตอนการเชื่อม

เพื่อให้ได้ผลการทดลองออกมามีคุณภาพเมื่อได้ขึ้นทดลองครบและเตรียมอุปกรณ์การเชื่อมเรียบร้อยแล้วจึงดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) นำแผ่นชิ้นงานที่เตรียมไว้ทำความสะอาดรอยต่อที่จะทำการเชื่อมด้วยแปรงลวดสเตนเลส ก่อนนำไปวางบนแผ่นรองหลังชิ้นงานวางแผ่นทองแดงประกบด้านบนบนซ้ายขวาเพื่อระบายความร้อนออกจากชิ้นงานแล้วจับยึดให้แน่นด้วยอุปกรณ์จับยึด

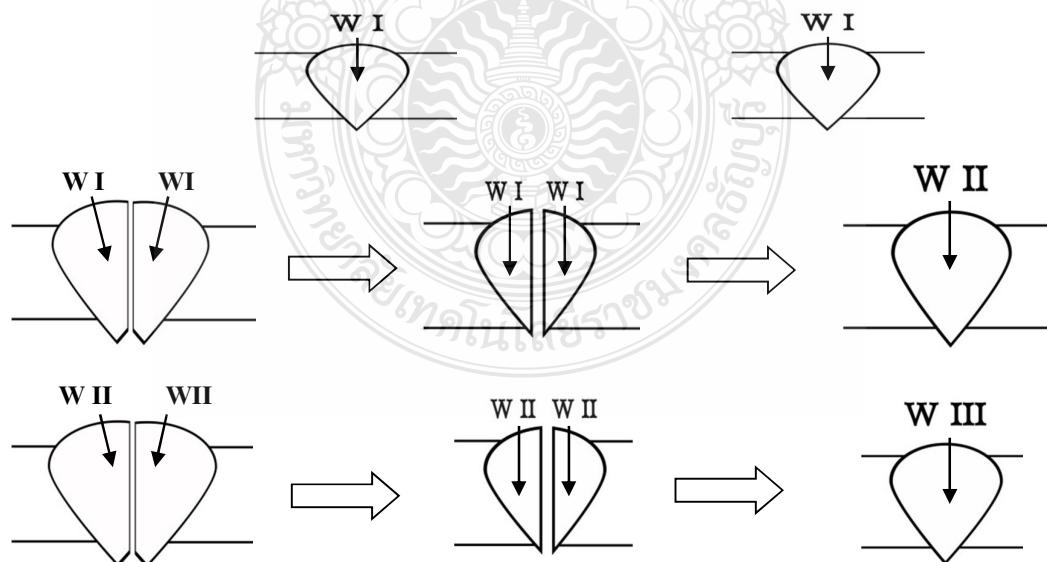
2) ปรับค่าพารามิเตอร์ตามตัวแปรที่กำหนดเพื่อให้ได้ผลที่เที่ยงตรง โดยทำการปรับกระแสไฟ ความเร็วในการป้อนลวด ความเร็วในการเชื่อม มุมองศาหัวเชื่อม อัตราการไหลของแก๊ส ปกคลุมแนวเชื่อมและระยะอาร์ค

3) เปิดแก๊สปกคลุมด้านหลังแนวเชื่อมเพื่อป้องกันแนวเชื่อมที่ซึมออกด้านหลังทำปฏิกิริยากับอากาศที่อัตรา 12 ลิตร/นาที่ [13]

4) ทำการเชื่อมเดินแนวอัตโนมิตเพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่สม่ำเสมอโดยเริ่มต้นอาร์คจากจุดเริ่มต้นที่แผ่นเชื่อมยึดชิ้นงานไปจนสุดที่แผ่นเชื่อมยึดชิ้นอีกด้านหนึ่งโดยใช้เทคนิคการเชื่อมแบบถอยหลัง(backhand)

5) เมื่อเชื่อมเสร็จปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในอากาศก่อนเพื่อไม่ให้โครงสร้างของแนวเชื่อมเปลี่ยนไปก่อนนำชิ้นงานออกจากอุปกรณ์จับยึด

6) ทำการเชื่อมทุกตัวแปรจนครบตามกำหนดโดยในการเปลี่ยนตัวแปรแต่ละครั้งต้องหยุดทำการเชื่อมก่อนเพื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ตามตัวแปรนั้นๆ เชื่อม 1 แนว เตรียมชิ้นงานเชื่อมเสร็จแล้วทำการเชื่อม 1 แนว จำนวน 2 ชิ้น



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการเชื่อมซ้ำแนว

เชื่อมซ้ำ 2 แนว นำชิ้นงานเชื่อม 1 แนว จำนวน 2 ชิ้นมาตัดข้างแนวเชื่อมเพื่อเตรียมเป็นชิ้นงานเชื่อมโดยเนื้อแนวเชื่อมเดิมยังเหลืออยู่ทั้งสองข้างใช้ตะไบแต่งมุมเอียงให้ได้ข้างละ 30 องศา แล้วเชื่อมซ้ำ เชื่อมซ้ำ 3 แนว นำชิ้นงานเชื่อมซ้ำ 2 แนว จำนวน ใช้ตะไบแต่งมุมเอียงให้ได้ข้างละ 30 องศา 2 ชิ้นมาตัดข้างแนวเชื่อมเพื่อเตรียมเป็นชิ้นงานเชื่อมโดยเนื้อแนวเชื่อมเดิมยังเหลืออยู่ทั้งสองข้างแล้วเชื่อมซ้ำ

3.3 การทดสอบทางกล

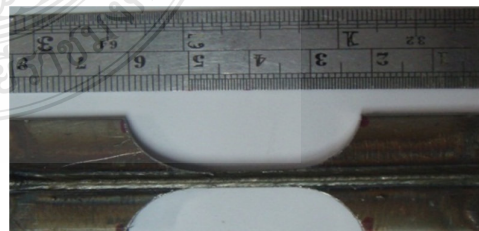
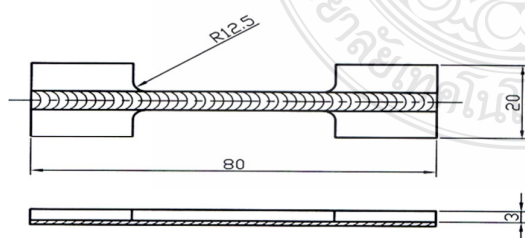
3.3.1 การทดสอบแรงดึง

ในการทดสอบแรงดึง จะทำการทดสอบแรงดึงในแนวตามยาวของเนื้อโลหะเชื่อม (All Weld Metal) โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M2006 ซึ่งตัดเอาเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อเชื่อมมาลดขนาดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ ขั้นตอนการดำเนินงานแสดงในภาพที่ 3.7 (ก)-(ง) หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบด้วยแรงดึง กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E8 M บันทึกข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ผล โดยในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของงานเชื่อม (Ultimate Tensile Strength)



ก) ขนาดและลักษณะของเนื้อเชื่อม

ข) การลดขนาดชิ้นงานตามมาตรฐาน



ค) ขนาดและลักษณะชิ้นงานทดสอบ

ง) ชิ้นงานก่อนทดสอบแรงดึง

ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง (ASTM E8M)

เครื่องทดสอบแรงดึงเครื่องหมายการค้าฮัวล่ง (HUALONG) ขนาด 60 ตัน ด้วยความเร็วในการดึง 2 มม/นาที แรงในการดึง 0.509 MPa/s และในการทดสอบสามารถป้อนค่าพารามิเตอร์ได้โดยตรงจากหน้าจอ การประมวลผลการทดสอบจะเป็นลักษณะของตัวเลขและกราฟ แสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 เครื่องทดสอบแรงดึง

3.3.2 การทดสอบความแข็ง

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งของชิ้นทดสอบในการทดสอบใช้เครื่องทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers) ยี่ห้อฮัวล่ง (HUALONG) รุ่น HVS-100A สามารถอ่านผลการทดสอบจากเครื่องโดยตรงเป็นตัวเลขดิจิทัล การวัดความแข็งจะใช้หัวกดเพชรที่มีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ใช้แรงกด 9.8 kgf กดแช่เป็นเวลา 10 วินาที โดยในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งของงานเชื่อมบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม แสดงในภาพที่ 3.9

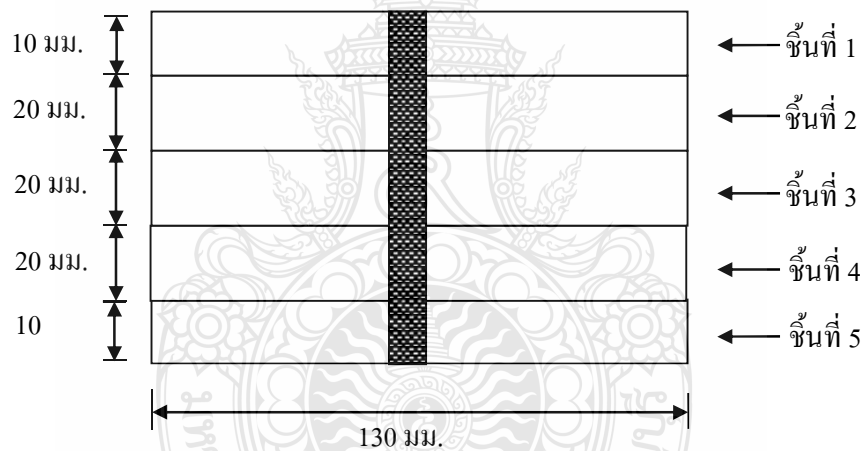


ภาพที่ 3.9 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส

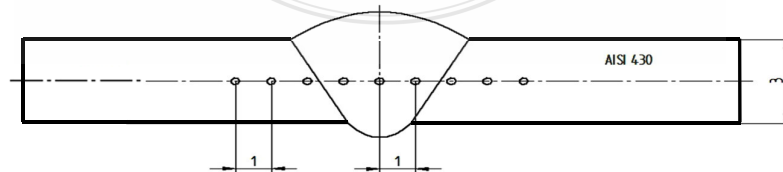
3.3.3 การเตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็ง

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบความแข็ง และการเก็บข้อมูลมีวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. นำชิ้นงานที่ทำการเชื่อมและเย็นตัวเรียบร้อยแล้วมาทำการตัดด้วยเครื่องไมโครคัตเตอร์ให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M2006 แสดงในภาพที่ 3.10
2. เมื่อตัดชิ้นงานตามขนาดแล้วจะได้ชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้น
3. ชิ้นที่ 1 และ ชิ้นที่ 5 เป็นเศษตัดทิ้งไป
4. นำชิ้นงานชิ้นที่ 3 ไปหล่อเรซิน หรืออัดด้วยโพลีเมอร์ และนำไปขัดผิวเพื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคตามมาตรฐาน ASTM E340-00(2006) และนำมาทดสอบความแข็งตามขั้นตอน ตามมาตรฐาน ASTM E92 และใช้เครื่องทดสอบความแข็งกดตามจุดที่กำหนด แสดงดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.10 การตัดชิ้นงานสำหรับการทดสอบ



ภาพที่ 3.11 ตำแหน่งของจุดทดสอบความแข็ง

3.4 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

ในการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา จะใช้วิธีการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

3.4.1 การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบ

การเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบ ต้องตัดให้เกิดพื้นที่หน้าตัด และการตัดต้องหลีกเลี่ยงให้เกิดความร้อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะความร้อนจะทำให้โครงสร้างผิวหน้าตัดเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้การตรวจสอบเกิดข้อผิดพลาด เมื่อทำการตัดชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนดแล้ว นำชิ้นงาน มาทำการหล่อเย็น [2]

3.4.2 การขัดผิวชิ้นงานตรวจสอบ

ขัดด้วยกระดาษทราย ตั้งแต่เบอร์ 240 จนถึงเบอร์ 1,200 ตามลำดับ การขัดผิวตรวจสอบ ควรใช้แรงพอประมาณไม่ควรออกแรงขัดมากจนเกินไป ทั้งนี้จะส่งผลให้โครงสร้างของชิ้นตรวจสอบเกิดความบกพร่องจนทำให้การตรวจสอบโครงสร้างเกิดข้อผิดพลาดได้

3.4.3 การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing)

เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบด้วยผงเพชร โดยผงขัดใช้ ขนาด 1 ไมครอน ด้วยจานหมุนที่ห่อหุ้มด้วยผ้าสักหลาด ใช้ผงขัดผสมกับแอลกอฮอล์เทลงบนสักหลาดแล้วขัดผิวจนเป็นมัน

3.4.4 การกัดด้วยสารละลาย (กรด)

ชิ้นงานตรวจสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปกัดด้วยสารละลาย ซึ่งใช้กรดไฮโดรคลอริกกับกรดไนตริกในอัตราส่วน 2:1 หลังจากการกัดกรดนำไปล้างน้ำและเป่าให้แห้ง แล้วเคลือบด้วยแลคเกอร์ นำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgical Inspection) ต่อไป



ภาพที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์ และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล

การวิจัยผลและสรุปผลการตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคเพื่อตรวจสอบขนาดและลักษณะของเกรนบริเวณเนื้อเชื่อม การวิจัยและสรุปผลการทดสอบสมบัติทางกลแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการทดสอบด้วยแรงดึง (Tensile Test) จะพิจารณาถึงค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ของแนวเชื่อม นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยแรงดึงมาวิเคราะห์ผล และส่วนที่สองจะเป็นการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test) เพื่อเปรียบเทียบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld Metal) จากตัวแปรของการทดลองที่แตกต่างกัน



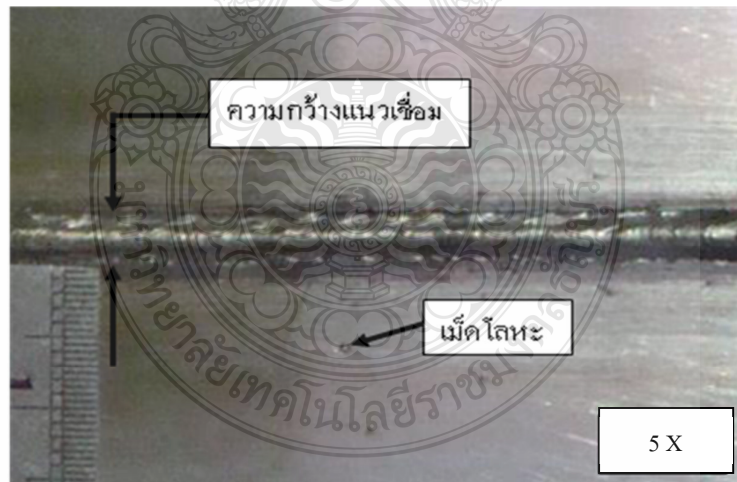
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

ผลจากการดำเนินงานวิจัย เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการเชื่อมมิกแบบซี้ว แนวต่อสมบัติของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก เกรด AISI 430 โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา ประกอบด้วยแก๊สปกคลุม 3 อัตราส่วน คือ Ar 80% + CO₂ 20%, Ar 100% และ CO₂ 100% กระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อม 3 ระดับ ได้แก่ 90 A, 100 A และ 110 A ความเร็วในการเชื่อม 3 ระดับ คือ 300, 400 และ 500 มม/นาที ทำการเชื่อมจนครบทุกตัวแปรแล้วนำชิ้นงานเชื่อมไปหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าความแข็งและการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน ผลการทดลองมีดังนี้

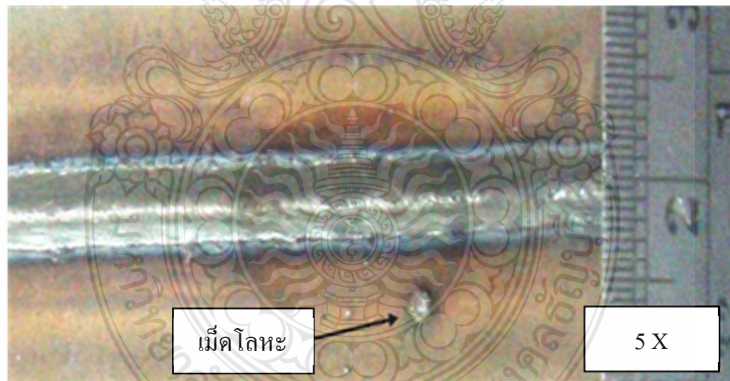
4.1 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ

การวิเคราะห์ผลการทดลอง จะพิจารณาจากลักษณะรูปร่างทางกายภาพของแนวเชื่อม ได้แก่ ความกว้างของแนวเชื่อม ความนูนและความเรียบของแนวเชื่อมรวมถึงลักษณะการเกิดเม็ดโลหะภายหลังจากการเชื่อมเสร็จแล้ว ซึ่งลักษณะทางกายภาพแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมที่แก๊สปกคลุม Ar 80% + CO₂ 20 % กระแสไฟเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม/นาที

