

**การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมรอยต่อเกยเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ
เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304**

**GAS METAL ARC WELDING OF SS400 CARBON STEEL
AND SUS304 STAINLESS STEEL LAP JOINT**

อมรศักดิ์ ไม้ใหญ่

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกวิศวกรรมการผลิต

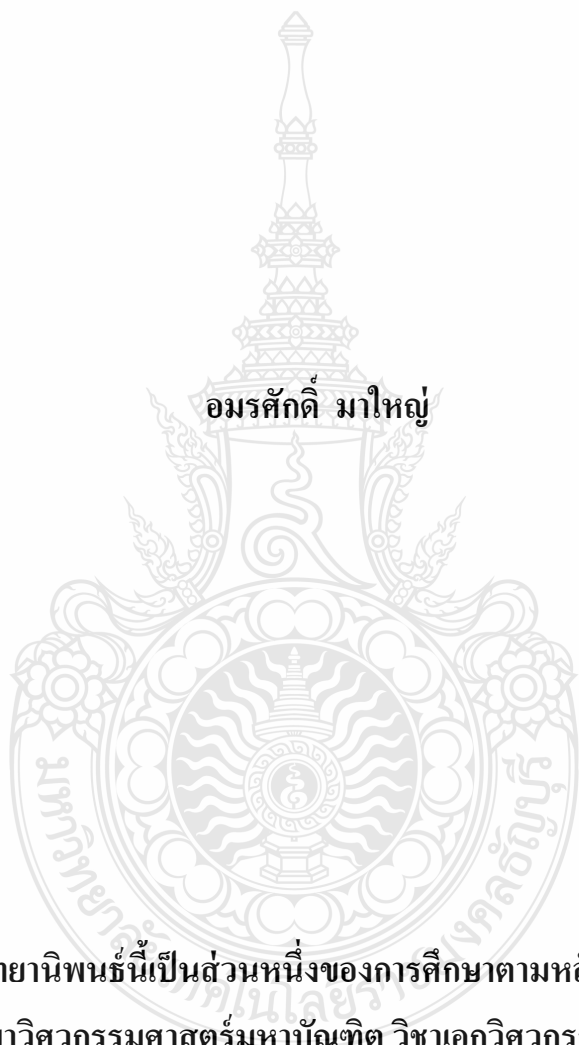
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมรอยต่อเกยเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ
เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

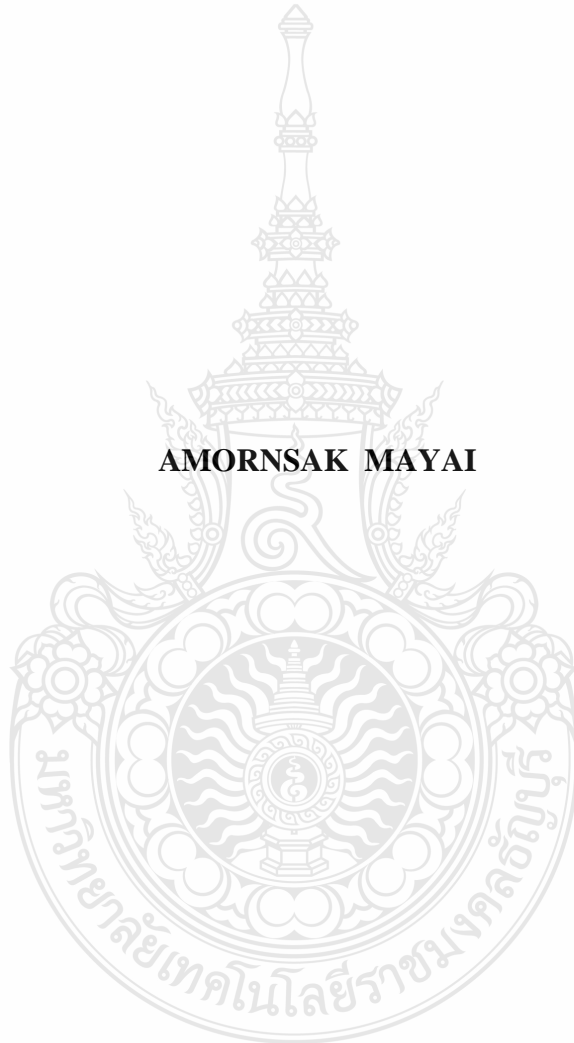
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**GAS METAL ARC WELDING OF SS400 CARBON STEEL AND SUS304
STAINLESS STEEL LAP JOINT**

AMORNSAK MAYAI



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
PROGRAM IN MANUFACTURING ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI
ACADEMIC YEAR 2014
COPYRIGHT OF RAJAMANGALA UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY THANYABURI**

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมรอยต่อเกลเหล็กคาร์บอน SS400 และ
เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304
Gas Metal Arc Welding of SS400 Carbon Steel and SUS304 Stainless
Steel Lap Joint

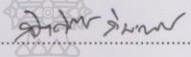
ชื่อ - นามสกุล นายอมรศักดิ์ ไม้ใหญ่

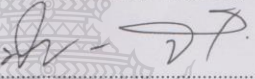
สาขาวิชา วิศวกรรมการผลิต

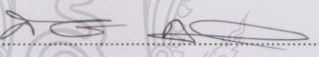
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ชัยยะ ปราณีตพลกรัง, D.Eng.


ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทร์มณี, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรีชัย ต่อสกุล, D.Eng.)


..... กรรมการ
(อาจารย์ชัยยะ ปราณีตพลกรัง, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 23 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมรอยต่อเกยเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304
ชื่อ - นามสกุล	อมรศักดิ์ มาใหญ่
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ชัยยะ ปราณิตพลกรัง, D.Eng.
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

รอยต่อเกยระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 มีการใช้งานเพิ่มขึ้นในงานอุตสาหกรรมเนื่องจากการมีคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นของรอยต่อโลหะต่างชนิด ด้วยเหตุนี้การศึกษาหาค่าตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมรอยต่อเกยที่อาจเป็นประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆ ควรมีการศึกษาต่อไป งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อเกยเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304

วัสดุในการทดลอง คือ เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 แผ่นโลหะความหนา 3 mm. ถูกเตรียมให้มีขนาดกว้าง 100 mm. และ ยาว 200 mm. รอยต่อเกยถูกทำการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมด้วยตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วยกระแสเชื่อม 80-120 A. ความเร็วเดินแนว 150-250 mm/min และมุมหัวเชื่อม 30-60° ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมถูกเตรียมด้วยวิธีการทางกลเพื่อทดสอบและตรวจสอบสมบัติต่างๆ ของรอยต่อเกยประกอบด้วยทดสอบความแข็งแรงดึงเลื่อน การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค และมีการทดสอบความแข็ง

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเพิ่มกระแสเชื่อม ส่งผลทำให้ค่าแรงพังทลาย การยึดตัวของรอยต่อ และความแข็งของโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงมุมหัวเชื่อมไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อตัวแปรของการเชื่อมที่ดีที่สุด คือที่กระแส 100 A. ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min และมุมเชื่อม 45° โครงสร้างจุลภาคบริเวณขอบเขตระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แสดงความไม่เข้ากันของโลหะทั้งสองและเป็นจุดเริ่มการพังทลายของชิ้นทดสอบ ระยะห่างระหว่างแกนเดนไดรท์ทุติยภูมิของโครงสร้างจุลภาคโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมและความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น และส่งผลโดยตรงทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าไร้สนิม รอยต่อเกย

Thesis Title Gas Metal Arc Welding of SS400 Carbon Steel and SUS304
Stainless Steel Lap Joint

Name – Surname Mr. Amornsak Mayai

Program Manufacturing Engineering

Thesis Advisor Mr.Chaiya Praneetpong, D.Eng.

Academic Year 2014

ABSTRACT

Lap joint between SS400 carbon steel and SUS304 stainless steel was increasingly applied in various industries due to the flexible properties of these dissimilar metals joint. An optimization of a gas metal arc welding for producing the dissimilar metal lap joint should be further investigated. Therefore, the results could be advanced in various manufacturing industries. This research aimed to study an effect of gas metal arc welding parameters on SS400 carbon steel and SUS304 stainless steel lap joint properties.

Material used in this experiment were SS400 carbon steel and SUS304 stainless steel. The 3 mm. thickness plate from both materials were mechanically prepared to be a rectangular shape (100 mm. wide and 200 mm. long). The experimental works was carried out by using gas metal arc welded on lap joint with various welding parameters. These parameters included: welding current of 80-120 A. the welding speed of 150-250 mm/min and the welding angle of 30-60°. The welded joints were mechanically prepared and investigated for tensile shear strength, macro and microstructure, and hardness of the welded joints.

The experimental results showed that increasing the welding current affected to increase tensile shear strength, joint elongation, and the weld metal hardness. However, increasing the welding angle did not affect to change the tensile shear strength of the lap joint. The optimized welding parameters was found at the welding current of 110 A, the welding speed of 200 mm/min and the welding angle of 45°. The microstructure at the boundary of the weld metal and the SS400 carbon steel showed incomplete combination of the metals and initiated the failure of the joint. The secondary dendrite arm spacing of the microstructure was increased when the welding current and the welding speed were decreased and also affected to increase tensile strength of the joint

Keywords: gas metal arc welding, carbon steel, stainless steel, lap joint

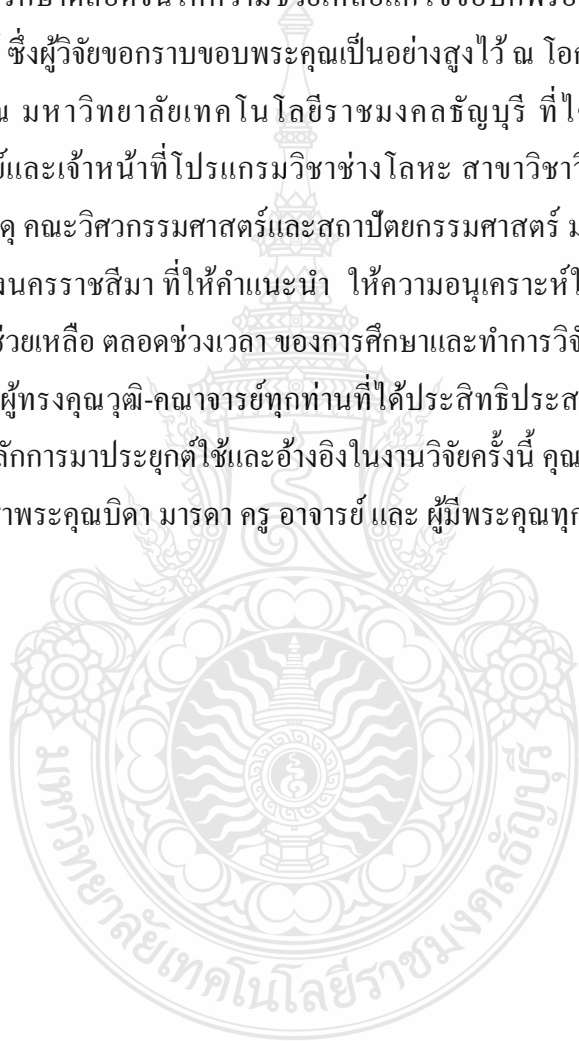
กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ดร.ชัยยะ ปราณิตพลกรัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล คณะกรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทน์มณี ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย 2557 ขอขอบคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่โปรแกรมวิชาช่างโลหะ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ศูนย์กลางนครราชสีมา ที่ให้คำแนะนำ ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ สถานที่ และให้ความช่วยเหลือ ตลอดช่วงเวลา ของการศึกษาและทำการวิจัยนี้

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ-คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา บ่มเพาะวิชาการจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และ ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อมรศักดิ์ มาใหญ่



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์สารบัญรูปและคำย่อ.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	4
2.2 ความหมายของการเชื่อมโลหะ.....	9
2.3 กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลูม.....	11
2.4 ลวดเชื่อม.....	12
2.5 ตัวแปรการเชื่อม.....	14
2.6 การถ่ายโอนน้ำโลหะ.....	24
2.7 การทดสอบแรงดึงเฉือน.....	31
2.8 การทดสอบความแข็งแรงไมโครแบบวิกเกอร์.....	33
2.9 การวิเคราะห์โครงสร้าง.....	34
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	43
3.1 การศึกษากรรมวิธีการเชื่อมโลหะแก๊สคลูม.....	43
3.2 การเตรียมชิ้นงาน.....	43

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า	
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงาน (ต่อ)	45
3.3	การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเชื่อม.....	45
3.4	การเชื่อมชิ้นงานทดสอบ	46
3.5	การเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล	48
3.6	การทดสอบแรงดึงเดือน	49
3.7	การทดสอบความแข็งแรงไมโครวิกเกอร์ส.....	53
3.8	การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	56
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	60
4.1	อิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อเกย	61
4.2	อิทธิพลของมุมเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อเกย.....	75
4.3	อิทธิพลของความเร็วเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อเกย.....	83
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	93
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	93
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	95
รายการอ้างอิง.....	96	
ภาคผนวก.....	98	
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	99	
ประวัติผู้เขียน	118	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า SS 400.....	6
2.2 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า SS 400	6
2.3 ส่วนผสมทางเคมีสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม.....	6
2.4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304	7
2.5 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม ER 309L.....	13
2.6 ความสามารถทางกลของลวดเชื่อม ER 309L.....	14
2.7 อัตราการไหลของก๊าซคลุมและระยะห่างของหัวฉีดที่เหมาะสม	21



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพสมมูลเหล็ก – เหล็กคาร์ไบด์.....	5
2.2 หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ	10
2.3 รูปแบบของกระบวนการเชื่อม	11
2.4 การอาร์กของกระบวนการเชื่อมโลหะแก๊สคลุม	12
2.5 ลวดเชื่อมซีไอทูหรือ ลวดเชื่อมมิก	13
2.6 ลวดเชื่อมซีไอทูสำหรับงานสแตนเลส	14
2.7 อัตราการเติมเนื้อโลหะของลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน	16
2.8 ลักษณะหน้าตัดรอยเชื่อมและคุณสมบัติการซึมลึกเมื่อใช้แก๊สชนิดต่างๆ.....	17
2.9 ระยะเวลาหัวโผล่ลวดเชื่อมและผลกระทบของระยะ โผล่ลวดที่มีความยาวอาร์กคงที่.....	20
2.10 มุมหัวเชื่อมสำหรับการเชื่อมแบบปลั๊กลวดและแบบลากลวด.....	22
2.11 ผลกระทบของมุมเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมที่มีต่อระยะซึมลึกและรูปร่างตะเข็บเชื่อม	23
2.12 ลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะทั้ง 4 แบบ	26
2.13 ลักษณะการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่.....	27
2.14 การถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร	29
2.15 ลักษณะกระแสและขั้นตอนการถ่ายโอนโลหะแบบพัลส์	30
2.16 ลักษณะและส่วนต่างๆของแนวเชื่อมฟิลเลท (Fillet Weld)	31
2.17 ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์.....	32
2.18 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง – เชื้อน ตามมาตรฐาน ASTM D 1002-99	32
2.19 ลักษณะรอยกดของการทดสอบแบบวิกเกอร์มาตรฐาน ASTM E 92.....	34
2.20 วิธีการตัดชิ้นทดสอบ	35
2.21 วิธีการจับยึดงานแบบต่างๆ	36
2.22 รูปร่างของแกรไฟต์ในเหล็กหล่อสีเทา.....	37
2.23 ถึงการสะท้อนของแสงเมื่อตกกระทบฉาก.....	38
2.24 เครื่องปรับความฉากผิว.....	38
2.25 ลักษณะการทำงานของเลนส์	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 การเตรียมชิ้นงานเชื่อม.....	44
3.2 ลักษณะเครื่องตัดโลหะแผ่นแบบใบมีดโยกตัดด้วยระบบไฮดรอลิกส์.....	44
3.3 ลักษณะเครื่องตัดแก๊สแบบอัตโนมัติ และ แสดงลักษณะเครื่องเชื่อมมิก	45
3.4 ลักษณะการวัดกระแสในการเชื่อม	46
3.5 ลักษณะการจับยึดชิ้นงาน.....	46
3.6 ลักษณะการเชื่อม	47
3.7 ลักษณะชิ้นงานเชื่อม	47
3.8 ลักษณะการตัดชิ้นงานทดสอบ	48
3.9 การเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงเดือน.....	49
3.10 การทดสอบแรงดึงของชิ้นทดสอบ	50
3.11 ชิ้นทดสอบแรงดึงที่มีการบังคับการขาดบริเวณแนวเชื่อม	53
3.12 ตำแหน่งของการกดวัดความแข็ง	53
3.13 เครื่องวัดความแข็งไมโครวิกเกอร์.....	54
3.14 การปรับปรับ load 300 กรัม.....	55
3.15 วัดความแข็งไมโครวิกเกอร์	55
3.16 การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบ โครงสร้าง	56
3.17 การขัดชิ้นงานตรวจสอบ โครงสร้างมหภาค.....	57
3.18 ขั้นตอนการขัดผ้าสักหลาด.....	57
3.19 ขั้นตอนการกัดกรดและการเป่าทำความสะอาดชิ้นงาน	58
3.20 การตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคและจุลภาค	59
4.1 ผิวหน้ารอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 80-120 แอมแปร์.....	61
4.2 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกลย.....	62
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟเชื่อมและขนาดต่างๆของรอยเชื่อม.....	63
4.4 โครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่งต่างๆของรอยเชื่อม.....	64
4.5 ชิ้นทดสอบแรงดึงเดือนตามมาตรฐาน ASTM D 1002-99 ที่กระแสเชื่อมต่างๆ	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6	ขึ้นทดสอบแรงดึงเดือนที่ผ่านการลดขนาด 68
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟเชื่อม มุมบิด และความต้านทานแรงดึงเดือน 69
4.8	การพังทลายของแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อมต่างกัน 70
4.9	การเปรียบเทียบโครงสร้างบริเวณลักษณะที่กระแสไฟเชื่อมต่างกัน 72
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟเชื่อมและระยะห่างของเคนไดร์ททุลียุมิ 73
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัดและกระแสไฟเชื่อมของขึ้นทดสอบ 74
4.12	ผิวหน้ารอยเชื่อมรอยต่อเกยที่เชื่อมด้วยมุมเชื่อม 30° , 45° และ 60° 75
4.13	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยที่เชื่อมด้วยมุมเชื่อม 76
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเชื่อมและขนาดต่างๆของแนวเชื่อมรอยต่อเกย 77
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเชื่อม แรงพังทลาย และมุมบิดของขึ้นทดสอบ 78
4.16	ตำแหน่งการพังทลายของขึ้นทดสอบความแข็งแรงแบบลดขนาด 79
4.17	การพังทลายของแนวเชื่อมที่มุมเชื่อมต่างๆ 80
4.18	การเปรียบเทียบโครงสร้างบริเวณลักษณะที่มุมเชื่อมต่างกัน 81
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และมุมเชื่อม 82
4.20	ผิวหน้ารอยเชื่อมรอยต่อเกยที่เชื่อมด้วยความเร็วเชื่อม 150 , 200 และ 250 mm/min 84
4.21	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวต่างๆ 85
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเชื่อมและขนาดต่างๆของแนวเชื่อมรอยต่อเกย 86
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อม แรงพังทลาย และมุมบิดของขึ้นทดสอบ 87
4.24	การพังทลายของแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ 88
4.25	การเปรียบเทียบโครงสร้างบริเวณลักษณะที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างกัน 90
4.26	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และความเร็วเดินแนวเชื่อม 91

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	กระแสนเชื่อม
BM	โลหะเดิม (Base Metal)
FL	เส้นหลอมละลาย (Fusion Line)
GMAW	กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding)
HAZ	บริเวณกระทบร้อน (Heat Affect Zone)
HV	หน่วยความแข็ง (Micro Hardness Viker)
kgf	แรงกด (กิโลกรัม)
mm	มิลลิเมตร
mm/min	ความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed)
N	แรง (นิวตัน)
SUS304	เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304
SS400	เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด 400
Weld	บริเวณแนวเชื่อม (Weld Metal)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มีบทบาทในการพัฒนาประเทศมากขึ้น เนื่องจากความต้องการที่ไม่หยุดยั้งของมนุษย์ ปัจจุบันได้มีนำโลหะหลายชนิดเข้ามาเป็นส่วนประกอบ ในกระบวนการผลิต เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล เครื่องมืออุปกรณ์หรือชิ้นส่วนต่างๆในกระบวนการผลิต ต้องทำการประกอบโดยกระบวนการเชื่อม ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันอาจส่งผลกระทบต่อเนื้อวัสดุ บางครั้งจึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้วัสดุต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ด้วยเหตุผลทางด้านความสามารถของวัสดุแต่ละประเภทมีข้อจำกัดในการทำงานที่ต่างกัันนั่นเอง เช่น ส่วนของสายพานหรือรางเลื่อน สำหรับลำเลียงอ้อยเข้าสู่กระบวนการตัดอ้อย ลูกหีบ และเตาอบไอน้ำ จำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion) ซึ่งโดยทั่วไปวิศวกรมักออกแบบและนำเอาเหล็กกล้าไร้สนิมเข้ามาใช้งานในส่วนต่างๆ [1] อย่างไรก็ตามบริเวณโครงสร้างที่รองรับน้ำหนักของสายพานลำเลียง หรือรางเลื่อนนั้นอาจไม่เหมาะสมในการออกแบบโครงสร้างโดยการใช้เหล็กกล้าไร้สนิมได้ เนื่องจากเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ระบุไว้ว่าเหล็กกล้าไร้สนิมมีราคาแพง ด้วยเหตุนี้วิศวกรจึงมักออกแบบให้โครงสร้างรับน้ำหนักสายพานลำเลียง หรือรางเลื่อนนั้นผลิตขึ้นจากเหล็กคาร์บอนที่ใช้ทำโครงสร้างทั่วไป ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่น และสามารถนำข้อดีของวัสดุแต่ละชนิดมาใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้น [2] รวมทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายให้แก่สถานประกอบการ

ถึงแม้ว่าโครงสร้างของวัสดุต่างชนิดกัน คือ เหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าคาร์บอนมีข้อดีในการออกแบบและการนำไปใช้งาน แต่ข้อเสียของโครงสร้างนี้ก็ปัญหาเช่นกัน คือ โครงสร้างที่ประกอบด้วยเหล็กสองชนิดนั้นเป็นโครงสร้างที่ยากต่อการเชื่อมเข้าด้วยกัน เพราะว่าเหล็กสองชนิดมีสมบัติทางกล กายภาพ และเคมีที่ต่างกัน ทำให้ยากต่อการทำให้เกิดแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ [3] อย่างไรก็ตามได้มีรายงานผลการทดลองเชื่อมที่แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าคาร์บอนเข้าด้วยกัน เช่น การเชื่อมต่อชนระหว่าง เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ด้วยการเชื่อมมิก [4] การเชื่อมต่อชนเหล็กกล้าผสม 9Cr-1Mo เหล็กกล้าไร้สนิม 316L [5] การเชื่อมอาร์กโลหะแก่สคลุมเหล็กกล้าไร้สนิม 316L และโลหะผสม 800 [6] หรือการเชื่อมมิกเหล็กกล้าไร้สนิม 403 และ 304L [7] เป็นต้น โดยงานวิจัยเหล่านี้ก็กล่าวถึงการศึกษาการเชื่อมรอยต่อชนเป็นหลัก เมื่อพิจารณาลักษณะ โครงสร้างของรางเลื่อนสำหรับการลำเลียงอ้อย กาก

อ้อย หรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตพบว่ารอยต่อส่วนใหญ่ที่มีการใช้งานในชิ้นส่วน โครงสร้างรางเลื่อนลำเลียงอ้อยนั้นเป็นลักษณะของรอยต่อเกลย ซึ่งเป็นรอยต่อที่มีความพิเศษกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรอยต่อชน กล่าวคือ การเชื่อมรอยต่อเกลยมีความยากกว่าการเชื่อมรอยต่อชน เนื่องจาก การเชื่อมต้องกระจายความร้อนและโลหะเชื่อมเข้าสู่แผ่นเหล็กทั้งสองเท่ากัน การพังทลายเกิดจากการ กระทำด้วยแรงเฉือนโดยตรงซึ่งเป็นลักษณะแรงที่วิกฤติกว่าแรงดึงดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควร พิจารณาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดโครงสร้างต่างๆ เหล่านี้ที่มีสมบัติตามต้องการ

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา การศึกษาและพัฒนาเพื่อทำให้รอยเชื่อมต่อเกลยมีความสมบูรณ์ สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลและในอุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงมีความจำเป็นที่ต้อง ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลต่อสมบัติทางกลระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้ สนิม ซึ่งเป็นรอยต่อที่มีปริมาณการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นนั้น โดยมีผลการศึกษาที่ผ่านการนำเสนอใน ปริมาณน้อย ดังนั้นหากมีการศึกษาหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดสมบัติของรอยต่อ เกลยมีประสิทธิภาพสูงสุดแล้ว คาดว่าจะทำให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิต น้ำตาลและอุตสาหกรรมต่างๆต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อโครงสร้างทางโลหะ วิทยา ของรอยต่อเกลยเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก SUS304

1.2.2 ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติทางกลของ รอยต่อเกลยเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก SUS304

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 วัสดุที่ใช้คือเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก SUS 304 หนา 3 มิลลิเมตร เชื่อมในตำแหน่งท่าราบ

1.3.2 ลวดเชื่อม ตามมาตรฐาน AWS A5.9 : ER309L

1.3.3 ใช้กระบวนการเชื่อมมิก (MIG) กระแส DC เชื่อมชิ้นงานทดลอง โดยประยุกต์ให้หัว เชื่อม MIG ประกอบเข้ากับตัวตัดแก๊สแบบเส้นตรงเพื่อให้เกิดการเชื่อมแบบอัตโนมัติ

1.3.4 แก๊สปกคลุม 95%Ar, 5%He

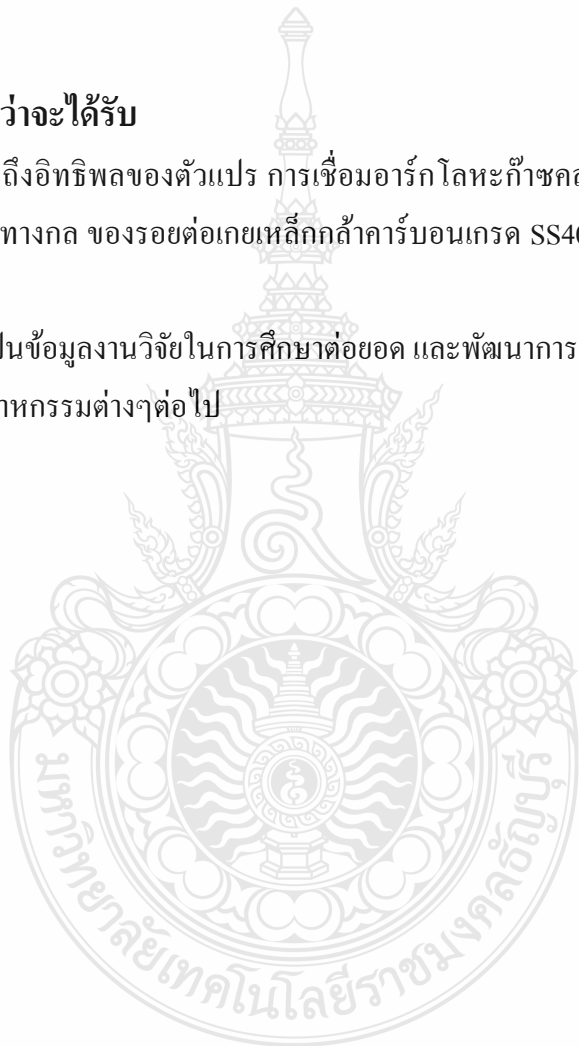
1.3.5 ตัวแปรในการเชื่อม 3 ตัวแปร คือ กระแสไฟ ,มุมเชื่อม และ ความเร็วเดินเชื่อม

- 1.3.6 กระแสไฟฟ้าเชื่อมใช้ 5 ระดับ คือ 80, 90, 100, 110 และ 120 A.
- 1.3.7 มุมในการเชื่อม 3 ระดับ คือ 30 , 45 , 60 องศา
- 1.3.8 ความเร็วในการเดินเชื่อม 3 ระดับ คือ 150, 200, และ 250 มม./นาที
- 1.3.9 ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา
- 1.3.10 ทดสอบสมบัติทางกลโดยการทดสอบความแข็งแรงดึงเหนือน
- 1.3.11 ทดสอบสมบัติทางกล โดยการทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.2 ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปร การเชื่อมอาร์กโลหะก๊าซคลุมที่มีผลต่อโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกล ของรอยต่อเกล็ดเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนนิติก SUS 304

1.4.2 เพื่อเป็นข้อมูลงานวิจัยในการศึกษาต่อยอด และพัฒนาการใช้งานในงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล หรือ อุตสาหกรรมต่างๆต่อไป



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาบทนี้จะขอกว่าถึง วัสดุที่ใช้การทดลอง ความหมายของการเชื่อมโลหะ การเชื่อมโลหะแก๊สคลุม ลวดเชื่อม ตัวแปรการเชื่อม การโอนถ่ายน้ำโลหะ การทดสอบแรงดึงเหนือน การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส การวิเคราะห์โครงสร้างและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 วัสดุที่ใช้การทดลอง

2.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอน [8] แผนภาพสมดุลเหล็ก – เหล็กกล้าคาร์ไบด์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 บอกได้ว่าเหล็กกล้า (Steel) คือ โลหะที่ผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 2.11% ขณะที่เหล็กหล่อ คือ โลหะที่ผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนเกิน 2.11% ในเหล็กกล้าสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ เหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.77% เหล็กกล้ายูเทคตอยที่มีปริมาณคาร์บอน 0.77% และเหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคตอยที่มีปริมาณคาร์บอน 0.77-2.11% ในแผนภาพสมดุลเหล็ก – เหล็กคาร์ไบด์ช่วงของเหล็กกล้าที่มีเส้นอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่สำคัญคือ

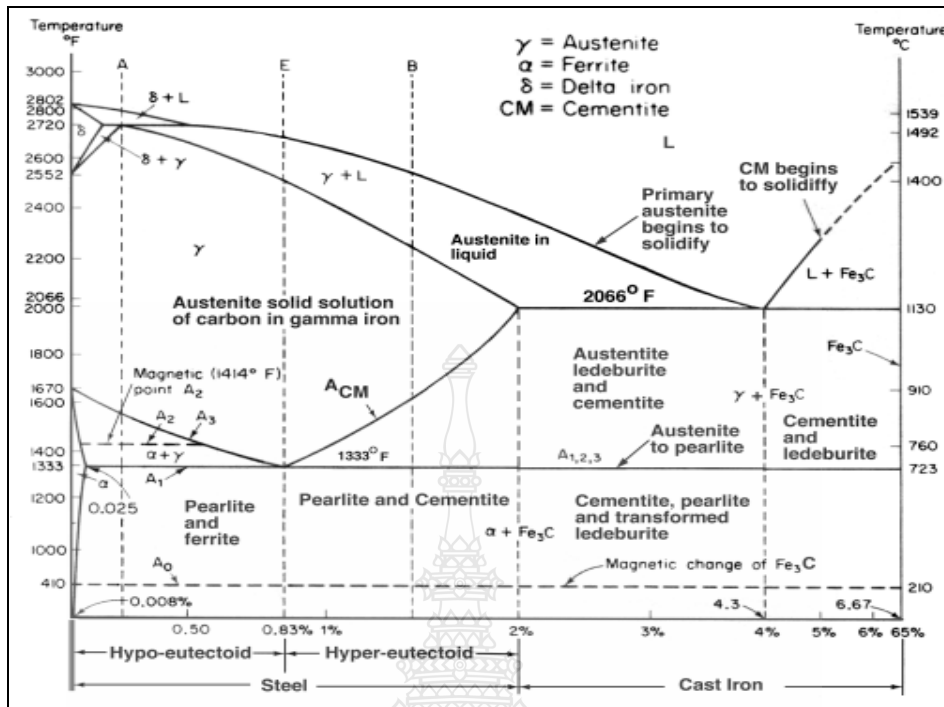
เส้น A_0 คือ เส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแม่เหล็กของซีเมนไตท์จากพาราแมเนติก (Paramagnetic) เป็นเฟอร์โรแมเนติก (Ferromagnetic) เมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเกิดที่อุณหภูมิประมาณ $210\text{ }^{\circ}\text{C}$

เส้น A_1 เส้นปฏิกิริยายูเทคตอย จุดตัดระหว่างเส้นปฏิกิริยายูเทคตอยและส่วนผสมยูเทคตอย คือ จุดยูเทคตอย ซึ่งมีคาร์บอนประมาณ 0.77%

เส้น A_2 คือ เส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแม่เหล็กของเฟอร์ไรท์จากพาราแมเนติก (Paramagnetic) เป็นเฟอร์โรแมเนติก (Ferromagnetic) เมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเกิดที่อุณหภูมิประมาณ $760\text{ }^{\circ}\text{C}$

เส้น A_3 คือ เส้นอุณหภูมิช่วง $727\text{-}910\text{ }^{\circ}\text{C}$ เส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงเฟสระหว่างออสเทนไนท์เป็นเฟอร์ไรท์ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

เส้น A_{cm} คือ เส้นอุณหภูมิช่วง $727\text{-}1146\text{ }^{\circ}\text{C}$ คือเส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างออสเทนไนท์เป็นซีเมนไตท์ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2.1 แผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบต์ [8]

เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณไม่เกิน 2% และประกอบไปด้วยซิลิกอนไม่เกิน 0.6% และแมงกานีสไม่เกิน 1.65% หรือเหล็กกล้าดีคาบูไรซ์ (Decarburized steel) ที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.05% เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำพิเศษ (Ultra low carbon steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณไม่เกิน 0.03% และซิลิกอนและแมงกานีสเล็กน้อย เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel) คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลักมีปริมาณ 0.04 – 0.15% เป็นวัสดุในการทำตัวถังและโครงสร้างรถยนต์และการใช้งานอื่นๆ มากมาย ในการใช้งานได้จำแนกเหล็กกล้าคาร์บอนออกเป็น 3 ชนิด ตามส่วนผสมของคาร์บอนที่มีอยู่ในเนื้อเหล็ก เพราะจากสมบัติที่เปลี่ยนไปตามปริมาณของคาร์บอนที่ผสมในเนื้อเหล็กทำให้ในการนำไปใช้งานมีความแตกต่างกันตามสมบัติของเหล็กที่เกิดขึ้น โดยชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนทั้ง 3 ชนิดมีดังนี้

- เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเหล็ก Mild Steel
- เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง
- เหล็กกล้าคาร์บอนสูง

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า SS 400

มาตรฐาน	ส่วนผสมทางเคมี (ไม่เกินร้อยละ)			
	C	Mn	P	S
SS – 400	0.051	0.203	0.007	0.008

ที่มา: ตารางส่วนผสมทางเคมี

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า SS 400 [9]

Density (kg/m ³)	7860
Young's Modulus (GPa)	190-210
Tensile Strength (MPa)	400 – 510
Yield Strength (MPa)	205-245
Poisson's ratio	0.26
Brinell Hardness (HB)	160

2.1.2 เหล็กกล้าไร้สนิม [10]