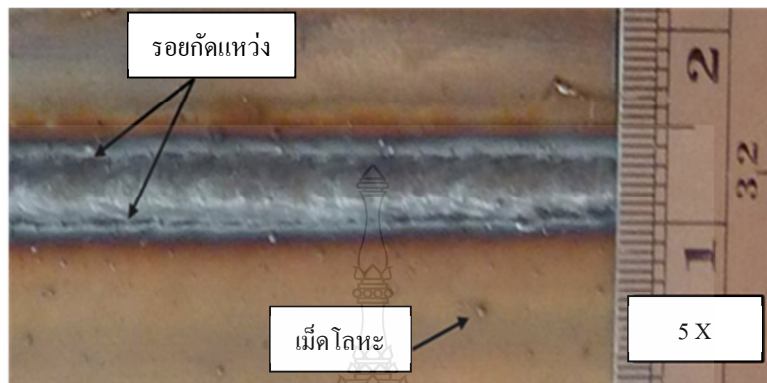
ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมที่แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ % กระแสไฟเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที จากภาพพบว่าแนวเชื่อมที่ได้มีลักษณะแบนเรียบมันวาวเป็นเกล็ดเรียงตัวกันสม่ำเสมอ สวยงามสมบูรณ์ดี ไม่มีการเกิดรอยแหงนขอบแนว (Undercut) และไม่มีการเกิดรอยเกย (Overlap) การเกิดเม็ดโลหะรอบๆ แนวเชื่อมมีเล็กน้อย เนื่องจาก การผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปกับแก๊สอาร์กอนจะทำให้การอาร์กมีความเสถียร การถ่ายโอน โลหะจากลวดเชื่อมไปยังชิ้นงานได้ดี มีแรงเกาะยึดบ่อหลอมดีและลดเม็ดโลหะกระเด็น เมื่อเชื่อม โลหะที่เป็นเหล็กให้สมบัติการอาร์กดี ขณะเชื่อมบ่อหลอมละลายจะขยายออกไปถึงขอบรอยต่อจึงไม่ เกิดรอยกินลึกที่ขอบรอยเชื่อม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมศักดิ์ ปามิก และคณะ[17]สรุปไว้ว่า การผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมจะทำให้สามารถปรับรูปแบบการถ่ายโอนโลหะให้เป็น แบบสเปรย์ได้ ซึ่งส่งผลทำให้การอาร์กสม่ำเสมอ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเชื่อมได้ดีขึ้น และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ยงยุทธ ดุลยกุล [2] สรุปไว้ว่าปริมาณอัตราส่วนผสมของแก๊สคลุมที่ เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 75%Ar+25%CO₂ ถึง 82%Ar+18%CO₂ แต่เมื่อพิจารณาจากการทดสอบ สมบัติทางกลด้วยแรงดึงประกอบ พบว่าที่อัตราส่วนผสมของแก๊สคลุมที่80%Ar+20%CO₂ จะเป็น อัตราส่วนผสมของแก๊สคลุมที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดของแนวเชื่อม



ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุม Ar 100% กระแสไฟเชื่อม 100 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที

ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุม Ar 100% กระแสไฟเชื่อม 100 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที จากภาพพบว่าลักษณะการหลอมละลายของแนวเชื่อมเป็นไปอย่างสมบูรณ์ แนวเชื่อมสวยงาม มีเม็ดโลหะกระเด็นกระจายแต่มีปริมาณ

ไม่มากนัก เนื่องจากสมบัติของแก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สที่ให้ประจุบวกได้ดีช่วยให้เปลวอาร์กและกระแสเชื่อมคงที่ แนวเชื่อมกว้างระยะซึมลึกมากทั้งด้านข้างและด้านล่างของแนวเชื่อม



ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุม CO_2 100% กระแสไฟเชื่อม 100A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที

ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุม CO_2 100% กระแสไฟเชื่อม 100A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที จากภาพพบว่าลักษณะของแนวเชื่อมจะกว้างนูนโค้งมีเกล็ดหยาบการหลอมละลายและอัตราการเติมเนื้อโลหะดี ผิวแนวเชื่อมเป็นมันมีเม็ดโลหะกระเด็นกระจายทั่วไปและมีปริมาณของเม็ดโลหะกระเด็นมากกว่าการเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุมชนิดอื่นๆ เนื่องจากสมบัติของแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์เป็นแก๊สที่ให้ประจุบวกต่ำ ขนาดหยดน้ำโลหะไม่สม่ำเสมอเม็ดโลหะกระเด็นมากแต่มีรัศมีการปกคลุมบ่อหลอมละลายอย่างทั่วถึง

4.1.1 การเปรียบเทียบแนวเชื่อมระหว่างแก๊สปกคลุม Ar100 % กับแก๊สปกคลุม CO_2 100%

การเปรียบเทียบแนวเชื่อมระหว่างแก๊สปกคลุม Ar 100%กับแก๊สปกคลุม CO_2 100% พบว่าลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม Ar100% แนวเชื่อมที่ได้จะแคบกว่าแต่ลึกและมีลักษณะแบนเรียบเป็นเกล็ดสวยงาม การเกิดเม็ดโลหะมีน้อย ในขณะที่การเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม CO_2 100% ผิวหน้าของแนวเชื่อมจะมีลักษณะนูนสูงและกว้าง การซึมลึกดี เนื่องจากเป็นแก๊สที่ให้ความร้อนสูงในบริเวณขอบรอบนอกของเปลวอาร์ก ทำให้เกิดการหลอมลึกได้ดี แต่ผิวหน้าแนวเชื่อมจะไม่เรียบเนื่องจากสมบัติของแก๊ส CO_2 จะไม่สามารถถ่ายโอนน้ำโลหะเป็นแบบสเปรย์ (Spray Transfer)ซึ่งสังเกตได้จากการอาร์กในขณะที่เชื่อมชิ้นงานทดลองมีเสียงดังเนื่องมาจากการถ่ายโอนโลหะที่เป็นได้เฉพาะแบบลัดวงจร (Short Circuit Transfer) หรือแบบหยด (Globular Transfer)

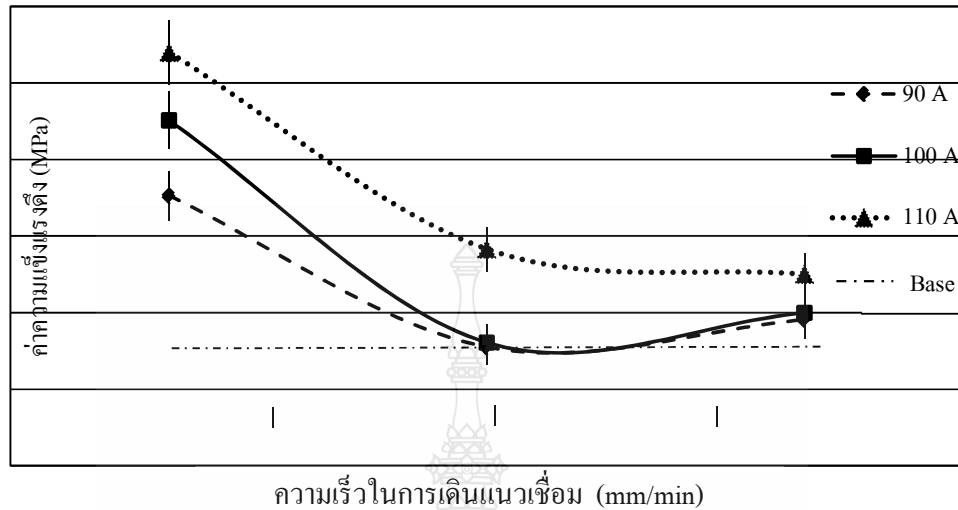
เท่านั้น [2] จึงทำให้การอาร์กในขณะเชื่อมไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดเม็ดโลหะบริเวณรอบๆ แนวเชื่อมจำนวนมากแสดงในภาพที่ 4.3

4.1.2 การเปรียบเทียบแนวเชื่อมแก๊สปกคลุมผสมระหว่างแก๊สอาร์กอนกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สปกคลุม Ar100% CO₂ 100% ลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อมเมื่อทดลองเชื่อมโดยใช้แก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราส่วน 80:20 % แนวเชื่อมที่ได้มีลักษณะสมบูรณ์กว่าการเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม Ar100% และแก๊สปกคลุม CO₂100% เพียงอย่างเดียว คือแนวเชื่อมจะมีลักษณะแบนเรียบมันวาวเป็นเกล็ดสวยงามการเกิดเม็ดโลหะรอบๆ แนวเชื่อมจะลดลงอันเนื่องมาจากปริมาณอัตราส่วนของแก๊สปกคลุมที่เหมาะสมทำให้การอาร์กมีความเสถียร การถ่ายโอนน้ำโลหะจากลวดเชื่อมไปยังชิ้นงานได้ดีแรงเกาะยึดบ่อหลอมดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สมศักดิ์ ปามิกและคณะ [17] สรุปไว้ว่า การผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมจะทำให้สามารถปรับรูปแบบการถ่ายโอนโลหะให้เป็นแบบสเปรย์ ซึ่งส่งผลทำให้การอาร์กสม่ำเสมอสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเชื่อมได้ดีขึ้น และจากการทดลองพบว่าเสียงที่เกิดจากการอาร์กในขณะทำการเชื่อมเจียบและนึ่งกว่าการเชื่อมโดยใช้แก๊สปกคลุม CO₂100% เพียงอย่างเดียว และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชงยุทธ ดุลยกุล [2] สรุปไว้ว่าปริมาณอัตราส่วนผสมของแก๊สคลุมที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 75%Ar+25% CO₂ ถึง 82%Ar+18%CO₂ แต่เมื่อพิจารณาจากการทดสอบสมบัติทางกลด้วยแรงดึงประกอบ พบว่าที่อัตราส่วนผสมของแก๊สคลุมที่ 80%Ar+20%CO₂ จะเป็นอัตราส่วนผสมของแก๊สคลุมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของแนวเชื่อมแสดงในภาพที่ 4.1

4.2 อิทธิพลของกระแสเชื่อมต่อสมบัติของแนวเชื่อม

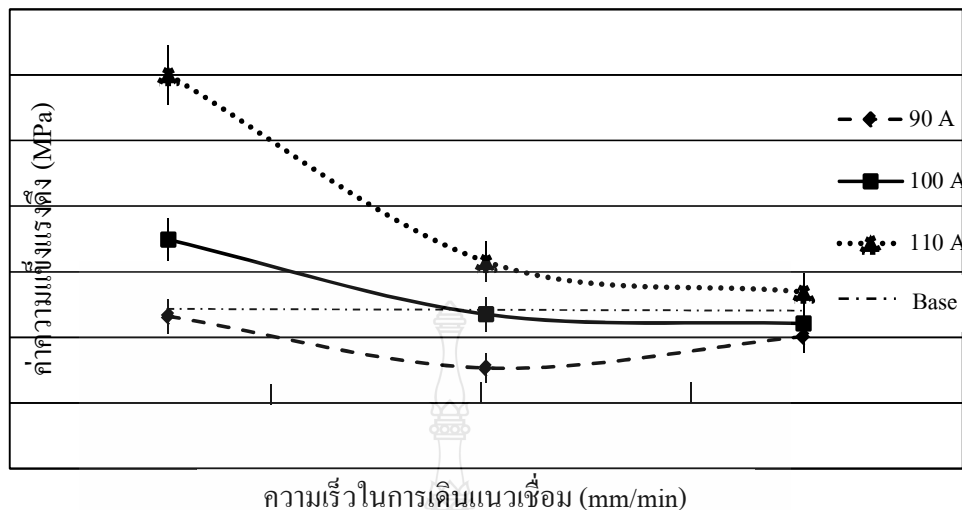
พบว่าตัวแปรการเชื่อมด้านกระแสไฟมีผลต่อสมบัติของแนวเชื่อม โดยวิเคราะห์จากค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานทดสอบทั้งหมด ภายใต้เงื่อนไขตัวแปรการเชื่อมที่กำหนด แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึงสูงสุดที่ได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าตัวแปรการเชื่อมด้านกระแสไฟมีผลต่อสมบัติของแนวเชื่อมและเมื่อนำความแข็งแรงในการรับแรงดึงสูงสุดที่ได้ไปวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบลักษณะ โครงสร้างของแนวเชื่อม และค่าความแข็งแรงบริเวณรอยเชื่อมที่ได้พบว่ากระแสไฟที่ใช้เชื่อมแต่ละระดับส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมอย่างชัดเจน

4.2.1 การวิเคราะห์หัตถิพผลด้านกระแสไฟต่อค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึง



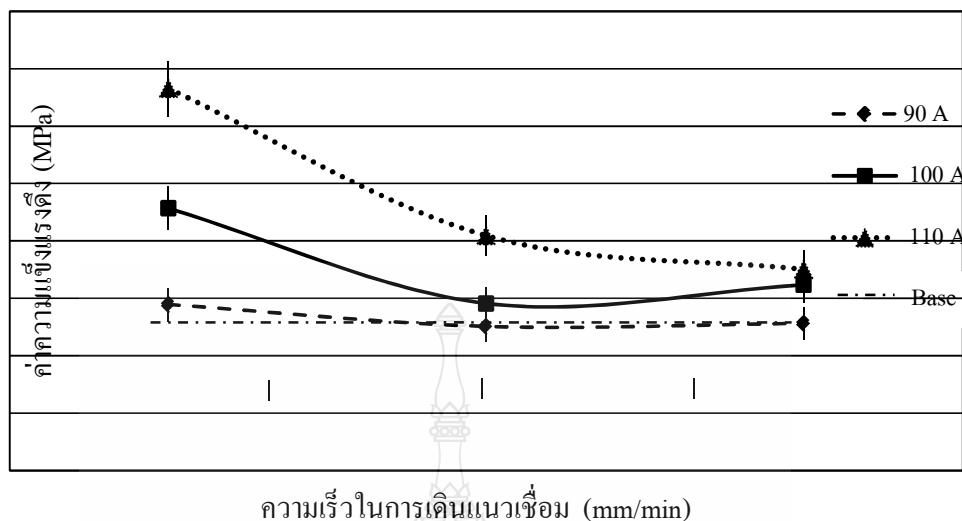
ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% + CO₂ 20% เชื่อมครั้งที่ 1

ภาพที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% + CO₂ 20% เชื่อมครั้งที่ 1 พบว่า ระดับของกระแสไฟที่เชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมอันเนื่องมาจากการอาร์กของกระแสไฟเชื่อมที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการหลอมละลายในแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน จากชิ้นงานทดลองทั้งหมดพบว่าค่าการรับแรงดึงของชิ้นงานที่กระแสไฟเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาทึ ให้อัตราการรับแรงดึงสูงสุดรองลงมาเป็น 400 และ 500 มม./นาทึ ตามลำดับ สาเหตุเกิดจากที่กระแสในการเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาทึ เป็นกระแสไฟเชื่อมที่สูงจึงให้ความร้อนในการเชื่อมสูงสุดจึงส่งผลให้เกิดการหลอมละลายของรอยเชื่อมและอัตราการซึมลึกของรอยเชื่อมสูง ส่งผลให้ขนาดรอยเชื่อมกว้างขึ้นการซึมลึกดีนั้นก็หมายความว่าเมื่อนำรอยเชื่อมมาทดสอบแรงดึงพื้นที่หน้าตัดในการรับแรงดึงมากทำให้ค่าในการรับแรงดึงสูงขึ้นตามไปด้วย ส่วนกระแสไฟเชื่อม 100 A และ 90 A มีค่ารับแรงดึงลดลงตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 4.4 ที่แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงจากอิทธิพลของกระแสไฟที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% + CO₂ 20% ในการเชื่อมครั้งที่ 1



ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ 20% เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2

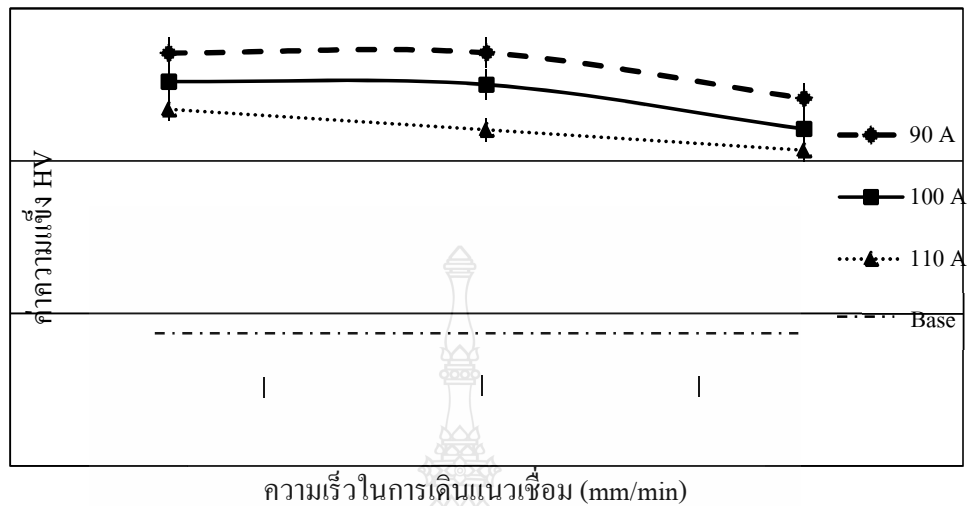
ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ 20% เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 พบว่า ระดับของกระแสไฟที่เชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมอันเนื่องมาจากการอาร์กของกระแสไฟเชื่อมที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการหลอมละลายในแนวเชื่อมที่ต่างกัน จากชิ้นงานทดลองทั้งหมดพบว่าค่าการรับแรงดึงของชิ้นงานในการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 ที่กระแสไฟ 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที ความแข็งแรงดึงมีค่าสูงกว่ากระแสไฟเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมอื่นๆ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อมครั้งที่ 1 ความแข็งแรงดึงในการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 มีค่าสูงกว่าทุกกรณีสาเหตุเกิดจากการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 เปอร์เซนต์ของลวดเชื่อมที่เติมเข้าไปในรอยเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการเชื่อมในครั้งที่ 1 จึงทำให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมในการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 มีค่าสูงกว่าการเชื่อมครั้งที่ 1 ตามสมบัติของลวดเชื่อมที่มีความแข็งแรงดึงสูงกว่าโลหะฐาน



ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% + CO₂ 20% เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3

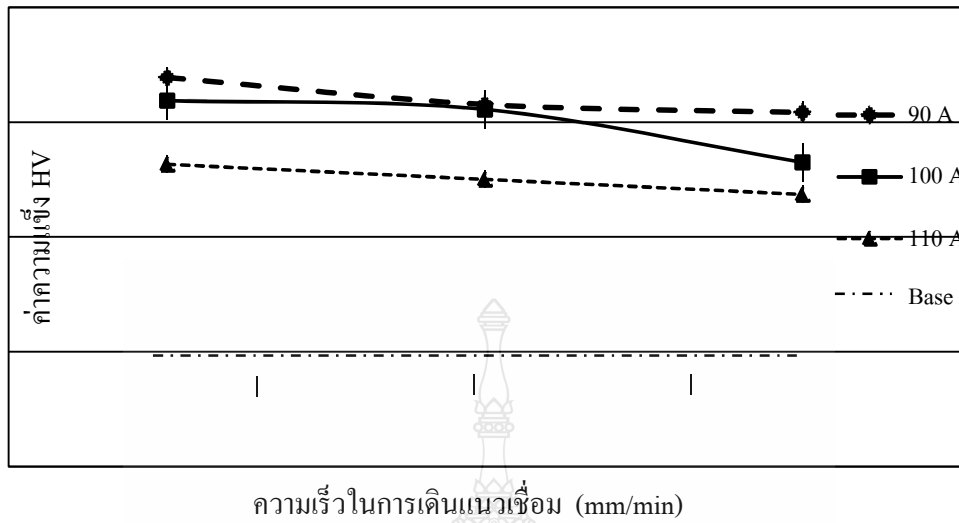
ภาพที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% + CO₂ 20% เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 พบว่า ระดับของกระแสไฟที่เชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมอันเนื่องมาจากการอาร์กของกระแสไฟเชื่อมที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการหลอมละลายในแนวเชื่อมที่แตกต่างกัน จากชิ้นงานทดลองทั้งหมดพบว่าค่าการรับแรงดึงของชิ้นงานทดลองที่กระแส 110 A จะให้ค่าการรับแรงดึงสูงสุดของการเชื่อมทุกๆ กระแสไฟเชื่อมและทุกๆ ความเร็วในการเชื่อม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรเชื่อมครั้งที่ 1 และการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 ค่าความแข็งแรงดึงในการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 จะมีค่าสูงกว่าทุกกรณีในการเชื่อม เนื่องจากการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 เฟอร์ริต์ของลวดเชื่อมที่เติมเข้าไปในรอยเชื่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งเกิดจากการเชื่อมครั้งที่ 1 และเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 จึงทำให้แนวเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 มีความแข็งแรงกว่าการเชื่อมครั้งที่ 1 และ 2 โดยพิจารณาจากแก๊สที่ใช้ปกคลุมแนวเชื่อมคงก็คือ Ar80% + CO₂ 20% โดยค่าการรับแรงดึงสูงสุดจะอยู่ที่กระแสไฟเชื่อม 110 A ความเร็วการเชื่อม 300 มม./นาที ที่ 965.38 MPa และที่กระแส 90 A จะให้ค่าการรับแรงดึงต่ำที่สุดของการเชื่อมทุกๆ ความเร็วในการเชื่อม โดยค่าการรับแรงดึงต่ำสุดจะอยู่ที่การเชื่อม ที่ความเร็ว 400 มม./นาที ที่ 551.23 MPa

4.2.2 การวิเคราะห์ห่ออิทธิพลด้านกระแสไฟต่อค่าความแข็งของแนวเชื่อม



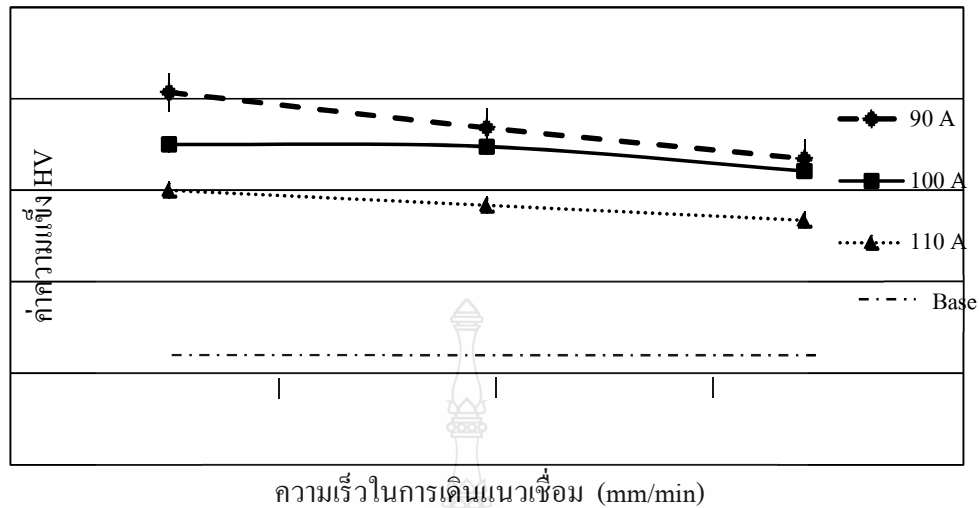
ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% + CO₂ 20 % เชื่อมครั้งที่ 1

ภาพที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% + CO₂ 20 % เชื่อมครั้งที่ 1 พบว่ากระแสไฟเชื่อมที่ 90 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที ให้ความแข็งของแนวเชื่อมสูงสุดที่ 195.40 HV ซึ่งเกิดจากการเชื่อมที่ใช้กระแสไฟเชื่อมต่ำและความเร็วต่ำทำให้มีอัตราการเย็นตัวที่รวดเร็วแนวเชื่อมจะเกิดโครงสร้าง Columnar Dendrite ที่ละเอียดส่งผลให้สมบัติทางกลของรอยเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ วิชาญ โชติกลาง [25] กล่าวว่าความเร็วในการเชื่อมต่ำกระแสเชื่อมต่ำทำให้ค่าความแข็งของแนวเชื่อมสูง โครงสร้างบริเวณรอยเชื่อมส่วนที่เย็นตัวเร็วเกิดโครงสร้างเดนไดรต์ส่วนที่เย็นตัวช้าจะมีขนาดเกรนกลมเล็กเท่าๆ กัน



ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ 20% เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2

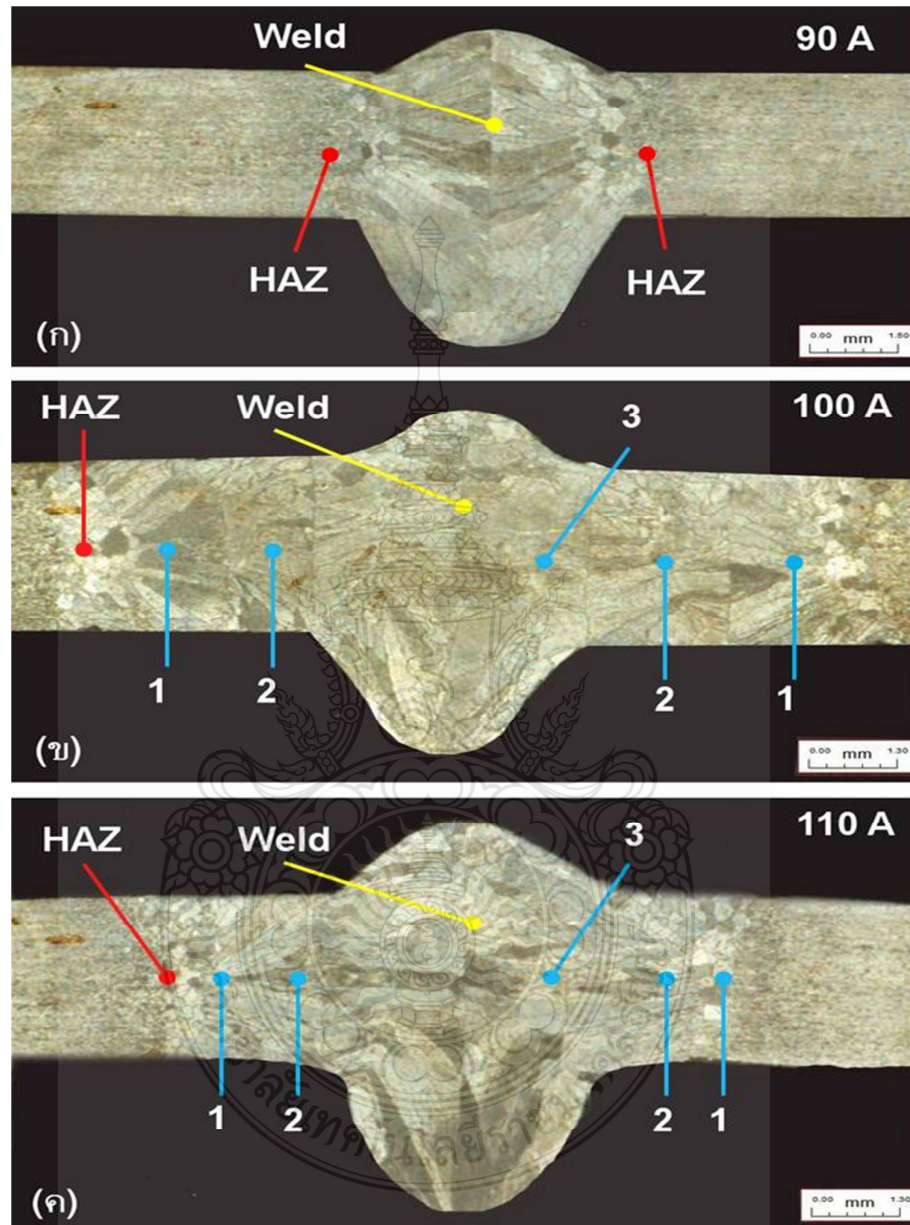
ภาพที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ 20% ที่กระแสเดียวกันเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 พบว่าความแข็งสูงสุดอยู่ที่ กระแสในการเชื่อม 90 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที สาเหตุเกิดจากกระแสเชื่อมต่ำและการใช้ความเร็วในการเชื่อมต่ำส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ทั้งในการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อลวดเชื่อมที่เติมเข้าไปในแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มสูงขึ้นปริมาณ โครเมียมและคาร์บอนก็เพิ่มสูงขึ้นทำให้ความแข็งของแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการเชื่อมครั้งที่ 1 สอดคล้องกับสุรชัย ทอนสูงเนิน [26] กล่าวว่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อมส่งผลต่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้นในชิ้นงานเชื่อมในการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ขึ้นในรอยเชื่อมจะส่งผลต่อค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดต้องอาศัยอุณหภูมิกับเวลาและสอดคล้องกับ Donal T Hawkins and Ralph Hultgren [27] กล่าวว่า ผลกระทบของธาตุคาร์บอนต่อการตกผลึกของเฟสโครเมียมคาร์ไบด์มีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาหากมีปริมาณธาตุคาร์บอนที่มีค่ามากจะเกิดการฟอร์มตัวของโครเมียมที่ใช้เวลาน้อย



ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% + CO₂ 20% เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3

ภาพที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านกระแสไฟที่กระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% + CO₂ 20% เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 ภายใต้ตัวแปรและข้อกำหนดในการทดลองจากการวิเคราะห์ผลของตัวแปรร่วมที่ใช้ในการเชื่อม พบว่าที่ กระแสไฟเชื่อม 90 A การเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 จะให้ค่าความแข็งของแนวเชื่อมสูงที่สุดของการเชื่อมทุกๆ กระแสและทุกๆ ความเร็วในการเชื่อม โดยค่าความแข็งสูงที่สุดจะอยู่ที่การเชื่อม ที่ความเร็วในการเชื่อม 300 มม/นาที โดยค่าความแข็งที่ 260.44 HV สาเหตุเกิดจากกระแสไฟเชื่อมต่ำ ความเร็วในการเชื่อมช้า ส่งผลให้การเย็นตัวของแนวเชื่อมอย่างรวดเร็วทำให้แนวเชื่อมมีความแข็ง อีกกรณีที่ทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นคือในการเชื่อม ซ้ำครั้งที่ 3 จะมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของลวดเชื่อมที่เดิมเข้าไปในการเชื่อมครั้งที่ 1 และเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 ซึ่งทำให้การเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 โครงสร้างของโลหะเกือบจะมีเพียงปริมาณของลวดเชื่อมเท่านั้นที่เป็นโลหะฐานปริมาณคาร์บอนและ โครเมียมก็เพิ่มขึ้น หลังการเชื่อมซึ่งโลหะเชื่อมมีความแข็งแรงกว่าทำให้ความแข็งในการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 มีค่าความแข็งสูงกว่าการเชื่อมครั้งที่ 1 และการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับ Donal T Hawkins and Ralph Hultgren [27] กล่าวว่าธาตุโครเมียมเป็นธาตุที่สำคัญอันดับแรกที่จะทำให้เกิดโครงสร้างคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าสเตนเลสโดยรวมตัวกับธาตุคาร์บอนทำให้เกิดเป็นสารประกอบคาร์ไบด์มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น

4.2.3 การวิเคราะห์หัตถิพลด้านกระแสไฟต่อโครงสร้างมหภาค (Macro Structure)

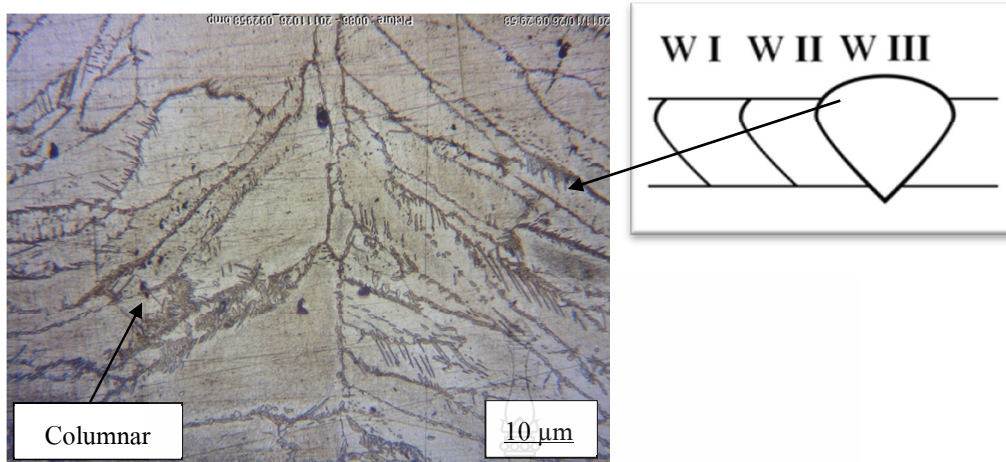


ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบลักษณะ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมและระนาบตำแหน่งที่ใช้ สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ของกระแส 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ 20%

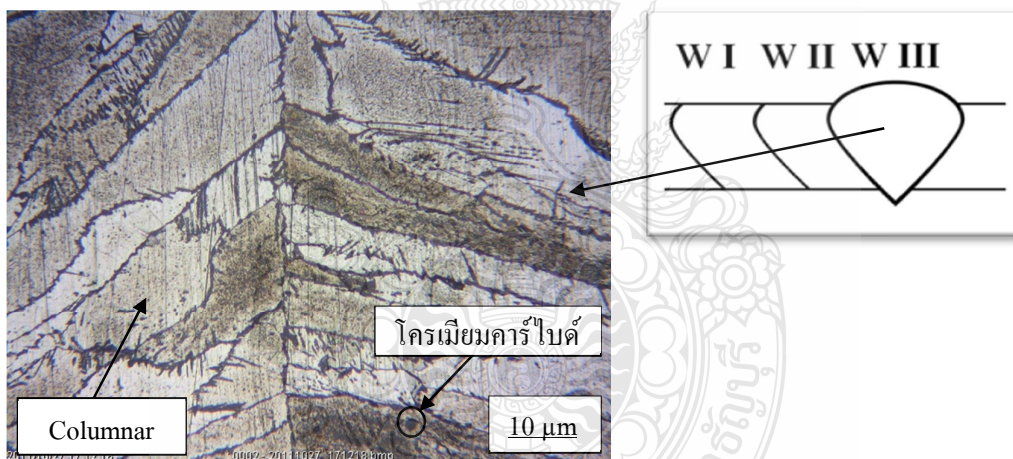
ภาพที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมและตำแหน่งที่ใช้สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของกระแสไฟเชื่อม 90 – 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ 20% เมื่อพิจารณาโครงสร้างมหภาค (Macro Structure) ของชิ้นงานที่ปัจจัยการเชื่อมด้านกระแสไฟสามารถสังเกตเห็นลักษณะความแตกต่างของเนื้อโลหะรอยเชื่อมกับเนื้อโลหะชิ้นงานที่มีลักษณะแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมด้านกระแสไฟที่ส่งผลต่อลักษณะ โครงสร้างมหภาคส่งผลต่อลักษณะของแนวเชื่อมและการซึมลึกเมื่อนำภาพโครงสร้างมหภาคของตัวแปรการเชื่อมที่ให้ค่ารับแรงดึงสูงสุด กับชิ้นงานที่ให้ค่ารับแรงดึงต่ำสุด จะเห็นถึงความแตกต่างของแนวเชื่อมและลักษณะ โครงสร้างมหภาคอย่างชัดเจน จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ และจากภาพ โครงสร้างมหภาคนี้ยังระบุตำแหน่งของ แนวเชื่อม (Weld) และ พื้นที่กระทบร้อน (HAZ) ของชิ้นงาน สำหรับบอกจุดในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคต่อไป จากการวิเคราะห์ภาพที่ 4.10 (ก) เชื่อมด้วยกระแส 90 A ซึ่งให้ค่ารับแรงดึงสูงสุดจากการเชื่อมครั้งที่ 3 พบว่าลักษณะของแนวเชื่อมและการหลอมละลายและการซึมลึกระหว่างชิ้นงานทั้งสองชิ้นเป็นไปอย่างสมบูรณ์สามารถมองเห็นขอบเขตพื้นที่การหลอมละลายและเขตพื้นที่กระทบร้อน(HAZ) ได้อย่างชัดเจนลักษณะแนวเชื่อมแบนแต่การซึมลึกสูงและทำการวิเคราะห์ภาพที่ 4.10(ข) เชื่อมด้วยกระแส 100 A ที่ให้ค่าการรับแรงดึงสูงสุด จากการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 พบว่าการหลอมละลายระหว่างแนวเชื่อมของแต่ละครั้งในการเชื่อมซ้ำพบขอบเขตของการเชื่อมซ้ำแต่ละครั้งอย่างชัดเจน แนวเชื่อมมีลักษณะแบนราบส่วนการซึมลึกสูง และการหลอมรวมกันระหว่างเนื้อเชื่อมแต่ละครั้งไม่เกิดความเปลี่ยนแปลงของบริเวณขอบแนวเชื่อม วิเคราะห์ภาพที่ 4.10 (ค) เชื่อมด้วยกระแส 110 A ที่ให้ค่ารับแรงดึงสูงสุด จากการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 พบว่าการหลอมละลายของแนวเชื่อมกับชิ้นงานและการหลอมละลายของแนวเชื่อมกับแนวเชื่อมซ้ำของแต่ละครั้งในการเชื่อมเป็น ไปอย่างสมบูรณ์ลักษณะแนวเชื่อมนูนกว้างการซึมลึกของแนวเชื่อมดี