เป็นเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ มีส่วนผสมของโครเมียมอย่างน้อย 10.5% พบว่าการเติมนิเกิล โมลิบดีนัม ไททาเนียม ไนโอเบียม ทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการเกิดสนิมได้ จุดประสงค์หลักในการเติมโครเมียม เพื่อป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion) ในเหล็กกล้า โครเมียมในเหล็กจะก่อให้เกิดฟิล์มบางๆ ของโครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) เคลือบที่ผิวป้องกันไม่ให้ออกซิเจนสัมผัสกับผิวของเหล็กจึงไม่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนขึ้นนอกจากการเติมโครเมียมสูงทำให้ความแข็งแรงและความเหนียวสูงขึ้นเนื่องจากแรงดึงเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.3 ส่วนผสมทางเคมีสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม [10]

ชนิด	ส่วนผสมทางเคมี (%)					ความแข็งแรงสูงสุด (MPa)	% การยืดตัว
	Cr	Ni	C	Mn	อื่นๆ		
เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก							
301	17.0	7.0	0.15	2.0	-	620	40
302	18.0	8.0	0.15	2.0	-	515	40
304	18.0	8.0	0.08	2.0	-	515	40

ตารางที่ 2.3 ส่วนผสมทางเคมีสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม (ต่อ)

309	23.0	13.0	0.15	2.0	-	515	
316	17.0	12.0	0.08	2.0	2.5	515	
เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก							
405	0.08	-	0.08	-	1	415	20
403	17.0	-	0.12	-	1	415	20
เหล็กกล้าไร้สนิมมาเทนซิกติก							
403	12	-	0.15	1	-	485	20
เหล็กกล้าไร้สนิมมาเทนซิกติก							
403 ^b	12	-	0.15	1	-	825	12
416	13	-	0.15	1	-	485	20
416 ^b	13	-	0.15	1	-	965	10
404	17	-	0.15	1	-	725	20

หมายเหตุ ^b คือ การอบชุบด้วยความร้อน

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304

Density (kg/m ³)	8000
Young's Modulus (GPa)	190
Tensile Strength (Mpa)	520
Yield Strength (Mpa)	240
Poisson's ratio	0.27-0.30
Brinell Hardness (HB)	88

1) ประเภทของโลหะผสม

เบอร์ 304 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมพื้นฐานที่ใช้ในการตกแต่งเพื่อความสวยงาม เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดที่ง่ายต่อการขึ้นรูปและป้องกันการเกิดสนิมได้เป็นอย่างดี

เบอร์ 304L เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเบอร์ 304 ที่ใช้คาร์บอนเป็นส่วนประกอบน้อยลง และใช้ในการเชื่อมอย่างกว้างขวาง

เบอร์ 316 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ออกแบบให้มาป้องกันการเกิดสนิมได้เป็นอย่างดี ใช้ในงานอุตสาหกรรมหนักและสถานที่ใกล้ทะเล [11]

เบอร์ 310L เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเบอร์ 316 ที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนน้อย

เบอร์ 430 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้โครเมียมเป็นส่วนประกอบ 100% และมีโอกาสเกิดสนิมน้อยกว่าเบอร์ 300 พวกนี้นิยมใช้ตกแต่งภายใน [11]

2) สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดวัสดุอื่นในส่วน ของสมบัติที่เกี่ยวกับความร้อนความสามารถทนความร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม และมีข้อสังเกตอยู่ 3 ประการคือ

การที่มีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้มีอัตราความคืบคืบ เมื่อเปรียบเทียบกับเซรามิกที่ อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส

การนำความร้อนระดับปานกลาง ทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมเหมาะที่จะใช้ในงานที่ต้อง ทนความร้อน (คอนเทนเนอร์) หรือต้องการสมบัติการนำความร้อนที่ดี (เครื่องถ่ายเทความร้อน)

การมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวระดับปานกลาง จึงสามารถใช้ความยาวที่หลายๆได้ โดยใช้ตัวเชื่อมน้อย (เช่น ในการทำหลังคา) [11]

3) สมบัติเชิงกล

เหล็กกล้าไร้สนิมโดยทั่วไปจะมีส่วนผสมของเหล็กประมาณ 70-80% จึงทำให้มี สมบัติของเหล็กที่สำคัญ 2 ประการคือ ความแข็งและความแกร่ง จะเห็นว่าพลาสติกซึ่งเป็นวัสดุที่นิยม ใช้กันอย่างกว้างขวางมีความแข็งแรง และ โมดูลัส ความยืดหยุ่นต่ำ ส่วนเซรามิกมีความแข็งแรงและ ความเหนียวสูงแต่มีความแกร่งหรือความสามารถรับแรงกระแทกโดยไม่แตกหักต่ำ เหล็กกล้าไร้ สนิมให้ค่าที่เป็นกลางของทั้งความแข็งแรง ความแกร่ง และความเหนียว เนื่องจากมีส่วนผสมของธาตุ เหล็กอยู่มาก

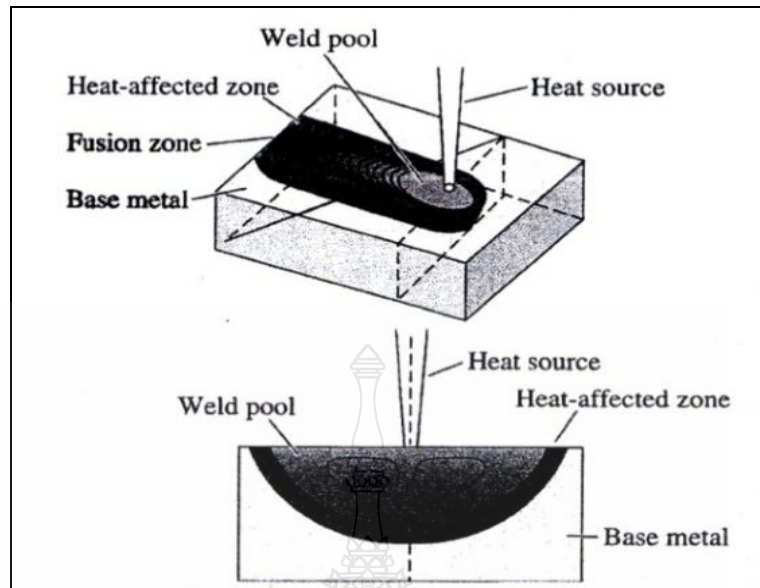
โลหะทุกชนิดโดยทั่วไปจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นฟิล์มออกไซด์ บนผิวโลหะหรือออกไซด์ที่เกิดบนผิวเหล็ก โดยทั่วไปจะทำปฏิกิริยาออกไซด์ทำให้เกิดสภาพผิวเหล็ก ผุกร่อนที่เราเรียกว่า เป็นสนิม แต่เหล็กกล้าไร้สนิมมีโครเมียมผสมอยู่ 10.5% ขึ้นไป ทำให้สมบัติฟิล์ม ออกไซด์บนผิวเปลี่ยนแปลงไปกลายเป็นฟิล์มปกป้อง หรือพาสซีฟเลเยอร์ (Passive Layer) ที่เหมือน เกราะป้องกันการกัดกร่อน ซึ่งปรากฏการณ์ว่า พาสซีวิตี (Passivity) ฟิล์มป้องกันนี้จะมีขนาดบางมาก (สำหรับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมบางขนาด 1 มิลลิเมตร ฟิล์มหรือพาสซีฟเลเยอร์นี้ จะมีความบางเท่ากับ วากระดาษ 1 แผ่นบนตึกสูง 20 ชั้น) และมองตาเปล่าไม่เห็นฟิล์มนี้จะเกาะติดแน่น และทำหน้าที่

ป้องกันเหล็กกล้าไร้สนิม จากการกัดกร่อนทั้งมวลหากนำไปผลิตแปรรูปหรือใช้งานในสภาพที่เหมาะสมเมื่อเกิดมีการขีดข่วน พัลัมปอกป้องกันนี้จะสร้างขึ้นใหม่ได้เองตลอดเวลา [11]

ความคงทนของพาสซีฟเลเยอร์ เป็นปัจจัยหลักของความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาพการกัดกร่อนอันได้แก่ ความรุนแรง ของปฏิกิริยาออกซิไดซ์ ความเป็นกรดปริมาณสารละลายคลอไรด์ และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มปริมาณโครเมียมจะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม การเติมนิกเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนโดยทั่วไป ให้ทนสภาวะการกัดกร่อนรุนแรงได้ ส่วนโมลิบดีนัมจะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนเฉพาะที่ เช่นการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) [11]

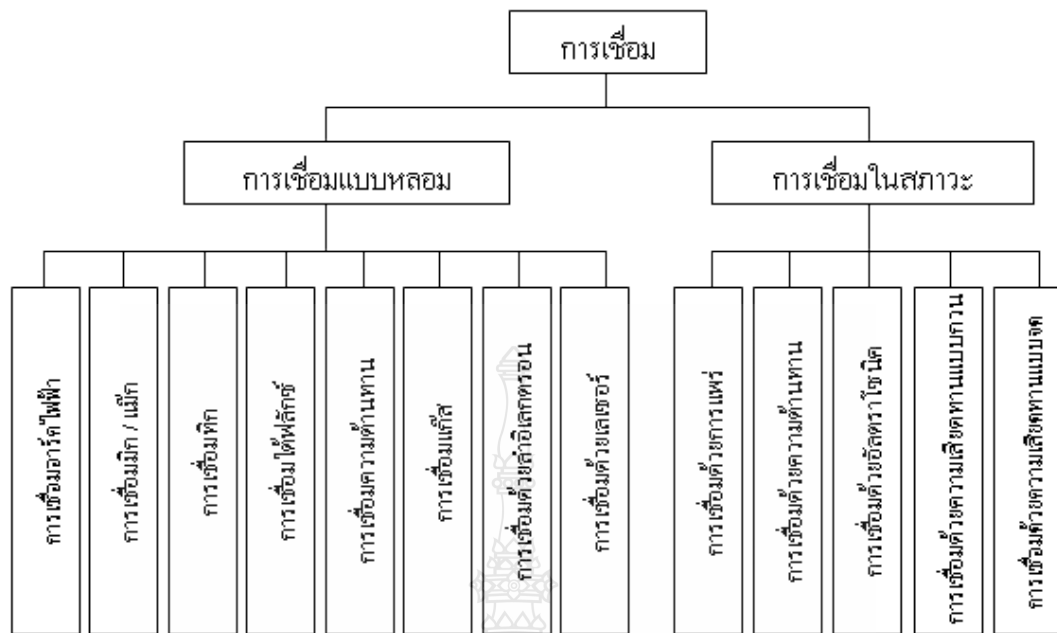
2.2 ความหมายของการเชื่อมโลหะ [12]

การเชื่อมโลหะคือ การต่อชิ้นโลหะเข้าด้วยกัน โดยอาศัยความร้อนในการหลอมละลายชิ้นงานรอยต่อระหว่างโลหะสองชิ้นให้หลอมละลายด้วยกันนั้น อาจเติมโลหะผสมบางตัวในลักษณะที่เรียกว่าลวดเชื่อม (Filler Metal) ลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติบางตัวในแนวเชื่อมให้ดีขึ้น ตัวอย่างการเชื่อมโลหะอย่างง่ายแสดงในรูปที่ 2.2 ความร้อนจากแหล่งจากความร้อน (Heat Source) ถูกส่งผ่านไปบริเวณรอยต่อระหว่างโลหะสองแผ่น (Base metals) ทำให้เกิดการหลอมละลายรวมกันที่บริเวณบ่อหลอมละลาย (Weld - Pool) และเมื่อเคลื่อนที่แหล่งให้ความร้อนไปตามรอยต่อ จะทำให้เกิดแนวเชื่อมขึ้น โดยบริเวณบ่อหลอมละลายหรือพื้นที่หลอมละลาย (Fusion Zone) นี้จะก่อให้เกิดการแข็งตัวเป็นแนวเชื่อมที่มีโครงสร้างแตกต่างจากโลหะหลัก (Base Metal) ในการเชื่อมพื้นที่สำคัญอีกพื้นที่ที่มีความสำคัญ คือ พื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (Heat Affected Zone) พื้นที่นี้อยู่ถัดออกไปจากพื้นที่การหลอมละลาย เป็นพื้นที่ๆ ไม่มีการหลอมละลาย แต่ความร้อนที่เกิดจากพื้นที่หลอมละลายทำให้โครงสร้างนี้เกิดการเปลี่ยนแปลง และส่งผลให้สมบัติของโลหะเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.2 หลักการพื้นฐานในการเชื่อมโลหะ [8]

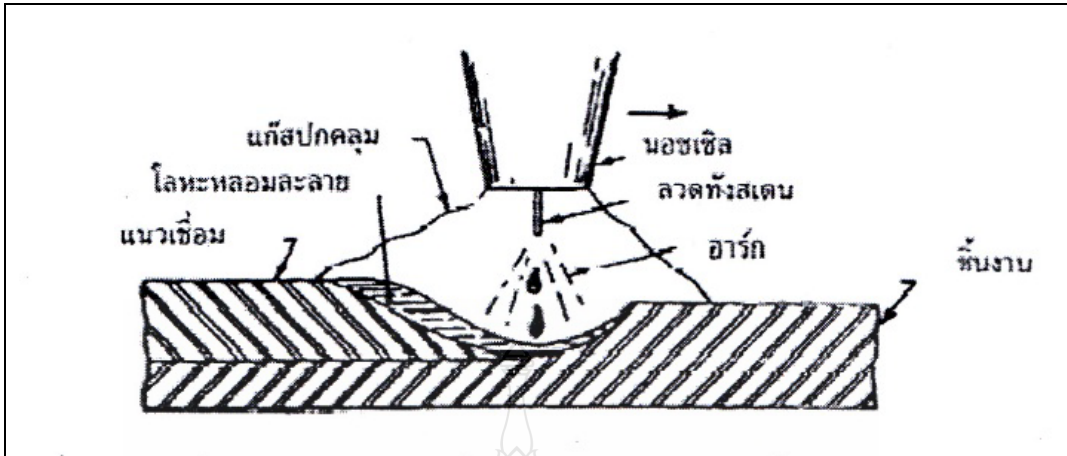
เทคโนโลยีในการเชื่อมในปัจจุบันได้แบ่งการเชื่อมออกเป็น 2 กลุ่ม ดังรูปที่ 2.3 คือ การเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion Welding) และการเชื่อมในสถานะของแข็ง (Solid State Welding) การเชื่อมแบบหลอมละลายหรือบางครั้งเรียกว่า การเชื่อมแบบหลอมละลายแบบดั้งเดิม (Conventional Fusion Welding) ความหมายของการเชื่อมแบบหลอมละลายนี้มีลักษณะเดียวกันดังรูปที่ 2.3 การเชื่อมแบบหลอมละลายสามารถแบ่งออกได้หลายวิธี ขณะที่การเชื่อมในสถานะของแข็ง คือ การเชื่อมในสถานะที่โลหะหนักไม่เกิดการหลอมละลาย แต่อาศัยความร้อนที่เกิดจากแรงทางกลทำให้โลหะเกิดการเชื่อมประสานกัน



รูปที่ 2.3 รูปแบบของกระบวนการเชื่อม [12]

2.3 กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม [13]

กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW) เป็นกระบวนการเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมเส้นเปลือยขนาดเล็กจากม้วนลวดซึ่งจะถูกป้อนผ่านหัวเชื่อม (Torch or Welding Gun) ออกมาอย่างต่อเนื่องผ่านท่อนำกระแสเชื่อม (Contact Tip) ลวดเชื่อมจะสัมผัสกับผิวท่อนำกระแสทำให้กระแสเชื่อมไหลเข้าสู่ลวดเชื่อม เมื่อปลายลวดเชื่อมแตะกับผิวโลหะชิ้นงานจะเกิดการอาร์กขึ้น ความร้อนจากการอาร์กจะหลอมผิวโลหะชิ้นงานและปลายลวดเชื่อมจะหลอมเป็นหยดเดิมเข้าไปในบ่อหลอมเหลวของรอยเชื่อม ในขณะเดียวกันแก๊สจากท่อบรรจุไหลทางท่อจ่ายสู่หัวฉีดพุ่งออกมาสู่บ่อหลอมเหลว เพื่อทำหน้าที่เป็นม่านป้องกันไม่ให้ออกซิเจนหรือแก๊สอื่นในบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับเปลวอาร์คและโลหะที่กำลังหลอมเหลวแก๊สปกคลุมที่เลือกใช้ได้แก่ (Inert Gas) แอกทีฟแก๊ส (Active Gas) อันรีแอคทีฟแก๊ส (Unreactive Gas) และแก๊สผสม (Mix Gas)



รูปที่ 2.4 การอาร์กของกระบวนการเชื่อมโลหะแก๊สคลุม [13]

แสดงหลักการอาร์กในกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ความร้อนที่หลอมละลาย ลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟไหลผ่านกลุ่มอะตอมของแก๊สที่มีประจุไฟฟ้า (Ionized Gas) โมเลกุลและอะตอมของแก๊สจะแตกตัวออกทำให้มีสภาพไม่เป็นกลาง (Ionized) เพราะ สูญเสียอิเล็กตรอนไปจากประจุไฟฟ้าบวก (Positive Charge) อีออนแก๊สที่เป็นบวก จะไหลจาก ขั้วบวกไปขั้วลบ ส่วนอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปขั้วบวก ปริมาณของความร้อนประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ จะถูกส่งผ่านโดยอิเล็กตรอนและยังคงผ่านอีออนที่เป็นบวก (Positive Ions) ความร้อนจากการอาร์กจะหลอมละลายโลหะชิ้นงานและลวดเชื่อม ปลายลวดเชื่อมที่หลอมเหลวจะถูกถ่ายโอน (Transfer) ผ่านการอาร์กเข้าสู่บ่อหลอมเหลวบริเวณจะทบร้อน และลวดเชื่อมจะถูกปกคลุมให้พ้นจาก บรรยากาศรอบนอกโดยแก๊สที่ไหลผ่านออกมาจากหัวฉีด ปริมาณความร้อนที่ได้จากการอาร์กของ กระบวนการนี้จะสูงกว่ากระบวนการอาร์กวิธีอื่น

2.4 ลวดเชื่อมมิก

2.4.1 ลวดเชื่อม CO₂ [14]

ลวดเชื่อมซีโอทู หรือลวดเชื่อมมิก เป็นลวดเชื่อมเปลือย สำหรับงานเชื่อมที่ต้องการ ความต่อเนื่อง ให้อัตราการเติมเนื้อโลหะสูง โดยมีแก๊สซีโอทูหรือแก๊สซีโอทูผสมกับแก๊สชนิดอื่น ปกคลุมแนวเชื่อมเพื่อให้แนวเชื่อมเป็นเกล็ดงาสวย อีกทั้งการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมมิกนี้ ยังไม่ต้องเสียเวลา เคาะชีสเล็กเหมือนลวดเชื่อมไฟฟ้า (ลวดเชื่อมรูป) ลวดเชื่อม MIG เริ่มเข้ามามีบทบาทใน อุตสาหกรรมเมืองไทยมากขึ้น เนื่องจากความได้เปรียบดังกล่าว ปัจจุบันราคาลวดเชื่อมมิกจึงลดลง ค่อนข้างมาก ขนาดลวดเชื่อมมิกที่นิยมใช้กันมากได้แก่ ขนาด 0.8, 0.9, 1.0, 1.2, 1.6 มิลลิเมตร ลวด

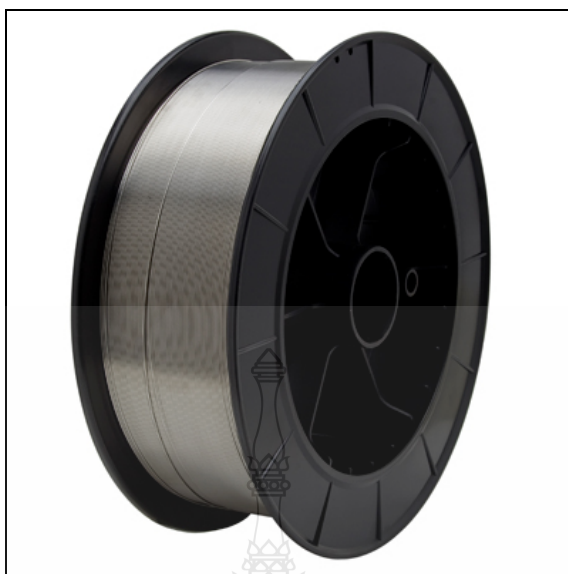
เชื่อมมิกแบ่งตามลักษณะงานเชื่อมได้ดังนี้ ลวดเชื่อมมิกสำหรับงานเหล็ก ลวดเชื่อมมิกสำหรับงานสแตนเลส ลวดเชื่อมมิกสำหรับงานอลูมิเนียม ลวดเชื่อมซีไอทู สำหรับงานเหล็ก AWS ER70s เป็นลวดเชื่อมMIG สำหรับงานเหล็กเหนียวและเหล็กทนแรงดึงสูง มีความแข็งแรงประมาณ 70,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เทียบเท่ากับลวดเชื่อมไฟฟ้า



รูปที่ 2.5 ลวดเชื่อมซีไอทู หรือลวดเชื่อมมิก [14]

2.4.2 ลวดเชื่อมซีไอทูสำหรับงานสแตนเลส [14]

ลวดเชื่อมซีไอทูสำหรับงานเชื่อมสแตนเลส เป็นลวดมิกสำหรับงานเชื่อมสแตนเลสทุกเกรด เช่นลวดเชื่อม MIG เกรด308L (เหมาะกับอุตสาหกรรมอาหาร,งานเชื่อมท่อ และบอยเลอร์), ลวดเชื่อม MIG เกรด 309L (เหมาะกับการเชื่อมต่อเหล็กต่างชนิดเดียวกัน เช่นเหล็กติดกับสแตนเลส) และลวดเชื่อม MIG เกรด 316L (เหมาะกับอุตสาหกรรมเคมี, อาหาร, ปิโตรเคมีและอุตสาหกรรมอื่น) เชื่อมได้ดีในทุกท่าเชื่อม และมีส่วนผสมของซิลิกอนอยู่สูง ที่สามารถช่วยให้น้ำโลหะไหลลื่นยิ่งขึ้น จึงสามารถควบคุมความสวยงามของแนวเชื่อมเป็นอย่างดี บรรจุม้วนละตั้งแต่ 12-15 กิโลกรัม



รูปที่ 2.6 ลวดเชื่อมซีไอทูลูสำหรับงานสแตนเลส [14]

ตารางที่ 2.5 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม ER 309L

C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	N	Cu
0.025	24.5	13.0	0.35	1.88	0.40	0.02	0.01	0.10	0.35

ตารางที่ 2.6 ความสามารถทางกลของลวดเชื่อม ER 309L

TENSILE STRENGTH	85,200 PSI
YIELD STRENGTH	59,500 PSI
ELONGATION MIN.	36%
IMPACT AT ROOM TEMPERATURE	100 FT-LB

2.5 ตัวแปรการเชื่อม [15]

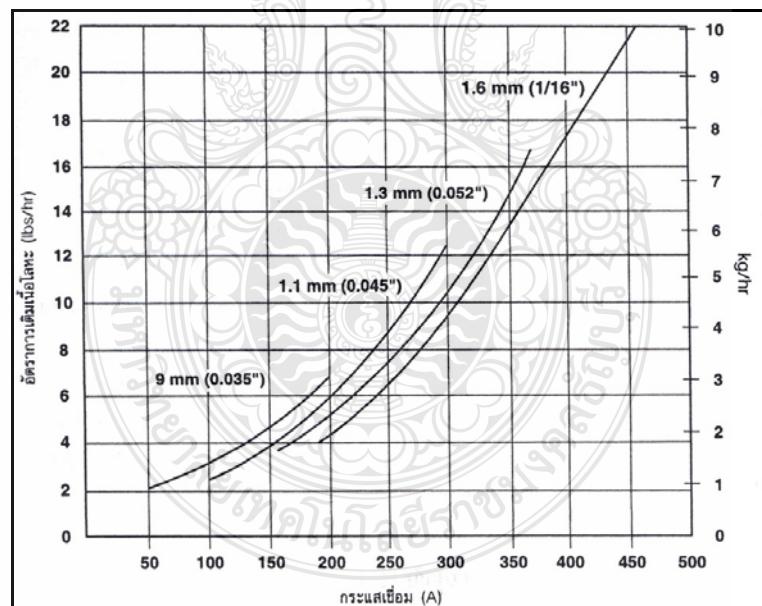
กล่าวว่าตัวแปรการเชื่อมมักจะเกี่ยวข้องกับการควบคุมกระบวนการเชื่อมและคุณภาพงานเชื่อม การเลือกตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมจะช่วยให้ช่างเชื่อมปฏิบัติการเชื่อมได้ง่ายและมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติงานเชื่อม ในกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมที่ป้อนอย่างต่อเนื่องจะปรับแต่งแรงดันเชื่อมที่ป้อนด้านหน้าเครื่องเชื่อม ส่วนกระแสเชื่อมจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราเร็วของการป้อน ลวดขณะที่กำลังดำเนินการเชื่อมอยู่ช่างเชื่อมก็ยังสามารถปรับแต่งองค์ประกอบต่างๆ ได้อีกเช่น มุม

หัวเชื่อมหรือหรือความสูงต่ำของระยะ โพล์ลวด ถ้าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมทั้งหมดสมดุลกัน การอาร์ก็จะสม่ำเสมอและเนื้อโลหะเชื่อมที่เติมลงสู่รอยต่อก็จะมีคุณภาพสูงตัวแปรการเชื่อมหลักที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมมีอยู่สามชนิดคือ

2.5.1 ตัวแปรเลือกขั้นต้น (Preselected Variables)

ตัวแปรนี้จะถูกกำหนดขึ้นมาก่อนการเชื่อมโดยมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการเลือกตัวแปรได้แก่ ชนิดโลหะชิ้นงาน ความหนา ตำแหน่งแนวเชื่อม อัตราการเติมโลหะและคุณสมบัติทางกลที่ต้องการ ตัวแปรเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไม่ได้ขณะกำลังการเชื่อม ตัวแปรขั้นต้นประกอบด้วย

2.5.1.1 ขนาดลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเชื่อมจะมีผลต่อความกว้างของตะเข็บเชื่อม ระยะซึมลึกและอัตราเร็วของการเชื่อม ลวดเชื่อมขนาดใหญ่จะใช้กระแสสูงและอัตราการเติมเนื้อโลหะมากแต่อัตราการหลวมเหลวของลวดเชื่อมจะเป็นฟังก์ชันกับความหนาแน่นของกระแส ถ้าลวดเชื่อมขนาดใหญ่และลวดเชื่อมขนาดเล็กใช้กระแสเชื่อมเดียวกัน ลวดเชื่อมขนาดเล็กจะมีอัตราการเติมเนื้อโลหะมากกว่า เพราะว่ามี ความหนาแน่นของกระแสสูงกว่าจึงเกิดความร้อนเข้มข้นมากกว่า แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 อัตราการเติมเนื้อโลหะของลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน แบ่งตามขนาดลวดเชื่อมและแก๊สคลุมที่เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ [15]

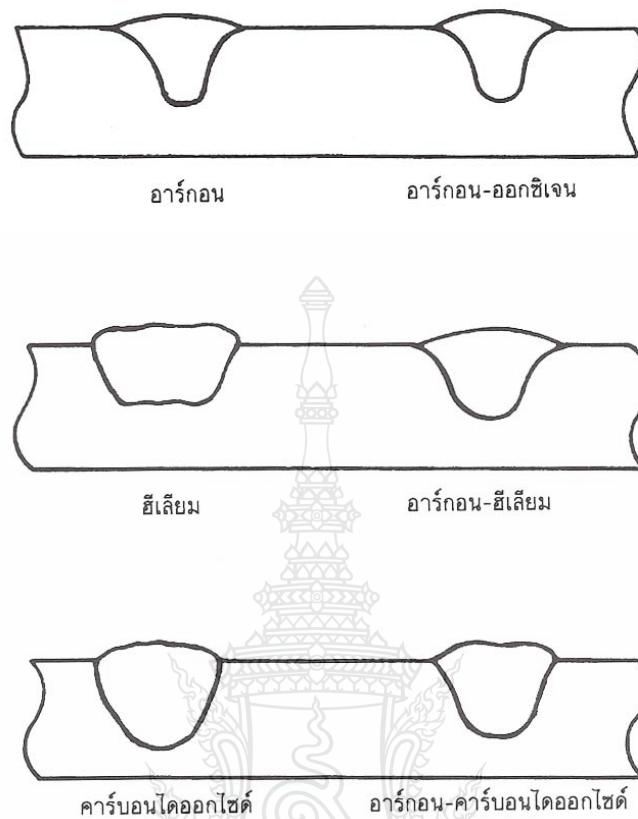
2.5.1.2 ชนิดแก๊สคลุม กรรมวิธีการเชื่อมมีก จะมีการใช้แก๊สเฉื่อย (Inert Gas) เป็นแก๊สปกคลุมเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และควบคุมคุณภาพของรอยเชื่อม อากาศที่ปกคลุมบริเวณอาร์ก จะถูกแทนที่ด้วยแก๊สที่ใช้ปกคลุม เพื่อป้องกันไม่ให้บ่อหลอมเหลวเกิดการปนเปื้อน ซึ่งมีผลทำให้สมบัติด้านความเหนียว (Ductility) และความแข็งแรง (Strength) ของรอยเชื่อมลดลง และเป็นเหตุให้รอยเชื่อมเกิดการแตกร้าวได้ แก๊สผสมที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมได้แก่

1) ฮีเลียม-อาร์กอน แก๊สผสมนี้จะให้คุณสมบัติในการเชื่อมด้วยแก๊สเฉื่อยอย่างเต็มที่ โดยฮีเลียมให้คุณสมบัติด้านการซึมลึกดี ส่วนอาร์กอนให้การถ่ายโอนน้ำโลหะแบบละอองและการอาร์กมีความเสถียรใกล้เคียงกับการใช้แก๊สอาร์กอนบริสุทธิ์คลุมรอยเชื่อม จึงนำเอาแก๊สทั้งสองชนิดมาผสมกันเพื่อให้ได้ผลดีต่อการเชื่อมมากที่สุด ตัวอย่างของอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรมีดังต่อไปนี้ He 80 % - Ar 20 % และอาจสูงถึง He 50 % - Ar 50 % แล้วแต่ตามความเหมาะสมของการใช้งาน ส่วน He 65 % - Ar 35 % นิยมใช้ในการเชื่อมอะลูมิเนียม เพราะช่วยลดครุพุนในเนื้อโลหะงานเชื่อมได้

2) อาร์กอน-ออกซิเจน การผสมออกซิเจนจำนวนเล็กน้อยกับแก๊สอาร์กอน จะทำให้เกิดออกไซด์ซึ่งแต่ไม่มากนัก และลวดเชื่อมที่ใช้ต้องมีธาตุคือออกไซด์เซอร์ เพื่อขจัดออกซิเจนออกจากบ่อหลอมเหลวเพื่อป้องกันการพุนของเนื้อโลหะงานเชื่อม การใช้แก๊สอาร์กอนบริสุทธิ์จะทำให้คุณสมบัติการอาร์กที่ไม่ดีแต่การผสมออกซิเจนจำนวนเล็กน้อย (ออกซิเจน 1 ถึง 5 % ของปริมาตรแก๊สผสม) จะช่วยให้การอาร์กมีความเสถียรมากขึ้นลดประกายโลหะลงตะเข็บแนวเชื่อมมีลักษณะที่ดีขึ้น

3) อาร์กอน-คาร์บอนไดออกไซด์ การผสมคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปแก๊สอาร์กอน มีจุดประสงค์เช่นเดียวกับการผสมอาร์กอน-ออกซิเจน การผสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปจะทำให้มีความเสถียร การถ่ายโอนน้ำโลหะจากลวดเชื่อมไปยังชิ้นงานได้ดี มีแรงเกาะยึดบ่อหลอมเหลวดี และลดประกายโลหะกระเด็นเมื่อเชื่อมโลหะ ถ้าในการเชื่อมเหล็กจะให้คุณสมบัติการอาร์กที่ดีขณะเชื่อมบ่อหลอมเหลวจะขยายออกไปถึงขอบรอยต่อ จึงไม่ทำให้เกิดการกินลึกที่ขอบแนวเชื่อม

4) ฮีเลียม-อาร์กอน-คาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สชนิดนี้จะให้แรงเกาะยึดของบ่อหลอมเหลวดีกว่าและการถ่ายโอนน้ำโลหะเป็นแบบลัดวงจร การผสมควรให้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำเพราะคาร์บอนจะเป็นตัวลดความเหนียวในงานเชื่อม ลักษณะตะเข็บเชื่อมที่ได้จากที่ได้จะแบบราบ ซึ่งผลดีคือไม่ต้องทำการเจียรระไนตกแต่งตะเข็บแนวเชื่อมมาก จึงเหมาะกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมหรือเชื่อมท่อ แสดงไว้ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะหน้าตัดรอยเชื่อมและคุณสมบัติการซึมลึกเมื่อใช้แก๊สชนิดต่างๆ [15]

2.5.2 ตัวแปรปรับปฐมภูมิ (Primary Adjustable Variables)

ตัวแปรปรับปฐมภูมิเป็นตัวแปรที่ใช้ควบคุมกระบวนการเชื่อมหลังจากการเลือกตัวแปรขั้นต้นแล้ว ตัวแปรนี้จะควบคุมระยะการซึมลึก ความกว้างตะเข็บเชื่อม ความสูงตะเข็บเชื่อม ความเสถียรของการอาร์ก อัตราการเติมโลหะ ความเรียบของตะเข็บเชื่อมและการเกิดประกายโลหะ ตัวแปรปรับปฐมภูมิเป็นค่าเฉพาะที่ต้องปรับก่อนปฏิบัติการเชื่อมและยังสามารถปรับแต่งได้อย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดในขณะที่ทำการเชื่อมอยู่ ตัวแปรปฐมภูมิประกอบด้วย

2.5.2.1 กระแสเชื่อม จำนวนกระแสเชื่อมที่ใช้จะมีผลกระทบต่ออัตราการเติมเนื้อโลหะ ขนาดและรูปร่างของตะเข็บเชื่อมและระยะซึมลึกของแนวเชื่อม ในระดับแรงดันคงที่ กระแสเชื่อมจะถูกควบคุมด้วยปุ่มปรับอัตราการป้อนลวดเชื่อมชุดควบคุมการป้อนลวดเมื่ออัตราเร็วในการป้อนลวดเพิ่มขึ้นกระแสเชื่อมก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่ถ้าเป็นระบบกระแสคงที่กระแสเชื่อมจะตั้งที่ปุ่มด้านหน้าเครื่อง อัตราไหลอมของลวดเชื่อมจะเปลี่ยนเมื่อระดับกระแสเพิ่มจากเหตุผล

ดังกล่าวปลายลวดเชื่อมที่ไหลออกมาจากท่อนำกระแสจึงมีความต้านทานต่อความร้อน โดยไม่หลอมย้อนกลับเข้าไปในท่อนำกระแส ถ้าปริมาณกระแสเชื่อมที่ใช้กับลวดเชื่อมมีค่าน้อยเกินไป เป็นผลให้การถ่ายโอนโลหะจากลวดเชื่อมเข้าสู่รอยเชื่อมช้า ทำให้ระยะซึมลึกของรอยเชื่อมและการหลอมของโลหะชิ้นงานไม่ดี รอยเชื่อมขรุขระและแข็งมาก ถ้าใช้กระแสสูงเกินไประยะซึมลึกของตะเข็บเชื่อมจะลึกมากอาจเกิดรอยหลอมทะลุที่อีกด้านหนึ่งของชิ้นงานและรอยกินลึกที่ข้างตะเข็บลักษณะของตะเข็บไม่สวยงาม