4.2.4 การวิเคราะห์อิทธิพลด้านกระแสไฟต่อ โครงสร้างจุลภาค

ภาพที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมที่กระแส 90 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ 20 % ความเร็วในการเชื่อม 300 มม/นาที เชื่อมครั้งที่ 3 ซึ่งเป็นแนวเชื่อมที่ให้ค่าการรับแรงดึงสูงสุดของกระแสไฟเชื่อม90 A พบว่าลักษณะของ โครงสร้างจุลภาคเป็นแบบ Columnar Dendrite ที่ละเอียด มีทิศทางของเกรนพุ่งจากขอบแนวเชื่อมเข้าหาจุดศูนย์กลางบ่อหลอมละลายบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมในลักษณะตั้งฉากกับผนังของโลหะชิ้นงานเชื่อมซึ่งเกิดจากการรับความร้อนไม่สูงมากเนื่องจากใช้กระแสไฟเชื่อมต่ำทำให้มีอัตราการเย็นตัวที่รวดเร็วซึ่งส่งผลให้สมบัติทางกลของรอยเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น



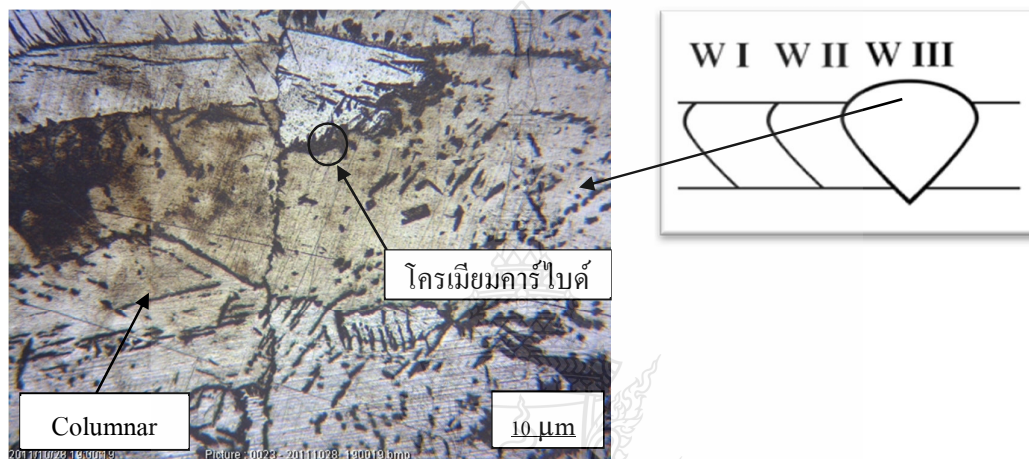
ภาพที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมที่กระแส 90 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ 20 % ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที เชื่อมครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมที่กระแส 100 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ 20 % ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3

ภาพที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมที่กระแส 100 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ 20 % ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 ซึ่งเป็นแนวเชื่อมที่ให้ค่าการรับแรงดึงสูงสุดของกระแสไฟเชื่อม 100 A พบว่าลักษณะของโครงสร้างเป็นแบบ Columnar Dendrite ขนาดใหญ่คล้ายกับโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 90 A แต่จะมีขนาดที่หยาบกว่าและมีจุดสีดำ

ลักษณะคล้ายโครเมียมคาร์ไบด์เกิดและแทรกตัวอยู่ในโครงสร้าง Columnar Dendrite ซึ่งเกิดจากที่โลหะชิ้นงานได้รับพลังงานความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานมากกว่าและการเย็นตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า จึงทำให้อัตราการเย็นตัวช้ากว่า จึงเกิดการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์เกิดขึ้นเล็กน้อยตามโครงสร้างของรอยเชื่อม และทำให้โครงสร้างของ Columnar Dendrite หยาบกว่าการเชื่อมที่กระแสไฟฟ้า 90 A ซึ่งเย็นตัวเร็วกว่า จึงเกิดโครงสร้างแบบ Columnar Dendrite ที่ละเอียด



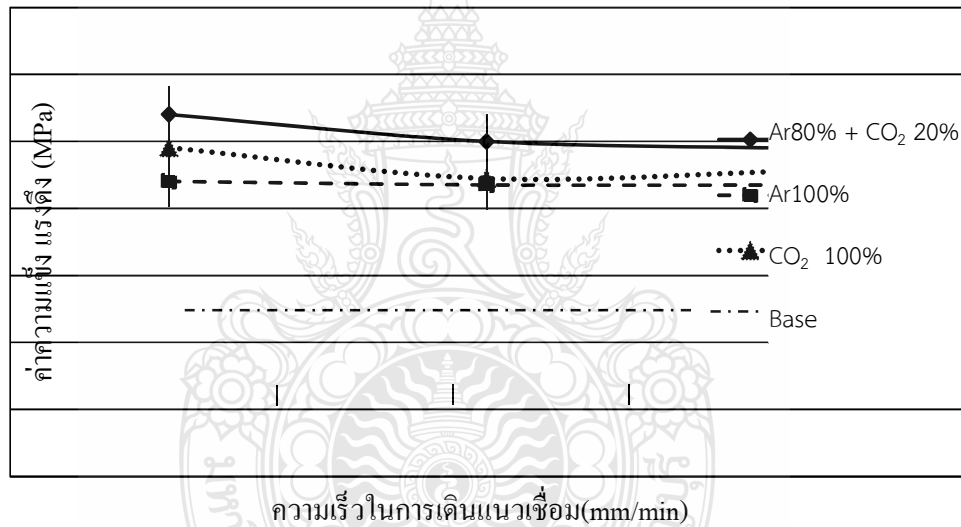
ภาพที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ 20 % ความเร็วในการเชื่อม 300 มม/นาที เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3

ภาพที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุม Ar 80% +CO₂ 20 % ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 พบว่าลักษณะของโครงสร้างเติบโตเป็นแบบเดนไดร์ขยายตัว เข้าไปในบ่อหลอมละลายเกิดผลึกเป็นแถบยาวที่มีทิศทางพุ่งเข้าหาถึงกลางของบ่อหลอมละลาย และตั้งฉากกับผนังของโลหะชิ้นงานซึ่งเกิดจากการเชื่อมที่ใช้กระแสไฟเชื่อมสูงสุดทำให้โลหะชิ้นงานได้รับความร้อนมากกว่าการเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อม 90 A และ 100 A จึงทำให้ใช้เวลาในการเย็นตัวช้ากว่า และ เมื่อสังเกตจากโครงสร้างของแนวเชื่อมพบว่า มีจุดสีดำลักษณะคล้ายโครเมียมคาร์ไบด์เกิดและแทรกตัวอยู่ในโครงสร้าง

4.3 อิทธิพลของแก๊สปกคลุมต่อสมบัติของแนวเชื่อม

จากการทดลองพบว่าตัวแปรการเชื่อมด้านแก๊สปกคลุม มีผลต่อสมบัติของแนวเชื่อม โดยวิเคราะห์จากค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึง ค่าความแข็ง และลักษณะโครงสร้างจุลภาค ของชิ้นงานทดสอบทั้งหมด ภายใต้เงื่อนไขตัวแปรที่กำหนด แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึงที่ได้ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าตัวแปรการเชื่อมด้านแก๊สปกคลุมมีผลต่ออุณหภูมิในการเชื่อม การหลอมละลาย และการถ่ายโอนน้ำโลหะลงสู่บ่อหลอมละลายของแนวเชื่อม ที่กระแสไฟ และความเร็วในการเชื่อมที่แตกต่างกัน เมื่อนำค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึงที่ได้ไปวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับลักษณะโครงสร้างของแนวเชื่อม และค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่ได้พบว่าแก๊สปกคลุมที่ใช้เชื่อมแต่ละชนิดมีผลต่อค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมอย่างชัดเจน

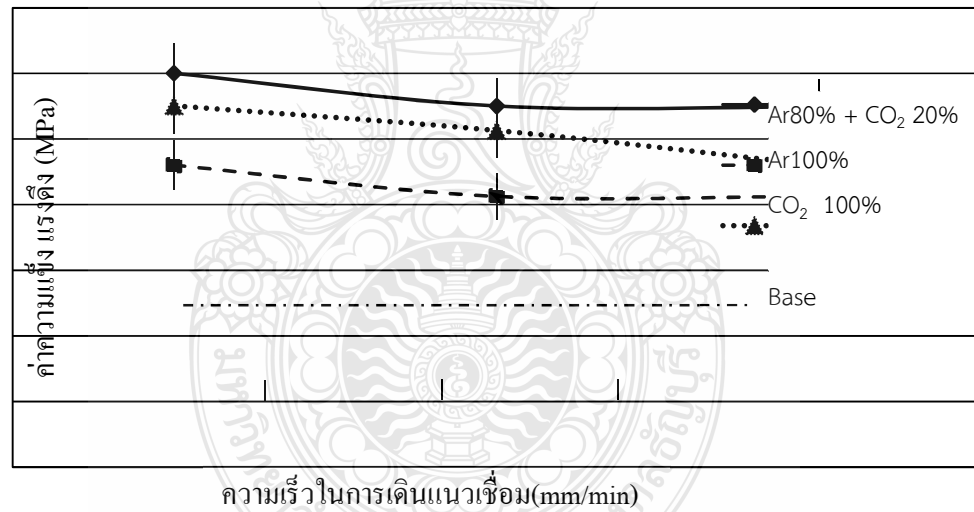
4.3.1 การวิเคราะห์อิทธิพลด้านแก๊สปกคลุมต่อค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึง



ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงสูงสุดจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมครั้งที่ 1

ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงสูงสุดจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมครั้งที่ 1 พบว่าที่กระแส 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที ในการเชื่อมครั้งที่ 1 แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม Ar 80% + CO₂ 20% ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของการเชื่อมที่ 840.13 MPa เนื่องจากการผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปกับแก๊สอาร์กอนจะทำให้การอาร์กมีความเสถียร มีความร้อนสูงขึ้นบริเวณกว้างขึ้น การหลอมลึกมากขึ้น การถ่ายโอนโลหะจากลวดเชื่อมไปยัง

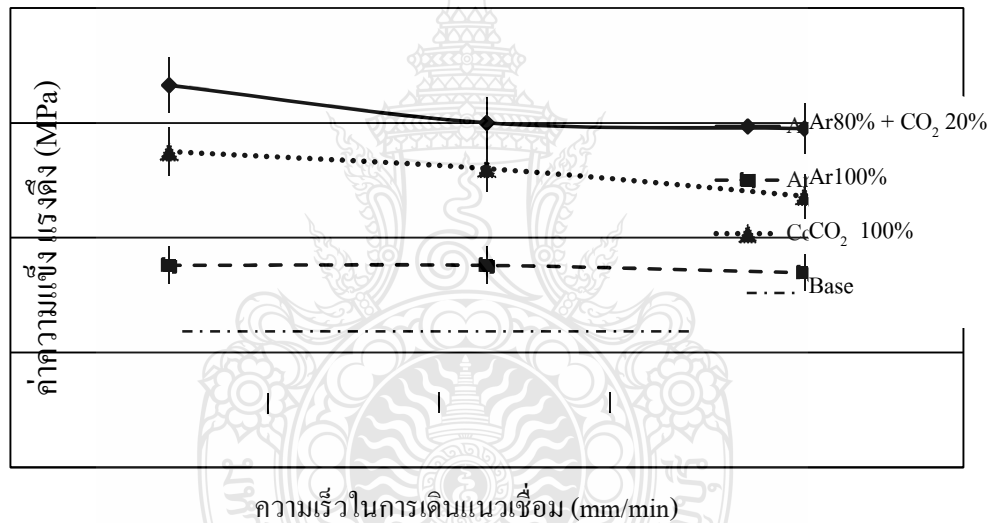
ชิ้นงานได้ดี มีแรงเกาะยึดบ่อหลอมดี สอดคล้องกับงานวิจัยของสมศักดิ์ ปามิก และคณะ [17] สรุปไว้ว่าการผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมจะทำให้สามารถปรับรูปแบบการถ่ายโอนโลหะให้เป็นแบบสเปรย์ได้ ซึ่งส่งผลทำให้การอาร์กสม่่าเสมอ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเชื่อมได้ดีขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ขงยุทธ คุณกุล [2] สรุปไว้ว่าปริมาณอัตราส่วนผสมของแก๊สคลุมที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 75%Ar+25%CO₂ ถึง 82%Ar+18%CO₂ แต่เมื่อพิจารณาจากการทดสอบสมบัติทางกลด้วยแรงดึงประกอบ พบว่าที่อัตราส่วนผสมของแก๊สคลุมที่ 80%Ar+20%CO₂ จะเป็นอัตราส่วนผสมของแก๊สคลุมที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดของแนวเชื่อมและการใช้กระแสไฟเชื่อมที่สูงทำให้ชิ้นงานได้รับความร้อนสูงจึงทำให้อัตราการหลอมละลายและอัตราการถ่ายโอนน้ำโลหะที่หลอมละลายลวดเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้พื้นที่หน้าตัดของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้อัตราการรับแรงดึงสูงรองลงมาเป็นความเร็วในการเชื่อม 400 และ 500 มม/นาที เนื่องจากการใช้ความเร็วในการเชื่อมที่สูงขึ้น พื้นที่หน้าตัดของแนวเชื่อมจะลดลงส่งผลให้อัตราการรับแรงดึงต่ำลง



ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงสูงสุดจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2

ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงสูงสุดจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 พบว่าที่กระแส 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที ในการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2

แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม Ar 80% + CO₂ 20% ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของการเชื่อมที่ 900.12 MPa ซึ่งค่าความแข็งแรงดึงจะเพิ่มมากขึ้นกว่าการเชื่อมครั้งที่ 1 เนื่องจากสมบัติของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมระหว่างแก๊สอาร์กอนผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้การอาร์กมีความเสถียร การถ่ายโอนน้ำโลหะจากลวดเชื่อมไปยังชิ้นงาน ได้ดีแรงเกาะยึดบ่อหลอมดี และในการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 เฟอร์เซนต์ของลวดเชื่อมที่เติมเข้าไปในรอยเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณ โครเมียมและคาร์บอนก็เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการเชื่อมในครั้งที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับ Donal T Hawkins and Ralph Hultgren [27] กล่าวว่าธาตุโครเมียมเป็นธาตุที่สำคัญอันดับแรกที่จะทำให้เกิดโครงสร้างคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าสเตนเลส โดยรวมตัวกับธาตุคาร์บอนทำให้เกิดเป็นสารประกอบคาร์ไบด์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมในการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 มีค่าสูงกว่าการเชื่อมครั้งที่ 1

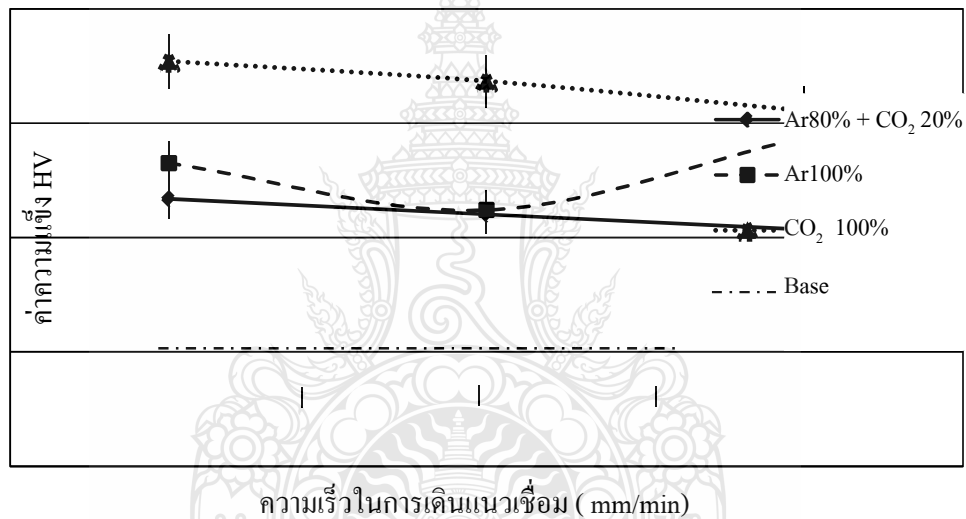


ภาพที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงสูงสุดจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3

ภาพที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงสูงสุดจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 พบว่าชนิดของแก๊สปกคลุมที่ใช้เชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมอันเนื่องมาจากสมบัติของแก๊สแต่ละชนิด การอาร์กของกระแสไฟเชื่อม การหลอมละลายที่สมบูรณ์ในแนวเชื่อมและการถ่ายโอนของน้ำโลหะ จากชิ้นงานทดลองทั้งหมด ภายใต้ตัวแปรและข้อกำหนดในการทดลอง พบว่าค่าการรับแรงดึงของชิ้นงานทดลองที่ใช้แก๊ส Ar80% + CO₂ 20% ปกคลุม จะให้ค่าการรับแรงดึงสูงสุดของการเชื่อม โดยค่าการรับแรงดึงสูงสุดจะอยู่ที่การเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 ความเร็ว