2.5.2.2 แรงดันอาร์ค หรือแรงดันเชื่อมหาได้จากความยาวอาร์คระหว่างปลายลวดเชื่อมกับชิ้นงานเชื่อมในระบบแรงที่คงที่ซึ่งประจันแรงดันที่ป้อนด้านหน้าเครื่องเชื่อม และเครื่องเชื่อมจะรักษาแรงดันให้คงที่ตามจำนวนที่ตั้งไว้ซึ่งยังคงให้ความยาวอาร์คที่แน่นอน แรงดันอาร์คที่ต้องการใช้งานขึ้นอยู่กับขนาดลวดเชื่อม ชนิดแก๊ส ตำแหน่งท่าเชื่อม ชนิดรอยต่อและความหนาชิ้นงานเชื่อม

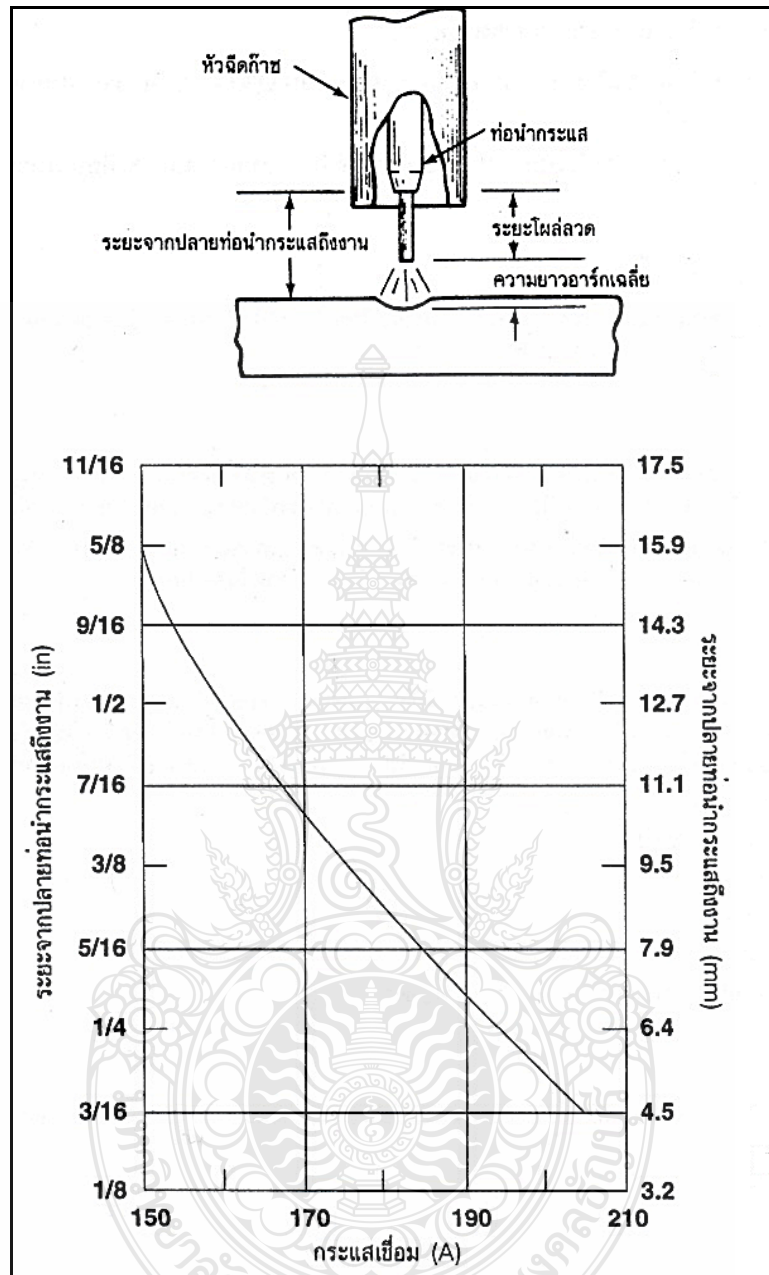
2.5.2.3 อัตราเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อมอัตราเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม คือ อัตราการเคลื่อนที่หัวเชื่อมต่อ 1 หน่วยเวลา อัตราการเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะถูกควบคุมโดยช่างเชื่อม กรณีเป็นการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติถ้าอัตโนมัติจะถูกควบคุมด้วยกลไกจักรกล อัตราเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะมีผลกระทบต่อระยะซึมลึกของรอยเชื่อม ขนาดตะเข็บเชื่อมและลักษณะตะเข็บเชื่อม อัตราการเติมเนื้อโลหะต่อหน่วยความยาวจะเพิ่มขึ้นทำให้บ่อหลอมเหลวมีขนาดใหญ่และตื้น เนื้อโลหะเชื่อมจะล้าหน้าลวดเชื่อมไปเล็กน้อยขณะเชื่อมจึงเป็นผลให้ระยะซึมลึกตื้น ตะเข็บเชื่อมจะกว้างและนูนมาก ถ้าลดอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะเพิ่มความสูงของตะเข็บเชื่อม แต่ถ้าอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมช้าเกินไปจะเกิดรอยแยกของเนื้อโลหะที่ขอบรอยเชื่อมลักษณะคล้ายต่อม่อ ความร้อนจะเข้าสู่ชิ้นงานสูงมากมีผลกระทบต่อบริเวณกระทบร้อนกว้าง การหลอมตัวของโลหะชิ้นงานไม่มีระยะซึมลึกมากเกินไป ความพรุนในเนื้อโลหะเชื่อมมากมีสารมลทินฝังอยู่ภายในและตะเข็บเชื่อมขรุขระ ถ้าอัตราเคลื่อนที่หัวเชื่อมเร็วเกินไป การถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่โลหะชิ้นงานจะลดลงทำให้การหลอมเหลวของโลหะชิ้นงานไม่ดี ระยะซึมลึกตื้นตะเข็บเชื่อมจะกว้างและนูนสูง

2.5.2.4 อัตราเร็วป้อนลวด (Wire Feed Speed) ตัวแปรเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติงานเชื่อม เช่นระยะซึมลึก ความสูง ความกว้างตะเข็บเชื่อมและอัตราการเติมเนื้อโลหะ เมื่อเชื่อมด้วยระบบแรงดันคงที่ กระแสเชื่อมจะถูกควบคุมด้วยอัตราเร็วในการป้อนลวดเชื่อม ดังนั้นระยะซึมลึกจึงได้รับอิทธิพลโดยตรงจากอัตราเร็วป้อนลวดเชื่อม ขณะเดียวกันความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วป้อนลวดกับกระแสเชื่อม จะเปลี่ยนแปลงไปตามหัวเชื่อม แก๊สคลุม ขนาดลวดเชื่อมและระยะไหลลวด

2.5.3 ตัวแปรปรับทุติยภูมิ

ตัวแปรปรับทุติยภูมิ เป็นตัวแปรรองจากตัวแปรปฐมภูมิ สามารถปรับเปลี่ยนอย่างต่อเนืองขณะกำลังปฏิบัติงานเชื่อม ตัวแปรนี้ไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเกิดตะเข็บเชื่อม (Bead Formation) ได้แก่

2.5.3.1 ระยะโพลั่วลวด หมายถึง ระยะห่างจากปลายท่อนำกระแส (Tip) และปลายลวดเชื่อมถึระยะโพลั่วลวดเชื่อมเพิ่มขึ้น ความต้านทานไฟฟ้าของลวดเชื่อมก็จะเพิ่มตาม ทำให้ลวดเชื่อมถูกอุ่นก่อนที่จะหลอมเหลวเป็นการลดลงอย่างอัตโนมัติ ขณะที่ม้อตราเร็วป้อนลวดเท่าเดิม แต่ก็เป็นผลให้ระยะซึมลึกน้อยลงพร้อมกัน ในทางกลับกันถึระยะโพลั่วลวดลดลง การอุ่นลวดเชื่อมก่อนที่จะหลอมก็ลดลงด้วย เครื่องเชื่อมก็จะจ่ายกระแสเชื่อมออกมาเป็นปริมาณที่มากขึ้น เพื่อให้ม้อตราการหลอมของลวดเชื่อมเท่ากับที่ต้องการ และระยะซึมลึกของรอยเชื่อมก็มากขึ้น ถึระยะโพลั่วลวดยาวเกินไปจะมีผลให้อัตราการเติมเนื้อโลหะเชื่อมมากที่ความร้อนต่ำ ตะเข็บเชื่อมจะไม่ค่อยสวยงาม ระยะซึมลึกตื้น เสถียรภาพการอาร์กก็ลดลง กระบวนการเชื่อมโลหะแก๊สคลุม ทุกชนิดของการถ่ายไอออนโลหะจะใช้ระยะโพลั่วลวดประมาณ 6.4-12.7 mm. (1/4 - 1/2 นิ้ว) และยังใช้งานตามขนาดลวดเชื่อมด้วย เช่นลวดเชื่อมขนาด 0.8-1.2mm. ใช้ระยะโพลั่วลวด 3.2-10mm. ใช้กับงานที่ต้องการกระแสเชื่อมต่ำ ถึระยะโพลั่วลวด 6.4-12.7 mm. ใช้กับงานที่ต้องการลักษณะการเริ่มจุดประกายไฟเชื่อมเฉพาะอย่าง และระยะโพลั่วลวดที่มากที่สุดคือ 25.4-31.8 mm. ใช้กับลวดเชื่อมขนาด 2 และ 2.4 mm. เป็นงานที่ต้องการใช้กระแสสูง เช่นการเชื่อมด้วยลวดไส้ฟลักซ์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ระยะหัวโพล์ลวดเชื่อมและผลกระทบของระยะโพล์ลวดที่มีต่อกระแสมิลลิเมตรที่มีความยาวอาร์กคงที่ [15]

ลักษณะการไหลของปลายท่อนำกระแสมี 3 แบบ คือ

ปลายท่อนำกระแสเสมอกับปากหัวฉีด อายุการใช้งานของท่อนำกระแสลดลงเมื่อระยะไหลลวดมากขึ้น จะมีความยุ่งยากในการเชื่อมอย่างยิ่งเมื่อใช้ลวดขนาดเล็กในการเชื่อม

ปลายท่อนำกระแสนั้นออกจากปากหัวฉีดปลายท่อนำกระแสที่ยื่นเลยออกจากปากหัวฉีดจะนำมาใช้เมื่อเชื่อมกระแสดำมาๆ เพราะถ้าลวดเชื่อมอยู่ใกล้สภาวะพลาสติกจะมีแนวโน้มต่อการบิดรอบตัวเองเป็นรูปวงกลม ซึ่งแก้ไขได้โดยลดระยะไหลของลวดและยังทำให้ลวดเชื่อมตรงอีกด้วย

ปลายท่อนำกระแสน้อยู่ภายในหัวฉีด การเชื่อมทั่วไปมักจะให้ปลายท่อนำกระแสน้อยลึกเข้าไปในปากหัวฉีด โดยมีระยะลึกประมาณ 3.2 mm.

2.5.3.2 อัตราการไหลของแก๊สคลุม และระยะห่างของหัวฉีดตัวประกอบทั้งสองนี้จะมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ และความเหนียวของเนื้อโลหะเชื่อมเราควรเลือกใช้อัตราการไหลของแก๊สคลุม และระยะห่างของหัวฉีดที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการเชื่อมแสดงในตารางที่ 2.7 อิทธิพลของระยะห่างของหัวฉีด และอัตราการไหลของแก๊สคลุมมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ และปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะเชื่อมด้วย ในการปรับค่าของแก๊สปกคลุมปกติจะใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

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

ตัวอย่าง

$$\begin{aligned}\text{ลวดเชื่อม} &= 1.0 \text{ มม.} \\ \text{แทนค่า} &= 10 \times 1.0 \text{ มม.} \\ &= 10 \text{ ลิตร / นาที}\end{aligned}$$

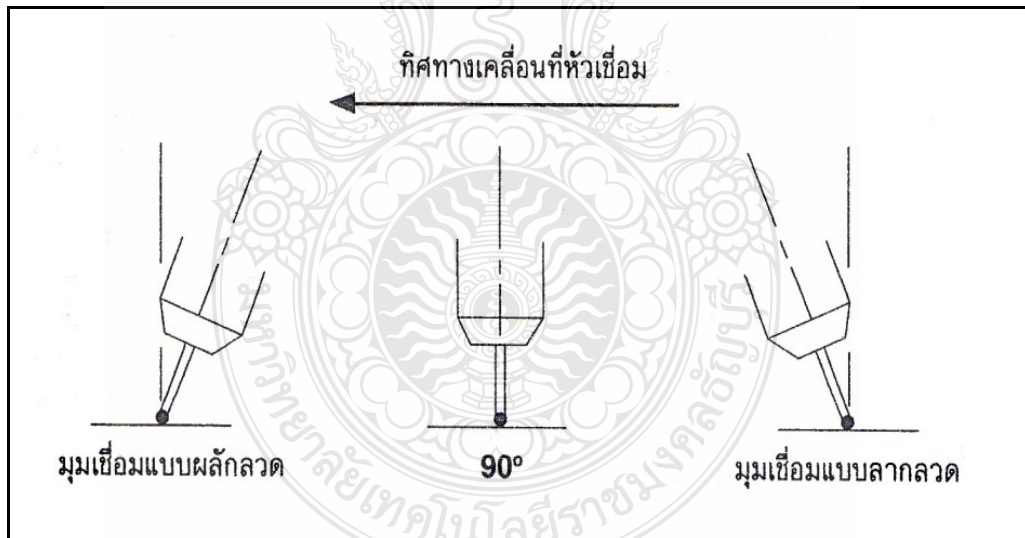
ตารางที่ 2.7 อัตราการไหลของแก๊สคลุมและระยะห่างของหัวฉีดที่เหมาะสม [15]

ขนาดของลวดเชื่อม (mm)	กระแสเชื่อม (A)	ระยะห่างของหัวฉีด (mm)	อัตราการไหลของแก๊สคลุม (L/min)
1.2	100 ~ 200	10 ~ 15	15 ~ 25
	200 ~ 300	15 ~ 20	20 ~ 30
1.6	200 ~ 300	15 ~ 20	20 ~ 30
	300 ~ 450	20 ~ 25	20 ~ 30

2.5.3.3 มุมหัวเชื่อมเป็นมุมที่วัดอ้างอิงระหว่างหัวเชื่อมเทียบกับรอยต่อซึ่งประกอบด้วยมุม 2 มุม คือ มุมตามแนวยาว(Longitudinal or Nozzle Angle)และมุมทางขวาง(Transverse or Head Angle)

1) มุมทางขวางหมายถึงมุมที่วัดเชื่อมหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวเชื่อมทำมุมกับระนาบอ้างอิงหรือผิวของแผ่นงานเชื่อมในระนาบที่ตั้งฉากกับแกนงานเชื่อมแสดงให้เห็นมุมทางขวางสำหรับรอยเชื่อมฉาก (Fillet Weld) และรอยเชื่อมร่อง(Groove Weld) สำหรับการเชื่อมท่อ มุมทางขวางเป็นมุมที่วัดเชื่อมหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวเชื่อมทำมุมกับแกนอ้างอิงหรือผิวของท่อในระนาบที่เลเยออกไปจากศูนย์กลางท่อเรื่อยๆ ไปกับบ่อหลอมเหลว

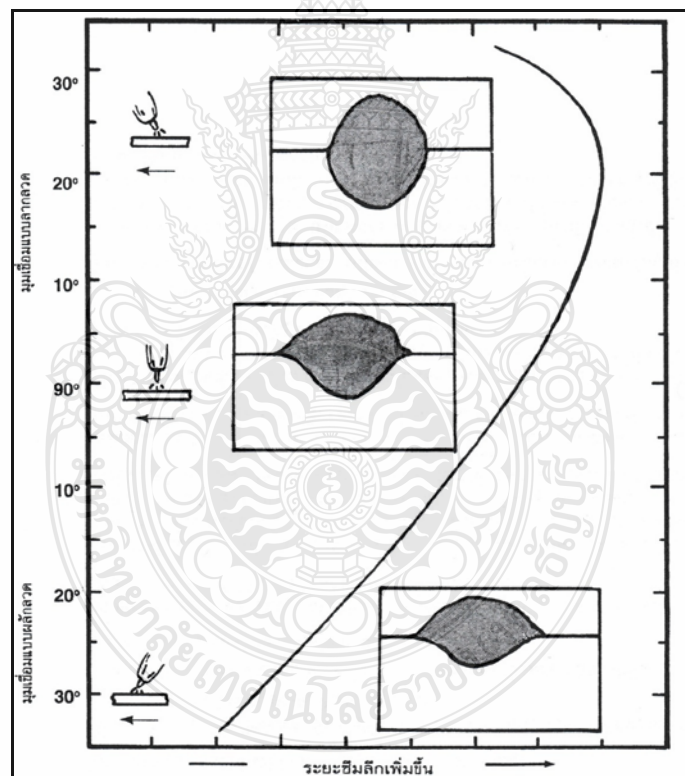
2) มุมตามแนวยาวหมายถึงมุมที่วัดเชื่อมหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวเชื่อมทำมุมกับเส้นอ้างอิงที่ตั้งฉากกับแกนของตะเข็บเชื่อมในระนาบของงานเชื่อมสำหรับการเชื่อมท่อมุมตามแนวยาวเป็นมุมที่วัดเชื่อมหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวเชื่อมทำมุมกับเส้นอ้างอิง (Reference Line)เลเยออกไปจากศูนย์กลางของท่อตลอดการอาร์กในระนาบของแกนงานเชื่อม(Weld Axis) มุมตามยาวจะมีทั้งแบบลากลวดกับแบบผลัดลวด แสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 มุมหัวเชื่อมสำหรับการเชื่อมแบบผลัดลวดและแบบลากลวด [15]

มุมเชื่อมแบบลากลวดหัวเชื่อมจะเอียงไปตามทิศทางเคลื่อนที่ของหัวเชื่อม
มุมเชื่อมแบบดันหรือผลัดลวด หัวเชื่อมจะเอียงกลับทิศทางตรงข้ามกับทิศทางเคลื่อนที่
หัวเชื่อม

มุมเอียงหัวเชื่อมที่ให้ระยะซึมลึกมากที่สุดคือ 15 องศา - 20 องศา เมื่อใช้การเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมแบบลากลด ถ้ามุมเคลื่อนที่หัวเชื่อม (Travel Angle) เปลี่ยนไปจากนี้ ระยะซึมลึกก็จะลดลง ถ้ามุมถึงลด 15 องศา และมุมดันลดเป็น 30 องศา แล้วความสัมพันธ์ระหว่างระยะซึมลึกกับมุมเคลื่อนที่หัวเชื่อมเกือบจะเป็นเส้นตรง ดังนั้นถ้าจะควบคุมระยะซึมลึกให้ได้ก็ควรอยู่ในช่วงพิสัยนั้น ในการเชื่อมไม่ควรเลือกใช้มุมลากลดเกิน 25 องศา มุมเคลื่อนที่หัวเชื่อมที่เลือกใช้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงและความกว้างของตะเข็บเชื่อม นอกจากนี้ยังมีผลกระทบกับลักษณะตะเข็บเชื่อมด้วย เมื่อมุมลากลดลดลง ความสูงของตะเข็บเชื่อมจะลดลงส่วนความกว้างจะเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์มุมเคลื่อนที่หัวเชื่อมแบบผลักลด จะใช้เมื่อมีอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมสูง มุมเชื่อมเหล่านี้อาจเปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อย หากใช้กับกระบวนการเชื่อมและวิธีปฏิบัติในการเชื่อมแบบอื่น แสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ผลกระทบของมุมเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมที่มีต่อระยะซึมลึกและรูปร่างตะเข็บเชื่อม [15]

หมายเหตุ

มุมเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมราว 5-15 องศา จะเหมาะกับการเชื่อมทุกตำแหน่งแนวเชื่อม เพราะควบคุมบ่อหลอมเหลวได้ดี

วิธีเชื่อมแบบลากลวด ปกติใช้กับการเชื่อมเหล็ก

วิธีเชื่อมแบบผลัดลวดใช้กับการเชื่อมอะลูมิเนียมเพื่อเลี่ยงความสกปรกให้ระยะชิม ลึกดี แต่ความร้อนเข้าสู่งานต่ำ

ลักษณะเฉพาะของการเชื่อมแบบผลัดลวด

- ตะเข็บเชื่อมมีลักษณะแบนราบและกว้าง
- มองเห็นแนวของการเชื่อมได้ง่ายกว่า
- ระยะชิมลึกน้อยเนื่องจากบ่อหลอมเหลววิ่งนำหน้าเปลวอาร์ก
- ประกายโลหะเชื่อมมีขนาดใหญ่และกระเด็นนำหน้าไปในทิศทางของการเชื่อมและจะมีปริมาณมากขึ้น ถ้ามุมเอียงของหัวเชื่อมเอียงไปข้างหน้ามากเกินไป

ลักษณะเฉพาะของการเชื่อมแบบลากลวด

- ประกายโลหะเชื่อมน้อยกว่า
- ตะเข็บเชื่อมจะนูนสูงและแคบ
- ระยะชิมลึกมากเนื่องจากบ่อหลอมเหลวไม่วิ่งนำหน้าเปลวอาร์ก
- มองเห็นแนวของการเชื่อมได้ยากเพราะมีเงาของหัวฉีดยึดมาบัง
- ถ้ามุมเอียงของหัวเชื่อมมากเกินไปจะเกิดโพรงอากาศได้ง่ายเนื่องจากการเกิดการดูดอากาศเข้ามา
- การควบคุมความสูงและความกว้างของตะเข็บเชื่อมทำได้ง่ายกว่าเนื่องจากช่างเชื่อมสามารถมองเห็นบ่อหลอมเหลวชัดเจน

2.6 การถ่ายโอนน้ำโลหะ [15]

การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เป็นกระบวนการที่มีความสามารถในการเชื่อมสูง เมื่อเทียบกับกระบวนการเชื่อมอื่น ๆ คือ เชื่อมได้ทั้งโลหะที่เป็นเหล็ก และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ทั้งหนาและบาง เพราะมีการถ่ายโอนโลหะที่แตกต่างกันหลายแบบ การถ่ายโอนโลหะ หมายถึง การที่โลหะลวดเชื่อมหลอมเป็นหยดหลุดออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านอาร์กเข้าสู่บ่อหลอมเหลวบนโลหะชิ้นงาน ซึ่งการถ่ายโอนของหยดโลหะเกิดจากแรงกระทำต่อหยดโลหะที่ปลายลวดเชื่อม โดยเป็นปฏิกิริยาร่วมกัน

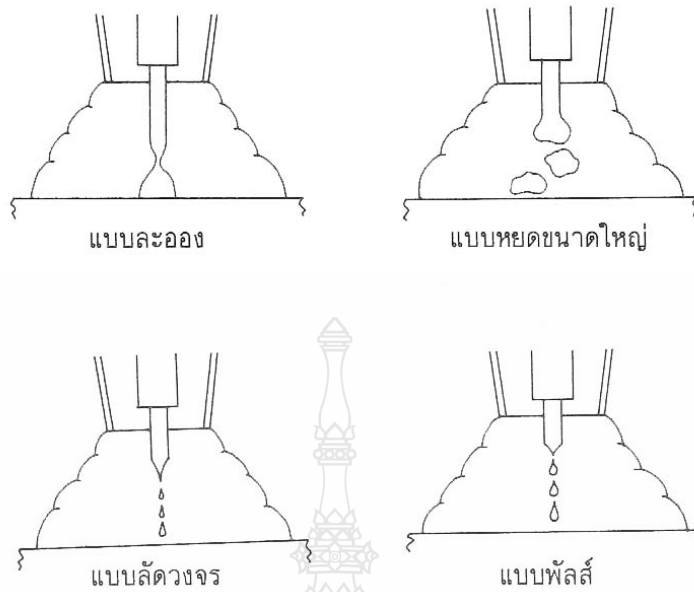
ระหว่างแรงและส่วนผสมทางเคมี ของลวดเชื่อมชนิดของแกสกลุ่มกระแสเชื่อม แรงดันเชื่อมและขนาดลวดเชื่อม แรงกระทำต่อหยดโลหะมีดังนี้

- ความดันพลาสมา (จากความเสียดทานของพลาสมาเจต)
- แรงดันปลายลวดเชื่อม ทำให้หยดโลหะคอดกึ่งวง
- ความดันเนื่องจากการกลายเป็นไอของวัสดุ
- แรงจากความดันแกสที่ปลายลวดเชื่อม
- แรงแม่เหล็กไฟฟ้า
- แรงโน้มถ่วง
- แรงตึงผิว

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

2.5.1 การถ่ายโอนแบบละออง [15] เกิดจากการหลอมของลวดเชื่อมเป็นหยดโลหะขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเชื่อม หยดโลหะจะเร็วเล็กลงตรงส่วนที่ต่ออยู่ระหว่างปลายลวดเชื่อม และหยดนี้จะแยกตัวหรือ ถูกกัดหลุดออก จากปลายลวดเชื่อมด้วยแรงแม่เหล็กไฟฟ้า หยดโลหะถูกถ่ายโอนอย่างรวดเร็ว ผ่านพลาสมาอาร์กสู่บ่อหลอมเหลวอย่างคงที่ต่อเนื่องไปไม่หยุด ตลอดเวลาที่กระแสเชื่อมยังไหลผ่านลวดเชื่อมอยู่ ปริมาณหยดโลหะที่ถ่ายโอนอาจต่ำกว่าหรือสูงกว่า เป็นหลายร้อยหยดในเวลาหนึ่งวินาที

กระบวนการถ่ายโอนแบบละอองต้องใช้ความหนาแน่นของกระแสสูง เพื่อลวดเชื่อมจะได้หลอมเป็นหยดขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเชื่อมอย่างรวดเร็ว หยดที่มีขนาดเล็กนี้ไม่มีผลต่อเสถียรภาพของการอาร์ก เช่น กรณีของการถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่แต่อย่างใด การไหลพุ่งของหยดโลหะจึงเป็นเส้นตรงจากศูนย์กลางปลายลวดเชื่อมสู่บ่อหลอมเหลวทำให้กำหนดทิศทางการถ่ายโอนได้ตามต้องการ ปริมาณความร้อนเข้าสู่งานสูงแม้ลวดเชื่อมจะมีขนาดใหญ่ ก็สามารถหลอมเป็นหยดขนาดเล็กได้ทันที ส่งผลให้เกิดการซึมลึกของรอยเชื่อมมาก



รูปที่ 2.12 ลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะทั้ง 4 แบบ [15]

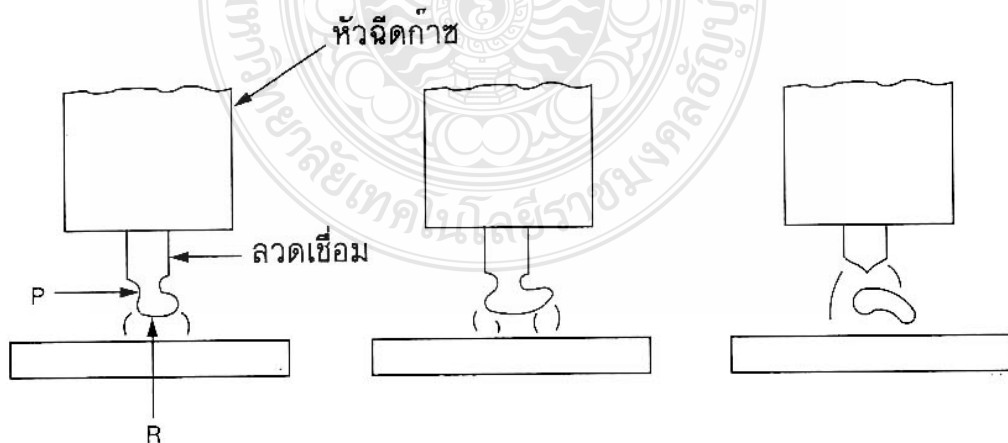
การถ่ายโอนแบบละอองใช้เชื่อมงานได้ทั้งโลหะที่เป็นเหล็ก และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ถ้าเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็กควรใช้แก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับออกซิเจนคลุมรอยเชื่อม แก๊สอาร์กอนจะช่วยให้หยดโลหะเป็นเม็ดกลมขนาดเล็กและเกิดแรงกัณหุดออกจากปลายลวดเชื่อม ส่วนออกซิเจนทำให้การอาร์กมีเสถียรรูปที่ดี เกิดเม็ดโลหะกระเด็นน้อย และการซึมลึกของรอยเชื่อมเป็นวงกว้าง และป้องกันการเกิดรอยกินลึก แก๊สผสมอาร์กอนกับออกซิเจนใช้กับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ปานกลาง เหล็กกล้าเจือต่ำ เหล็กกล้ากำลังสูงและเหล็กกล้าไร้สนิม ตำแหน่งเชื่อมแนวราบและแนวระดับ

2.5.2 การถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่ [15] เริ่มเมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมเป็นหยดโลหะ นี้จะก่อตัวเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อมประมาณ 1.5 หรือ 2 เท่า ก่อนจะหลุดจากปลายลวดเชื่อมแล้วถ่ายโอนผ่านการอาร์กสู่บ่อหลอมละลายด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ซึ่งจะให้อัตราการเติมเนื้อโลหะมาก และความร้อนสูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร กระแสและแรงดันเชื่อมที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่จะต่ำ แต่ก็อยู่ในช่วงที่สูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร กระแสและแรงดันเชื่อมที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่จะต่ำ แต่ก็อยู่ในช่วงที่สูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร คือกระแสจะไม่เกินระดับของกระแสช่วงเปลี่ยน โดยพิสัยของกระแสช่วงเปลี่ยนจะเพิ่มจากค่าต่ำสุดขณะที่ปลายลวดเชื่อมกำลังหลอม ไปถึงจุดที่มีค่าสูงสุดเพื่อ

ชักนำให้เกิดการถ่ายโอนเหมือนแบบละออง ดังนั้นพฤติกรรมถ่ายโอนโลหะแบบนี้ จึงอยู่ระหว่างการถ่ายโอนแบบลัดวงจร และแบบละอองแต่มีขนาดหยดโลหะใหญ่กว่าแบบละออง อัตราการถ่ายโอนโลหะต่อวินาทีที่กระแสต่ำจะมีเพียง 2 – 3 หยดเท่านั้น ขณะที่หยดโลหะขนาดเล็กจำนวนมากถูกถ่ายโอนไปแล้วตอนกระแสเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อหยดโลหะมีขนาดโตพอแล้วก็จะแยกตัวออกจากปลายลวด ถ่ายโอนผ่านการอาร์กสู่บ่อหลอมละลายหยดโลหะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ และเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเอง เนื่องจากแรงกายภาพของการอาร์ก จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หยดน้ำโลหะนี้กลมไม่สม่ำเสมอโดยหยดที่มีขนาดใหญ่กว่าจะไปแตะกับบ่อหลอมละลายทำให้เกิดการลัดวงจร ผ่านการอาร์กและการอาร์กจะดับไปชั่วขณะพฤติกรรมนี้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เสถียรภาพการอาร์กต่ำ การอาร์กจะรุนแรง การอาร์กผิดพลาดในบางจังหวะทำให้ระยะชิมลึกลงและเกิดคลื่นการอาร์ก รอบหยดโลหะบนปลายลวดเชื่อมซึ่งเป็นเหตุให้มีเม็ดโลหะกระเด็นมากการถ่ายโอนหยดน้ำโลหะขนาดใหญ่สู่บ่อหลอมละลายจะใช้แรงโน้มถ่วงมากกว่าแรงที่เกิดจากการอาร์ก ดังนั้นกระบวนการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่จึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการคุณภาพงานเชื่อมสูง มีขอบเขตใช้งานจำกัดเพราะปริมาณความร้อนเข้าสู่งานต่ำ

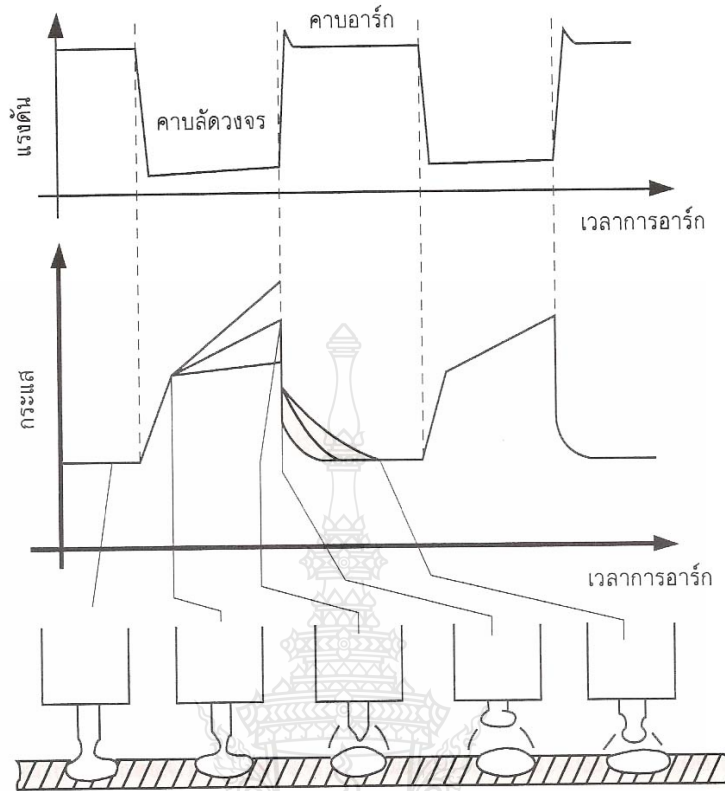
หยดน้ำโลหะมีขนาดใหญ่และเป็นการถ่ายโอนด้วยแรงโน้มถ่วงจึงไม่เหมาะกับการเชื่อมงานที่อยู่ในตำแหน่งนอกเหนือจากแนวราบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวเชื่อมเหนือศีรษะ เพราะหยดโลหะมีแนวโน้มต่อการตกลงในหัวเชื่อม จะเชื่อมได้ค้ำกับงานที่อยู่ในแนวราบและแนวระดับ ใช้ระดับกระแสและแรงดันเชื่อมสูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร



รูปที่ 2.13 ลักษณะการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่ [15]

2.5.3 การถ่ายโอนแบบลัดวงจร [15] แบบนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายกว่าการถ่ายโอนแบบอื่น ๆ การถ่ายโอนเริ่มจากปลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานถูกทำให้เกิดการอาร์กและมีอุณหภูมิสูงพอที่จะหลอมปลายลวดเป็นหยดโลหะขนาดเล็ก ขณะเดียวกันลวดเชื่อมจะถูกป้อนเข้าสู่บ่อหลอมละลายด้วยอัตราสูง ทำให้หยดโลหะบนปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมละลายก่อนจะแยกออกจากปลายลวดเชื่อม ซึ่งเป็นสาเหตุของการลัดวงจรไฟฟ้า การอาร์กจะดับไปชั่วขณะ จังหวะที่ลัดวงจรอยู่นี้ กระแสจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ปลายลวดเชื่อมที่หลอมเป็นหยดจะถูกคัดออกและถ่ายโอนสู่บ่อหลอมละลายด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิวจากพฤติกรรมดังกล่าวหยดโลหะที่ปลายลวดจึงเปรียบเสมือนสะพานเชื่อมต่อระหว่างช่องว่างปลายลวดเชื่อมกับบ่อหลอมเหลว เมื่อหยดโลหะหยดแรกหลุดจากปลายลวดเชื่อมแล้วก็จะเริ่มต้นอาร์กใหม่อีกครั้งขณะที่ปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมละลายจะมีหน้าที่คล้ายกับฟิวส์ไฟฟ้า และเกิดการระเบิดเรียงต่อกันไปเพราะความหนาแน่นของกระแสสูง การระเบิดทำให้เกิดช่องว่างอาร์ก ระหว่างปลายลวดเชื่อมกับผิวโลหะชิ้นงานเมื่อเริ่มต้นอาร์กใหม่สภาวะอย่างนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันไปอย่างรวดเร็วมาก คือ มีความถี่ของการลัดวงจร 20 – 200 ครั้งต่อวินาที แต่ในทางปฏิบัติประมาณ 10 – 100 ครั้งต่อวินาที ซึ่งสังเกตได้จากแผ่นฟิล์มความเร็วสูงเท่านั้น กระแสและแรงดันเชื่อมจะตั้งในช่วงต่ำ จึงมีปริมาณความร้อนเข้าสู่งานน้อยสามารถใช้ลวดขนาดเล็กได้

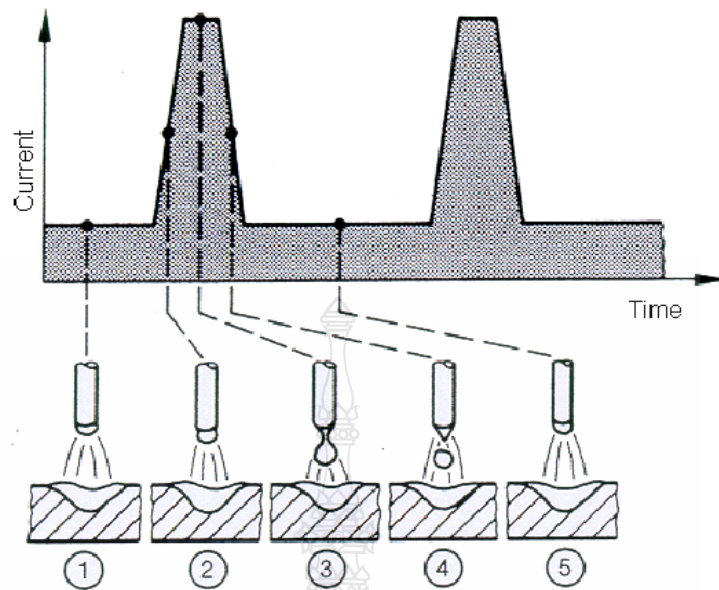
การถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร เชื่อมงานได้หลายขนาดความหนา และเหมาะสมกับการเชื่อมงานหน้าตัดบาง ถ้าใช้กระแสตรงกลับขั้วเชื่อมงานได้ทุกขนาดความหนา ใช้เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ปานกลาง เหล็กกล้าเจือต่ำกำลังสูง หรือเชื่อมอะลูมิเนียม แต่แนวเชื่อมจะเย็นตัวเร็วทำให้แก๊สถูกคักในบ่อหลอมละลายแนวเชื่อมเกิดรูพรุน ส่วนเหล็กนำความร้อนต่ำการเย็นตัวช้าจึงมีเวลาพอที่ฟองแก๊สจะลอยขึ้นสู่ผิวบ่อหลอมละลาย และระเหยหนีไปได้ สามารถเชื่อมงานได้ทุกตำแหน่ง แนวเชื่อมและรอยต่อทุกแบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรอยต่อที่ประกอบไม่เรียบร้อยหรือรอยต่อชนที่มีช่องว่างระหว่างฐานรอยเชื่อมกว้าง การถ่ายโอนแบบลัดวงจรจะก่อให้เกิดสะพานเชื่อมต่อช่องว่างจึงสามารถใช้ในงานเชื่อมโลหะแผ่นหนา และเชื่อมท่อได้ดี



รูปที่ 2.14 การถ่ายไอออนโลหะแบบพัลส์ [15]

2.5.4 การถ่ายไอออนแบบพัลส์ [15] เป็นการถ่ายไอออนที่พัฒนามากจากการถ่ายไอออนแบบละออง เพราะมีข้อจำกัดการใช้งานแต่ยังเป็นการถ่ายไอออนแบบละอองอยู่ การพัลส์ของกระแสเชื่อมจากระดับต่ำสุดถึงสูงสุดที่ 60 ไซเคิลต่อวินาที จังหวะการพัลส์แต่ละครั้งจะทำให้ปลายลวดเชื่อมหลอมเป็นหยดโลหะได้หนึ่งหยด แล้วถ่ายไอออนผ่านอาร์กสู่บ่อหลอมเหลวด้วยความถี่สม่ำเสมอต่อเนื่องกันไป

ระดับกระแสต่ำสุดจะตั้งในช่วงการถ่ายไอออนแบบละออง การถ่ายไอออนหยดโลหะจะเกิดขึ้นเมื่อการพัลส์กระแสถึงระดับสูงสุด หลังจากถ่ายไอออนหยดโลหะแล้ว กระแสจะลดลงต่ำสุดเท่าที่ตั้งไว้ กระแสต่ำจะช่วยคงให้การอาร์กเกิดอยู่ตลอดเวลา และการพัลส์เพิ่มขึ้นถึงระดับสูงสุดได้ ช่วงจังหวะนี้ การถ่ายไอออนหยดโลหะไม่เกิดขึ้น การพัลส์ของกระแสสูงและต่ำลงจะมีผลต่อการควบคุมปริมาณความร้อนเข้าสู่งานเชื่อม โดยความร้อนเฉลี่ยจะต่ำกว่าการถ่ายไอออนแบบละออง จึงเหมาะกับการเชื่อมงานบางที่มีปัญหาการหลอมทะลุ เนื่องจากความร้อนสูง เชื่อมงานที่อยู่ในตำแหน่งแนวเชื่อม นอกเหนือมาตรฐานได้ง่าย งานบิดตัวน้อย ใช้ลวดเชื่อมขนาดใหญ่ได้ แต่การถ่ายไอออนหยดโลหะผ่านอาร์กยังเป็นหยดขนาดเล็กอยู่จึงประหยัดกว่าการใช้ลวดขนาดเล็กซึ่งมีปัญหการป้อนลวดเชื่อมด้วย

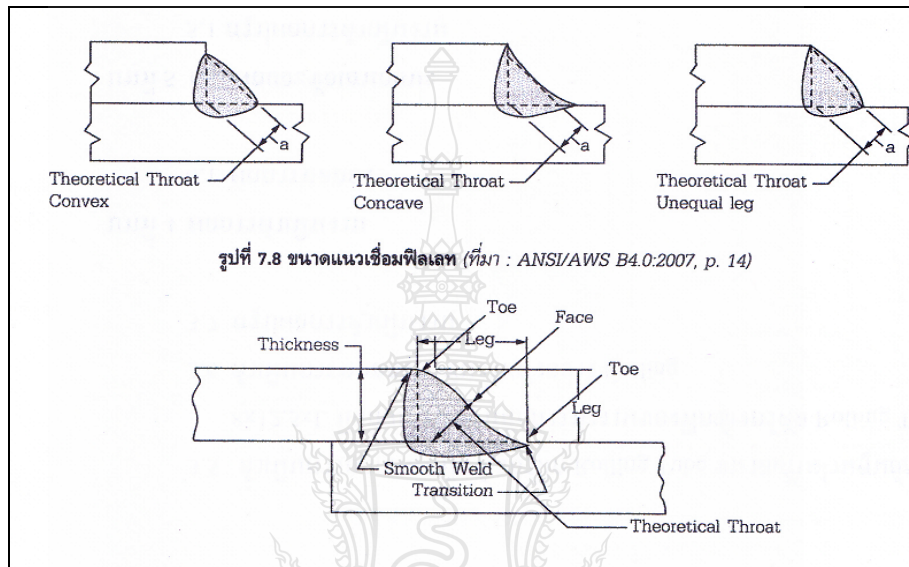


รูปที่ 2.15 ลักษณะกระแสและขั้นตอนการถ่ายโอนโลหะแบบพัลส์ [15]

การเกิดกระแสพัลส์ได้จากการปิดเปิดวงจร ระหว่างกระแสต่ำสุดกับสูงสุด ดังนั้นในเครื่องเชื่อมตัวเดียวจึงมีต้นกำเนิดแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ทำให้กระแสต่ำสุด และส่วนที่ให้กระแสพัลส์สูงสุด เพื่อให้กระแสพัลส์สูงสุดต้องตั้งให้สูงกว่าระดับกระแสช่วงเปลี่ยนของการถ่ายโอนแบบละอองและกระแสต่ำสุด ตั้งในช่วงการถ่ายโอนแบบหยดขนาดใหญ่ ปลายลวดเชื่อมจะหลอมที่หัวจักรต่ำสุดเมื่อกระแสเพิ่มขึ้นสูงกว่าจุดช่วงเปลี่ยน หยดโลหะจะแยกตัวออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านอาร์กสู่บ่อหลอมเหลว หัวจักรนี้จะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันอย่างต่อเนื่องขณะปฏิบัติการเชื่อม บ่อหลอมจะแข็งตัวเร็วกว่าการถ่ายโอนแบบละออง การอาร์กรุนแรงกว่าแต่ความถี่ของการถ่ายโอนลดลงกระแสพัลส์สามารถเชื่อมได้ทั้งโลหะที่เป็นเหล็ก และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก เพราะมีปริมาณความร้อนที่เข้าสู่งานต่ำทำให้สามารถเชื่อมงานที่มีตำแหน่งแนวเชื่อมนอกเหนือมาตรฐาน เพราะกระแสพัลส์และบ่อหลอมละลายแข็งตัวเร็ว เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าเจือนิเกิลสูง เหล็กกล้าเจือต่ำ เหล็กกล้าไร้สนิม ทองแดง ทองแดงเจืออะลูมิเนียมและโลหะเจือชนิดอื่น ๆ เชื่อมงานบาง กับหนา ปานกลางได้ดี และเชื่อมได้ทุกรอยต่อ

2.7 การทดสอบแรงดึงเฉือน [16]

การทดสอบแรงเฉือนแนวเชื่อม ใช้สำหรับแนวเชื่อมตั้งฉากหรือแนวเชื่อมฟิลเลท (Fillet Weld) ในงานเชื่อมแผ่น หรือเชื่อมต่อสวมท่อโดยการดึงขึ้นงานทดสอบตามมาตรฐานด้วยแรงดึงจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบเชื่อมต่อหลุดออกจากกันที่แนวเชื่อม



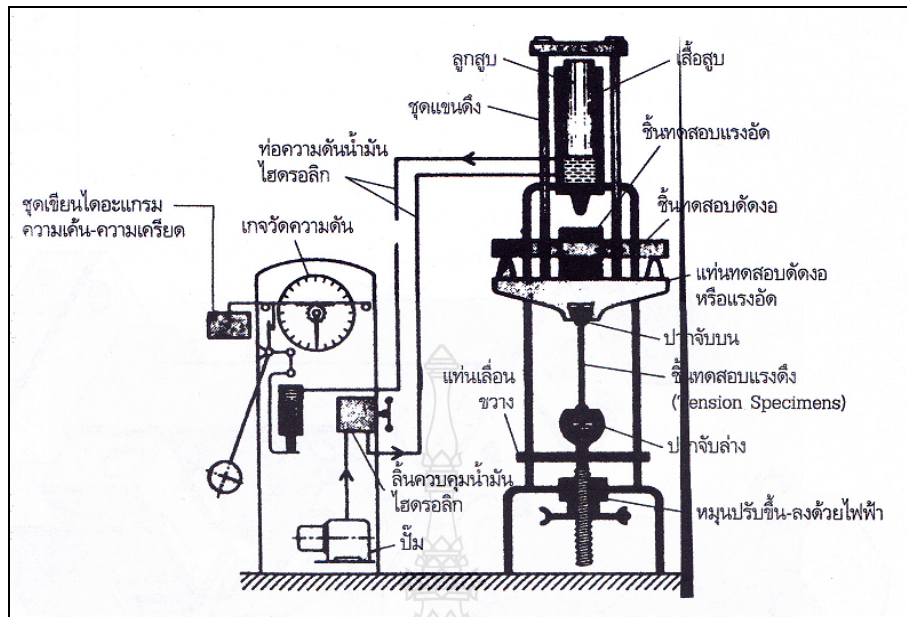
รูปที่ 2.16 ลักษณะและส่วนต่างๆของแนวเชื่อมฟิลเลท (Fillet Weld) [16]

2.7.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบแรงเฉือน

- 2.7.1.1 เพื่อทดสอบหาแรงเฉือนในทิศทางตัดขวางและทิศทางตามยาวแนวเชื่อม
- 2.7.1.2 เพื่อทดสอบช่างเชื่อมและข้อกำหนดรายละเอียดในการเชื่อม
- 2.7.1.3 เพื่อประเมินผล ยอมรับผลการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพในการประกอบ
- 2.7.1.4 เพื่อใช้ในการงานวิจัยและพัฒนา
- 2.7.1.5 เพื่อใช้ทดสอบควบคุมคุณภาพการเชื่อมประกอบผลิตภัณฑ์

2.7.2 เครื่องมือในการทดสอบ

ในการทดสอบแรงเฉือนแนวเชื่อม จะใช้เครื่องทดสอบแรงดึงขึ้นงานทดสอบงานเชื่อมต่อฟิลเลท ด้วยแรงดึงที่สม่ำเสมอจนกระทั่งแนวเชื่อมของชิ้นส่วนทดสอบขาดจากกันด้วยแรงดึง-เฉือน (Tensile-Shear Load)



รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ [16]

2.7.3 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

2.7.3.1 เตรียมชิ้นงานทดสอบตามยาวแนวเชื่อมตามมาตรฐาน ASTM D 1002-99

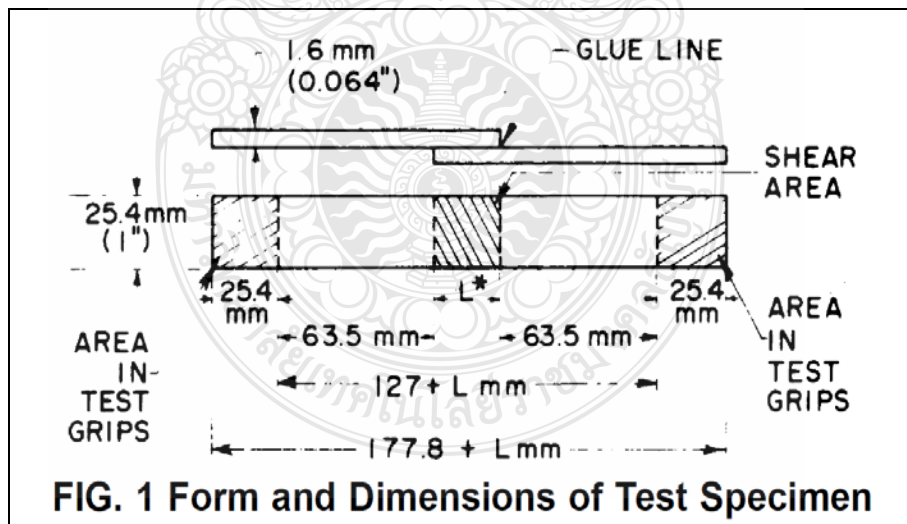


FIG. 1 Form and Dimensions of Test Specimen

รูปที่ 2.18 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง-เฉือน ตามมาตรฐาน ASTM D 1002-99 [17]

การคำนวณหาความเค้นเนื่องสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\tau = \frac{P}{L \times a} \quad (2.1)$$

เมื่อ

P = แรง มีหน่วยเป็นปอนด์ (lbs), กิโลกรัม (kgs) หรือนิวตัน

L = ความยาวของแนวเชื่อมทั้งหมดที่ได้รับแรงเฉือน (Total Length) มีหน่วยเป็นนิ้วหรือ มม.

A = ระยะจากผิวหน้าถึงด้านล่างแนวเชื่อมฟิลเลท (Theoretical Throat Dimension) หน่วยเป็นนิ้วหรือ มม.

τ = ความเค้นแรงเฉือนของแนวเชื่อม มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว, กก./ซม.² หรือนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

2.8 การทดสอบความแข็งไมโครแบบวิกเกอร์ [18]

เป็นการวัดความแข็งโดยใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ค่าความแข็งจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวเช่นเดียวกับการทดสอบแบบบริเนลล์ (Brinell) แต่วิธีนี้หัวกดเป็นเพชรซึ่งมีความแข็งสูงมาก ๆ ดังนั้นในการใช้งานจึงสามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่อ่อนมาก (ประมาณ 5 HV) จนถึงโลหะที่แข็งมาก ๆ (ประมาณ 1500 VHN) โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด จะเปลี่ยนก็เฉพาะแรงกดเท่านั้น โดยมีตั้งแต่ 1-120 kgf ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะที่ทดสอบโดยใช้มาตรฐานการทดสอบของ ASTM E 92 ดังสมการที่ 2.5

$$HV = 1.854P / d^2 \quad (2.2)$$

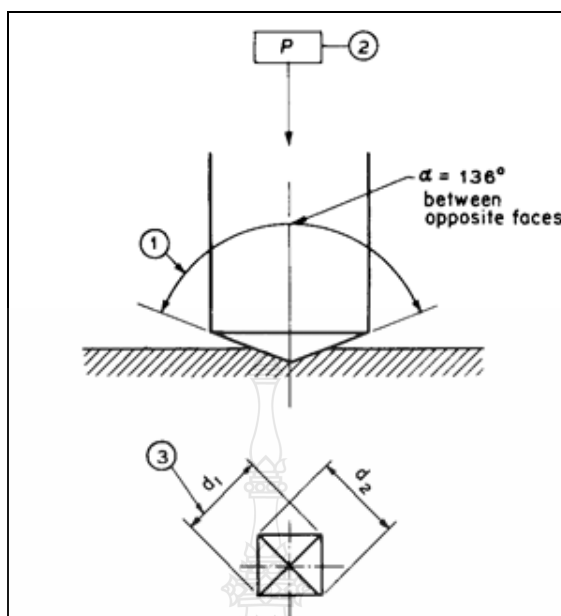
โดยที่

HV คือ ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ (kgf/mm²)

1. มุมหัวกด

2. P คือ แรงกด (kgf)

3. d คือ ขนาดเส้นทแยงมุม d_1 และ d_2 เฉลี่ย (มม.) แสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ลักษณะรอยกดของการทดสอบแบบวิกเกอร์มาตรฐาน ASTM E 92 [18]

2.9 การวิเคราะห์โครงสร้าง

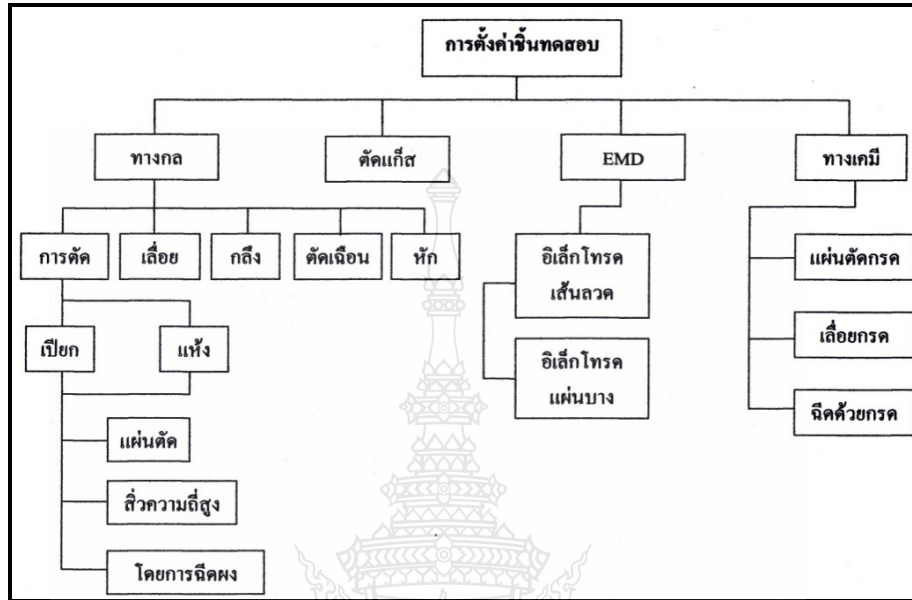
2.9.1 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค [18]

สิ่งที่สามารถมองเห็นและวิเคราะห์จากผิวโลหะจากกล้องจุลทรรศน์สำหรับโลหะ เรียกว่า โครงสร้างจุลภาค (Micro Structure) หรือเกรน (Grain) การวิเคราะห์วิธีนี้จะทำได้กับชิ้นทดสอบที่ผ่านการขัดละเอียด ขัดมันและกัดกรดมาแล้ว ซึ่งโลหะอาจมีทั้งเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) หรือไม่เนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) รวมทั้งอาจเป็นเฟสเดียวกันหรือหลายเฟส ในการวิเคราะห์โครงสร้างสิ่งสำคัญคือ การตรวจสอบดูถึงจำนวนของเฟสหรือเกรนและสัดส่วนของเกรนแต่ละชนิดของโลหะนั้น รวมทั้งขนาด รูปร่างและการกระจายตัวของเกรนแต่ละเกรน วัสดุชนิดเดียวกันนั้นอาจจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันอย่างมากได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเป็นมาของวัสดุ

1) การตัดชิ้นทดสอบ

การเลือกและการตัดตัวอย่างชิ้นทดสอบ เพื่อทำการทดสอบเป็นการทำขั้นแรกของการเตรียมชิ้นทดสอบ การเลือกตัวอย่างไม่ถูกต้องจะทำให้การวิเคราะห์ขั้นต่อไปไม่มีความหมายหรือผิดพลาด ชิ้นทดสอบที่ถูกตัดจะต้องสามารถนำมาผิวตัดไปทำการขัดแต่งต่อไปได้และจะต้องหลีกเลี่ยงการตัดที่จะทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ การเปลี่ยนแปลงนี้ได้แก่ การร้าวหรือการขยายตัวของรอยร้าวและการแตกหัก รวมถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื่องจากความร้อน ซึ่ง

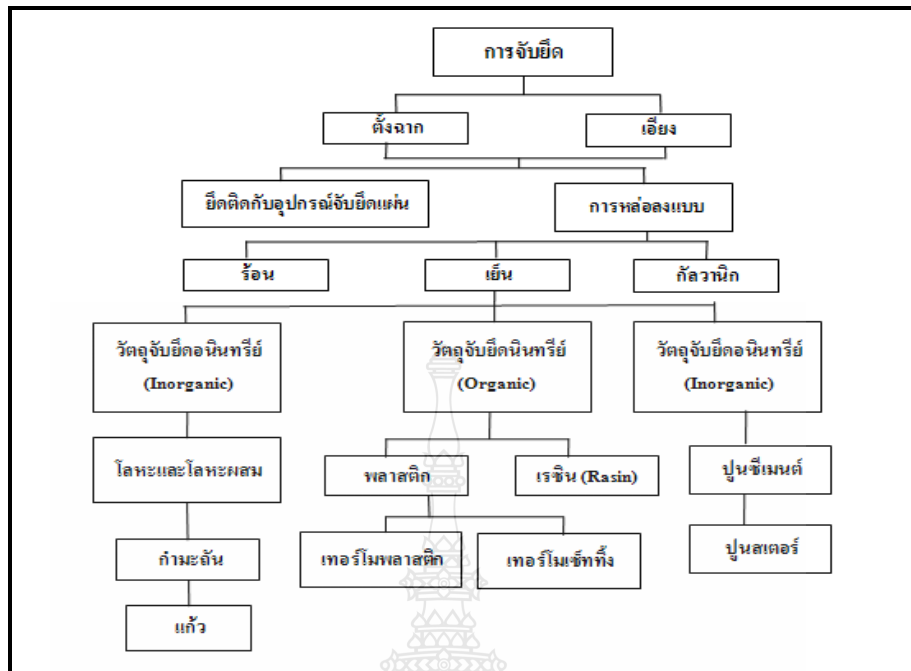
ได้แก่ การคืนรูปผลึก (Recrystallisation) การคืนตัว (Tempering) และการหลอมละลายโดยปกติ สามารถป้องกันได้โดยการหล่อเย็นขณะตัดด้วยน้ำ น้ำมัน อากาศชนิด ฯลฯ แสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 วิธีการตัดชิ้นทดสอบ [18]

2) การจับยึดชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบที่จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคมักมีขนาดเล็ก บางครั้งมีลักษณะอ่อน เปราะหรือมีรูพรุน ทำให้ไม่สะดวกในการจับเพื่อขัดชิ้นทดสอบการวางชิ้นทดสอบเอียงจะช่วยเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบให้ใหญ่ขึ้นจึงเหมาะกับกรณีชิ้นทดสอบบางหรือการวิเคราะห์ความหนาของชั้นเคลือบของชิ้นทดสอบซึ่งมีความหนาไม่มาก การจับยึดเหมาะกับการขัดชิ้นทดสอบหลายๆ ชิ้นพร้อมกัน รวมถึงกรณีที่ต้องการทำงานกับเครื่องขัดอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 วิธีการจับยึดงานแบบต่างๆ [18]

3) การขัดละเอียด (Grinding)

หลังจากการตัดชิ้นทดสอบอย่างถูกต้องและถ้าจำเป็นอาจต้องจับยึดชิ้นทดสอบ เพื่อให้สะดวกต่อการเตรียมชิ้นทดสอบในขั้นต่อไปคือ การขัดละเอียดซึ่งจะขัดด้วยกระดาษทราย โดยเริ่มจากกระดาษทรายหยาบและเพิ่มความละเอียดขึ้นเรื่อยๆ ความหยาบของกระดาษทรายกำหนดเป็นหมายเลขเช่น หมายเลข 150 จะหยาบกว่าหมายเลข 280 หรือหมายเลข 400 จะหยาบกว่าหมายเลข 1200 ขณะที่เปลี่ยนหมายเลขของกระดาษทรายจากหยาบไปละเอียดจะต้องหมุนชิ้นทดสอบที่ขัดไป 90 องศา เพื่อให้รอยขีดใหม่ที่เกิดขึ้นทับรอยขีดเก่าและจะทำให้สามารถรู้ได้ว่ารอยขีดเก่าถูกขัดออกไปหมดหรือยัง ในขณะที่ขัดควรใช้น้ำช่วยเพื่อไม่ให้เกิดความร้อนและยังทำให้เม็ดทรายที่หลุดและเศษของชิ้นทดสอบสามารถหลุดออกไปได้ การขัดละเอียดควรขัดไปจนถึงกระดาษทรายอย่างน้อยหมายเลข 1000

4) การขัดมัน (Polishing)

หลังจากการขัดละเอียดด้วยกระดาษทรายจนถึงหมายเลข 1000 แล้วจะเห็นว่าผิวของชิ้นทดสอบมีลักษณะเป็นเส้นตามแนวของการขัด ซึ่งเมื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์จะยิ่งเห็นชัดเจนยิ่งขึ้น ฉะนั้นในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์จึงยังไม่เพียงพอต้องทำให้ผิวของชิ้นทดสอบมีความเรียบมากกว่านี้ ซึ่งสามารถทำได้โดยการขัดมัน โดยการขัดบนเครื่องขัดด้วยผ้าขัดและ

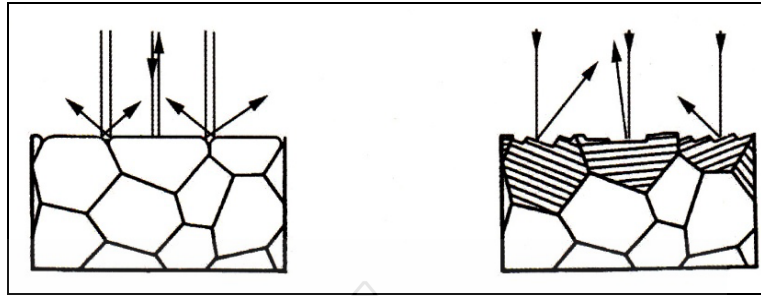
ผงขัด ผงขัดที่ใช้มีหลายประเภทที่นิยมใช้ได้แก่ อลูมินา (อลูมิเนียมออกไซด์ Al_2O_3) ผสมน้ำ การขัดควรขัดเปียก นอกจากนั้นยังนิยมใช้ผงเพชรซึ่งมีขนาดระหว่าง 1 ถึง 7 ไมโครเมตรซึ่งเหมาะสำหรับวัสดุที่มีเนื้อแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) เช่น เหล็กหล่อ ซึ่งสามารถตรวจดูรูปร่างของแกรไฟต์ ได้ทันทีหลังจากขัดมัน โดยไม่ต้องกัดกรด ผ่าขัดมันที่ใช้สามารถแยกออกเป็นแบบขนยาวซึ่งมีความนิ่มสูงทำให้สามารถขัดผิวได้ความเรียบมันสูง แต่ผลเสียทำให้บริเวณขอบกลายเป็นผิวโค้งข้อเสียนี้ แก้ไขได้โดยการใช้ผ้าขัดแบบขนสั้นซึ่งมีความนิ่มน้อยกว่า ส่งผลให้ผิวที่ได้อาจมีรอยขีดหลงเหลืออยู่แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 รูปร่างของแกรไฟต์ในเหล็กหล่อสีเทา [18]

5) การกัดกรด (Etching)

หลังจากการขัดมันแล้วผิวของโลหะจะมีลักษณะราบเรียบ ถ้านำไปพิจารณาใต้กล้องจุลทรรศน์จะไม่สามารถให้เกรนของโลหะได้ ยกเว้นเหล็กหล่อสีเทาสามารถมองเห็นรูปร่างของแกรไฟต์ได้หลังขัดมัน แสดงดังรูปที่ 2.19 การที่จะทำให้สามารถมองเห็นเกรนของโลหะทำได้โดยการนำชิ้นทดสอบ ซึ่งผิวขัดมันกัดด้วยกรด (Etching) บริเวณที่กัดจะทำปฏิกิริยาก่อน คือบริเวณขอบเกรนกรดจะกัดจนขอบเกรนมีลักษณะโค้งมน เมื่อแสงจากกล้องจุลทรรศน์ส่องมากระทบจะสะท้อนไปทิศทางอื่น ทำให้เห็นบริเวณนี้เป็นสีดำ นอกจากนั้นเกรนแต่ละชนิดยังถูกกรดกัดไม่เท่ากัน ทำให้เห็นเกรนมีลักษณะสีแตกต่างกันออกไป ดังรูปที่ 2.23

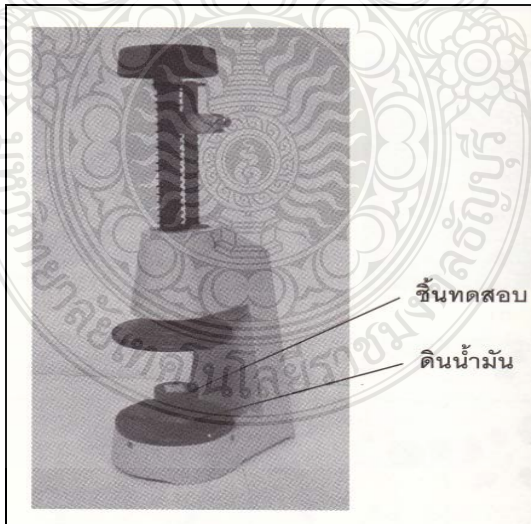


(ก) การกัศกรดบริเวณขอบเกรน (ข) การกัศกรดบริเวณผิวเกรน

รูปที่ 2.23 การสะท้อนของแสงเมื่อตกกระทบฉาก [18]

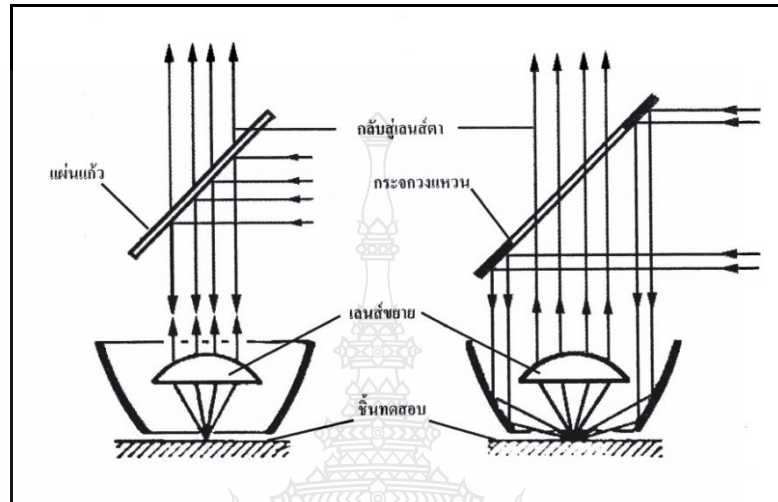
6) กล้องจุลทรรศน์สำหรับโลหะ (Metal Microscope)

หลังจากกัศกรเตรียมเรียบร้อยแล้ว ชิ้นทดสอบจะถูกล้างด้วยน้ำยาแอลกอฮอล์แล้วจึงเป่าให้แห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์สำหรับโลหะมีความชัดลึกล้นน้อยมากดังนั้นผิวของชิ้นทดสอบจะต้องตั้งฉากกับแสงที่ตกกระทบ จึงมักใช้เครื่องปรับผิวให้ได้ฉาก โดยเครื่องมีลักษณะเป็นแท่นขนาเคลื่อน โดยที่ด้านตรงข้ามผิวมีดินน้ำมันรองรับรอยทำให้ผิวชิ้นทดสอบปรับระดับได้ตามต้องการ แสดงดังรูปที่ 2.24 แสดงเครื่องปรับความฉากผิว



รูปที่ 2.24 เครื่องปรับความฉากผิว [18]

กล้องจุลทรรศน์สำหรับโลหะจะแตกต่างกับกล้องจุลทรรศน์ทั่วไปเพราะจะทำงานโดยการส่งแสงกระทบกับผิวชิ้นทดสอบซึ่งทั้งแสงตกกระทบตั้งฉากกับผิวชิ้นทดสอบ ซึ่งจะได้ภาพสว่าง (Bright Field) หรือแสงตกกระทบเป็นมุมเอียง ซึ่งจะได้ภาพมืด (Dark Field) แสดงดังรูป ที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ลักษณะการทำงานของเลนส์ [18]

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรศิริ จันท์เมือง [19] ได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาชนิดของแก๊สที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึง ของการเชื่อมบนเหล็กกล้าไร้สนิม ในกระบวนการเชื่อม MIG โดยใช้แก๊สเพื่อการเปรียบเทียบ 3 ชนิด ได้แก่ แก๊สอาร์กอน แก๊สอาร์โกซิล 50 และแก๊สอาร์โกซิล 63 พร้อมทั้งกำหนดอัตราการไหลของแก๊สที่ 15, 20 และ 25 ลิตรนาที และใช้ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS. A5.9 308LSi : MIG ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร โดยทำการเชื่อมบนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI เบอร์ 304 ที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร ใช้แขนกลควบคุมการเชื่อม โดยเป็นการเชื่อมแบบเดินบนชิ้นงานในตำแหน่งการเชื่อมทำราบ ชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นมีมุมฉากเท่ากับ 30 องศา (หรือเท่ากับมุมรวม 60 องศา) ชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 90 ชิ้น แบ่งเป็น 30 ชิ้นต่อแก๊สแต่ละชนิดและใช้ตัวอย่างชิ้นงาน 10 ชิ้นต่ออัตราการไหลแต่ละระดับ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมมินิแท็บ พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบด้วยการเชื่อมแก๊ส 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงของแก๊สอาร์โกซิล 50 เท่ากับ 607.19 MPa แก๊สอาร์โกซิล 63 เท่ากับ 600.03 MPa และแก๊สอาร์กอนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 588.51 MPa สำหรับอัตราการไหลของแก๊สทั้ง 3 ชนิด นั้นไม่แตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงควรใช้แก๊สอาร์โกซิด 50 และปรับอัตราการไหลที่ 15 ลิตรต่อนาที ในกระบวนการเชื่อม MIG สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมทั่วไป