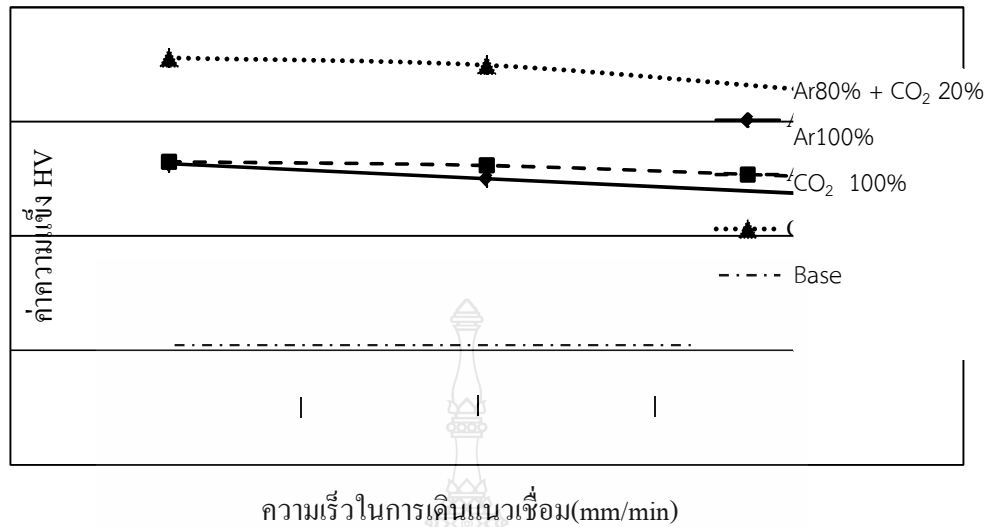
การเชื่อม 300 มม./นาที ที่ 965.38 MPa สอดคล้องกับวิจัยของ เกรียงไกร วโนทยาน [28] สรุปไว้ว่า เมื่อจำนวนชั้นของการเชื่อมเพิ่มขึ้นและกระแสเชื่อมสูงขึ้น โครงสร้างออสเทนไนท์จะเกิดมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ปริมาณสัดส่วน โครงสร้างเฟอร์ไรท์ลดลง เนื่องจากจำนวนชั้นเพิ่มขึ้นหรือกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้มีอัตราการเย็นตัวลดลง โครงสร้างออสเทนไนท์มีลักษณะเป็นเกร็ดละเอียดเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้คุณสมบัติทางกลด้านความต้านทานแรงกระทำของชิ้นงานเพิ่มขึ้น และที่แก๊สปกคลุม Ar 100% จะให้ค่าการรับแรงดึงต่ำที่สุดของการเชื่อม โดยค่าการรับแรงดึงต่ำที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วในการเชื่อม 500 มม./นาที ที่ 638.75 MPa

4.3.2 การวิเคราะห์หัตถิพลด้านแก๊สปกคลุมต่อค่าความแข็งของแนวเชื่อม



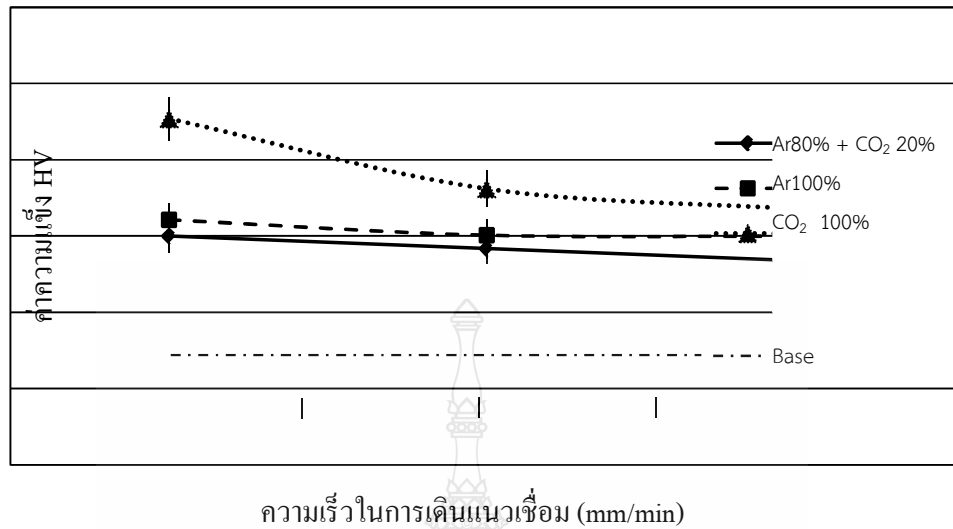
ภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมครั้งที่ 1

ภาพที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมครั้งที่ 1 พบว่าที่กระแส 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที ในการเชื่อมครั้งที่ 1 แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม CO₂100% ให้ค่าความแข็งสูงสุดของการเชื่อมที่ 237.13 HV เนื่องจากสมบัติของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สที่ทำให้ความร้อนสูงในบริเวณขอบรอบนอกของเปลวอาร์ก ทำให้เกิดการหลอมลึกได้ดีเมื่อเทียบกับแก๊สปกคลุมชนิดอื่นๆ ที่ตัวแปรเดียวกันรองลงมาเป็นแก๊สปกคลุม Ar100%และแก๊ส Ar80%+CO₂ 20 % ตามลำดับ



ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2

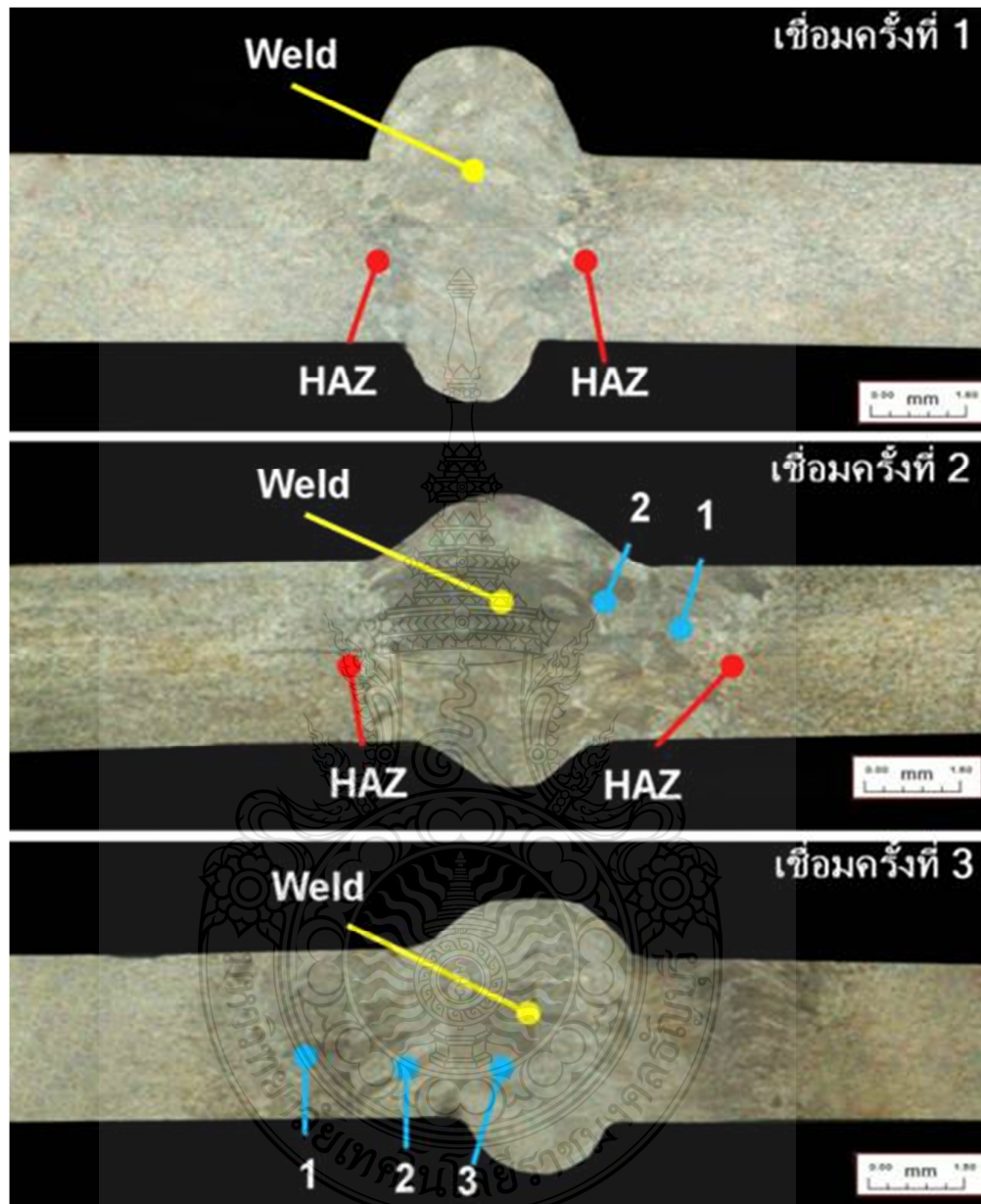
ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 พบว่า แนวโน้มค่าความแข็งคล้ายกับการเชื่อมครั้งที่ 1 แต่ค่าความแข็งจะเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าทุกกรณีของการเชื่อม การใช้แก๊สปกคลุม CO₂ 100% ปกคลุมแนวเชื่อมจะให้ค่าความแข็งของแนวเชื่อมสูงกว่าแก๊สปกคลุมอื่นทุกความเร็วของการเชื่อมเนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นำความร้อนได้ดีและแพร่ไปยังชิ้นงานได้มากและให้การหลอมลึกดี เมื่อเทียบกับแก๊สปกคลุมชนิดอื่นที่ตัวแปรเดียวกัน รองลงมาเป็นการใช้แก๊สปกคลุม Ar100% และแก๊สปกคลุม Ar80%+CO₂20% ตามลำดับ ส่วนความเร็วในการเชื่อมจะส่งผลต่อค่าความแข็งของแนวเชื่อมเนื่องจากความเร็วในการเชื่อมส่งผลต่อการเย็นตัวของแนวเชื่อม พบว่าที่ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที ให้ค่าความแข็งสูงสุดทุกกรณีของแก๊สปกคลุม รองลงมาเป็นความเร็วในการเชื่อม 400 และ 500 มม./นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3

ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านแก๊สปกคลุม ที่กระแส 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 พบว่า แนวโน้มค่าความแข็งของแนวเชื่อมคล้ายกับการเชื่อมครั้งที่ 1 และการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 แต่ค่าความแข็งของแนวเชื่อมจะเพิ่มสูงขึ้นกว่าทุกกรณีของการเชื่อมซึ่งแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมมีผลต่อค่าความแข็งของแนวเชื่อมอันเนื่องมาจากสมบัติของแก๊สแต่ละชนิดไม่เหมือนกันการถ่ายโอนน้ำโลหะที่แตกต่างกันจึงส่งผลต่อค่าความแข็งของแนวเชื่อม ที่แก๊สปกคลุม CO₂100% ให้ค่าความแข็งของแนวเชื่อมมากที่สุดของการเชื่อมทุกๆ ความเร็วในการเชื่อม เนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้ความร้อนสูงในบริเวณขอบรอบนอกของเปลวอาร์กทำให้การหลอมลึกได้ดีและในการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 เฟอร์เซนต์ของลวดเชื่อมที่เติมเข้าไปในรอยเชื่อมมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการเชื่อมครั้งที่ 1 และการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 จึงทำให้การเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 มีค่าความแข็งสูงกว่ารองลงมาเป็นการใช้แก๊สปกคลุม Ar 100% และแก๊สปกคลุม Ar80%+CO₂20% ตามลำดับส่วนความเร็วในการเชื่อมจะส่งผลต่อค่าความแข็งของแนวเชื่อมเนื่องจากความเร็วสูงจะส่งผลต่อการเย็นตัวของแนวเชื่อม ที่ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที ให้ค่าความแข็งสูงสุดทุกๆ แก๊สปกคลุม และที่ความเร็วในการเชื่อม 500 มม./นาทีจะให้ค่าความแข็งต่ำสุดทุกๆ แก๊สปกคลุม

4.3.3 การวิเคราะห์หัตถิพลด้านแก๊สปกคลุมต่อโครงสร้างมหภาค (Macro Structure)

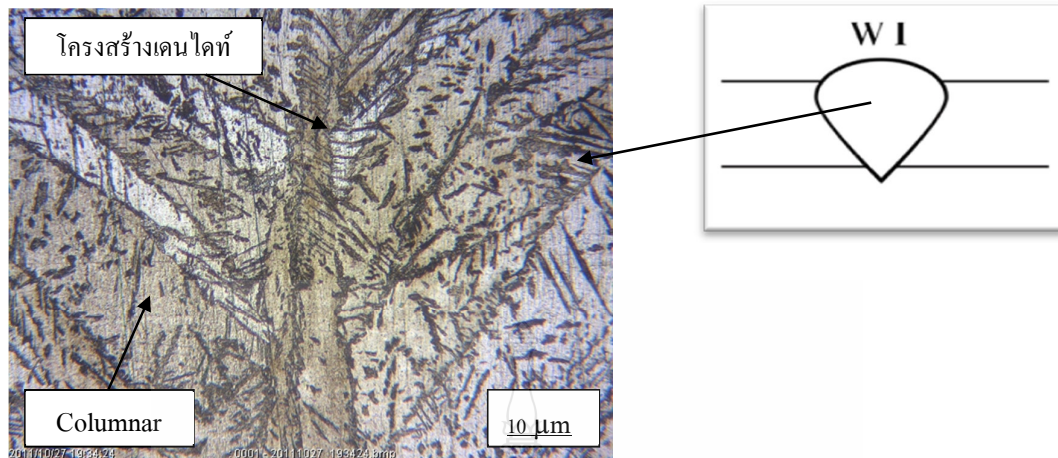


ภาพที่ 4.20 การเปรียบเทียบลักษณะ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมและระบุตำแหน่งที่ใช้ สำหรับ วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่ให้ค่าความแข็งสูงสุดของการเชื่อมแต่ละครั้งที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุม CO₂ 100 % ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที

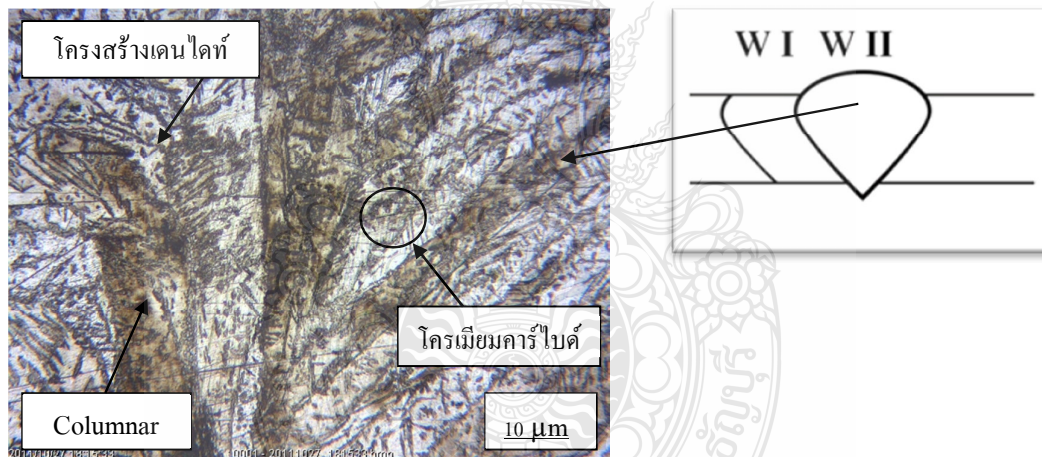
ภาพที่ 4.20 การเปรียบเทียบลักษณะ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมและระบุตำแหน่งที่ใช้สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่ให้ค่าความแข็งสูงสุดของการเชื่อมแต่ละครั้งที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุม CO₂ 100 % ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที เมื่อพิจารณาโครงสร้างมหภาค (Macro Structure) ของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมสามารถสังเกตเห็นลักษณะความแตกต่างของเนื้อโลหะรอยเชื่อมกับเนื้อโลหะชิ้นงานที่มีลักษณะแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากอิทธิพลของแก๊สปกคลุมที่ส่งผลต่อลักษณะของแนวเชื่อมและการซึมลึก เมื่อนำภาพ โครงสร้างมหภาคของตัวแปรการเชื่อมที่ให้ค่ารับแรงดึงสูงสุดของทุก ๆ แก๊สปกคลุม จะเห็นถึงความแตกต่างของแนวเชื่อมและลักษณะ โครงสร้างมหภาคอย่างชัดเจน จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ และจากภาพ โครงสร้างมหภาคนี้ยังระบุตำแหน่งของ แนวเชื่อม (Weld) ของชิ้นงาน สำหรับบอกจุดในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคจากการวิเคราะห์ภาพที่ 4.20 เชื่อมครั้งที่ 1 พบว่าลักษณะของแนวเชื่อมและการหลอมละลายและการซึมลึกระหว่างชิ้นงานทั้งสองชิ้นเป็นไปอย่างสมบูรณ์ สามารถมองเห็นขอบเขตพื้นที่การหลอมละลายและเขตพื้นที่กระทบร้อน(HAZ) ได้อย่างชัดเจนลักษณะแนวเชื่อม การซึมลึกสูง และการวิเคราะห์ภาพที่ 4.20 เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 พบว่าการหลอมละลายระหว่างแนวเชื่อมพบขอบเขตของการเชื่อมซ้ำอย่างชัดเจน แนวเชื่อมมีลักษณะกว้างและแบน ส่วนการซึมลึกน้อย และการหลอมรวมกันระหว่างเนื้อเชื่อมแต่ละครั้งไม่เกิดความเปลี่ยนแปลงของบริเวณขอบแนวเชื่อม วิเคราะห์ภาพที่ 4.20 เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 พบว่าการหลอมละลายของแนวเชื่อมกับชิ้นงาน และการหลอมละลายของแนวเชื่อมกับแนวเชื่อมซ้ำของแต่ละครั้งในการเชื่อมเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ลักษณะแนวเชื่อมกว้างและแบนการซึมลึกของแนวเชื่อมดี

4.3.4 การวิเคราะห์อิทธิพลด้านแก๊สปกคลุมต่อโครงสร้างจุลภาค

ภาพที่ 4.21 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม ที่แก๊สปกคลุม CO₂ 100 % กระแสเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที เชื่อมครั้งที่ 1 พบว่า ลักษณะ โครงสร้างจุลภาคเป็นแบบ Columna Dendrite ที่ละเอียดมีลักษณะเรียวยาวมีทิศทางของเกรนพุ่งจากขอบแนวเชื่อมเข้าหาจุดศูนย์กลางป่อง หลอมละลายบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อมในลักษณะตั้งฉากกับผนังของโลหะชิ้นงานและการเชื่อมใช้แก๊ส CO₂100% ในการปกคลุมแนวเชื่อมจะให้ความร้อนในการอาร์กสูงแต่เมื่อหยุดการเชื่อมอุณหภูมิของแนวเชื่อมจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาสั้นๆ ทำให้แนวเชื่อมเป็นแบบ Columna Dendrite ที่ละเอียดและลักษณะคล้ายโครงสร้างมาร์เทนไซต์และมีสื่อน้ำตาลลักษณะคล้ายออกสเตนไนท์เหลือค้างอยู่ซึ่งส่งผลให้แนวเชื่อมมีความแข็งและมีจุดเสียดำลักษณะคล้ายโครเมียมคาร์ไบด์เกิดขึ้นอยู่ตามเกรน



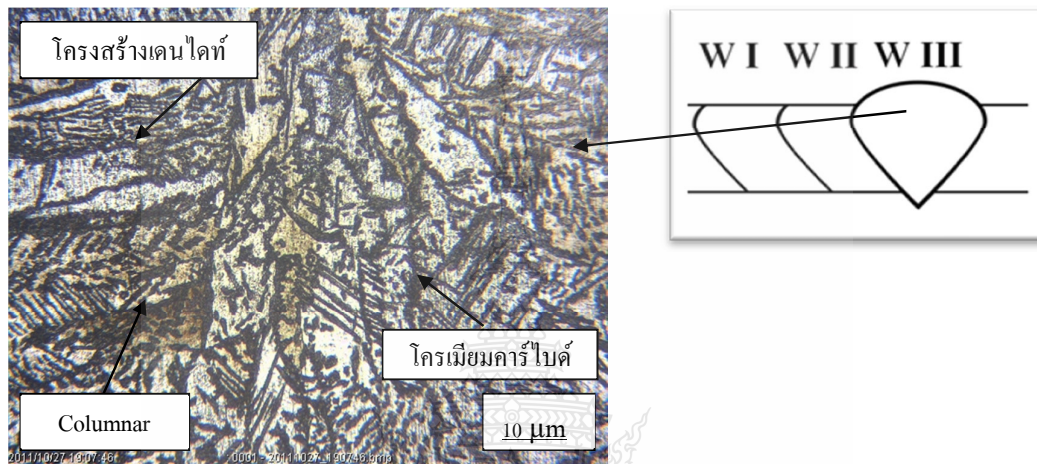
ภาพที่ 4.21 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม ที่แก๊สปกคลุม CO_2 100 % กระแสเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที่ เชื่อมครั้งที่ 1



ภาพที่ 4.22 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม ที่แก๊สปกคลุม CO_2 100 % กระแสเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที่ เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2

ภาพที่ 4.22 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม ที่แก๊สปกคลุม CO_2 100 % กระแสเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที่ เชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 พบว่าลักษณะโครงสร้างจุลภาคเป็นแบบ Columna Dendrite คล้ายกับการเชื่อมครั้งที่ 1 เนื่องจากใช้แก๊ส CO_2 100% ปกคลุมแนวเชื่อมใช้กระแสและใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ระดับเดียวกันแต่จะมีจุดสีดำลักษณะคล้ายโครเมียมคาร์ไบด์กระจายตัว

อยู่ตามเกรนมากขึ้นเนื่องจากการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 ปริมาณของเนื้อโลหะเชื่อมและปริมาณคาร์บอนจะเพิ่มสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับ Donal T Hawkins and Ralph Hultgren [27] กล่าวว่าธาตุโครเมียมเป็นธาตุที่สำคัญอันดับแรกที่จะทำให้เกิดโครงสร้างคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าสแตนเลสโดยรวมตัวกับธาตุคาร์บอนทำให้เกิดเป็นสารประกอบคาร์ไบด์มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น



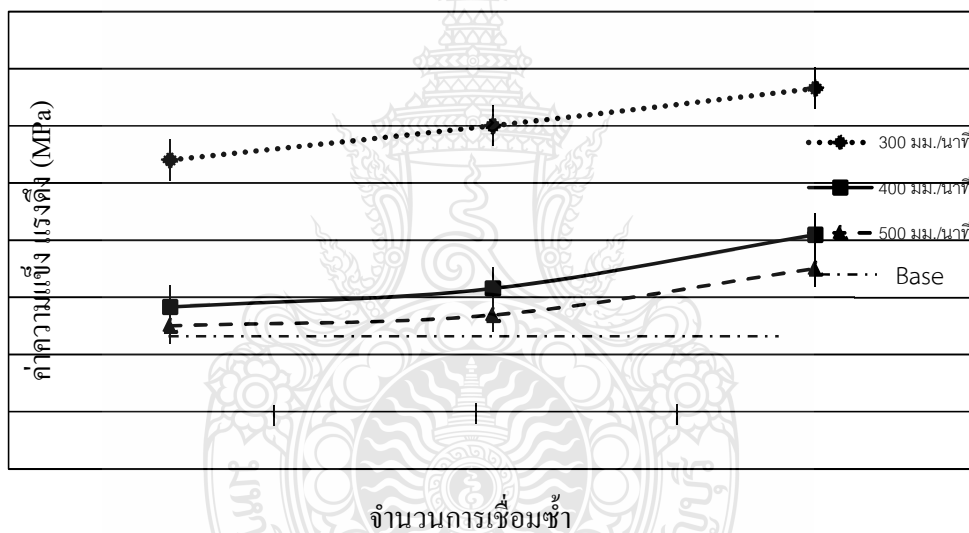
ภาพที่ 4.23 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม ที่แก๊สปกคลุม CO_2 100 % กระแสเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม/นาที่ เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3

ภาพที่ 4.23 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม ที่แก๊สปกคลุม CO_2 100 % กระแสเชื่อม 110 A ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที่ เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 พบว่าลักษณะโครงสร้างจุลภาคเป็นแบบ Columna Dendrite คล้ายกับการเชื่อมครั้งที่ 1 และการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 แต่จะมีจุดสีดำลักษณะคล้ายโครเมียมคาร์ไบด์แทรกขึ้นตามขอบเกรนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเติมโลหะเชื่อมในการเชื่อมครั้งที่ 1 และการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 ปริมาณโครเมียมและปริมาณคาร์บอนจากโลหะเชื่อมก็เพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลให้ค่าความแข็งสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับสุรชัย ทอนสูงเนิน [26] กล่าวว่าธาตุโครเมียมในลวดเชื่อมรวมตัวกับธาตุคาร์บอนในเนื้อโลหะงานเชื่อมเป็นสารประกอบคาร์ไบด์ทำให้เกิดความแข็งบริเวณรอยเชื่อมและสอดคล้องกับ Donal T Hawkins and Ralph Hultgren [27] กล่าวว่าธาตุโครเมียมเป็นธาตุที่สำคัญอันดับแรกที่จะทำให้เกิดโครงสร้างคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าสแตนเลสโดยรวมตัวกับธาตุคาร์บอนทำให้เกิดเป็นสารประกอบคาร์ไบด์มีความแข็งเพิ่มมากขึ้นด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 ให้ค่ามากกว่าการเชื่อมครั้งที่ 1 และการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2

4.4 อิทธิพลของความเร็วในการเชื่อมต่อสมบัติของแนวเชื่อม

จากการทดลองพบว่าตัวแปรการเชื่อมด้านความเร็วของการเชื่อม มีผลต่อสมบัติของแนวเชื่อม โดยวิเคราะห์จากค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึง ค่าความแข็ง และลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบทั้งหมด แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึงที่ได้ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าตัวแปรการเชื่อมด้านความเร็วในการเชื่อม มีผลต่ออัตราการหลอมละลาย และการถ่ายโอนน้ำโลหะลงสู่แนวเชื่อม และความเร็วจะแปรผันกับขนาดของกระแสไฟที่ใช้เชื่อม เมื่อนำค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึงที่ได้ไปวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับลักษณะโครงสร้างของแนวเชื่อม และค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมที่ได้พบว่าความเร็วในการเชื่อมที่แตกต่างกัน มีผลต่อการหลอมละลายและความแข็งแรงและความแข็งอย่างชัดเจน

4.4.1 การวิเคราะห์อิทธิพลด้านความเร็วในการเชื่อมต่อค่าความแข็งแรงในการรับแรงดึง

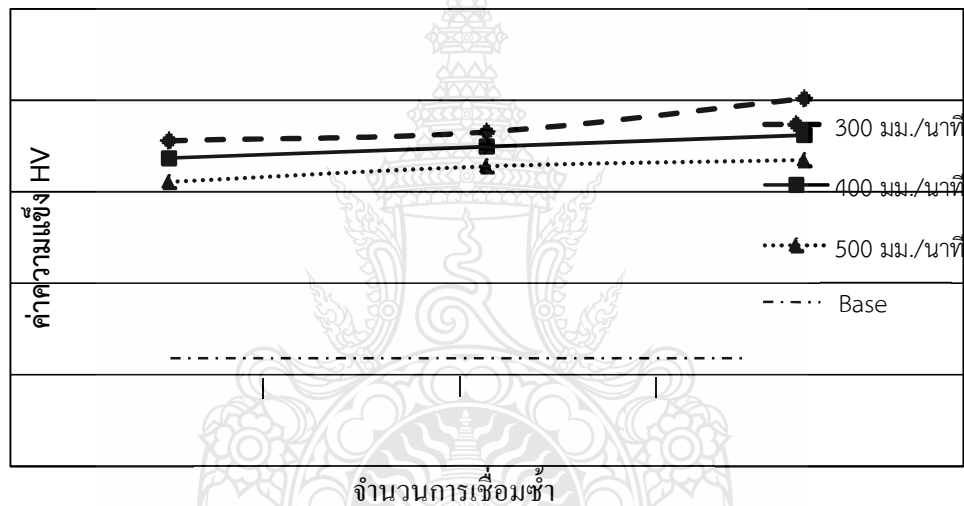


ภาพที่ 4.24 การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงจากอิทธิพลด้านความเร็วในการเชื่อม กับจำนวนครั้งในการเชื่อมซ้ำที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุม Ar80% + CO₂ 20%

ภาพที่ 4.24 การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงจากอิทธิพลด้านความเร็วในการเชื่อม กับจำนวนครั้งในการเชื่อมซ้ำที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุม Ar80% + CO₂ 20% จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ทุกระดับความเร็วในการเชื่อมมีผลต่อความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมและส่งผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมอันเนื่องมาจากการอาร์กของกระแสไฟเชื่อม จะแปรผันกับความเร็วในการเดินแนว

เชื่อม โดยเฉพาะกระแสไฟที่สูงและต่ำ จะส่งผลโดยตรงกับการเดินแนวเชื่อม เพราะลักษณะการเติมเนื้อโลหะและการหลอมละลายที่สมบูรณ์ในแนวเชื่อม จากชิ้นงานทดลองทั้งหมดพบว่า ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที่ แก๊สปกคลุม Ar80% +CO₂20% กระแสเชื่อม 110 A จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุดทุกๆ แนวเชื่อม และค่าความแข็งแรงดึงจะเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนการเชื่อมซ้ำแนวโดยแนวเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ที่ 965.38 MPa ที่ความเร็ว 400 และ 500 มม./นาที่ จะให้ค่าความแข็งแรงดึงคล้ายกับความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที่แต่ค่าความแข็งแรงดึงจะลดลงสวนทางกับความเร็วที่เพิ่มขึ้นตามลำดับและค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดที่ความเร็วในการเชื่อม 500 มม./นาที่ โดยแนวเชื่อมที่ 1 จะให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดที่ 550.25 MPa

4.4.2 การวิเคราะห์อิทธิพลด้านความเร็วในการเชื่อมต่อค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อม

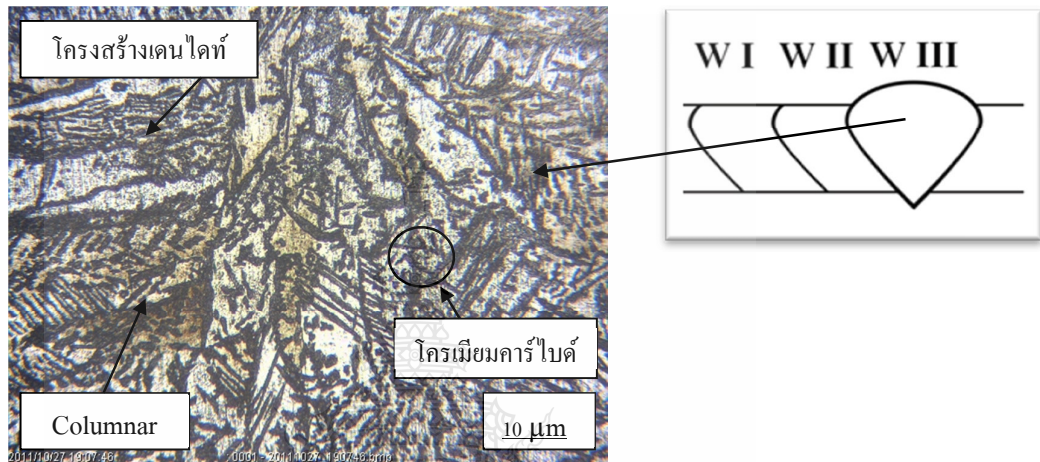


ภาพที่ 4.25 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านความเร็วในการเชื่อมซ้ำที่ กระแส 110 A แก๊สปกคลุม CO₂ 100%

ภาพที่ 4.25 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมจากอิทธิพลด้านความเร็วในการเชื่อม ที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุม CO₂ 100% ผลการทดลองที่ได้พบว่าความเร็วในการเชื่อมมีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อม จากชิ้นงานทดลองทั้งหมด จากการวิเคราะห์ผลของตัวแปรร่วมที่ใช้ในการเชื่อม ทุกๆ แนวเชื่อมโดยพบว่า ความเร็วในการเชื่อมที่ 300 มม./นาที่ จะให้ค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมมากที่สุด และค่าความแข็งแรงจะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับตามจำนวนการเชื่อมซ้ำทุกกรณีของการเชื่อม โดยที่การเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 จะให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ 260.90 HV ที่ความเร็วในการเชื่อม 400 และ 500

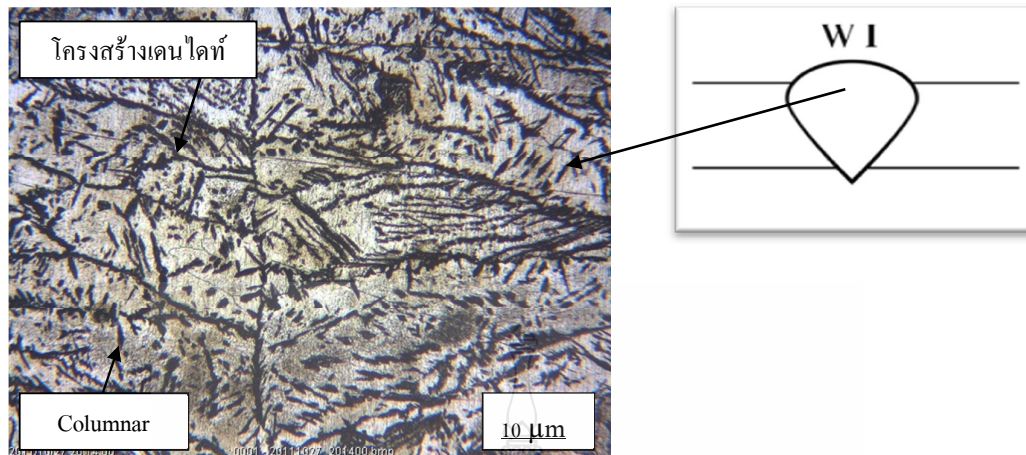
มม./นาทิจำค่าความแข็งจะลดลงสวนทางกับความเร็วที่เพิ่มขึ้น และค่าความแข็งของแนวเชื่อมต่ำสุดพบว่าอยู่ที่ความเร็วในการเชื่อมที่ 500 มม./นาทิจำค่าความแข็งที่ 215.40 HV

4.2.4 การวิเคราะห์หัตถิทธิพลด้านความเร็วต่อโครงสร้างจุลภาค



ภาพที่ 4.26 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งสูงสุด ที่ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาทิจำแก๊สปกคลุม CO₂ 100 % กระแสเชื่อม 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3

ภาพที่ 4.26 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งสูงสุด ที่ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาทิจำแก๊สปกคลุม CO₂ 100 % กระแสเชื่อม 110 A เชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 พบว่าความเร็วในการเชื่อมมีผลต่อค่าความแข็งของแนวเชื่อมอันเนื่องมาจากอัตราการถ่ายโอนน้ำโลหะ การหลอมละลาย และการเย็นตัวที่แตกต่างกันในแต่ละระดับความเร็ว ซึ่งส่งผลต่อลักษณะของโครงสร้างจุลภาคและขนาดของเม็ดเกรนบริเวณแนวเชื่อม ลักษณะของโครงสร้างจุลภาคเป็นแบบ Columnar Dendrite มีทิศทางของเกรนพุ่งจากขอบแนวเชื่อมเข้าหาจุดศูนย์กลางบ่อหลอมละลายบริเวณกึ่งกลางแนวเชื่อม ในลักษณะตั้งฉากกับผนังของโลหะชิ้นงานเชื่อมและมีเส้นสีดำลักษณะคล้ายโครเมียมคาร์ไบด์กระจายตัวอยู่ทั่วตามเกรน จากการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 ปริมาณคาร์บอนจากโลหะเชื่อมจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการเชื่อมครั้งที่ 1 การเชื่อมซ้ำครั้งที่ 2 และการเชื่อมซ้ำครั้งที่ 3 จึงส่งผลให้แนวเชื่อมมีค่าความแข็งสูงสุดดังแสดงภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.27 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งต่ำสุด ที่ความเร็วในการเชื่อม 500 มม./นาที่ ที่แก๊สปกคลุม CO_2 100 % กระแสเชื่อม 110 A เชื่อมครั้งที่ 1