ฉัตรทอง ไสแสง [20] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 การวิจัยเป็นการออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design ที่พารามิเตอร์ในการศึกษา ได้แก่ กระแสเชื่อม, ความเร็วในการเชื่อม และแก๊สปกคลุม โดยทำการศึกษาทางด้าน ความแข็งแรงดึงสูงสุด ความแข็งแรงดึงจุดคราก อัตราการยืดตัวและความแข็ง โดยได้ผลการทดลองดังนี้ 1) ผลการศึกษาต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง คือ ความเร็วในการเชื่อม ความสัมพันธ์คือ กระแสเชื่อม* ความเร็ว* แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์การเชื่อมที่กระแสเชื่อม 90 แอมป์ ความเร็ว 500 มม./ นาที และปกคลุมด้วยแก๊ส Ar + 5 % O₂ จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่มีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 95.85 kg / mm² 2) ผลการศึกษาต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก (Yield Point) พบว่าปัจจัยหลักทั้งสามตัวไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง ความสัมพันธ์ คือ กระแสเชื่อม* ความเร็ว* แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์การเชื่อมที่กระแสเชื่อม 90 แอมป์ ความเร็ว 300 มม./ นาที ปกคลุมด้วยแก๊ส Ar + 3%N₂ มีค่าเท่ากับ 66.09 kg / mm² 3) ผลการศึกษาต่ออัตราการยืดตัว (Elongation) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง คือ พารามิเตอร์การเชื่อมทั้งสาม ความสัมพันธ์ คือ กระแสเชื่อมความเร็ว แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์การเชื่อมที่กระแสเชื่อม 100 แอมป์ ความเร็ว 400 มม./ นาที ปกคลุมด้วยแก๊ส Ar + 5%H₂ มีค่าเท่ากับ 20% 4) ผลการศึกษาต่อความแข็งแรง (Hardness) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง คือความเร็ว และแก๊สปกคลุม ความสัมพันธ์ คือ กระแสเชื่อม* ความเร็ว* แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์การเชื่อมที่กระแสเชื่อม 90 แอมป์) ความเร็ว 300 มม./ นาที ปกคลุมด้วยแก๊ส Ar + 5%H₂ มีค่าเท่ากับ 278.33 HV ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile) ที่มีค่ามากที่สุดกับชิ้นงานที่มีค่าต่ำสุด พบว่าลักษณะโครงสร้างของ Columnar Dendrite และการโตของเกรนในบริเวณ HA₂ มีความแตกต่างกันมาก กล่าวคือ ขนาดของ Columnar dendrite จะเล็กกว่า ในกรณีของชิ้นงานที่มี Ultimate Tensile สูงกว่า และขนาดของเกรนที่โตในบริเวณ HAZ ก็โตได้น้อยกว่า ส่วนโครเมียมคาร์ไบด์ (Cr₂₃ C₆) สามารถเกิดขึ้นได้กับทั้งสอง

ปริญญา แสงทอง [21] ได้ทำการศึกษาปัจจัยซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาพ และสมบัติทางกลของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โดยใช้กระบวนการเชื่อม MIG โดยมีปัจจัยคือ กระแสเชื่อมมี 3 ระดับ คือ 150 160 และ 170 Amp. แรงดันไฟฟ้ามี 3 ระดับคือ 20 22 และ 24 Volt และแก๊สอาร์กอนมี 2 ระดับ คือ ความบริสุทธิ์ของแก๊สอาร์กอน 99.990 % และความบริสุทธิ์ของ

แก๊สอาร์กอน 99.999 % ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อ ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดคือ กระแสเชื่อม แรงดันไฟฟ้า และแก๊สอาร์กอน ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวคือ กระแสเชื่อม แรงดันไฟฟ้า และแก๊สอาร์กอน ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก คือ กระแสเชื่อม แรงดันไฟฟ้า และแก๊สอาร์กอน ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก คือ กระแสเชื่อม แรงดันไฟฟ้าและแก๊สอาร์กอน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

สุวัฒน์ ภูภา และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์ [4] ได้ทำการศึกษาการเชื่อมมิกรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริก 430 ด้วยการแปลงกระแสเชื่อมจาก 80 – 120 A พบว่ารอยเชื่อมทุกกระแสเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่เกิดจุดบกพร่องใดๆ ในแนวเชื่อมโครงสร้างแสดงความสามารถในการหลอมหลวมเข้ากันอย่างสมบูรณ์ของเหล็กกล้าคาร์บอนเหล็กกล้าไร้สนิม และโลหะเชื่อม ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงพบว่าความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อมมีค่าสูงกว่าโลหะหลัก ซึ่งงานเกิดการพังทลายที่เหล็กกล้าคาร์บอน SS400

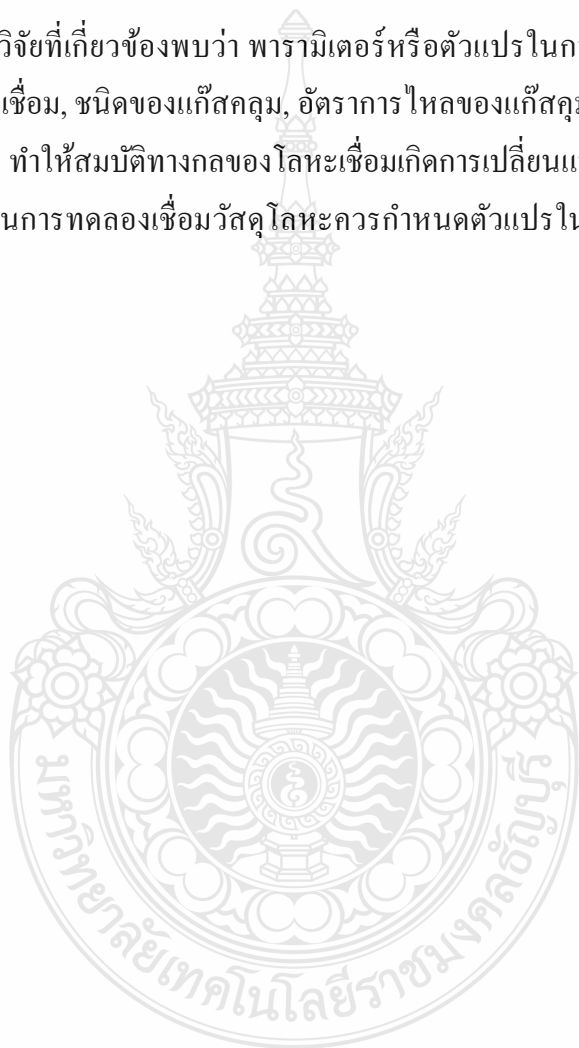
Lee al. [5] ทำการศึกษาเพื่อหาค่าการพังทลายจากการเกิดความกล้า (Fatigue) และการเกิดการคืบตัว (Creep) ของรอยต่อเชื่อมมิกรอยต่อชนเหล็กกล้าผสม 9Cr – 1 Mo และมีเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ซึ่งงานที่ได้นำมาทำการทดสอบความกล้าคืบตัว (Creep fatigue testing) ที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และให้แรงคงที่ 30MPa ผลการทดลองที่ได้ถูกนำไปทำการเปรียบเทียบกับรอยต่อที่เป็นโลหะชนิดเดียวพบว่ารอยต่อวัสดุต่างชนิดนั้นมีค่าการพังทลายที่วิกฤตว่าคือทนต่อความกล้าคืบตัวที่ต่ำกว่า

Sireesha et al. [6] ทำการศึกษาการเชื่อมรอยต่อวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม 316LN และโลหะผสมอินโคเนล 800 โดยการเชื่อมทิก (GTAW) เพื่อศึกษาหาค่าการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะเชื่อม ขอบของพื้นที่กระทบร้อนกับโลหะเชื่อม และพื้นที่กระทบร้อนของแนวเชื่อม ที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงและถูกนำไปทำการใช้งานที่อุณหภูมิสูงหลังจากการเชื่อม ผลการทดลองพบว่า โลหะเชื่อมมีการแข็งตัวเป็นโครงสร้างเดนไดร์ท และแสดงโครงสร้างที่เป็นเซลล์ลูลา บริเวณโลหะเชื่อมด้านโลหะผสมอินโคเนล 800 มีเสถียรในโลหะเชื่อมที่เกิดจากฟลักซ์ที่ใช้ในการเชื่อม แต่บางส่วนหลุดออกไปได้เนื่องจากการเชื่อมภายใต้สภาวะแก๊สเฉื่อย การให้ความร้อนซ้ำที่อุณหภูมิสูง ก่อให้เกิดเฟสที่มีความเปราะ คือ เฟสซิกมาตกผลึกด้านเหล็กกล้าไร้สนิมแต่ไม่พบในโลหะผสมอินโคเนล 800 ทำให้แสดงให้เห็นว่าโลหะผสมอินโคเนล 800 มีความเสถียรที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่า

Das et al. [7] ทำการศึกษาความสามารถในการเชื่อมของรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค 304L และเหล็กกล้าไร้สนิม 403 โดยการเชื่อมทิก (GTAW) โดยการใช้ลวดเชื่อม ERNiCr-3 โดยการเชื่อม 2 รูปแบบ คือ การเชื่อมแนวบัพเฟอร์ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403

อีกแบบการเชื่อมแนวบัพเฟออร์ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 พร้อมทำการอบหลังการเชื่อม (post – weld heat – treatment) ผลการทดลองพบว่า พื้นที่ที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม 403 มีความเหนียวและสามารถยึดตัวคล้ายกับด้านที่ทำการอบหลังการเชื่อม ผลการทดลองระบุว่า หากทำการเชื่อมลักษณะนี้ไม่จำเป็นต้องทำการอบชุบหลังการเชื่อมเพราะว่ากระบวนการเชื่อมที่ออกแบบนั้นมีวัฏจักรความร้อนที่ส่งผลคล้ายการอบชุบให้แก่ชิ้นงานแล้ว

สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า พารามิเตอร์หรือตัวแปรในการเชื่อม เช่น กระแสเชื่อม, ความเร็วเดินเชื่อม, มุมเชื่อม, ชนิดของแก๊สคลุม, อัตราการไหลของแก๊สคลุม เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อสมบัติทางกลของโลหะเชื่อม ทำให้สมบัติทางกลของโลหะเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อเปลี่ยนตัวแปรการเชื่อมดังกล่าว ดังนั้นในการทดลองเชื่อมวัสดุโลหะควรกำหนดตัวแปรในการศึกษาให้เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ทดลอง



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

เนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึง การศึกษากรรมวิธีการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม การเตรียมชิ้นงานเชื่อม การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเชื่อม การเชื่อมชิ้นงานทดสอบ การเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล โดยการทดสอบความต้านทานแรงดึงเหนือนและการทดสอบความแข็งแรงไมโครวิกเกอร์ส ตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค โดยมีรายละเอียดดังนี้

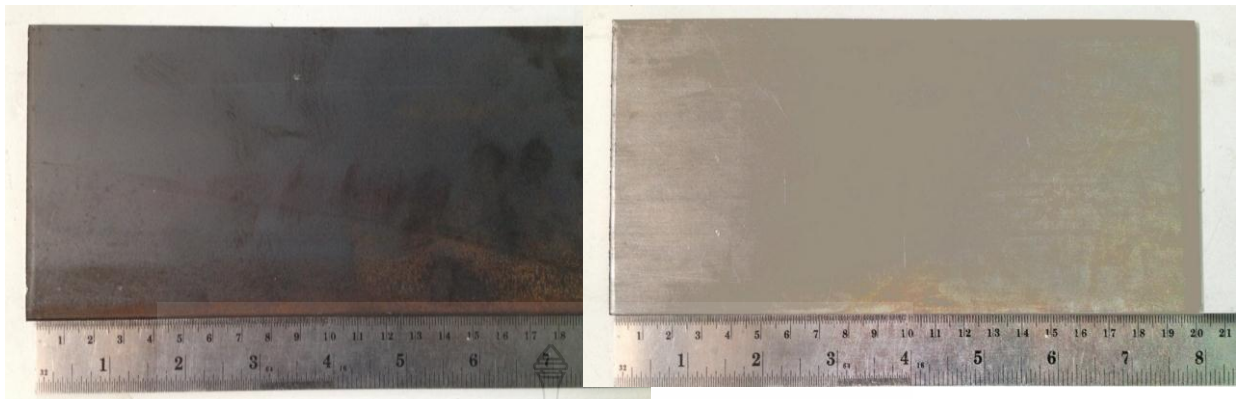
3.1 การศึกษากรรมวิธีการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม

กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW) กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เป็นกระบวนการเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมสั้นเปลือยขนาดเล็กจากม้วนลวดซึ่งจะถูกป้อนผ่านหัวเชื่อม (Torch or Welding Gun) ออกมาอย่างต่อเนื่องผ่านท่อนำกระแสเชื่อม (Contact Tip) ลวดเชื่อมจะสัมผัสกับขั้วนำกระแสทำให้กระแสเชื่อมไหลเข้าสู่ลวดเชื่อม เมื่อปลายลวดเชื่อมแตะกับขั้วโลหะชิ้นงานจะเกิดการอาร์กขึ้น ความร้อนจากการอาร์กจะหลอมขั้วโลหะชิ้นงานและปลายลวดเชื่อมจะหลอมเป็นหยดเติมเข้าไปในบ่อหลอมเหลวของรอยเชื่อม ในขณะเดียวกันแก๊สจากท่อบรรจุไหลทางท่อจ่ายสู่หัวฉีดพุ่งออกมาสู่บ่อหลอมเหลว เพื่อทำหน้าที่เป็นม่านป้องกันไม่ให้ออกซิเจนหรือแก๊สอื่นในบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับเปลวอาร์ก

3.2 การเตรียมชิ้นงาน

ในการจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จะใช้ในกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ทางคณะผู้ทำการศึกษาได้แยกหัวข้อการเตรียมงานไว้ดังต่อไปนี้

3.2.1 เตรียมชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ขนาด 100×200×3 mm. ด้วยเครื่องตัดโลหะแผ่นแบบใบมีดโยกตัดด้วยระบบไฮดรอลิกส์ แสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2



(ก) แผ่นงานเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

(จ) แผ่นงานเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304

รูปที่ 3.1 การเตรียมชิ้นงานเชื่อม



รูปที่ 3.2 ลักษณะเครื่องตัดโลหะแผ่นแบบใบมีดโยกตัดด้วยระบบไฮดรอลิกส์

3.3 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเชื่อม

ในการจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเชื่อม เพื่อความเที่ยงตรงของค่ากระแสไฟ จะต้องทำการตรวจสอบกระแสด้วยเครื่องวัดกระแส โดยใช้คลิปแอมป์ จับเพื่ออ่านค่ากระแส และปรับแต่งให้ได้ค่าที่ถูกต้องก่อนทำการเชื่อม แสดงดังรูปที่ 3.3



(ก) เครื่องตัดแก๊สอัตโนมัติ



(ข) เครื่องเชื่อมมิก

รูปที่ 3.3 (ก) ลักษณะเครื่องตัดแก๊สแบบอัตโนมัติ (ข) ลักษณะเครื่องเชื่อมมิก

3.4 การเชื่อมชิ้นงานทดสอบ

3.4.1 เตรียมเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ โดยการเปิดเครื่องเชื่อม เช็ควาล์วผสมของแก๊ส , เช็ควาล์วอัตราการป้อนลวดเชื่อม เช็กระแสที่ใช้เชื่อม



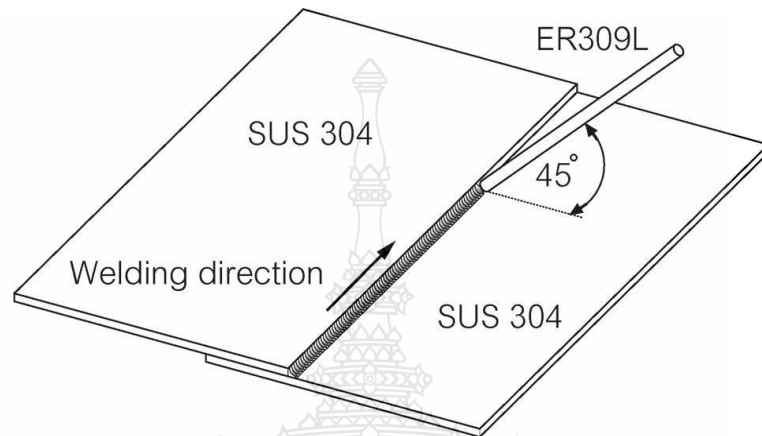
รูปที่ 3.4 ลักษณะการวัดกระแสในการเชื่อม

3.4.2 นำแผ่นชิ้นงานที่ตัดเสร็จเรียบร้อยแล้วมาทำการจับยึดชิ้นงานโดยนำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 วางบนแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยให้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกยแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนที่ 30 mm. จากนั้นทำการขันยึดให้แน่น แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะการจับยึดชิ้นงาน

3.4.3 เชื่อมโลหะขึ้นงานด้วยแก๊สผสม อาร์กอน 95% + ฮีเลียม 5% ด้วยลวดเชื่อม ER309 ขนาด 1.2 มิลลิเมตร คงที่ แสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7



รูปที่ 3.6 ลักษณะการเชื่อม



รูปที่ 3.7 ลักษณะขึ้นงานเชื่อม

3.5 การเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล

3.5.1 นำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม มาทำการตัดตามขนาดเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกล และโครงสร้างทางโลหะวิทยาต่อไป แสดงดังรูปที่ 3.8

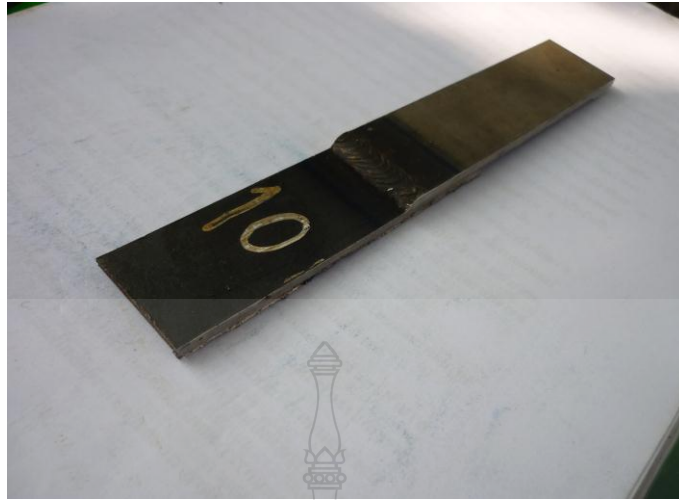


รูปที่ 3.8 ลักษณะการตัดชิ้นงานทดสอบ

3.5.2 การเตรียมชิ้นทดสอบแรงดึงเพื่อนำมาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1002 – 99



(ก) ตัดชิ้นงานทดสอบ



(ข) ชิ้นงานทดสอบแรงดึงเฉือน



(ค) ปรับขนาดของชิ้นงานให้ได้ตามมาตรฐาน

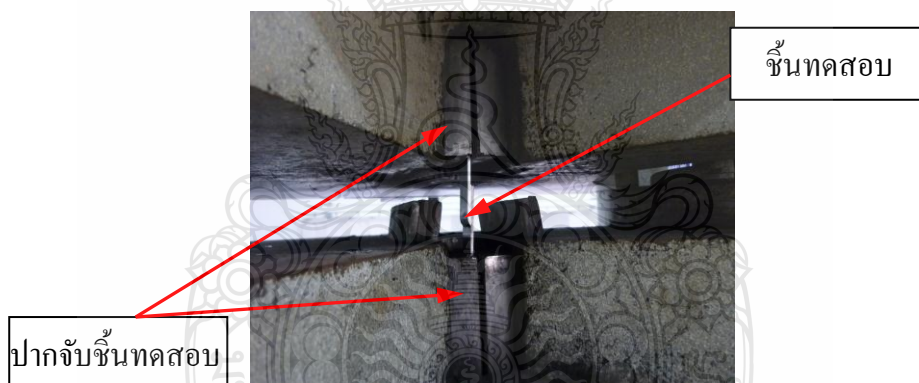
รูปที่ 3.9 การเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงเฉือน

3.6 การทดสอบแรงดึงเฉือน

3.6.1 การทดสอบแรงดึงเฉือนตามมาตรฐาน ASTM D 1002 – 99 โดยในการจับชิ้นทดสอบนั้นผู้จัดทำได้กำหนดให้วัสดุ SUS 304 อยู่ด้านบน



(ก) เครื่องทดสอบแรงดึง



(ข) แสดงการจับยึดชิ้นทดสอบบนเครื่อง

รูปที่ 3.10 การทดสอบแรงดึงของชิ้นทดสอบ

จากการทดสอบแรงดึงเดือน ตามมาตรฐาน ASTM D 1002 – 99 จะเห็นได้ว่า ชิ้นงานทดสอบแรงดึงเดือนตามมาตรฐาน ASTM D 1002 - 99 มีการเสียหายที่วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 ซึ่งหากพิจารณาความสามารถในการรับแรงดึงจะไม่ต่างกันมากนัก ผู้จัดทำจึงได้มีการคำนวณหาความดันแรงดึงเดือน จากการกระทำของแรงครั้งนี้โดยพิจารณาที่ 27 KN ซึ่งเป็นแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการขาดเสียหาย

จากสมการที่ (2.5)

$$\tau = \frac{F}{(2) \cdot (0.707)hl} \quad (\text{Duble lap Join})$$

เมื่อ

F = แรง มีหน่วยเป็นปอนด์ (lbs), กิโลกรัม (kgs) หรือนิวตัน

l = ความยาวของแนวเชื่อมทั้งหมดที่ได้รับแรงเฉือน (Total Length) มีหน่วยเป็นนิ้วหรือ มม.

h = ระยะความสูงของแนวเชื่อมฟิลเลท หน่วยเป็นนิ้วหรือ มม.

τ = ความเค้นแรงดึง - แรงเฉือนของแนวเชื่อม มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว, กก./ซม.² หรือนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

จะเห็นได้ว่า

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{F}{0.707 hl} \\ &= \frac{27 \text{ KN}}{0.707 \cdot (3.18) \cdot (25.4)} \\ &= 472.81 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{MPa.}) \end{aligned}$$

หมายเหตุ : * 2 เป็นแฟกเตอร์ที่บอกว่าเป็นเชื่อมฟิลเลท 2 ด้าน ในที่ทดสอบเป็นการเชื่อมด้านเดียวจึงไม่มี 2 เข้ามาคูณ

** ค่าความสูงของแนวเชื่อมผู้จัดทำได้ใช้ค่าความสูงสุด

จากการทดสอบที่ความเค้นแรงดึง - แรงเฉือน แรง 472.81 MPa. ทำให้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 เกิดการเสียหาย นั่นก็หมายความว่าหากต้องการให้ ชิ้นงานทดสอบเกิดการขาดบริเวณแนวเชื่อมความเค้นแรงดึง - แรงเฉือน ต้องมากกว่า 472.81 MPa. และหากพิจารณาตารางที่ 2.6 ลวดเชื่อม ER 309L มีความดันแรงดึงที่ 85200 PSI (lb/in) หรือ 589.55 MPa. ซึ่งหากต้องการให้เกิดการขาดบริเวณแนวเชื่อมผู้จัดทำต้องใช้ความเค้นแรงดึงที่มากกว่า 589.55 MPa. ในที่นี้ผู้จัดทำได้

เลือกวิธีการลดพื้นที่การรับแรงและพิจารณาความเค้นแรงดึง – แรงเฉือน โดยพิจารณาจากความเค้น 600 MPa. ว่ามีความยาว l เท่าใด แสดงการคำนวณดังนี้

$$600 \text{ MPa.} = \frac{27 \text{ kN.}}{0.707(3.56)* l}$$

$$l = \frac{27 \text{ kN.}}{0.707(3.56) (600 \text{ MPa.})}$$

$$l = 17.88 \text{ mm.}$$

นั่นหมายความว่า หากเกิดความเค้นแรงดึงเฉือนที่ 600 MPa. กระทำลงบนชิ้นทดสอบจะเกิดการเสียหายบริเวณแนวเชื่อมก็ต่อเมื่อ ความยาว l ของแนวเชื่อมมีค่าน้อยกว่า 17.88 mm. โดยที่ไม่ทำให้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 เกิดการเสียหายก่อน ผู้จัดทำจึงได้ลดพื้นที่แนวเชื่อมลงเหลือ 10 mm. เพื่อที่ง่ายต่อการคำนวณและมั่นใจว่าจะเกิดความเสียหายบริเวณแนวเชื่อมอย่างแน่นอน

หมายเหตุ : * ใช้ความสูงมากที่สุดของแนวเชื่อม

3.6.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงเฉือน โดยมีการบังคับให้เกิดการขาดเสียหายบริเวณแนวเชื่อม

เนื่องจากการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 1002 - 99 ทำให้ชิ้นงานทดสอบไม่ขาดเสียหายบริเวณแนวเชื่อม จึงทำให้ไม่สามารถที่ทราบผลการรับแรงดึง – แรงเฉือน ของแนวเชื่อม ผู้จัดทำจึงได้มีการเตรียมชิ้นงานใหม่โดยมีการบังคับให้ขาดบริเวณแนวเชื่อม โดยขั้นตอนการทดสอบนั้นเป็นไปตามการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1002 – 99 เพียงแต่มีการปรับเปลี่ยนชิ้นทดสอบเล็กน้อย ทั้งนี้เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.11 ชิ้นทดสอบแรงดึงที่มีการบั้งการขาดบริเวณแนวเชื่อม

3.7 การทดสอบความแข็งแรงไมโครวิกเกอร์ส

การทดสอบคุณสมบัติทางกลของกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม ทางผู้ศึกษาได้มีการทดสอบความแข็งแรงแบบไมโครวิกเกอร์ส โดยมีตำแหน่งการกดและขั้นตอนเป็นดังนี้



รูปที่ 3.12 แสดงตำแหน่งของการกดวัดความแข็งแรง

1. วัสดุ SUS 304
2. บริเวณ HAZ SUS 304
3. บริเวณ Fusion line SUS 304

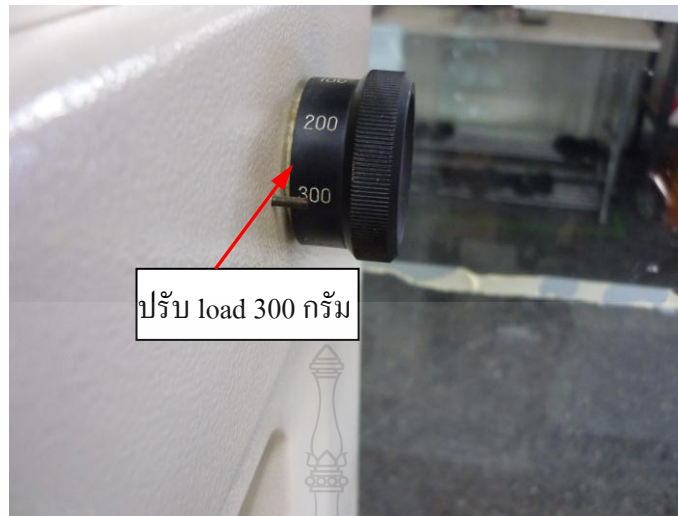
4. บริเวณ Diffusion Zone
5. บริเวณ Fusion line SS 400
6. บริเวณ HAZ SS 400
7. วัสดุ SS 400

3.7.1 ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) เปิดเครื่องทดสอบพร้อมทำการปรับ load 0.3 kgf จากนั้นนำชิ้นงานที่จะทดสอบมาทำการทดสอบความแข็งบนเครื่องทดสอบ

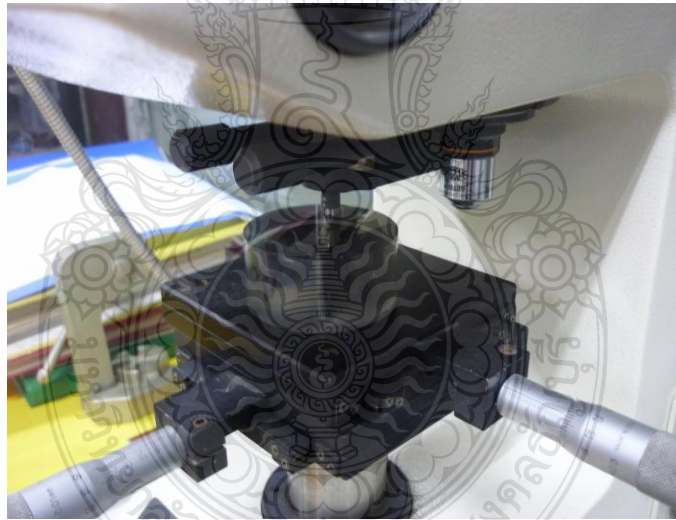


รูปที่ 3.13 เครื่องวัดความแข็งไมโครวิกเกอร์ส



รูปที่ 3.14 การปรับปรับ load 300 กรัม

2) ทำการตั้งตำแหน่งที่ต้องการกดจากนั้นทำการกดเวลาประมาณ 30 วินาที



รูปที่ 3.15 วัดความแข็งไมโครวิกเกอร์ส

3.8 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

1) ตัดชิ้นงานและการตรึงชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.16



(ก) เครื่องตัดชิ้นงาน



(ข) ชิ้นงานที่ตัดทำการตรวจสอบโครงสร้าง

(ค) ทำการจับยึดชิ้นงานด้วยเรซิน



(ง) ชิ้นงานที่ทำการขึ้นเรือนแล้ว

รูปที่ 3.16 การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้าง

2) ขัดผิวชิ้นงานจะใช้กระดาษทรายน้ำ ดิคบนเครื่องขัดแบบจานหมุน เริ่มขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180, 220, 320, 400, 600, 800, 1000 และ 1200 ต้องขัดทิศทางเดียวกันตลอดผิวชิ้นงานแล้วหมุนไปมุม 90 องศา โดยให้มีน้ำไหลผ่านชิ้นงานตลอดเวลา



(ก) เครื่องขัดกระดาษทราย



(ข) ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย

รูปที่ 3.17 การขัดชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

3) หลังจากขัดกระดาษทรายแล้วนำชิ้นงานมาขัดบนผ้าสักหลาด ซึ่งมีผงขัดได้แก่ ผงอลูมินา ผสมกับน้ำแล้วฉีดลงบนผ้าสักหลาดก่อนนำชิ้นงานลงขัด ซึ่งผงอลูมินา ที่ใช้โดยทั่วไปมีขนาดประมาณ 0.3 และ 0.05 ไมโครเมตรในการขัดผงต่างๆ เหล่านี้โดยทั่วไปจะต้องทำการขัดจนกว่าผิวชิ้นงานเรียบ และไม่มีรอยต่างๆ ปรากฏที่ผิวชิ้นงาน ชิ้นงานจะมีความเงาใสคล้ายกระจก



(ก) การขัดชิ้นงานขัดบนผ้าสักหลาด



(ข) ผงอลูมินา

รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการขัดผ้าสักหลาด

4) เมื่อขัดชิ้นงานด้วยผ้าสักหลาดแล้ว นำชิ้นงานมาล้างทำความสะอาด เป่าผิวหน้าชิ้นงานให้แห้งด้วยไดร์เป่าผม จากนั้นนำชิ้นงานมากัดผิวด้วยกรด $\text{HNO}_3 + \text{HCl} +$ น้ำกลั่น ประมาณ 5 - 60 วินาที จากนั้นทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น แล้วเป่าให้แห้ง



(ก) กรดที่ใช้ในการกัดผิวชิ้นงาน



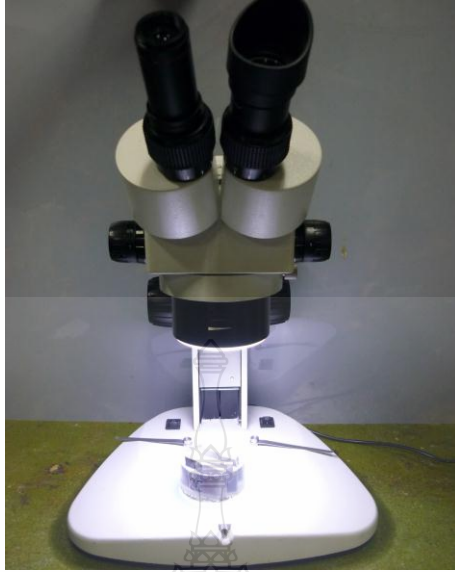
(ข) การกัดกรด



(ค) ขั้นตอนการเป่าชิ้นงาน

รูปที่ 3.19 ขั้นตอนการกัดกรดและการเป่าทำความสะอาดชิ้นงาน

5) นำชิ้นงานไปส่องกล้องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 1 เท่า จัดเก็บข้อมูลภาพโครงสร้างและวิเคราะห์ผล



(ก) ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์



(ข) ถ่ายภาพโครงสร้าง

รูปที่ 3.20 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค

บทที่ 4

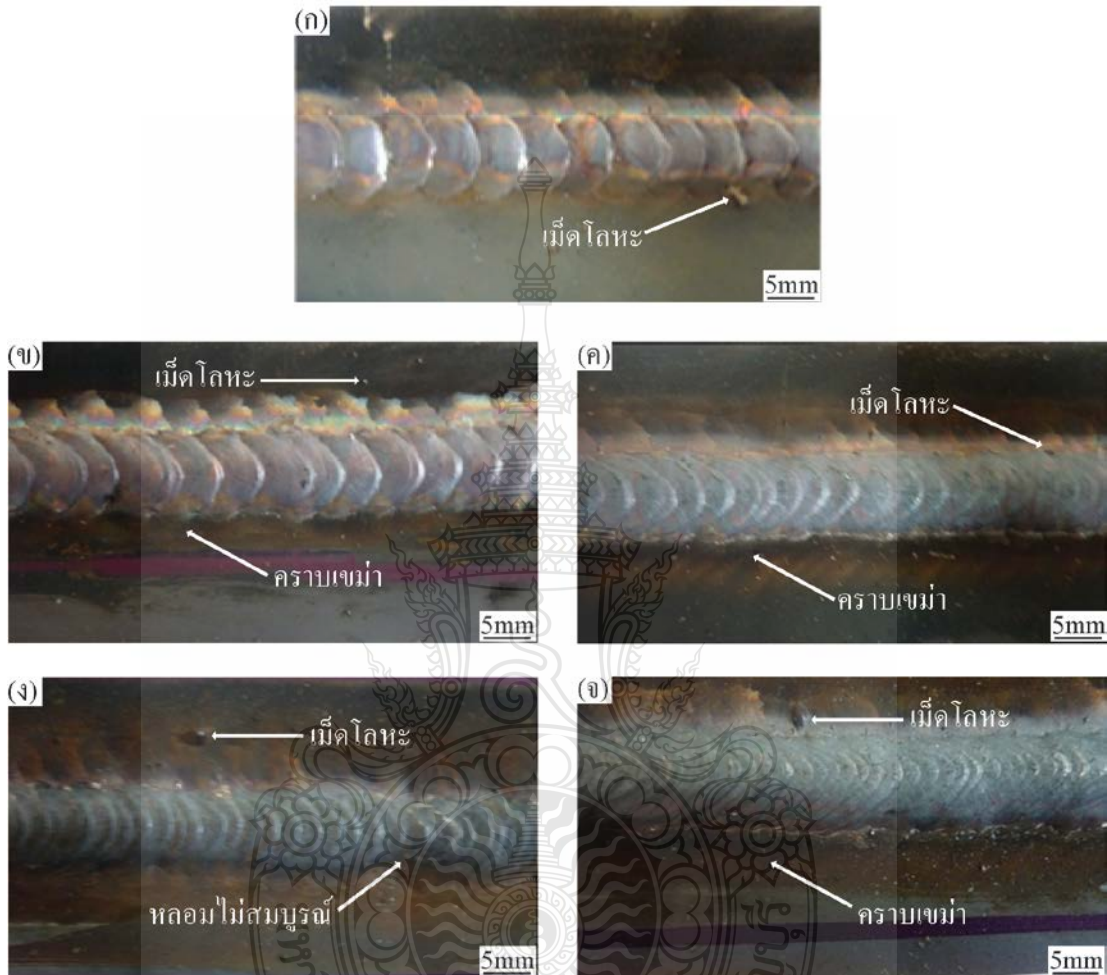
ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม รอยต่อเกลียวเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่มีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยา วัสดุมีความหนา 3 มม. ถูกนำมาตัดให้มีขนาดกว้าง 100 มม. ยาว 200 มม. วางชิ้นงานในตำแหน่งท่าราบโดยใช้ลวดเชื่อม AWS.A5.9 ER309L ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มม. แก๊สคลุมคือ แก๊สผสม 95%Ar+5%He ตัวแปรที่ทำการทดลองในการเชื่อมประกอบด้วย กระแสไฟเชื่อม มุมเชื่อม และความเร็วเดินแนวเชื่อม ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม นำมาทำการตรวจความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมด้วยตาเปล่าบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม ทดสอบสมบัติทางกล โดยการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macro Structure) โครงสร้างจุลภาค (Micro Structure) ทดสอบแข็งแรงดึงเฉือน (Tensile shear strength testing) ทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers Hardness Test) ในการทดสอบคุณสมบัติทางกลทางด้านความต้านทานแรงดึงเฉือน ได้แบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ ในส่วนแรกขึ้นทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D1002-99 และส่วนที่สองเป็นขึ้นทดสอบที่ผู้จัดทำมีการบังคับให้ขึ้นทดสอบมีการเสียหายบริเวณแนวเชื่อม ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อเกลียว

รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะผิวหน้าของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 80-120 แอมแปร์ มุมเชื่อม 45° และความเร็วเดินเชื่อม 200 มม./นาที จะเห็นได้ว่ากระแสที่ต่ำแนวเชื่อมจะมีลักษณะเป็นเกร็ดแนวเชื่อมที่ห่างอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะที่กระแสเชื่อม 80 และ 90 แอมแปร์ และยังมีเม็ดโลหะติดอยู่บริเวณขอบของแนวเชื่อม เมื่อเพิ่มกระแสไฟเชื่อมไปที่ 100 - 120 แอมแปร์ พบว่าแนวเชื่อมมีเกร็ดแนวเชื่อมที่ละเอียดเพิ่มขึ้นตามลำดับ และมีคราบเขม่าที่เห็นได้ชัดเจนที่กระแสไฟเชื่อมสูงขึ้น ระยะเวลาบ่มหลอมละลายมีความสมบูรณ์แต่มีเม็ดโลหะด้านข้างแนวเชื่อมแสดงในรูปที่ 4.1(ก) แต่เมื่อพิจารณาจากแนวเชื่อมที่กระแส 110 แอมแปร์ พบความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อมดังกล่าวดังแสดงในรูปที่ 4.1(ง) หรืออาจกล่าวได้ว่า ที่ความเร็วในการเดินหัวเชื่อมเท่ากัน แต่มีกระแสไฟในการเชื่อมที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดผลต่อรูปร่างภายนอกของแนวเชื่อมโดยตรง และอาจจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของแนวเชื่อมได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองต่อ โดยทำ

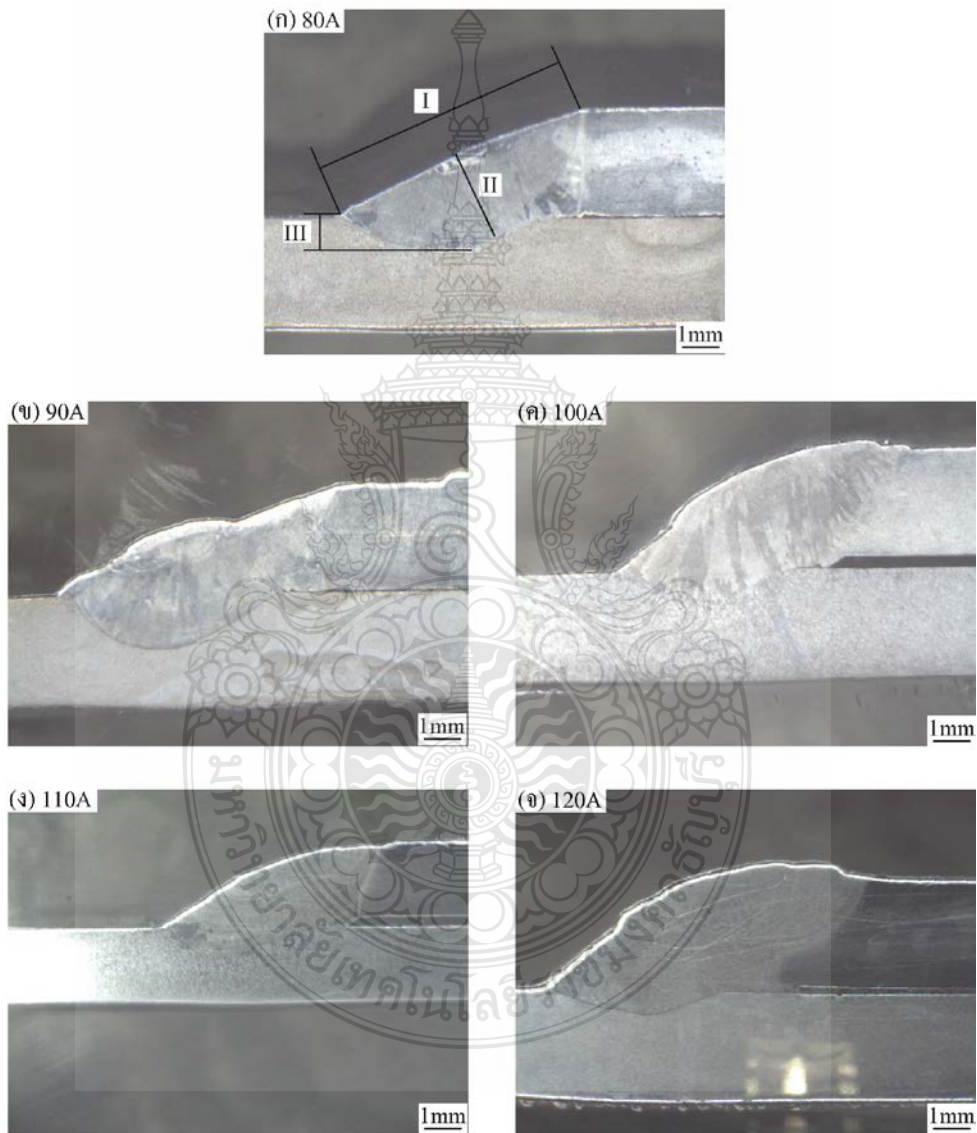
การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและทำการวัดขนาดต่างๆของแนวเชื่อม เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบในการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลต่อไป



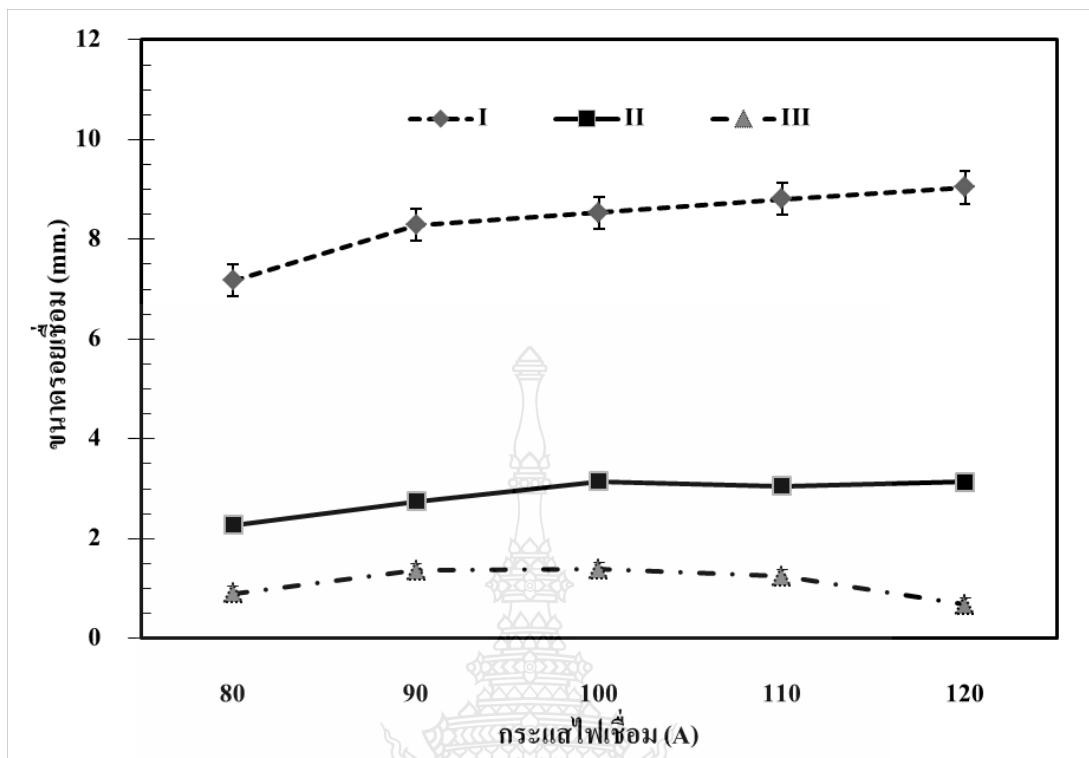
รูปที่ 4.1 ผิวหน้ารอยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 80 – 120 แอมแปร์ (ก)=80A, (ข)=90A, (ค)=100A, (ง)= 110A, (จ)=120A

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและวัดขนาดของรอยเชื่อมพบว่า เนื้อเชื่อมแต่ละกระแสมีลักษณะที่แตกต่างกัน จากภาพที่ 4.2 (ก) กระแสไฟ 80 แอมแปร์ จะมีลักษณะของผิวเนื้อเชื่อมที่แบนราบและมีการซึมลึกที่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับที่กระแสไฟ 90 แอมแปร์ จะมีการซึมลึกของเนื้อเชื่อมที่มากกว่าและยังมีผิวเนื้อเชื่อมที่นูนกว่า ดังแสดงในภาพที่ 4.2 (ข) และเมื่อพิจารณาต่อไปอีกพบว่าเมื่อเพิ่มกระแสไฟเชื่อมไปที่ 100 และ 110 แอมแปร์ จะเห็นได้ว่าบริเวณเนื้อเชื่อมมีการซึมลึกที่สูงขึ้นและ

มีผิวเนื้อเชื่อมที่นูนขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสไฟที่ต่ำกว่า แต่เมื่อเพิ่มกระแสไฟไปที่ 120 แอมแปร์ ผิวเนื้อเชื่อมมีความนูนเพิ่มขึ้นแต่กลับมีการซึมลึกของเนื้อเชื่อมที่ลดลง โดยกำหนดให้ I คือ ผิวหน้าแนวเชื่อม (Face), II คือ ความนูนแนวเชื่อม (Throat) และ III คือ การซึมลึกของแนวเชื่อม (Root) ดังแสดงในภาพที่ 4.2 (ก)

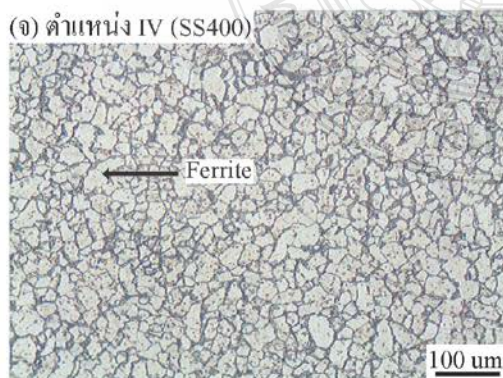
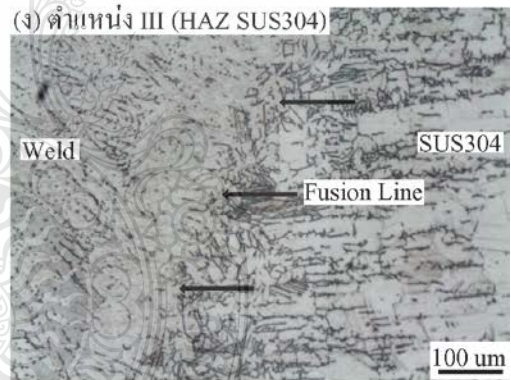
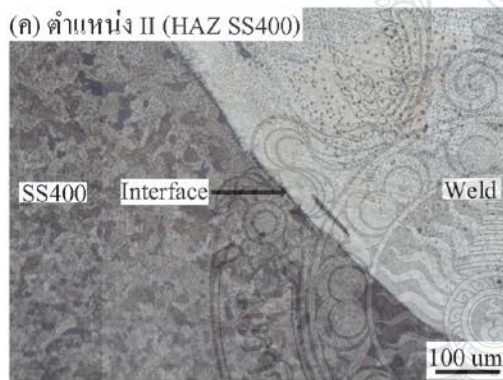
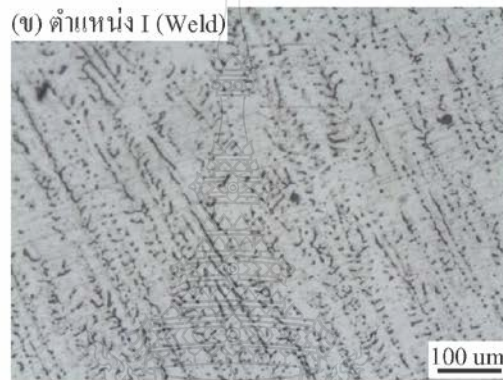
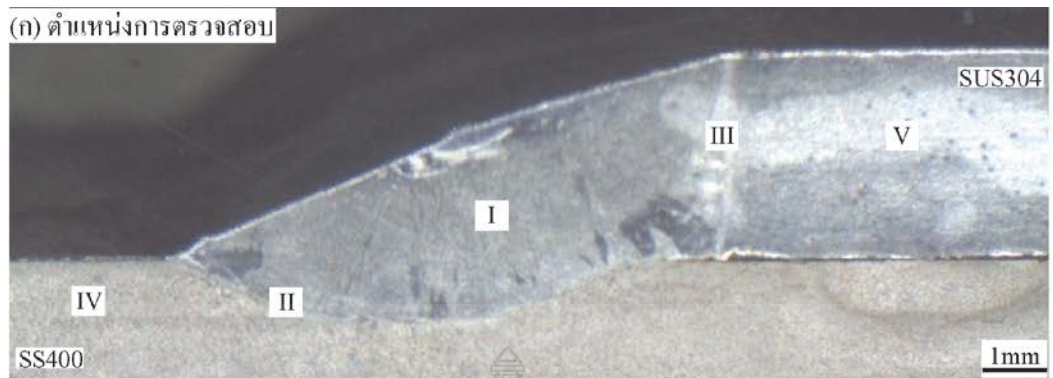


รูปที่ 4.2 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกบ (I=ความกว้างของรอยเชื่อม, II=ความสูงของรอยเชื่อม, III การซึมลึกของรอยเชื่อม)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟเชื่อมและขนาดต่างๆ ของรอยเชื่อม

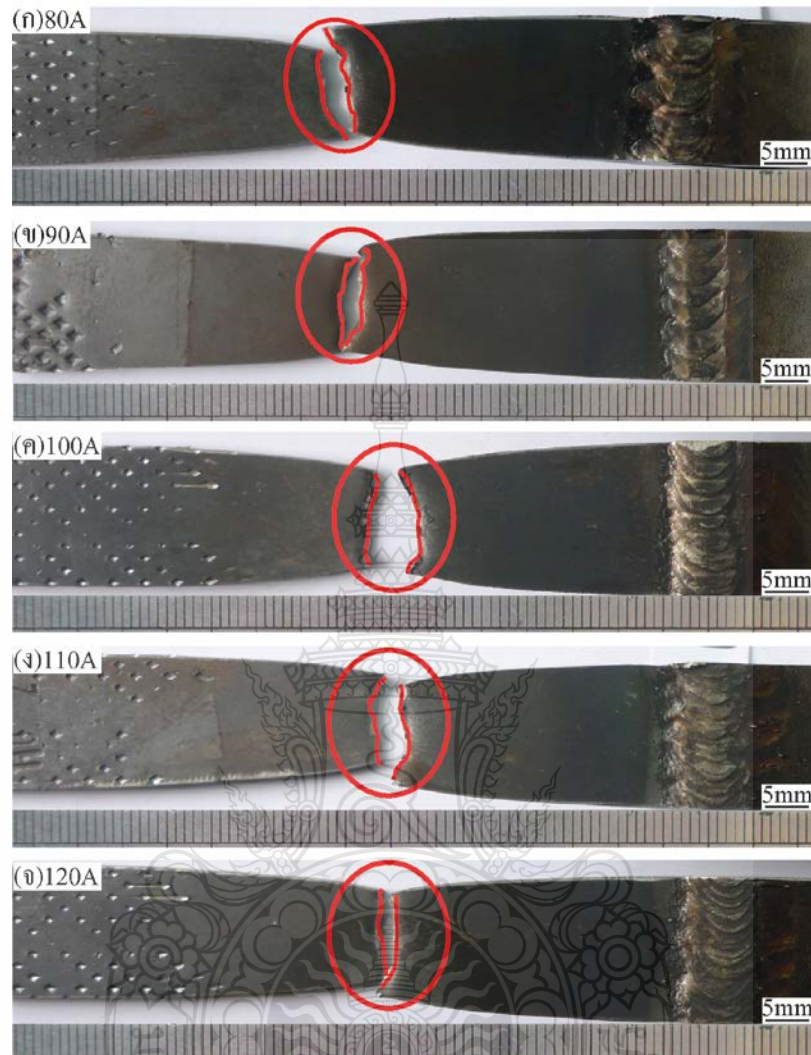
รูปที่ 4.3 ผู้วิจัยได้ทำการวัดขนาดของรอยเชื่อมเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของรอยเชื่อมเมื่อใช้กระแสเชื่อมที่ต่างกัน โดยกำหนดพื้นที่การวัดขนาดรอยเชื่อมที่บริเวณ ความกว้างผิวหน้าแนวเชื่อม (I), ความนูนแนวเชื่อม (II), และการซึมลึกของแนวเชื่อม (III) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก), (ข), (ค), (ง) และ (จ) เมื่อทำการวัดขนาดรอยเชื่อมที่บริเวณดังกล่าวพบว่า บริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม (I) ที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์ วัดขนาดความกว้างได้ 4.5 มิลลิเมตร และมีแนวโน้มนำเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยที่กระแสไฟ 120 แอมแปร์ จะมีความกว้างสูงสุดที่ 5.8 มิลลิเมตร และเมื่อพิจารณาที่ความนูนแนวเชื่อม (II) พบว่าที่กระแสไฟต่างกันกับมีขนาดความนูนแนวเชื่อมที่ใกล้เคียงกัน โดยมีขนาดความนูนแนวเชื่อม (II) เฉลี่ยอยู่ที่ 2 มิลลิเมตร แต่เมื่อเปรียบเทียบการซึมลึกของแนวเชื่อม (III) พบว่าที่กระแสไฟ 80 แอมแปร์มีการซึมลึกที่ 0.2 มิลลิเมตร และเมื่อเพิ่มกระแสไฟไปที่ 90 และ 100 แอมแปร์ จะมีการซึมลึกของแนวเชื่อม (III) ที่สูงขึ้น โดยมีการซึมลึกของแนวเชื่อมอยู่ที่ 0.8 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มกระแสไฟไปที่ 110 และ 120 แอมแปร์จะมีการซึมลึกของแนวเชื่อมที่ลดลงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 โครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่งต่างๆของรอยเชื่อม

รูปที่ 4.4 แสดงผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ซึ่งทำการเชื่อมโดยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม (Gas metal arc welding : GMAW) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงลักษณะตัวอย่างของโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณแนวเชื่อมของรอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 โดยการกำหนดตำแหน่งในการตรวจสอบ 5 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ก) ประกอบด้วยตำแหน่ง (I) บริเวณเนื้อเชื่อม (Weld) โครงสร้างเกิดการเรียงตัวแบบเกรนคอลัมน์นา (Columnar grains) มีทิศทางการยื่นตัวเข้าหาบ่อหลอมละลาย โครงสร้างเกิดโครงสร้าง 2 แบบ คือ บริเวณที่เป็นสีขาวและมีเส้นสีดำแทรกตัวขึ้นเป็นจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ข) ในส่วนตำแหน่ง (II) คือตำแหน่งกระทบบริเวณระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับเนื้อเชื่อม บริเวณเส้นการหลอมละลาย (Fusion line) ด้านเหล็กกล้าคาร์บอนเกิดการหลอมละลายได้น้อยสังเกตจากบริเวณอินเตอร์เฟซ และบริเวณพื้นที่กระทบบริเวณลักษณะโครงสร้างของเกรนมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ลักษณะการเรียงตัวที่ไม่มีรูปแบบ และมีลักษณะของโครงสร้างที่ต่างกับบริเวณเนื้อเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ค)) และในตำแหน่ง (III) เป็นบริเวณพื้นที่กระทบบริเวณด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับเนื้อเชื่อม พบว่าที่เส้นการหลอมละลายพบโครงสร้างที่มีลักษณะเกรนที่มีรูปร่างเป็นแนวยาวคล้ายลักษณะของเกรนคอลัมน์นา (Columnar grains) เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากที่บริเวณเส้นการหลอมละลาย การเปลี่ยนแปลงขนาดของเกรนเกิดขึ้นน้อย ลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบบริเวณมีความร้อนมีลักษณะของโครงสร้างใกล้เคียง โครงสร้างเนื้อเชื่อมซึ่งจะมีพื้นที่สีขาว และสีเทาสลับกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ง) ส่วนตำแหน่ง (IV) เป็นบริเวณพื้นที่โลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยมีโครงสร้างพื้นเป็นเฟอร์ไรต์ (Ferrite) แสดงในรูปที่ 4.4 (จ) และในตำแหน่ง (V) เป็นบริเวณพื้นที่โลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 โดยมีลักษณะโครงสร้างแบบทวินเกรน (Twinned Grains) แสดงในรูปที่ 4.4 (ฉ)

ในการทดสอบแรงดึงเฉือน ผู้วิจัยได้แบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกผู้วิจัยได้เตรียมชิ้นงานทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 1002 – 99 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ในส่วนที่สองเป็นชิ้นงานทดสอบที่ผู้วิจัยได้ทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อนำชิ้นงานทดสอบเกิดการเสียหายบริเวณแนวเชื่อมเพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบชิ้นงานทดสอบต่อไป

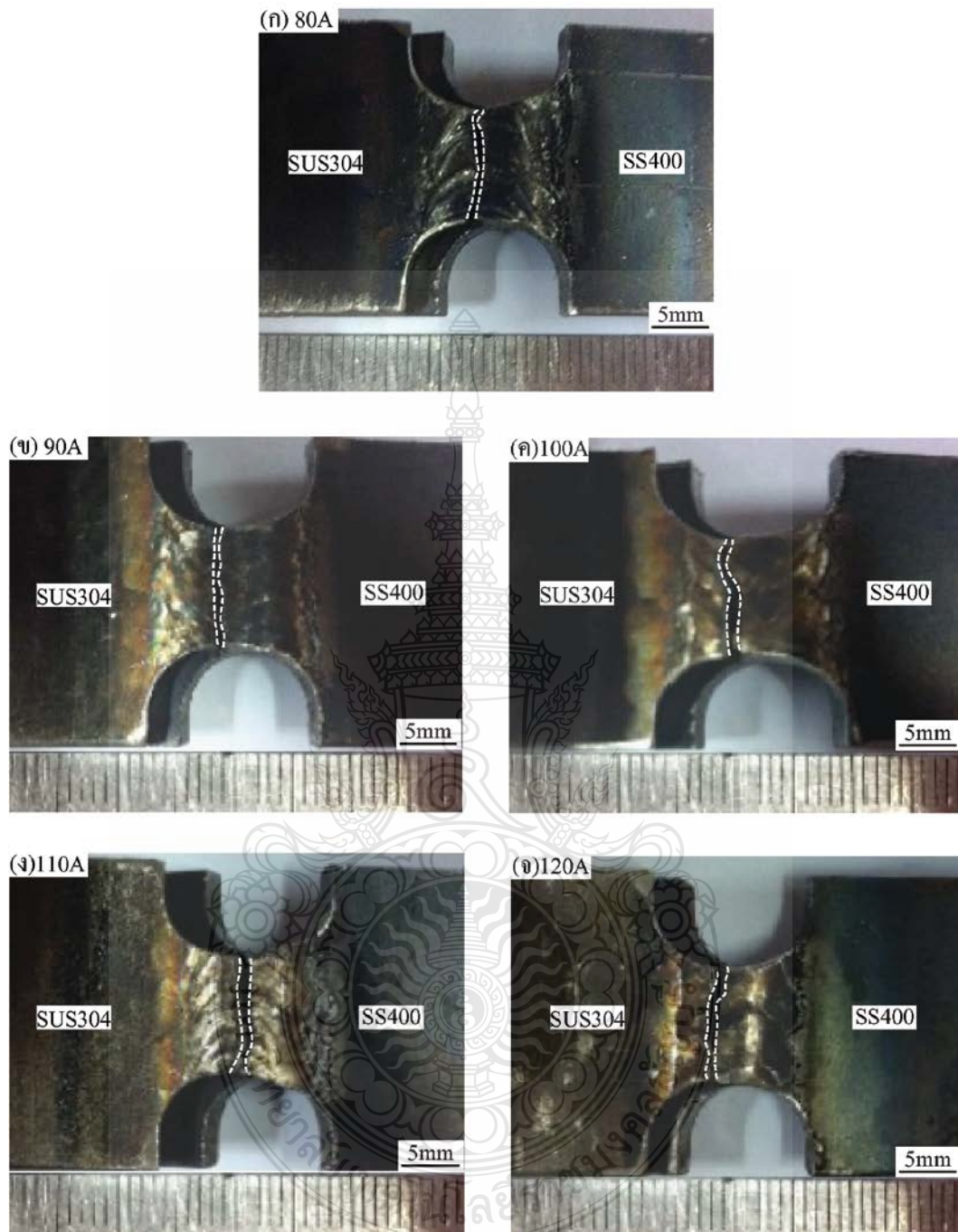


รูปที่ 4.5 ชิ้นทดสอบแรงดึงเชื่อมตามมาตรฐาน ASTM D 1002 – 99 ที่กระแสเชื่อมต่างๆ

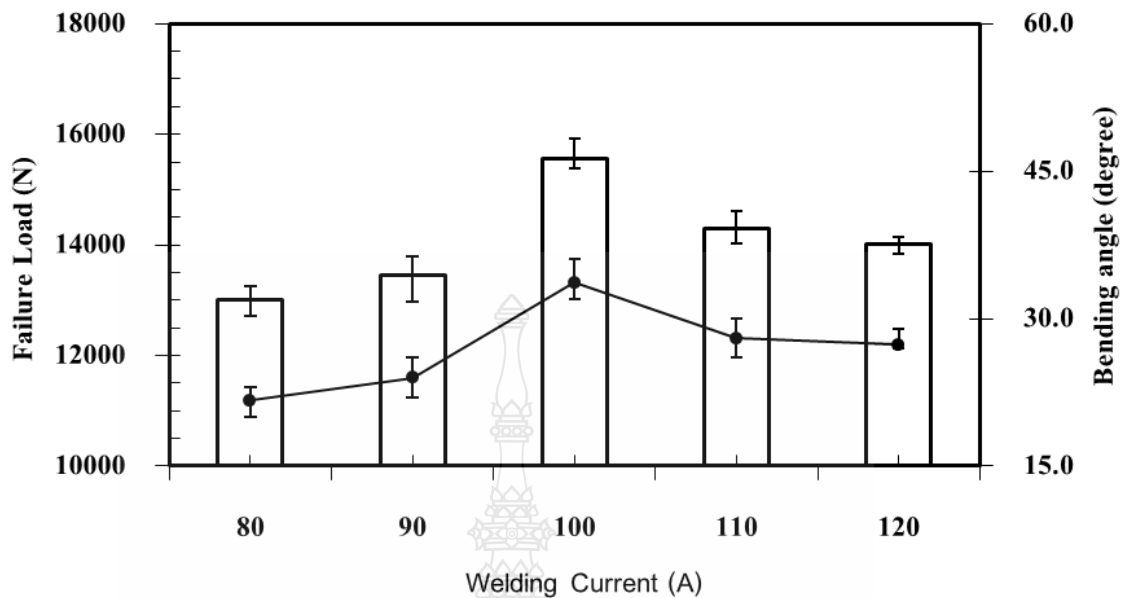
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อม โดยทำการเตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1002 – 99 ในการทดสอบแรงดึงเชื่อมพบว่าค่าความแข็งแรงดึงเชื่อมของชิ้นงาน ที่กระแสไฟเชื่อมต่างกันมีค่าความแข็งแรงดึงเชื่อมใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเกิดจากตำแหน่งการขาดของชิ้นงาน ซึ่งมีการฉีกขาดที่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน คือบริเวณพื้นที่ของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ซึ่งอาจมีความแข็งแรงต่ำกว่าพื้นที่แนวเชื่อมที่ทำการทดลอง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1002 – 99 อาจยังไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความแข็งแรงดึงเชื่อมของแนวเชื่อมที่ทำการทดลองได้

ในส่วนที่สองเป็นลักษณะชิ้นงานทดสอบที่ผู้วิจัยได้ทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อนำให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการเสียหายบริเวณแนวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.6 เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบอิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม จากการทดสอบแรงดึงเดือนพบว่าชิ้นงานทดสอบเกิดการร้าวที่บริเวณแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งสามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบอิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงเดือนของแนวเชื่อมได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



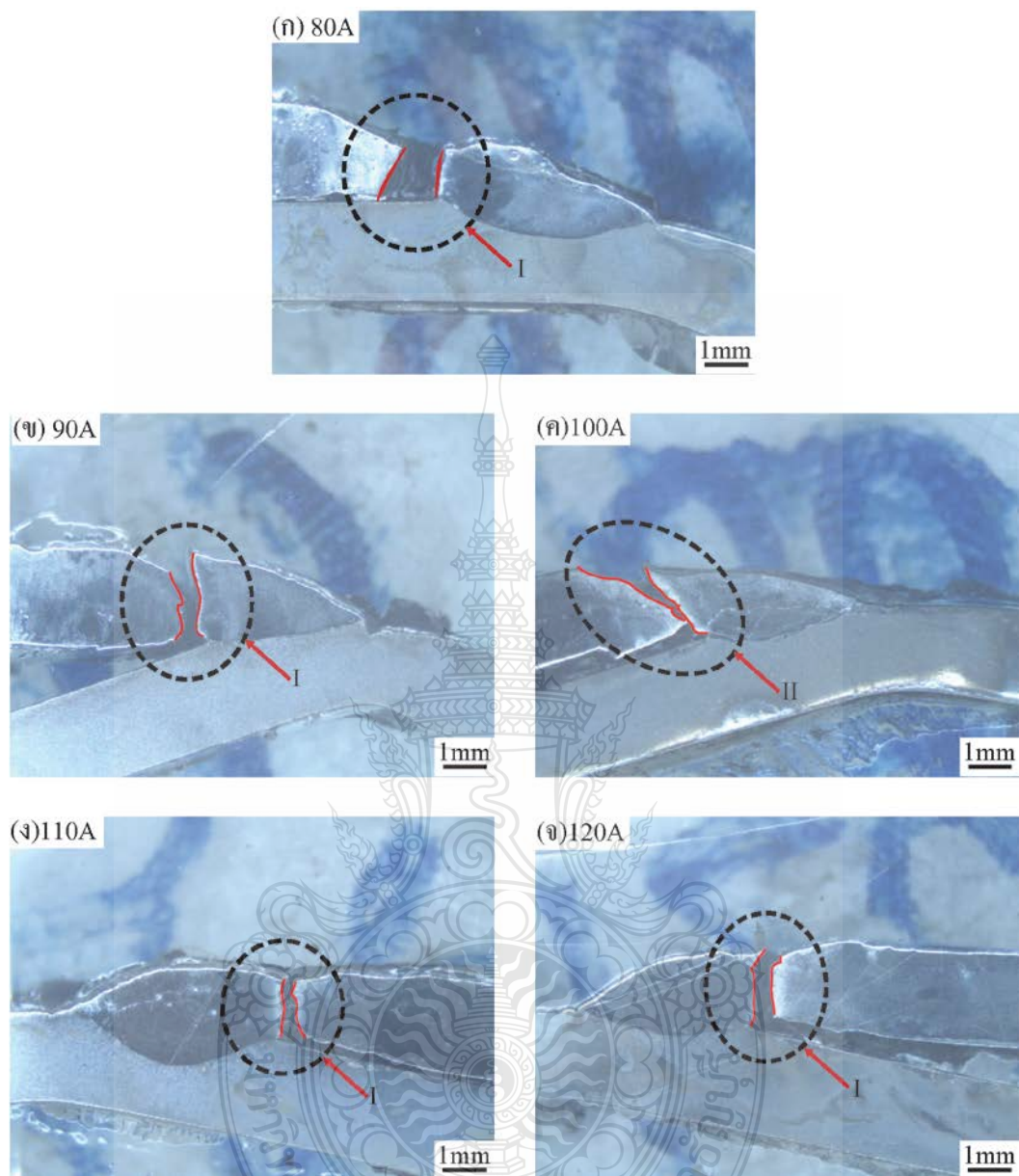


รูปที่ 4.6 ชั้นทดสอบแรงดึงเดือนที่ผ่านการลดขนาด



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟเชื่อม มุมบิด และความต้านทานแรงดึงเฉือน

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสูงสุดของการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนที่จุดพังทลายและกระแสเชื่อม 80-110 A ที่ใช้การเชื่อมรอยต่อเกย ผลการทดสอบพบว่าแรงดึงจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน ของรอยต่อมีค่าแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 80-100A คือ 12,700-15,570N และมีค่าลดลงเท่ากับ 13,700N เมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 120A การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อเมื่อกระแสเชื่อมเปลี่ยนแปลงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นทดสอบความแข็งแรงเฉือนกล่าวคือ รอยต่อเกยมีการบิดงอเสียรูปตามการเพิ่มกระแสเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.7 การบิดงอของชิ้นทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น ชิ้นทดสอบมีการบิดงอของชิ้นงานสูงสุดเมื่อใช้กระแสเชื่อมเท่ากับ 100A เท่ากับ 35 องศา ซึ่งแสดงความแข็งแรงดึงเฉือน คือ 15,570N นอกจากนั้นการบิดงอของชิ้นทดสอบมีค่าลดลง คือ 28 และ 27 องศา เมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 110 และ 120 องศา ที่แสดงค่าความแข็งแรงเฉือนที่ลดลง 13,700 N และ 13,600 N ตามลำดับ