ภาพที่ 4.27 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งต่ำสุด ที่ความเร็วในการเชื่อม 500 มม./นาที่ ที่แก๊สปกคลุม CO_2 100 % กระแสเชื่อม 110 A เชื่อมครั้งที่ 1 พบว่าลักษณะโครงสร้างจุลภาคเป็นแบบ Columnar Dendrite คล้ายกับการเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาที่ ที่แก๊สปกคลุม CO_2 100 % กระแสเชื่อม 110 A เชื่อมครั้งที่ 3 แต่เส้นสีดำลักษณะคล้ายซีเมนต์ไครท์แทรกตัวขึ้นอยู่ตามขอบเกรนและจุดสีดำลักษณะคล้ายโครเมียมคาร์ไบด์กระจายตัวอยู่ทั่วตามเกรนจะมีน้อยกว่าเนื่องจากปริมาณคาร์บอนจากโลหะเชื่อมที่เติมเข้าไปน้อยกว่า อัตราการถ่ายโอนน้ำโลหะ การหลอมละลาย ความเร็วในการเชื่อมและอัตราการเย็นตัวที่แตกต่างและจำนวนของการเชื่อมซ้ำแนว จึงส่งผลให้ค่าความแข็งของแนวเชื่อมน้อยกว่าดังแสดงในภาพที่ 4.25

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการทดลองเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 ใช้กรรมวิธีการเชื่อมมิกแบบ ชั่วแนวในการเชื่อมทำารบรอยต่อชนบากร่องวี ตัวแปรในการเชื่อม 3 ตัว คือ กระแสไฟ 3 ระดับ 90,100และ110 A แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม 3 อัตราส่วน Ar80%+CO220%, Ar100%และCO2100% ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 3 ระดับ 300, 400และ500 มม./นาทึ โดยทำการเชื่อม 1 แนว เชื่อมซ้ำ 2 แนวและเชื่อมซ้ำ 3 แนวพบว่าแต่ละตัวแปรมีผลต่อสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาคและลักษณะทางกายภาพซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกลด้านค่าแรงดึง(ASTM E8M) กระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น ความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้นให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง แก๊สปกคลุมผสม (Ar80%+CO₂ 20%) ให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น แนวเชื่อมซ้ำเพิ่มขึ้นให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น

5.1.2 การเชื่อมที่กระแส 110 A แก๊สปกคลุม Ar80%+CO₂20% ความเร็วในการเชื่อม 300 มม./นาทึ เชื่อมซ้ำแนวครั้งที่ 3 ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 970 MPa

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430 แบบเชื่อมชั่วแนว ด้วยกระบวนการเชื่อมมิก (GMAW) ซึ่งเกิดปัญหาในระหว่างการเชื่อมทดลองเนื่องจากการเชื่อมซ้ำหลายแนว ผลที่ได้จึงต้องควรมีการทดลองเชื่อมตัวแปรอื่นๆในคราวต่อไป โดยมีข้อเสนอแนะไว้ใน การพิจารณาดังนี้

5.2.1 ในการเชื่อมครั้งต่อไปควรมีการเพิ่มจำนวนแนวเชื่อมซ้ำขึ้นอีกเพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลและ โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม

5.2.2 ในการศึกษาครั้งต่อไปควรทดลองเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแบบอื่น ที่มีใช้ในปัจจุบัน เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกล และ โครงสร้างจุลภาคต่อตัวแปรในกระบวนการเชื่อมตัวอื่น ๆ

5.2.3 ในการเชื่อมครั้งต่อไปควรมีการเพิ่มหรือลดกระแสและความเร็วในการเดินแนวเชื่อมเพื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งของแนวเชื่อม

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะวิศวกรรมโท, คู่มือการเชื่อมโลหะในระบบ GMAW. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สวัสดิการสถาบันพัฒนาเครื่องจักรกลและโลหะการ, 2534. 74 น.
- [2] ขงยุทธ คุลยกุล, “ศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระแสเชื่อมและส่วนผสมของแก๊สคลุมที่แตกต่างกันโดยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551.
- [3] ปริญญา แสงทอง, “ผลการแปรพารามิเตอร์ การเชื่อม MIG ต่อโครงสร้างและสมบัติของงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม.” วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต สาขากรรมมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549.
- [4] Comweld Group Pty Ltd., **What is Technical and Trade Information** (Online), http://www.cigweld.com.au/pages/images/techinfo/consumtech/st_steel.pdf
- [5] สมาคมสแตนเลสไทย, การเลือกใช้สแตนเลสและเทคนิคการเชื่อมสแตนเลส (ออนไลน์), <http://www.tss.org> (1 กรกฎาคม 2529).
- [6] สแตนเลสเพื่อคนไทย, ข้อมูลวงการสแตนเลส (ออนไลน์), http://www.Siam_stainless.com (29 ตุลาคม 2012).
- [7] อติศร อุทัยแพน, “การศึกษาอิทธิพลของส่วนผสมแก๊สคลุม Ar, Co₂ และ O₂ ที่มีผลต่อกระบวนการเชื่อมมิกต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค ของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด AISI 304.” วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต สาขากรรมมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552.
- [8] สมพงษ์ พันสุขน้อย, “การศึกษาอิทธิพลของแก๊สปกคลุมต่อสมบัติทางกลและโครงสร้าง จุลภาคของการเชื่อมมิกเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด AISI 304.” วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต สาขากรรมมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552.
- [9] มานะศิษฐ์ พิมพ์สาร, คู่มือการเชื่อม มิก – แม่เหล็ก. กรุงเทพฯ: บริษัท เอ็มแอนดีอี จำกัด, 2542.
- [10] อรศิริ จันทน์เมือง, “การศึกษาผลกระทบของก๊าซที่ใช้สำหรับกระบวนการเชื่อม MIG กรณีศึกษา การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304.” สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.
- [11] คู่มือลวดเชื่อม YAVATA. กรุงเทพฯ: บริษัท ยาวาต้า (ประเทศไทย) จำกัดมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554.

- [12] กักดี ดำเนินผล, “การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในกระบวนการเชื่อมมิกต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลเหล็กกล้าสแตนเลสอสเทนนิติก เกรด AISI 304.” วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552.
- [13] คู่มือโครงการพัฒนาทักษะงานเชื่อม MIG/MAG กรุงเทพฯ: วิทยาลัยเทคนิคสระบุรีร่วมกับ บริษัท ภูสุวรรณอินเตอร์เทรด จำกัด และ บริษัท เลิศวิทย์แอนด์ซันส์ จำกัด.
- [14] IS SERVICES, “**International Welding Technologist Module 1: Welding Processes And Equipment,**” 2552.
- [15] มานพ ต้นตระกูลบัณฑิตย์, งานทดสอบวัสดุอุตสาหกรรม (ฉบับปรับปรุง) กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.
- [16] นัทรทอง ไสแสง, “อิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลเหล็กกล้าไร้สนิมอสเทนนิติกเกรด 304.” กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- [17] สมศักดิ์ ปามิก สุภชัย ทรงศักดิ์นาคิน และ นิพันธ์ ศิริศักดิ์, ผลของการผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สอาร์กอนต่อการเชื่อมเหล็กเกรด SN 490 B โดยกระบวนการเชื่อมมิก/แม็ก กรุงเทพฯ: ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยี ไทย-ฝรั่งเศส สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
- [18] Danut Iordachescu, et al., **Influence of Shielding Gases and Process Parameters on Metal Transfer and Bead Shape in MIG Brazed Joints of the Thin Zinc Coated Steel Plates** *Materials & Design*, 2006. pp.381-390.
- [19] MT.Lio, W.J.Chen, **The effect of shielding-gas compositions on the microstructure and mechanical properties of stainless steel weldments** *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 55, 1998. pp.145-151.
- [20] T.W.NELSON, J.C. LIPPOLD AND M.J. MILLS Ohio State University, “Nature and Evolution of the fusion boundary in Ferritic-Austenitic dissimilar metal welds-part 2: on-cooling transformations,” **Welding Sponsored by the American Welding Society and the Welding Research Council journal**, October 2000 pp.267-277.
- [21] Johnson J.A. Miller, et al., “Experimental Investigation of Pulse GMAW. Idaho National Engineering And Environmental Laboratory,” **Idaho Falls Idaho** 2002.

- [22] P.K Ghosh Lutz Dorn Shirang Kulkarin F.Hofmann, "Arc Characterizes And Behavior Of Metal Transfer In Pulsed Current GMA Welding," 2009.
- [23] French I.E. And Bosworth M.R, "A Comparison of Pulsed And Conventional Welding With Basic Flux Cored and Metal Cored Welding Wires. Welding Journal Vol," **มาตรฐานงานเชื่อม AWS D1.1/D1.1M:2006 American welding society** November 29, 2005 1995.
- [24] วิชาญ โชติกลาง สันติรัฐ นันสะอาจ และสิทธิชัย แก้วเกื้อกุล, "บททความการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างและความแข็งในการเชื่อม Gas Tungsten Arc Welding ระหว่างเหล็กกล้าสเตนเลสออสเทนนิติก เกรด AISI 202 กับเหล็กกล้าสเตนเลสดูเพล็กซ์ AISI 2205."
- [25] สุรัชย์ ทอนสูงเนิน, "การศึกษาผลกระทบของปัจจัยจากการเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าสเตนเลสออสเทนนิติก เกรด AISI 304. กับเหล็กกล้าสเตนเลสดูเพล็กซ์ AISI 2205 ด้วยกระบวนการเชื่อมแก๊สทั้งสแตนอาร์กต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล." วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553.
- [26] Danut T Hawkins and Ralph Hultgren, Metal Hand book Vol.8 Metallography Structures and Phase Diagram 8 th Edition American Society of Metals(ASM), **Metal Parks, Ohio USA**, pp.291-304. 1995.
- [27] เกียรติกร วโนทยาน, "การศึกษาผลกระทบของกระแสไฟเชื่อมต่อโครงสร้างจุลภาคในเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด UNS S32205 ด้วยกระบวนการเชื่อมทิก." 2550.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 430



ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430



Method: Fe-01-F
 Comment: Orientation - F
 Sample Name: Element concentration

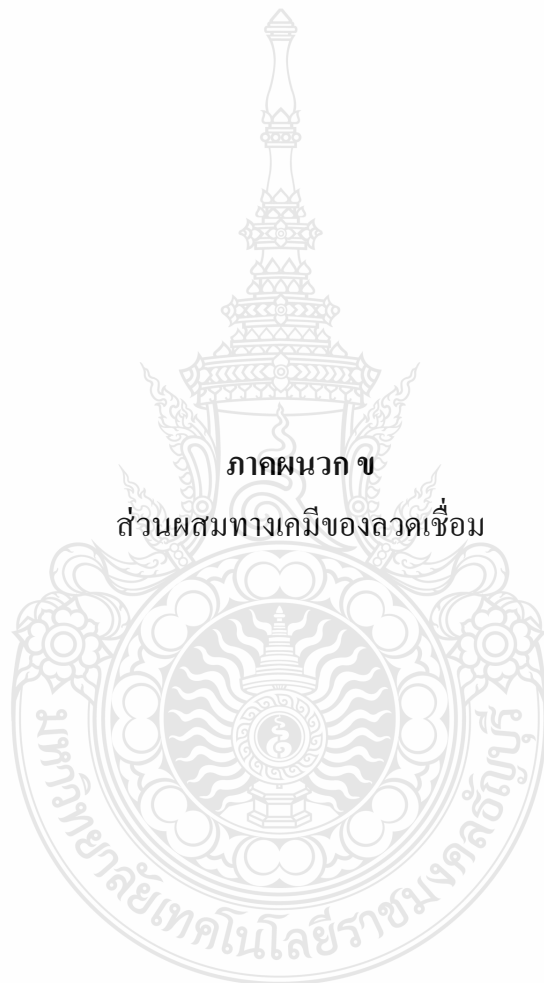
8/27/2012 3:21:01 PM

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.115	0.366	0.230	0.0335	0.0013	17.58	< 0.0020	0.124
2	0.117	0.365	0.229	0.0329	0.0013	17.59	< 0.0020	0.121
3	0.125	0.356	0.230	0.0317	0.0014	17.55	< 0.0020	0.119
< x > (3)	0.119	0.363	0.230	0.0327	0.0013	17.57	< 0.0020	0.121
sd	0.0056	0.0053	0.00052	0.00095	0.00008	0.0210	0.00000	0.0024
rsd	4.7	1.5	0.2	2.9	6.0	0.1	0.0	2.0

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0152	0.0059	0.0284	0.0454	0.0060	0.0714	< 0.0100	< 0.0040
2	0.0150	0.0060	0.0279	0.0451	0.0060	0.0709	< 0.0100	0.0042
3	0.0189	0.0060	0.0282	0.0429	0.0062	0.0725	< 0.0100	< 0.0040
< x > (3)	0.0164	0.0060	0.0282	0.0445	0.0061	0.0716	< 0.0100	0.0041
sd	0.0022	0.00004	0.00021	0.0014	0.00011	0.00078	0.00000	0.00014
rsd	13.6	0.7	0.8	3.1	1.8	1.1	0.0	3.3

	Sn	Mg	As	Zr	Bi	Ca	Ce	Sb
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0026	0.0116	< 0.0015	< 0.0015	0.0080	0.00061	0.0093	< 0.0020
2	0.0014	0.0117	< 0.0015	< 0.0015	0.0082	0.00059	0.0101	< 0.0020
3	0.0018	0.0111	< 0.0015	< 0.0015	0.0083	0.00064	0.0083	< 0.0020
< x > (3)	0.0019	0.0115	< 0.0015	< 0.0015	0.0075	0.00061	0.0092	< 0.0020
sd	0.00060	0.00033	0.00000	0.00000	0.0010	0.00002	0.00087	0.00000
rsd	31.6	2.8	0.0	0.0	13.8	3.9	9.4	0.0

	Te	B	Zn	La	Fe
	%	%	%	%	%
1	0.0058	< 0.00050	0.0212	0.0014	81.3
2	0.0059	< 0.00050	0.0216	0.0011	81.3
3	0.0058	< 0.00050	0.0206	0.0016	81.3
< x > (3)	0.0058	< 0.00050	0.0212	0.0013	81.3
sd	0.00007	0.00000	0.00052	0.00027	0.0236
rsd	1.2	0.0	2.5	19.9	0.0



ภาคผนวก ข
ส่วนผสมทางเคมีของลาวดเชื่อม

THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY (ASIA PACIFIC) PTE LTD (Company No: 199202597G)
 11 PANDAN CRESCENT, SINGAPORE 128467
 Telephone: + (65) 6773 6699 Fax: + (65) 6773 6690
 Website: www.lincolnelectric.com.sg



TEST CERTIFICATE

Supplied To: Laemthong Syndicate Co. Ltd.
 Customer Order No: LS-0030105
 Quantity Ordered: 420KGS
 Lincoln Regional Office: Singapore
 Date of Issue: 2005/3/28

Electrode Lot No: 05311261
 Core Wire Heat No: 442008
 Date of Manufacture: 2005/3/11
 Size (mm): 1.2 mm X 15 KGS
 Process: GMAW

Certificate Issued By


 J. H. CHONG WILLIAM

CERTIFICATE IS INVALID WITHOUT COMPLETION OF THIS SECTION

Product: Lincoln ER430LNB

This is to certify that the product named above and supplied on the referenced order number was tested and the results of which are shown below. Manufacturing and supply were carried out according to quality management programs meeting the requirements of ISO 9001.

Chemical Analyses of the electrode were as follows:

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Ni	%Cr	%Mo	%N	%Nb
0.013	0.39	0.38	0.023	0.0037	0.098	0.30	18.00	0.05	0.012	0.49

Reference Number:
EXP-610067


 Approved by: Cheng Jun Hua William, Consumable Product Manager - Asia

Certificate Number:
N430LNB12KT006AP05R1-RAL



ภาคผนวก ก

มาตรฐาน ASTM E340 – 00 (2006)

มาตรฐาน ASTM E340 – 00 (2006)

ในการผสมกรดกัดส่องโครงสร้าง

E340 – 00 (2006)

TABLE 6 Macroetchants for Stainless Steels and High-Temperature Alloys

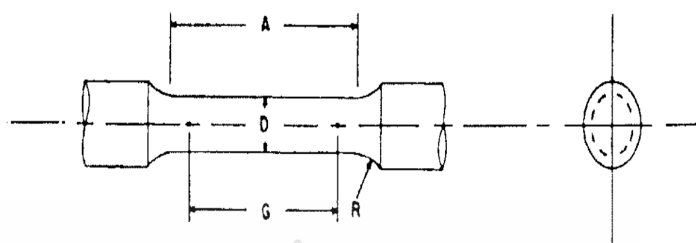
Alloys	Composition	Procedure	Comments	
Stainless steels and iron-base high-temperature alloys	HCl (concentrated) H ₂ O	50 mL 50 mL	Immerse specimen in solution heated to 160 to 180°F for 30 min. Desmut by vigorous scrubbing with vegetable brush under running water. Stainless steels may be desmutted by dipping in warm 20 % HNO ₃ to give bright finish. Dropwise or slow addition of H ₂ O is often effective in accelerating etching.	General purpose.
Iron-, cobalt-, and nickel-base high-temperature alloys	HCl (concentrated) HNO ₃ (concentrated) H ₂ O	50 mL 25 mL 25 mL	Immerse specimen in solution at room temperature for 10 to 30 min. Rinse and dry.	Ratio HCl + HNO ₃ runs 2 + 1 to 3 + 1
Stainless steels and high-temperature alloys	HNO ₃ HF (48 %) H ₂ O	10 mL 3 mL 87 mL	Immerse specimen in solution heated to 160 to 180°F until desired contrast is obtained. Rinse and dry.	Ratio HNO ₃ -HF varies.
	to HNO ₃ (concentrated) HF (48 %) H ₂ O	40 mL 10 mL 50 mL		
Austenitic stainless steels and nickel base alloys	I (NH ₄) ₂ SO ₄ H ₂ O II FeCl ₃ HCl (concentrated) III HNO ₃ (concentrated)	15 g 75 mL 250 g 100 mL 30 mL	Combine I and II then add III. Immerse specimen in solution at room temperature until desired contrast is obtained.	Lepito's etch. I, mix fresh, grain structure.
Austenitic stainless steels and high-temperature alloys	HCl (concentrated) H ₂ O H ₂ O ₂ (30 %)	50 mL 50 mL 20 mL	Mix HCl and water then heat, immerse specimen and add H ₂ O ₂ in several parts. Do not mix. Make each subsequent addition after foaming from previous addition has stopped.	
Austenitic stainless steels and high-temperature alloys	HCl (concentrated) Sat soln of CuSO ₄ in H ₂ O	50 mL 25 mL	Immerse specimens in solution which may be heated up to 170°F until desired contrast is obtained. Rinse and dry.	Marble's reagent. Light etch, good for structures. Amount of CuSO ₄ solution may be increased to 1 + 1 ratio for difficult alloys.

ภาคผนวก ง

มาตรฐาน ASTM E8 M

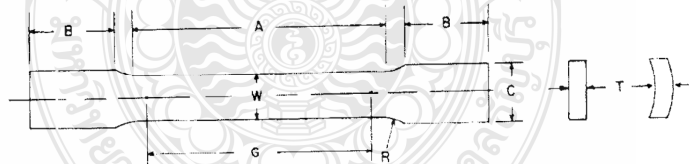


ASME E 8 - 04



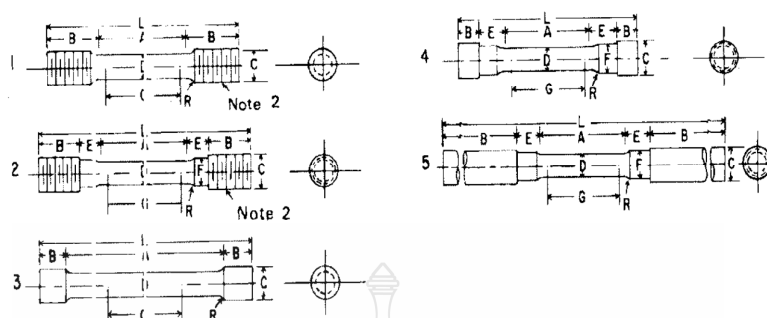
	Dimensions				
	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	in.	in.	in.	in.	in.
Nominal Diameter	0.500	0.350	0.250	0.160	0.113
G—Gage length	2.000 ± 0.005	1.400 ± 0.005	1.000 ± 0.005	0.640 ± 0.005	0.450 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005	0.160 ± 0.003	0.113 ± 0.002
R—Radius of fillet, min	3/8	1/4	3/16	3/32	3/32
A—Length of reduced section, min (Note 2)	2 1/4	1 3/4	1 1/4	3/4	5/8

ASME E 8 - 04

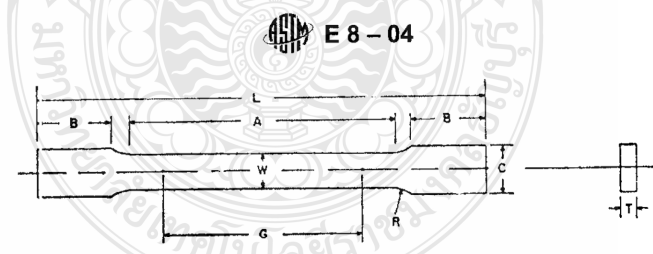


	Dimensions						
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5	Specimen 6	Specimen 7
	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.
G—Gage length	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	8.00 ± 0.01	2.000 ± 0.005	4.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	4.000 ± 0.005
W—Width (Note 1)	0.500 ± 0.010	1 1/2 ± 1/8 - 1/4	1 1/2 ± 1/8 - 1/4	0.750 ± 0.031	0.750 ± 0.031	1.000 ± 0.052	1.000 ± 0.052
T—Thickness	measured thickness of specimen						
R—Radius of fillet, min	1	1	1	1	1	1	1
A—Length of reduced section, min	2 1/4	2 1/4	9	2 1/4	4 1/2	2 1/4	7/2
B—Length of grip section, min (Note 2)	3	3	3	3	3	3	3
C—Width of grip section, approximate (Note 3)	1 1/4	2	2	1	1	1 1/2	1 1/2

ASME E 8 - 04

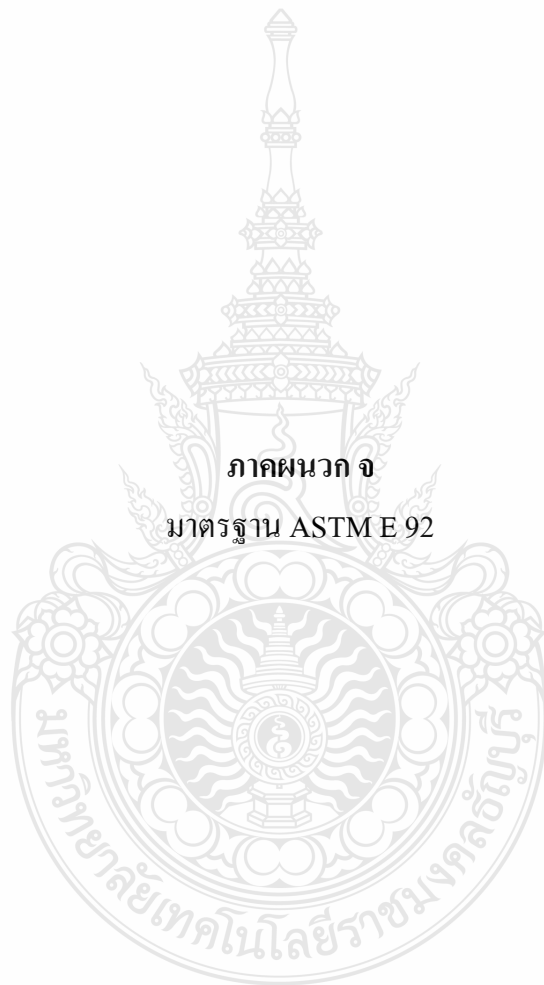


	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
	in.	in.	in.	in.	in.
G—Gage length	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010
R—Radius of fillet, min	3/8	3/8	1/8	3/8	3/8
A—Length of reduced section	2 1/4, min	2 1/4, min	4, approximately	2 1/4, min	2 1/4, min
L—Over-all length, approximate	5	5 1/2	5 1/2	4 3/4	9 1/2
B—Length of end section (Note 3)	1 1/2, approximately	1, approximately	3/4, approximately	1/2, approximately	3, min
C—Diameter of end section	3/4	3/4	23/32	7/8	3/4
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	...	5/8	...	3/4	5/8
F—Diameter of shoulder	...	5/8	...	5/8	1 1/32



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 1 1/2-in. Wide	Sheet-Type, 1/2-in. Wide	1/4-in. Wide
	in.	in.	in.
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	8.00 ± 0.01	2.000 ± 0.005	1.000 ± 0.003
W—Width (Note 3 and Note 4)	1 1/2 + 1/8, - 3/4	0.500 ± 0.010	0.250 ± 0.005
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	1	1/2	3/4
L—Over-all length, (Note 2, Note 7 and Note 8)	18	8	4
A—Length of reduced section, min	9	2 1/4	1 1/4
B—Length of grip section, (Note 3)	3	2	1 1/4
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	2	3/4	3/8

ภาคผนวก จ
มาตรฐาน ASTM E 92



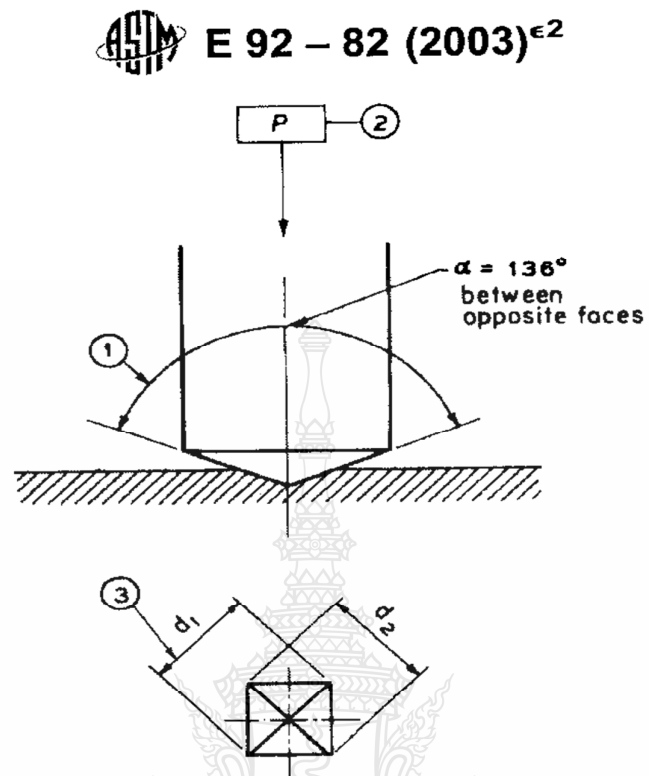
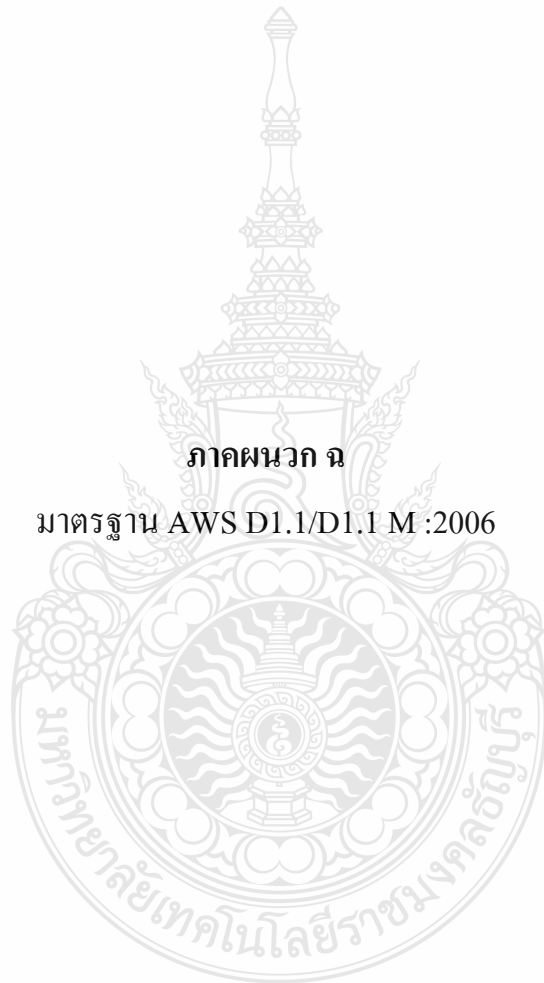


TABLE 1 Symbols and Designations Associated with Fig. 1

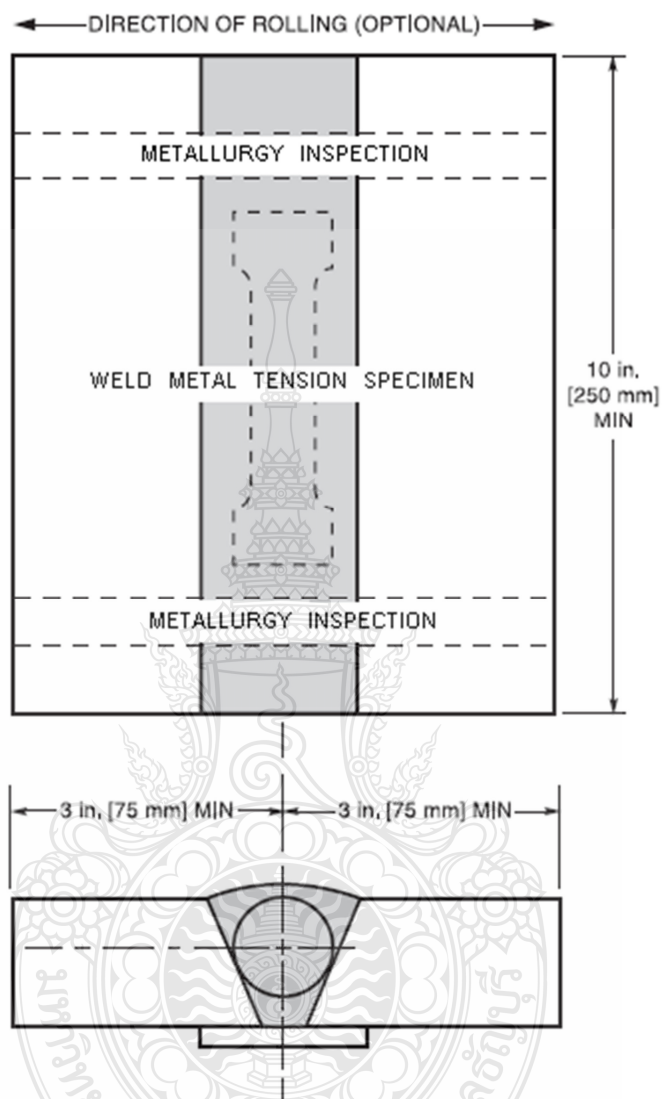
Number	Symbol	Designation
1	...	Angle at the vertex of the pyramidal indenter (136°)
2	P	Test force in kilograms-force
3	d	Arithmetic mean of the two diagonals d^1 and d^2

ภาคผนวก ฉ

มาตรฐาน AWS D1.1/D1.1 M:2006



การตัดแบ่งชิ้นงานเพื่อทดสอบตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M:2006



Location of Test Specimen on Welded Test





ภาคผนวก ข

ใบรับรองส่วนผสมแก้สปกคลุม

Certificate of conformity

แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม

ISO9001:2000 CERTIFIED

CERTIFICATE OF CONFORMITY

GAS TYPE: ARCWELD#53

CYLINDER NUMBER: ศท๕๖ - 0๕๐๑

%COMPOSITION: 20%CO₂+AR Balance

IMPURITY:

Moisture content	<u><5.0</u>	ppm(v/v)
Oxygen content	<u>-</u>	ppm(v/v)
THC content	<u>-</u>	ppm(v/v)
Others	<u>-</u>	ppm(v/v)

APPROVED BY Hoonheail

DATE 16/11/10

THAI SPECIAL GAS COMPANY LIMITED
 100/38 Moo 1 T.Samkhok, A.Samkhok
 Pathumthani 12160
 Tel: 0-2593-1525 (Auto 20 Lines) Fax: 0-2593-2612-3




ISO9001:2000 CERTIFIED

ข้อควรระวัง

1. ห้ามสูดดมก๊าซเข้าไปในปริมาณสูง อาจหมดสติได้
2. เก็บท่อในที่ร่มเสมอ
3. ห้ามใช้สารหล่อลื่นกับวาล์วหรือท่อ
4. เปิดวาล์วช้าๆ และปิดทุกครั้งหลังใช้งาน
5. ใช้ร่วมกับข้อต่อ ควรปรับความดันเสมอ

THE HIGH QUALITY SUPPLIER OF
 INDUSTRIAL, ELECTRONICS AND MEDICAL GASES

THAI SPECIAL GAS COMPANY LIMITED
 100/38 Moo 1 T.Samkhok, A.Samkhok
 Pathumthani 12160
 Tel: 0-2593-1525 (Auto 20 Lines) Fax: 0-2593-2612-3



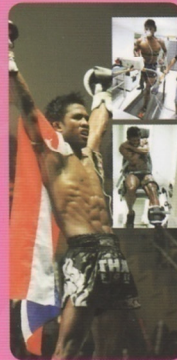
ภาคผนวก ข

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



ตามรอยพระยุคลบาท

เกษตรศาสตร์กำแพงแสน



บทคัดย่อ Abstract

การประชุมวิชาการ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่

The 8th KU-KPS Conference



8-9 ธันวาคม 2554





มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ขอมอบเกียรติบัตรเพื่อรับรองว่าผลงานวิจัย

เรื่อง อธิพิพลตัวแปรการเชื่อมมิกต่อสมบัติของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด AISI 430

โดย

โสวัตร ประพันธ์มิตร สุวัฒน์ ภูเภา และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาวิศวกรรมศาสตร์

และได้นำเสนอในการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 8

ระหว่างวันที่ 8-9 ธันวาคม พ.ศ. 2554

(อาจารย์ ดร.อนามย์ คำเนตร)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายจัดสัมมนาวิชาการและประชุมวิชาการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ชินะวงศ์)

รองอธิการบดีวิทยาเขตกำแพงแสน



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายโสวัตร ประพันธ์มิตร
วัน เดือน ปีเกิด	๑๑ กุมภาพันธ์ ๒๕๑๖
ที่อยู่	9/180 หมู่ 2 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลบึงขี้ไถ อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12130
การศึกษา	
ระดับอาชีวศึกษา	- ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาช่างเชื่อมและโลหะแผ่น วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม พ.ศ.๒๕๓๕
	- ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาเทคนิคโลหะ วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม พ.ศ. ๒๕๓๗
	- ประกาศนียบัตรวิชาชีพครูเทคนิคชั้นสูง (ปทส.) สาขาวิชาช่าง เชื่อมและประสาน วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน พ.ศ. ๒๕๓๙
ระดับปริญญาตรี	- ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน พ.ศ. ๒๕๔๖
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2539 – ปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่ของรัฐ ข้าราชการครูและบุคลากรทางการศึกษา ตำแหน่ง ครู แผนกวิชาช่างเชื่อมโลหะ วิทยาลัยการอาชีพร้อยเอ็ด จังหวัด ร้อยเอ็ด พ.ศ. ๒๕๓๙– ปัจจุบัน