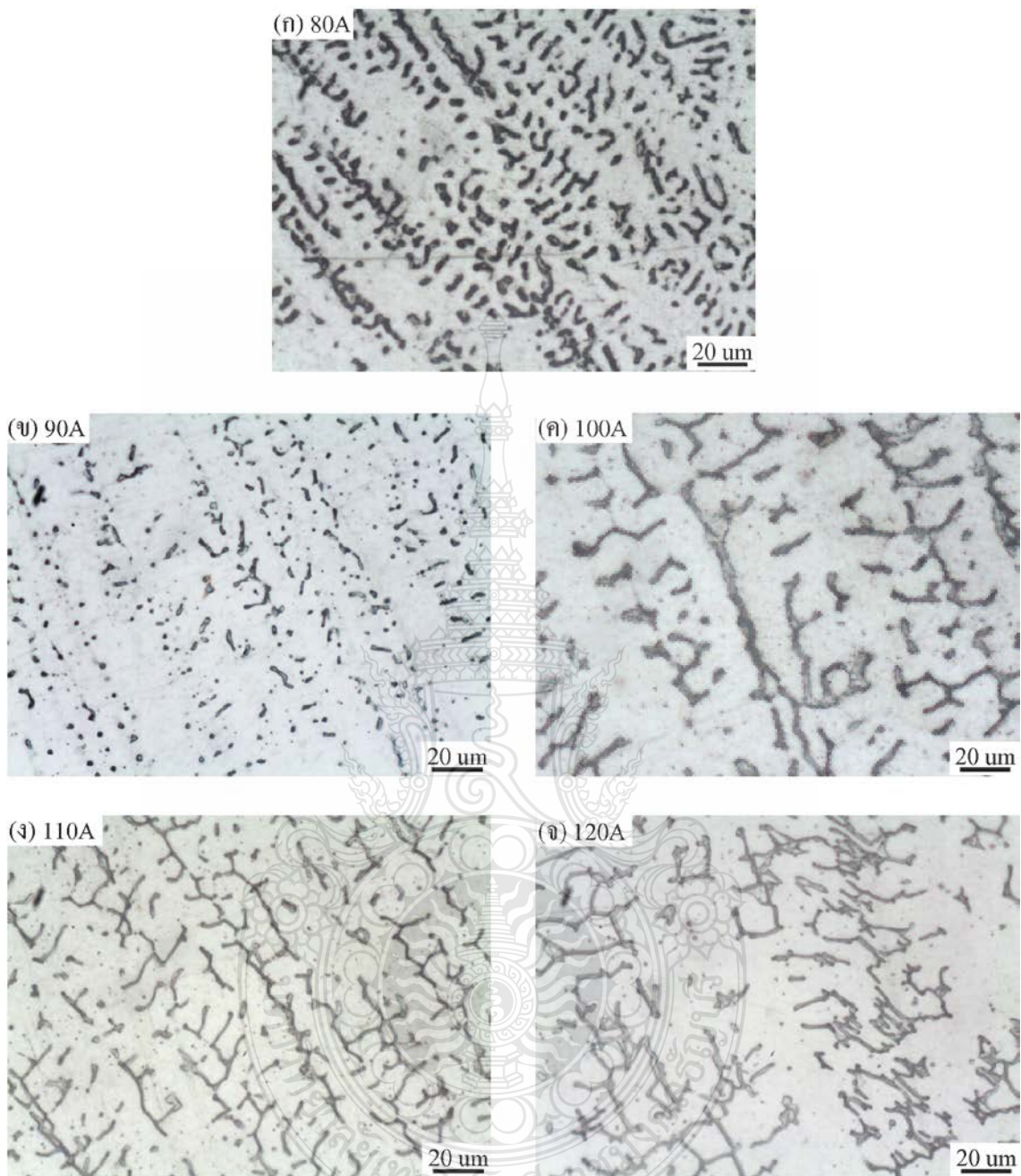


รูปที่ 4.8 การพังทลายของแนวเชื่อมที่กระแสไฟเชื่อมต่างกัน

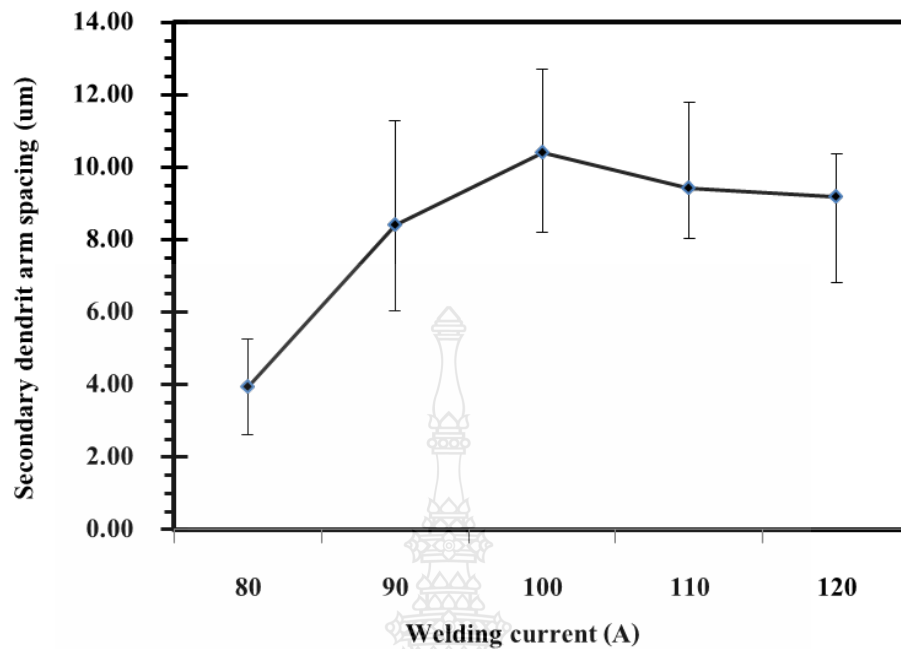
รูปที่ 4.8 แสดงตำแหน่งการพังทลายหรือนิคมขาดของฉันทดสอบความแข็งแรงเหนือนของรอยต่อเกณฑ์ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 80-120 รูปแบบการพังทลายของฉันทดสอบที่ได้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ก),(ค) คือ รูปแบบที่ I คือ การพังทลายที่มีแนวการพังทลายตั้งฉากกับทิศทางการให้แรง ซึ่งเป็นรูปแบบการพังทลายของฉันทดสอบที่แสดงความแข็งแรงเหนือนต่ำและเป็นการพังทลายของฉันทดสอบส่วนใหญ่ในการศึกษาครั้งนี้ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ก),(ง) และ (จ) และ

รูปแบบที่ II คือ การพังทลายที่ไม่ทำมุมตั้งฉากกับทิศทางการให้แรงดึงดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ค) ซึ่งแสดงความแข็งแรงเฉือนสูงกว่าดังแสดงในรูปที่ 4.8 (ค) ชั้นทดสอบที่แสดงการพังทลายทั้งหมดเกิดการพังทลายที่บริเวณ โลหะเชื่อมก่อนไปที่ตำแหน่งของโลหะฐานด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 เมื่อเทียบเคียงรูปแบบการพังทลายกับความแข็งแรงดึงเฉือนดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าชั้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนแสดงการยึดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น ดังแสดงการเปรียบเทียบส่วนที่ยึดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง รูปที่ 4.8 (ก) ที่เชื่อมด้วยกระแส 80 A และ รูปที่ 4.8 (ค) ที่เชื่อมด้วยกระแส 100 A เมื่อพิจารณาการพังทลายของชั้นทดสอบที่แสดงค่าความแข็งแรงเฉือนต่ำสุดดังแสดงใน รูปที่ 4.8 (ค) พบส่วนที่ทำให้เกิดการยึดตัวสูงก่อนการพังทลาย แนวการพังทลายคล้ายกับการพังทลายเนื่องจากการเฉือนทำมุม 45 องศา กับแนวการให้แรงดึงเฉือนกับชั้นทดสอบ



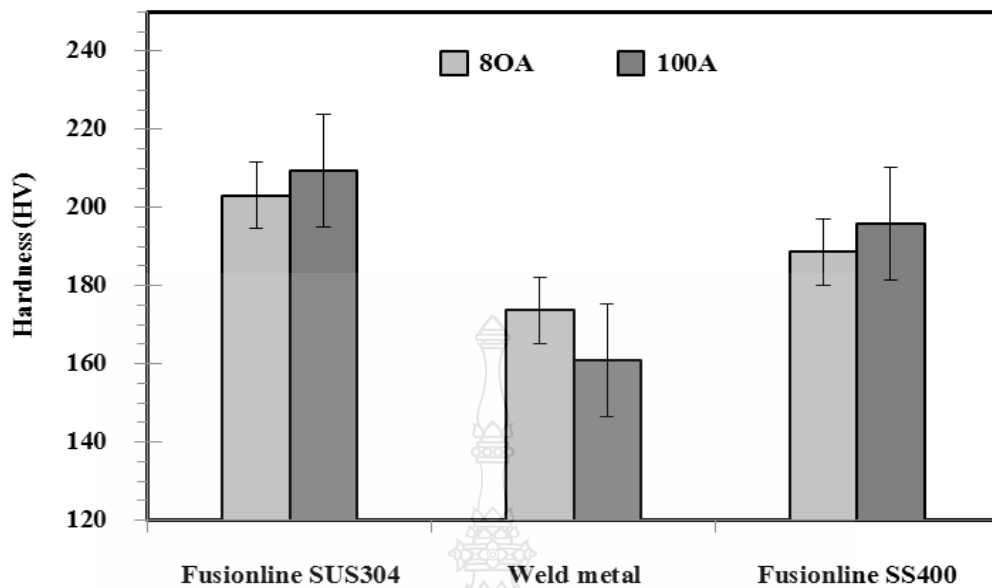


รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบโครงสร้างบริเวณขีดที่กระแสไฟเชื่อมต่างกัน



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟเชื่อมและระยะห่างของเดนไดรต์ทุติยภูมิ

ความสัมพันธ์ระหว่างการยึดตัวของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเนื่องดังแสดงใน รูปที่ 4.7 และ 4.8 กับความแข็งแรงดึงเนื่องมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ โครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมบริเวณ ตำแหน่งการพังทลายที่แสดงด้วยหมายเลข I ใน รูปที่ 4.4 (ก) พบโครงสร้างจุลภาคที่มีลักษณะดัง รูป ที่ 4.9 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมทุกกระแสเชื่อมแสดงการก่อตัวของโครงสร้างเดนไดรต์พื้นที่ สีขาวของโครงสร้างจุลภาคแสดงพื้น โลหะเดนไดรต์และพื้นที่สีดำแสดงพื้นที่แบ่งแยกเดนไดรต์ กระแสเชื่อมที่เปลี่ยนแปลงส่งผลต่อการกระจายตัวของพื้นที่สีดำใน โลหะเชื่อม นอกจากนี้ขนาด ของเดนไดรต์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อกระแสเชื่อมเปลี่ยนแปลง ทำการวัดขนาดระยะห่างระหว่างแกน เดนไดรต์ทุติยภูมิ (Secondary dendrite arm spacing: SDAS) พบว่ากระแสที่เพิ่มขึ้นจาก 80-100A ส่งผลทำให้ระยะห่างระหว่างแกนเดนไดรต์ทุติยภูมิเพิ่มขึ้น และลดลงเล็กน้อยเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น เป็น 110-120A ดังแสดงในรูปที่ 4.10 การเพิ่มระยะห่างระหว่างแกนเดนไดรต์ทุติยภูมิที่ได้นี้เป็น สาเหตุทำให้ค่าการยึดตัวของชิ้นทดสอบความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.8 และ มุมการบิดของชิ้นทดสอบที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.7 การเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างแกนเดนไดรต์ทุติย ภูมิส่งผลทำให้ความสามารถในการยึดตัวของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Askeland and Phule, 2006[1]

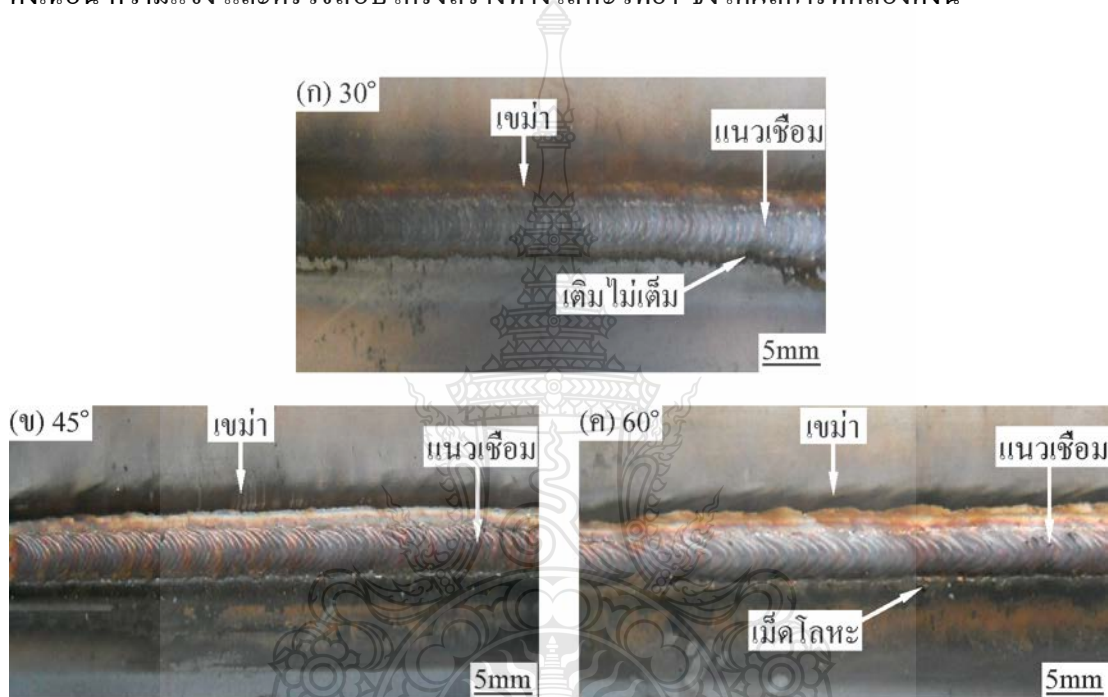


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งตำแหน่งการวัดและกระแสไฟเชื่อมของชิ้นทดสอบ

รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 80A และ 100 A ซึ่งเป็นชิ้นทดสอบที่แสดงความแข็งแรงดึงเหนือสูงสุดในการทดลองนี้ผลการทดลองพบว่าค่าความแข็งของชิ้นทดสอบที่บริเวณขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐาน SUS304 และบริเวณขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐาน SS400 มีค่าสูงกว่าโลหะเชื่อมบริเวณที่แสดงแนวการพังทลายในชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเหนือ ความแข็งที่ต่ำกว่าของโลหะเชื่อมเมื่อเปรียบเทียบขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐานนี้เป็นสาเหตุให้ชิ้นทดสอบแรงดึงเหนือเกิดการบิดตัวง่าย และเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเริ่มต้นการพังทลายซึ่งคาดว่า การพังทลายเกิดจากกลไกการบิดทำให้ชิ้นงานเสียรูปยืดตัวออกและเปลี่ยนรูปเนื่องจากแรงดึงเหนือจนกระทั่งเกิดการพังทลายออกจากกันของโลหะเชื่อม อย่างไรก็ตามกลไกการเกิดการพังทลายนี้ไม่ได้รับการพิสูจน์ในการทดลองนี้ และควรมีการศึกษาต่อไปเพื่อเข้าใจกลไกการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเหนือของรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าคาร์บอนที่ทำการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมต่างๆ ต่อไป

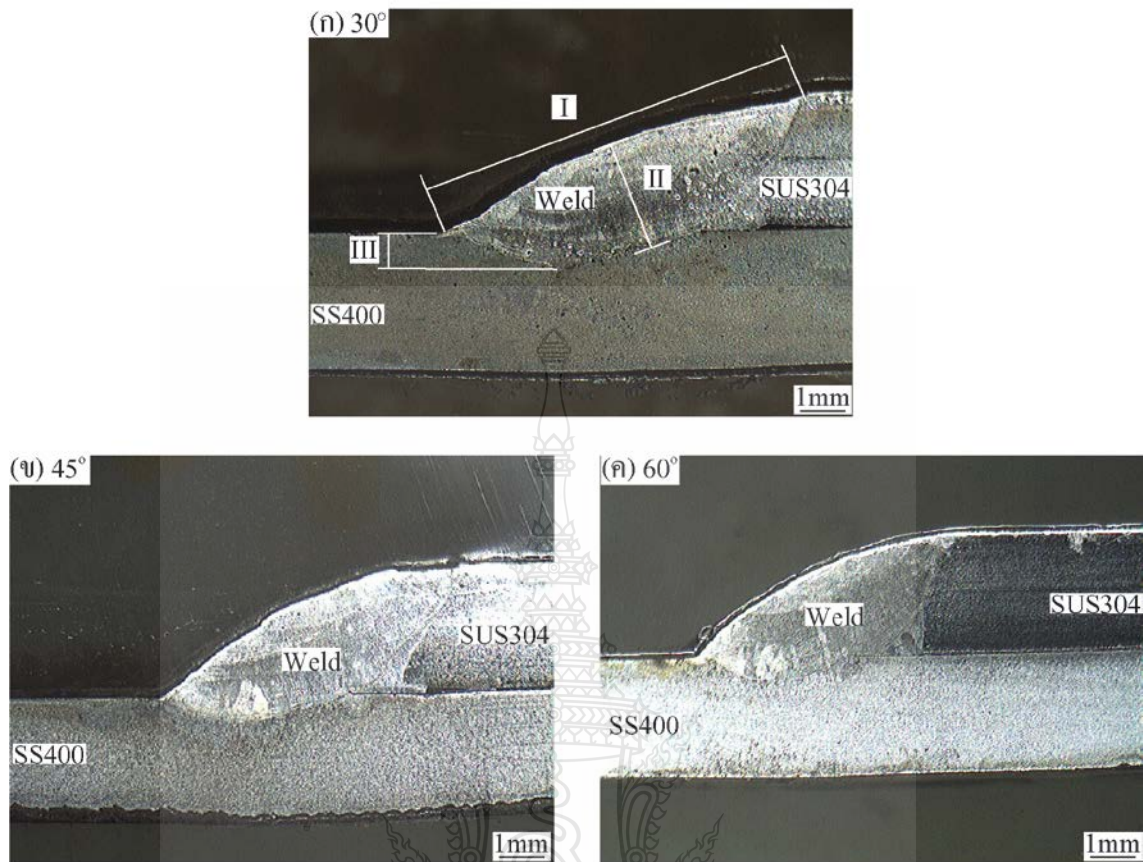
4.2 อิทธิพลของมุมเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อเกลย

รอยต่อเกลยเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก SUS304 ตัวแปรในการเชื่อมประกอบด้วยมุมหัวเชื่อม 30° , 45° , และ 60° กระแสเชื่อม 100 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 ม.ม./นาที รอยต่อที่ได้ถูกนำมาทดสอบสมบัติทางกล โดยทำการทดสอบความแข็งแรงดึงเนื่อน ความแข็ง และตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



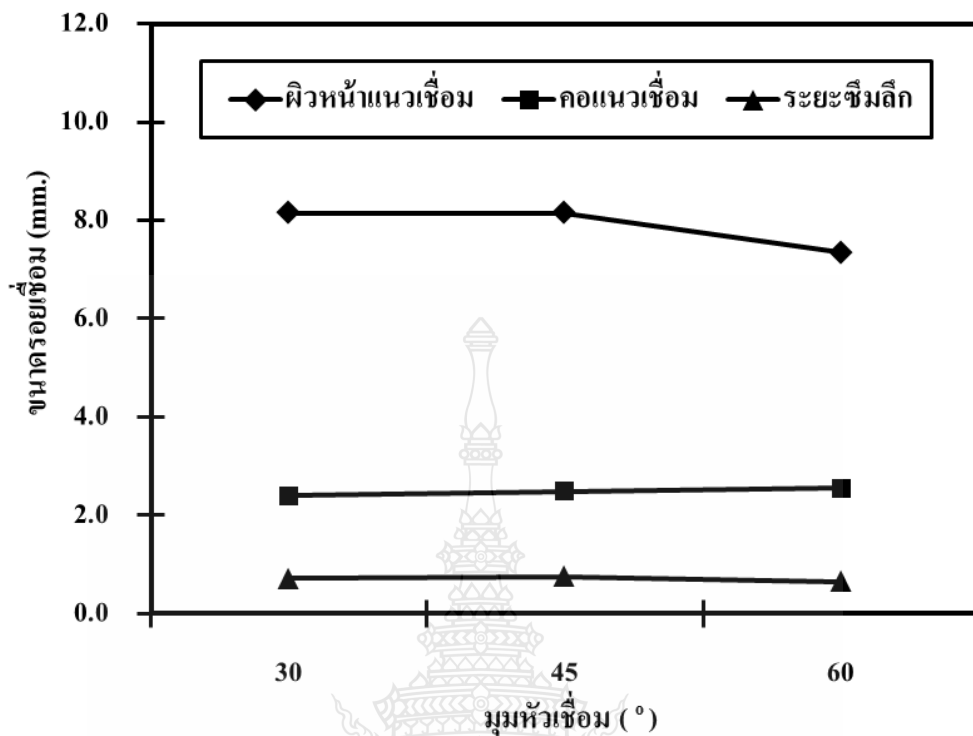
รูปที่ 4.12 ผิวหน้ารอยเชื่อมรอยต่อเกลยที่เชื่อมด้วยมุมเชื่อม 30° , 45° และ 60°

รูปที่ 4.12 แสดงผิวหน้ารอยเชื่อมต่อเกลยที่เชื่อมด้วยมุมเชื่อม 30° , 45° และ 60° พบว่าพื้นที่ข้างแนวเชื่อมมีเขม่าที่เกิดจากความร้อนในการเชื่อม โดยที่มุมเชื่อม 30° แนวเชื่อมมีลักษณะของการเติมไม่เต็ม ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (ก) ซึ่งผู้ทำการทดลองสันนิษฐานว่าคงเกิดจากมุมเชื่อมที่น้อยจึงทำให้การเติมลวดไม่สมบูรณ์ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมเชื่อมที่ 45° และ 60° แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์มากขึ้นและมีคราบเขม่าลดลงและเริ่มเกิดเม็ดโลหะติดตามขอบแนวเชื่อมที่มุม 60° ดังแสดงในรูปที่ 4.12 (ข) และ (ค) ตามลำดับ



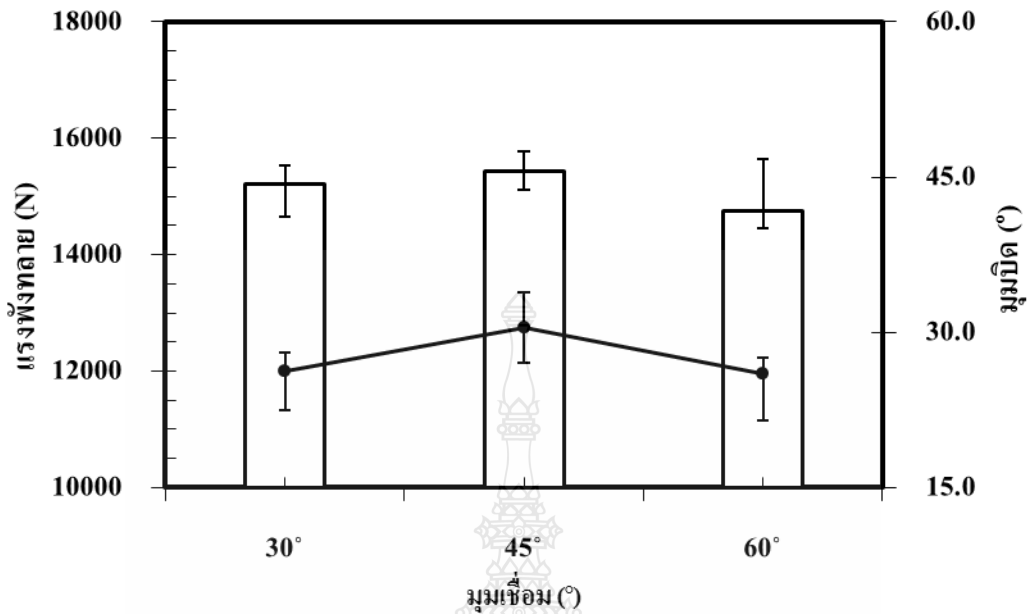
รูปที่ 4.13 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกลยที่เชื่อมด้วยมูมเชื่อม 30°, 45° และ 60° (I=ความกว้างของรอยเชื่อม, II=ความสูงของรอยเชื่อม, III=การซึมลึกของรอยเชื่อม)

รูปที่ 4.13 แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกลยที่เชื่อมด้วยมูม 30°, 45° และ 60° ซึ่งรอยต่อเกลยแสดงความสมบูรณ์ของโลหะเชื่อม จุดบกพร่องต่างๆที่เกิดจากการเชื่อมไม่สามารถตรวจสอบพบได้ในตำแหน่งโลหะเชื่อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบขนาด รูปร่างของรอยต่อเกลยซึ่งประกอบไปด้วย ขนาดความกว้างผิวแนวเชื่อม (I), ขนาดคอคอแนวเชื่อม (II) และระยะซึมลึกของแนวเชื่อม (III) โดยมีลักษณะการตรวจสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก)



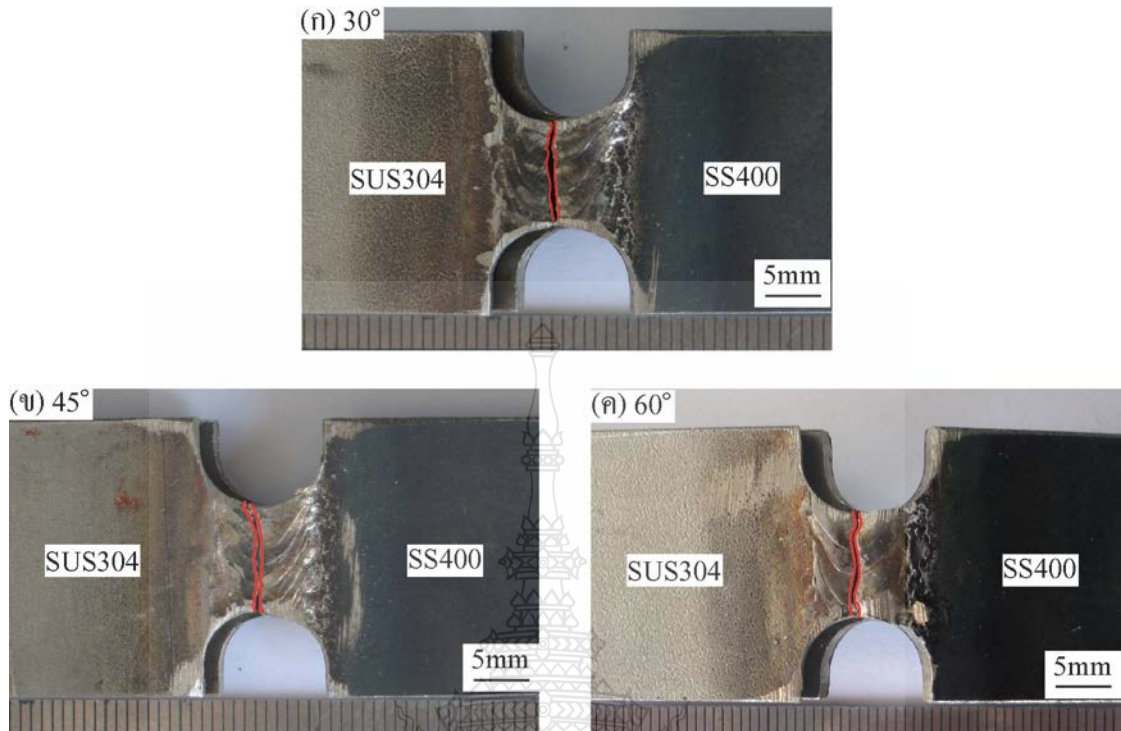
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเข็มและขนาดต่างๆของแนวเข็มรอยต่อเกย

รูปที่ 4.14 แสดงการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างมุมเข็มและขนาดแนวเข็มของรอยต่อเกย พบว่าความกว้างของผิวหนังแนวเข็มมีขนาดลดลงตามลำดับเมื่อมุมของหัวเข็มเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาขนาดความกว้างของคอแนวเข็มและระยะการเข็มลึกของแนวเข็มพบว่า เมื่อมุมเข็มเพิ่มขึ้น ขนาดของคอแนวเข็มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนระยะเข็มลึกจะมีการเข็มลึกสูงสุดที่มุม 45° แต่เมื่อมุมหัวเข็มเพิ่มขึ้นจะมีขนาดลดลงการเพิ่มขึ้นผู้วิจัยสันนิษฐานว่าเกิดจากแหล่งความร้อนที่เกิดจากการอาร์กของลวดเชื่อมกับเนื้อโลหะที่มีทิศทางเข้าสู่แผ่นล่างมากกว่าจึงทำให้ได้รูปร่างโครงสร้างมหภาค ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13



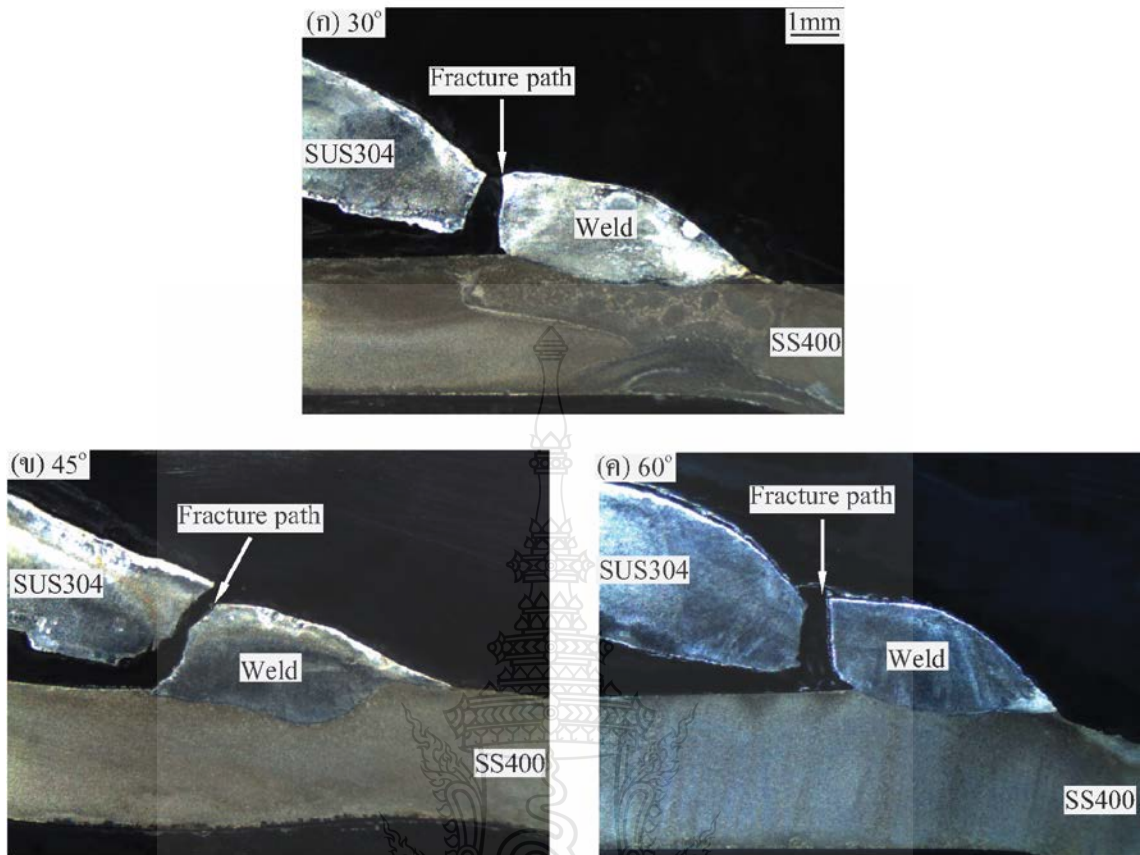
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเข่า แรงพังทลาย และมุมบิดของเข่าทดสอบ

รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสูงสุดของการทดสอบความแข็งแรงดึงเอ็นที่จุดพังทลายและมุมเข่า 30°, 45° และ 60° ที่ใช้การเชื่อมรอยต่อเกย ผลการทดสอบพบว่าแรงดึงจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเอ็น ของรอยต่อมีค่าแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อมุมการเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 30° - 45° คือ 15,211-15,431 N และมีค่าลดลงเหลือเท่ากับ 14,757 N เมื่อเพิ่มมุมเข่าเป็น 60° การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงเอ็นของรอยต่อเมื่อกระแสเชื่อมเปลี่ยนแปลงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเข่าทดสอบความแข็งแรงเอ็นกล่าวคือ รอยต่อเกยมีการบิดงอเสียรูปตามการเพิ่มองศาของมุมเข่า ดังแสดงในรูปที่ 4.15 การบิดงอของเข่าทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเข่าเพิ่มขึ้น เข่าทดสอบมีการบิดงอของชิ้นงานสูงสุดเมื่อใช้มุมเข่าที่ 45° จะได้มุมบิดงอเท่ากับ 30° และมีความแข็งแรงดึงเอ็นเท่ากับ 15,431 N นอกจากนี้เมื่อเปลี่ยนมุมเข่าเพิ่มที่ 60° การบิดงอของเข่าทดสอบมีค่าลดลงที่ 26 องศา และค่าความแข็งแรงเอ็นลดลง 14,757 N ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.16 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงแบบลดขนาด

รูปที่ 4.16 เป็นลักษณะชิ้นงานทดสอบที่ผู้วิจัยได้ทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อบังคับให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการเสียหายบริเวณแนวเชื่อม เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบอิทธิพลของมุมเชื่อม จากการทดสอบความแข็งแรงดึงเดือนพบว่า ชิ้นงานทดสอบเกิดการฉีกขาดที่บริเวณแนวเชื่อม ก่อนไปทางฝั่งเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ในทุกมุมเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.17 การพังทลายของแนวเชื่อมที่มุมเชื่อมต่างๆ

รูปที่ 4.17 แสดงตำแหน่งการพังทลายหรือลักษณะในภาพหน้าตัด ของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกลียวที่เชื่อมด้วยมุมที่ต่างกันคือ 30°, 45° และ 60° รูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบที่ได้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 เป็นการพังทลายที่มีแนวการพังทลายตั้งฉากกับทิศทางการให้แรง ซึ่งเป็นรูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบที่แสดงความแข็งแรงดึงเฉือนต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 7 (ก) และ (ค) ซึ่งมีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเท่ากับ 15,211 N และ 14,757 N ส่วนรูปแบบที่ 2 คือ การพังทลายที่ไม่ทำมุมตั้งฉากกับทิศทางการให้แรงดึง ซึ่งแสดงความแข็งแรงดึงเฉือนสูงกว่าดังแสดงในรูปที่ 4.17 (ข) ซึ่งมีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนเท่ากับ 15,431 N ชิ้นทดสอบที่แสดงการพังทลายทั้งหมดเกิดการพังทลายที่บริเวณ โลหะเชื่อมก่อนไปที่ตำแหน่งของโลหะฐานด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 เมื่อเทียบเคียงรูปแบบการพังทลายกับความแข็งแรงดึงเฉือนพบว่าชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนแสดงค่าการบิดตัวเพิ่มขึ้น เมื่อมุมหัวเชื่อมเพิ่มขึ้น แสดงดังใน

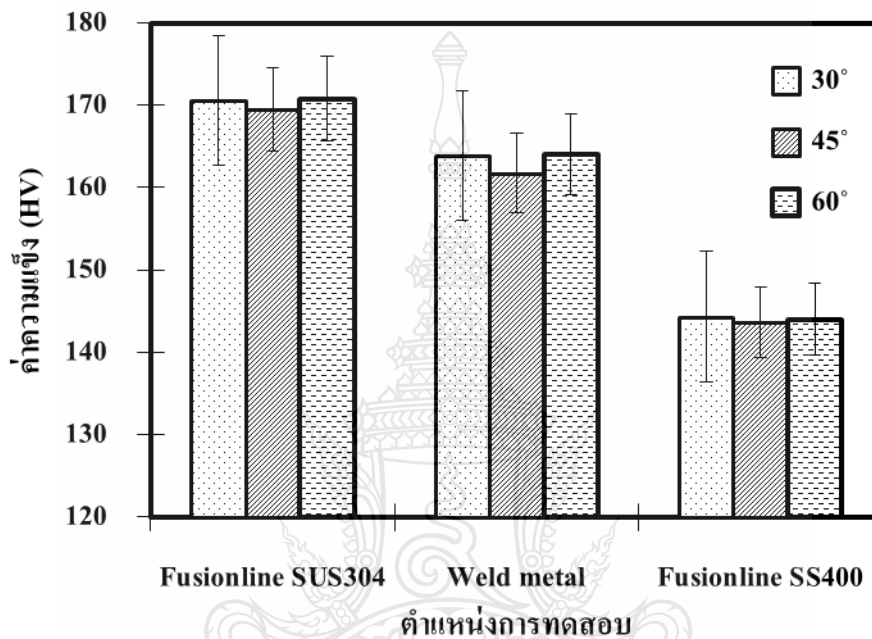
รูปที่ 4.15 เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง รูปที่ 4.17 (ก) ที่เชื่อมด้วยมุม 30° และ รูปที่ 4.17 (ข) ที่เชื่อมด้วยมุม 45° แต่เมื่อพิจารณาการพังทลายของชิ้นทดสอบที่แสดงค่าความแข็งแรงดึงเหนือนต่ำสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.17 (ค) พบว่า การบิดตัวของชิ้นงานก่อนการพังทลายมีแนวโน้มลดลง ซึ่งรูปแบบการพังทลายคล้ายกับมุมเชื่อมที่ 30° กล่าวคือ มุมเชื่อมที่ต่างกัน ส่งผลให้มุมบิดและรูปแบบการพังทลายต่างกัน



รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบ โครงสร้างบริเวณฉีกขาดที่มุมเชื่อมต่างกัน

รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมทุกมุมเชื่อมแสดงการก่อตัวของโครงสร้างเดนไดรต์พื้นที่สีขาวของโครงสร้างจุลภาคแสดงพื้นโลหะเดนไดรต์และพื้นที่สีดำแสดงพื้นที่แบ่งแยกเดนไดรต์ มุมเชื่อมที่เปลี่ยนแปลงส่งผลต่อการกระจายตัวของพื้นที่สีดำในโลหะเชื่อม นอกจากนั้นขนาดของเดนไดรต์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมุมเชื่อมเปลี่ยนแปลง ทำการวัดขนาดระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิ (Secondary dendrite arm spacing: SDAS) พบว่ามุมเชื่อมที่เพิ่มขึ้นจาก 30° - 45° ส่งผล

ทำให้แกนเดนไดรต์ทุติยภูมิมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น และเริ่มกระจายตัวมากขึ้นเมื่อเพิ่มมุมเชื่อมเป็น 60° ดังแสดงในรูปที่ 4.18 การจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของแกนเดนไดรต์ทุติยภูมิ สันนิษฐานว่าเป็นสาเหตุทำให้ค่าการยึดตัวของชิ้นทดสอบความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และมุมการบิดของชิ้นทดสอบที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Askeland and Phule, 2006 [1]



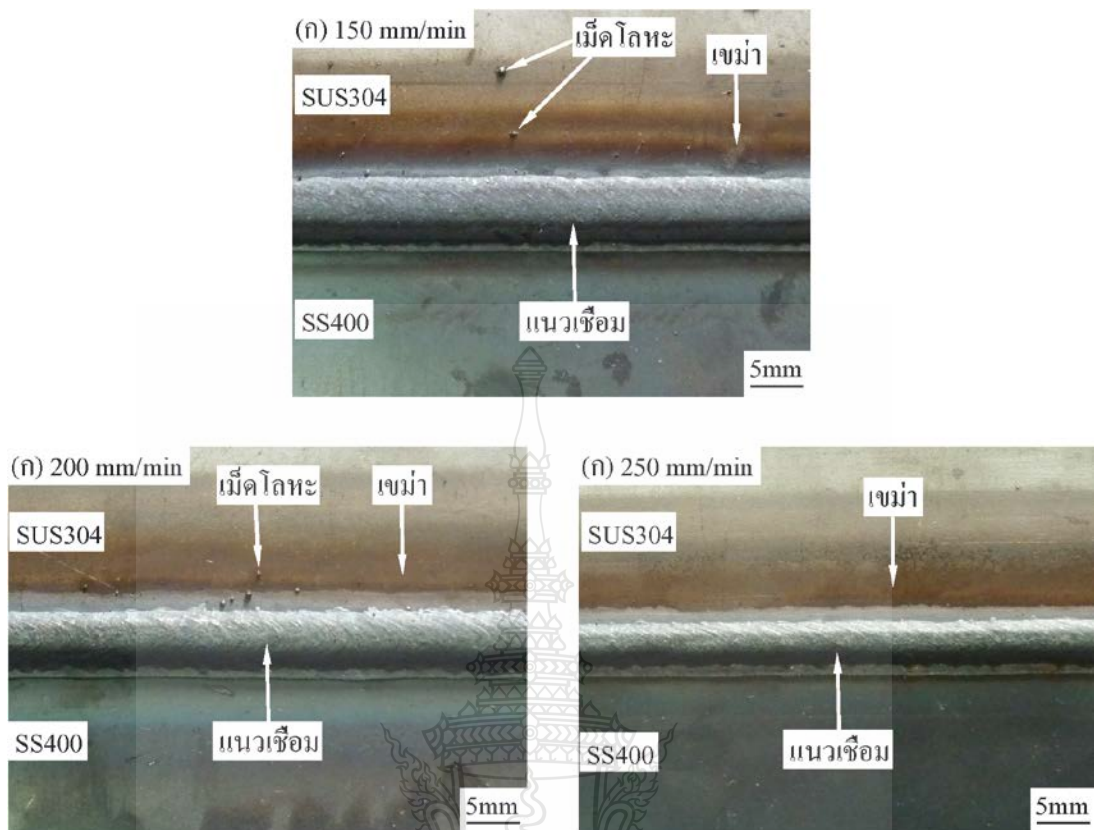
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และมุมเชื่อม

รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยมุมเชื่อม 30° , 45° และ 60° ซึ่งเป็นชิ้นทดสอบที่แสดงความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดที่มุมหัวเชื่อม 45° ในการทดลองนี้ผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งของชิ้นทดสอบที่บริเวณขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐาน SUS304 มีค่าความแข็งเท่ากับ 168 HV และบริเวณเนื้อแนวเชื่อม ที่มีค่าความแข็งเท่ากับ 162 HV ซึ่งมีค่าสูงกว่าขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐาน SS400 ซึ่งมีความแข็งเพียง 143 HV ดังแสดงในรูปที่ 4.19 บริเวณที่แสดงแนวการพังทลายในชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉลี่ย ความแข็งที่ต่ำกว่าของโลหะเชื่อมเมื่อเปรียบเทียบกับขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐานนี้เป็นสาเหตุให้ชิ้นทดสอบแรงดึงเฉลี่ยเกิดการบิดตัวง่าย และเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเริ่มต้นการพังทลายซึ่งคาดว่า การพังทลายเกิดจากการบิดทำให้ชิ้นงานเสียรูปยืดตัวออกและเปลี่ยนรูปเนื่องจากแรงดึงเฉลี่ยจนกระทั่งเกิดการพังทลาย

นอกจากกันของโลหะเชื่อม อย่างไรก็ตามกลไกการเกิดการพังทลายนี้ไม่ได้รับการพิสูจน์ในการทดลองนี้ และควรมีการศึกษาต่อไปเพื่อเข้าใจกลไกการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเดือนของรอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าคาร์บอนที่ทำการเชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ต่อไป

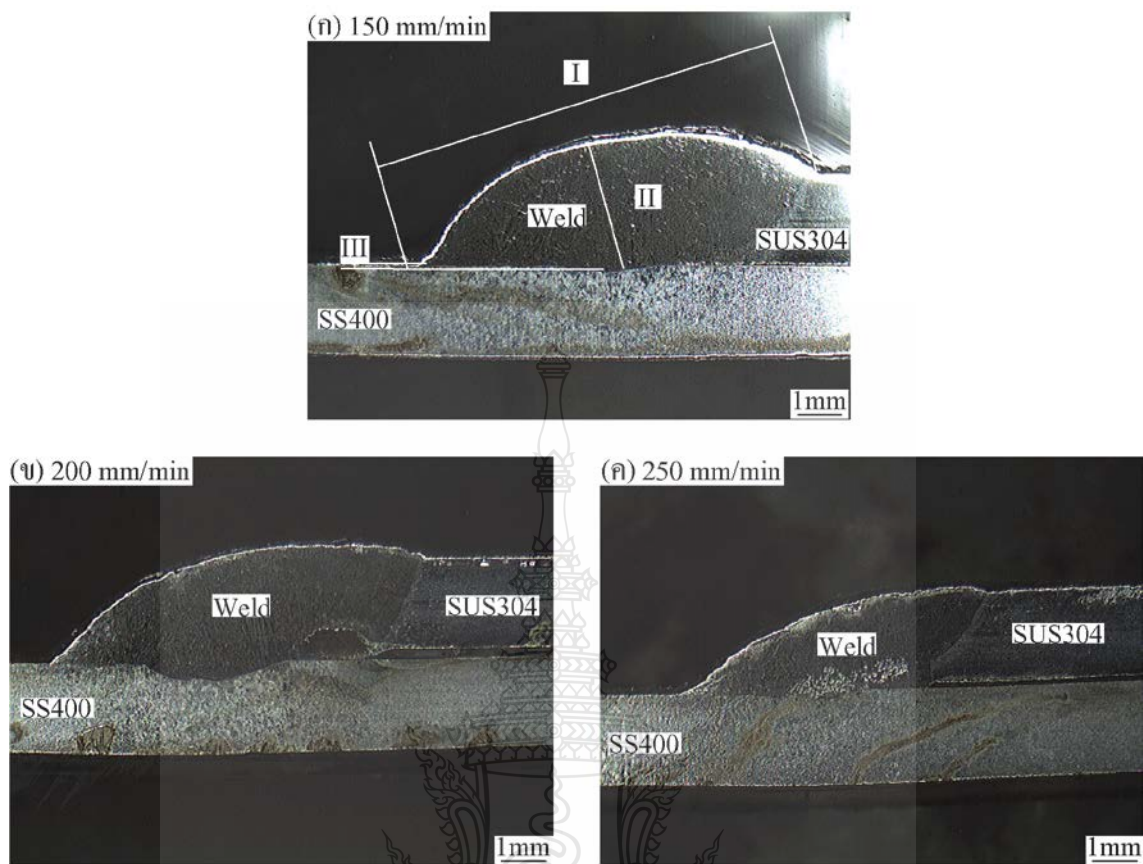
4.3 อิทธิพลของความเร็วเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อเกาะ

รอยต่อเกาะเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก SUS304 ที่ผ่านการทดสอบหาตัวแปรที่ดีที่สุดของกระแสเชื่อมในหัวข้อที่ 4.1 และมุมเชื่อมในหัวข้อที่ 4.2 โดยกระแสที่ได้คือ 100 แอมแปร์ และมุมเชื่อมที่ 45° โดยในหัวข้อที่ 4.3 นี้ผู้วิจัยได้นำตัวแปรที่ผ่านการทดสอบดังกล่าวมาทำการทดลองศึกษาอิทธิพลของความเร็วเชื่อมโดยกำหนดความเร็วเชื่อมเป็น 3 ระดับคือ 150 , 200 และ 250 mm/min กระแสเชื่อม 100 แอมแปร์ มุมเชื่อม 45° รอยต่อที่ได้ถูกนำมาทดสอบสมบัติทางกล โดยทำการทดสอบความแข็งแรงดึงเดือน ความแข็ง และตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



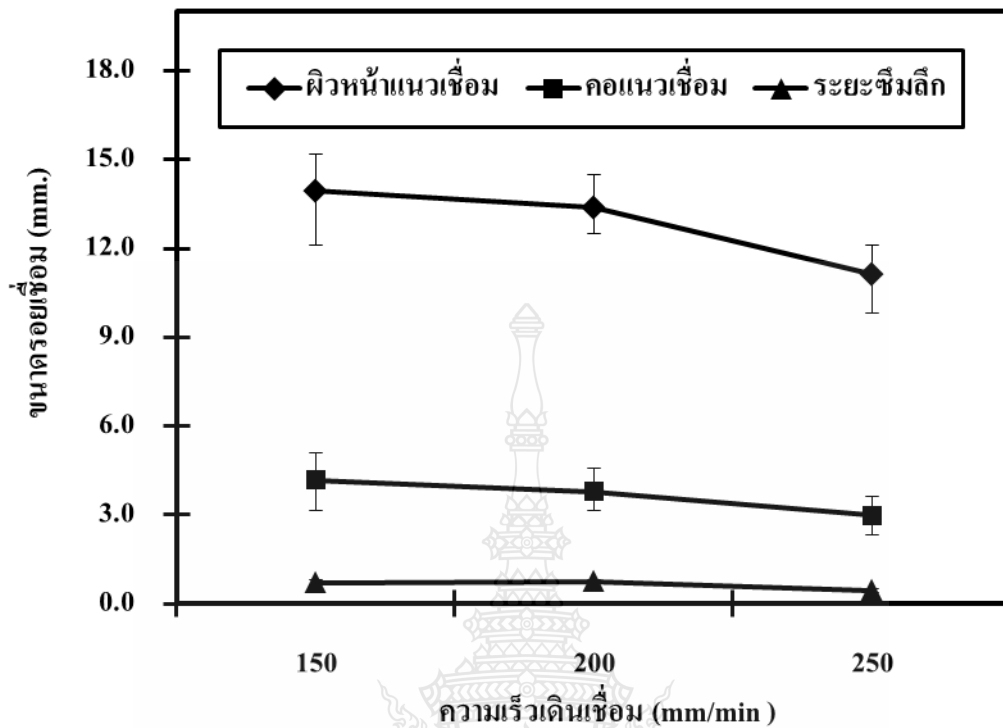
รูปที่ 4.20 ผิวหน้ารอยเชื่อมรอยต่อเกลทที่เชื่อมด้วยความเร็วเชื่อม 150 , 200 และ 250 mm/min

รูปที่ 4.20 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมรอยต่อเกลทที่เชื่อมด้วยกระแส 100 แอมแปร์ มุมหัวเชื่อม 45° และความเร็วเดินเชื่อม 150, 200 และ 250 mm/ min ผลการตรวจสอบพบว่า ผิวหน้าโลหะเชื่อม ไม่มีจุดบกพร่องใด ๆ ที่เกิดจากการเชื่อมเกิดขึ้นบนผิวหน้าของแนวเชื่อม ด้านข้างของแนวเชื่อมพบ ส่วนของเหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดการเผาไหม้และเกิดเขม่าเป็นวงกว้างและมีเม็ด โลหะติดที่บริเวณข้างแนวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ก) และลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อม ดัง แสดงในรูปที่ 4.20 (ข) และ (ค) รอยต่อแนวเชื่อมที่แสดงในรูปที่ 4.20 ถูกนำมาทำการเตรียมเพื่อทำ การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยต่อ และได้โครงสร้างมหภาคดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวต่างๆ

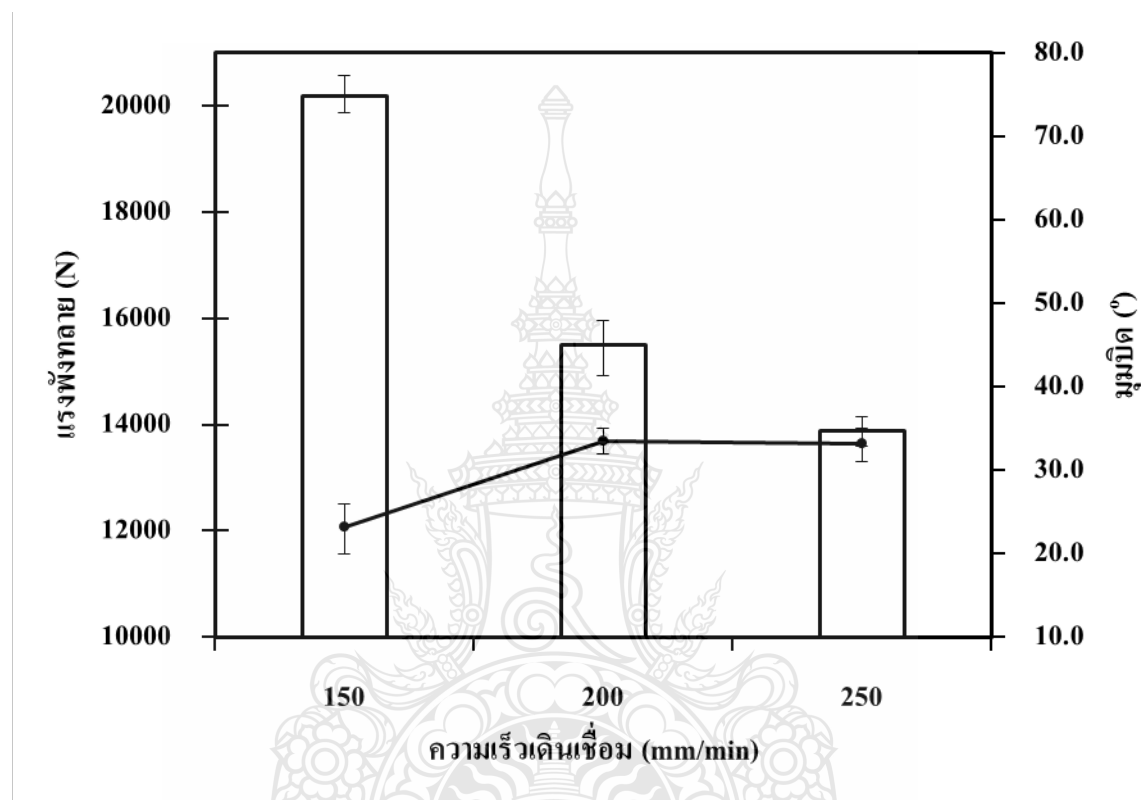
รูปที่ 4.21 แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยที่เชื่อมด้วยความเร็วเชื่อม 150, 200 และ 250 mm/ min พบว่ารอยต่อเกยแสดงความสมบูรณ์ของโลหะเชื่อม จุดบกพร่องต่างๆที่เกิดจากการเชื่อมไม่สามารถตรวจสอบพบได้ในตำแหน่งโลหะเชื่อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบขนาดรูปร่างของรอยต่อเกยซึ่งประกอบไปด้วย ขนาดความกว้างผิวแนวเชื่อม (I), ขนาดคอคมนแนวเชื่อม (II) และระยะซึมลึกของแนวเชื่อม (III) โดยมีลักษณะการตรวจสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 (ก)



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเชื่อมและขนาดต่างๆของแนวเชื่อมรอยต่อเกย

รูปที่ 4.22 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 150, 200 และ 250 mm/min แสดงการหลอมละลายที่สมบูรณ์ ไม่มีจุดบกพร่องใดๆ ในที่พื้นที่การเชื่อม หรือส่วนอื่นๆ ในโครงสร้างมหภาคของรอยต่อ การเกิดจุดบกพร่อง เช่น การกัดขอบ การเติมโลหะเกิน รูพรุน ไม่สามารถตรวจพบได้ เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างของโครงสร้างมหภาค 3 ส่วนดังการตรวจสอบในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 ประกอบด้วยการตรวจสอบขนาดความกว้างแนวเชื่อม (I) คอคอแนวเชื่อม (II) และระยะซิมลิก (III) ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ผลการตรวจสอบขนาดรูปร่างโครงสร้างมหภาคพบว่า ขนาดความกว้าง คอคอแนวเชื่อม และระยะซิมลิกของแนวเชื่อม มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยพบว่า ความกว้างของผิวหน้าแนวเชื่อมมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น และแสดงความกว้างของผิวหน้าแนวเชื่อมสูงสุดที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min โดยมีความกว้างเท่ากับประมาณ 14.5 mm. และต่ำสุดที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 250 mm/min ซึ่งมีความกว้างเท่ากับ 11.20 mm. ขณะที่ขนาดของคอคอแนวเชื่อม และระยะซิมลิกมีค่าลดลง เพียงเล็กน้อย เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น

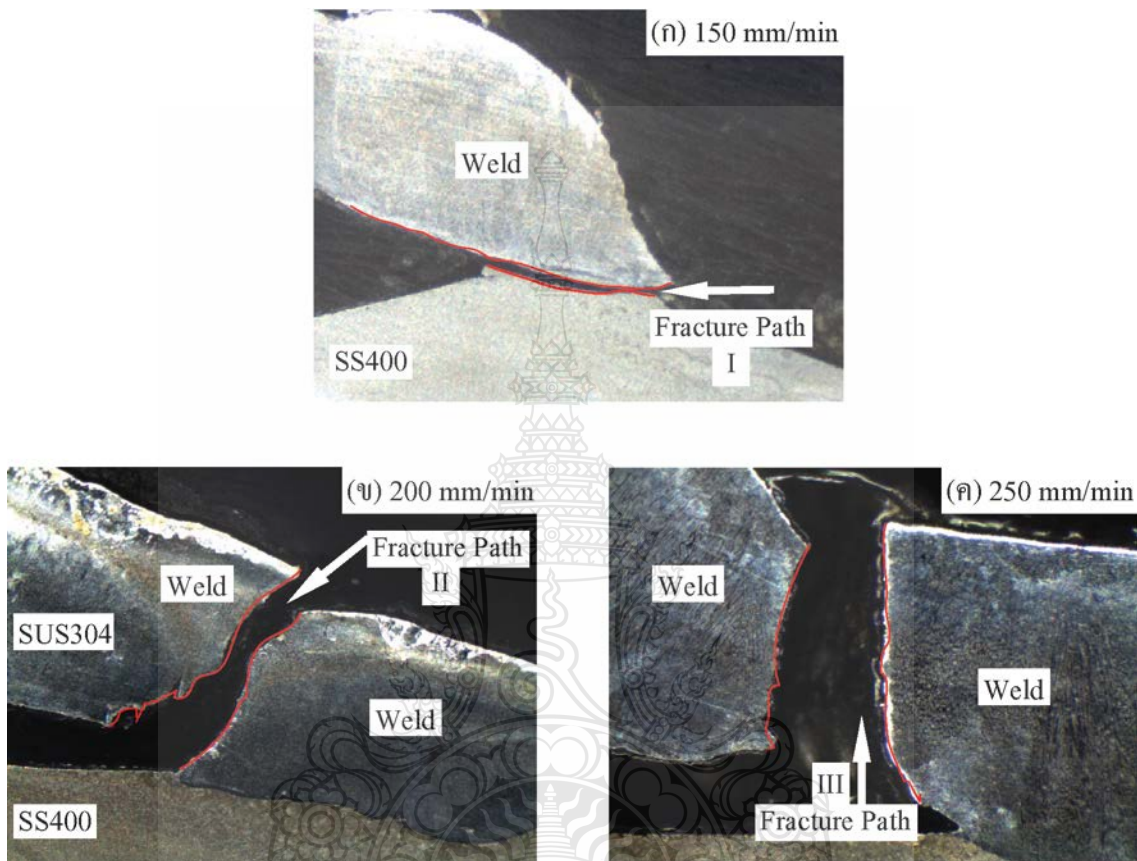
โดยที่คอคอเชื่อมที่มีขนาดสูงสุดเท่ากับ 4.17 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/ min และลดลงเหลือ 3.78 ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมสูงขึ้นที่ 200 mm/ min และต่ำสุดที่ค่าประมาณ 2.98 mm/min ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 250 mm/ min และระยะซึมลึกมีค่าสูงสุดประมาณ 0.76 mm ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินเชื่อม แรงพังทลาย และมุมบิดของชิ้นทดสอบ

รูปที่ 4.23 รอยต่อที่ถูกเชื่อมด้วยความเร็วเดินเชื่อมต่างๆ ถูกนำมาทำการเตรียมชิ้นทดสอบแรงดึงเหนือบแบบลดขนาด ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.16 เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของโลหะเชื่อม และแสดงผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.23 พบว่ารอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 150, 200 และ 250 mm/ min แสดงค่าความแข็งแรงดึงเหนือบ หรือแรงพังทลายที่มีการเปลี่ยนแปลงต่างกัน ระหว่างค่าแรงพังทลายสูงสุด และค่าแรงพังทลายต่ำสุดเท่านั้น ค่าแรงพังทลายของรอยต่อที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 20,186 N ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min และค่าแรงพังทลายของรอยต่อที่มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 13,889 N ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 250 mm/min ขณะที่การบิดตัวของรอยต่อมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น โดยมีมุมบิดต่ำสุด

เท่ากับ 23° ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min เมื่อเพิ่มความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min มุมบิดมีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 33.4° และแรงพังทลายเท่ากับ 15,809 N โดยมุมบิดลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ 250 mm/min ดังแสดงในรูปที่ 4.23

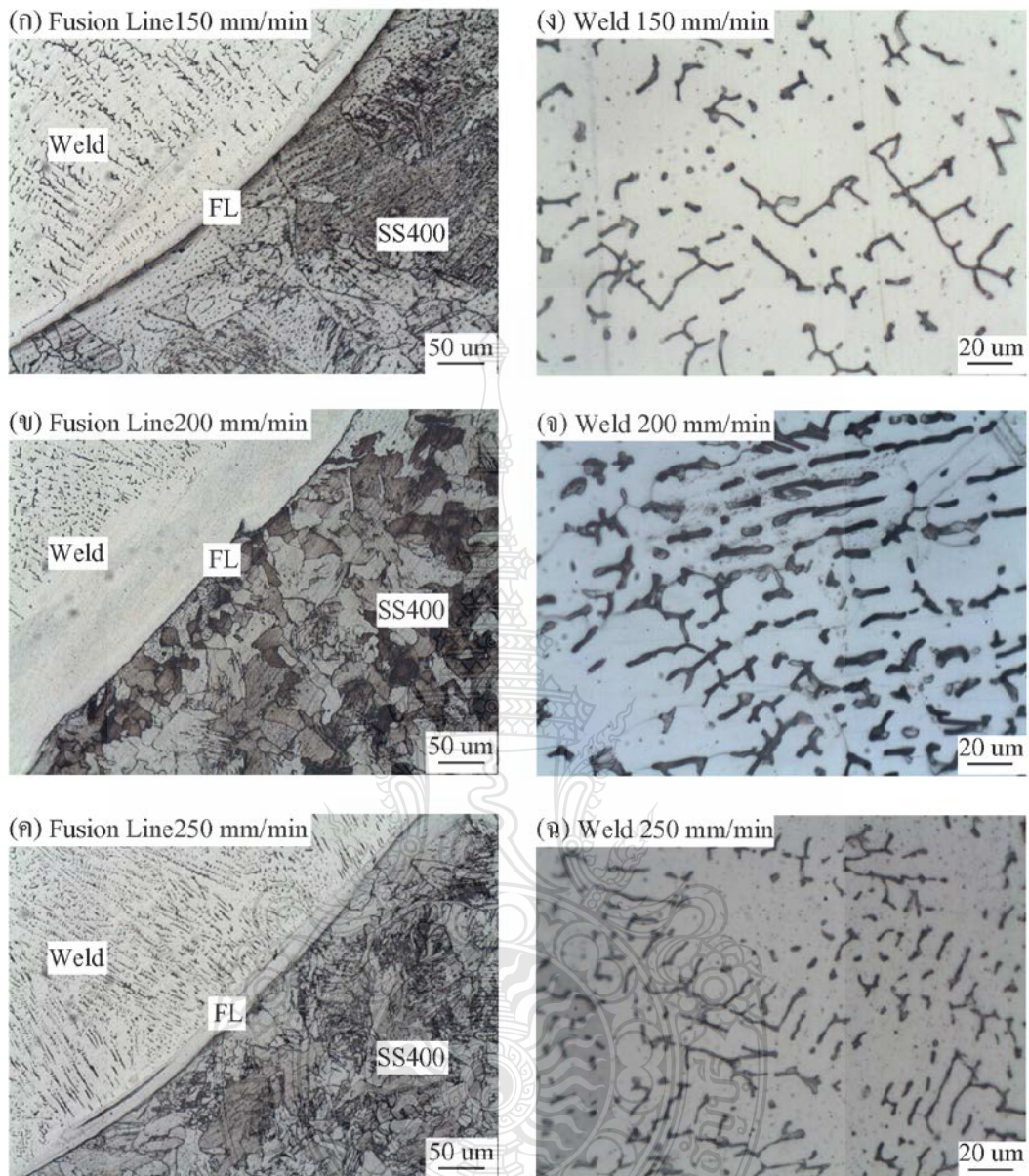


รูปที่ 4.24 การพังทลายของแนวเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ

รูปที่ 4.24 แสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงเนื้องานของรอยต่อเกลียวที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 150, 200 และ 250 mm/min รูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ก), (ข) และ (ค) โดยรูปแบบที่ I คือ การพังทลายที่มีแนวการพังทลายที่บริเวณเส้นหลอมละลายระหว่างเนื้อโลหะเชื่อมกับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 (Fusion Line) และมีทิศทางขนานกับแนวแรง ซึ่งเป็นรูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบที่แสดงความแข็งแรงดีถึงเนื้องานสูงสุดแต่จะมีแนวเชื่อมที่โตเกินความจำเป็น ความเร็วเดินแนวเชื่อมคือ 150 mm/min และมีความแข็งแรงดีถึงเนื้องาน 17,324 N ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ก) รูปแบบที่ II คือ การพังทลายที่ไม่ทำมุมตั้งฉากกับทิศทางการให้แรงดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ข) ซึ่งแสดงความแข็งแรง

ดึงเดือนสูงกว่ารูปที่ 4.24 (ก) โดยใช้ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min ความแข็งแรงดึงเดือน 15,809 N และรูปแบบที่ III คือ การพังทลายที่มีแนวการพังทลายตั้งฉากกับทิศทางการให้แรง ซึ่งเป็นรูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบที่แสดงความแข็งแรงดึงเดือนต่ำคือความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ 250 mm/min โดยมีค่าเท่ากับ 13,889 N เมื่อเทียบเคียงรูปแบบการพังทลายกับความแข็งแรงดึงเดือน ดังแสดงในรูปที่ 4.24 พบว่าชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเดือนแสดงการบิดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น การพังทลายจะเริ่มตั้งฉากกับแนวแรงดังแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการพังทลายในรูปที่ 4.24 (ก) ที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min และ รูปที่ 4.24 (ข) ที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min เมื่อพิจารณาการพังทลายของชิ้นทดสอบที่แสดงค่าความแข็งแรงเดือนต่ำสุดดังแสดงใน รูปที่ 4.24 (ก) พบส่วนที่ทำให้เกิดการบิดตัวสูงก่อนการพังทลาย แนวการพังทลายคล้ายกับการพังทลายจะทำมุมตั้งฉากกับแนวการให้แรงดึงเดือนกับชิ้นทดสอบเมื่อมุมบิดมีแนวโน้มสูงขึ้น

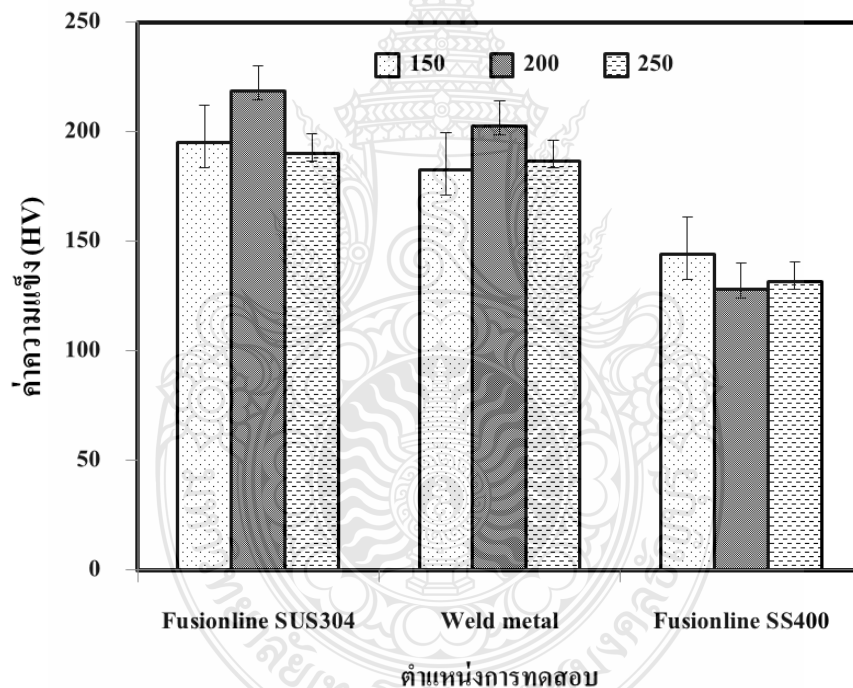




รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบ โครงสร้างบริเวณที่ความเร็วดินแนวเชื่อมต่างกัน

รูปที่ 4.25 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วดินแนวเชื่อมต่างๆ การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วย 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งเส้นหลอมละลาย (FL) ระหว่างโลหะเชื่อมกับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ดังแสดงในรูปที่ 4.25 (ก), (ข) และ (ค) ส่วนตำแหน่งที่ 2 คือ ตำแหน่งเนื้อเชื่อม (Weld) ดังแสดงในรูปที่ 4.25 (ง), (จ) และ (ฉ) ผลการตรวจสอบเพื่อทำการเปรียบเทียบความแข็งแรงของรอยเชื่อมและการพังทลายพบว่า ที่ตำแหน่งเส้นหลอมละลายระหว่าง

โลหะเชื่อมกับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 การรวมตัวของโลหะถูกแบ่งแยกออกมาอย่างชัดเจนด้วยเส้นการหลอมละลาย พื้นที่การรวมตัวของโลหะเชื่อม และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 มีขนาดความหนาประมาณ 3-10 μm ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min จะเกิดการพังทลายที่บริเวณเส้นหลอมละลาย (FL) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงของรอยต่อพบว่า ความหนาของพื้นที่การหลอมละลาย หรือเส้นการหลอมละลายที่มีค่าลดลง จะทำให้อายุมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ค่าความหนาของเส้นการหลอมละลายที่มีค่าสูง มีความเป็นไปได้ในการก่อให้เกิดการเริ่มพังทลายของรอยต่อ และเกิดการขยายตัวของรอยต่อเข้าสู่โลหะเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ก) เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 200 และ 250 mm/min จะเกิดการพังทลายที่บริเวณตำแหน่งเนื้อเชื่อม (Weld) ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ข) และ (ค) ซึ่งมีโครงสร้างจุลภาคเป็นเดนไดรต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.25 (จ) และ (ฉ)



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และความเร็วเดินแนวเชื่อม

รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 150, 200 และ 250 mm/min ผลการทดสอบพบว่า ค่าความแข็งของเส้นหลอมละลายระหว่างโลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 มีค่าสูงสุดระหว่าง 190- 224 HV ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม

150 - 250 mm/min รองลงมาคือ ความแข็งที่บริเวณเนื้อเชื่อม ซึ่งมีความแข็งระหว่าง 180-200 HV และค่าต่ำสุดคือ ความแข็งของเส้นหลอมละลายระหว่างโลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ซึ่งมีความแข็งอยู่ที่ 120-140 HV ค่าความแข็งทั้ง 3 ส่วน มีค่าสูงกว่าความแข็งของโลหะฐานทั้งสองด้าน ค่าความแตกต่างของความแข็งด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่มีค่ามากกว่า และเส้นการหลอมละลายที่แสดงความสามารถไม่เข้ากันของโลหะเชื่อม และเหล็กคาร์บอน SS400 ส่งผลทำให้รอยต่อมีความแข็งแรงต่ำกว่า และเกิดการพังทลายที่บริเวณแนวเชื่อม เมื่อเปรียบเทียบความแข็งเฉลี่ยของตำแหน่งการตรวจสอบทั้งสาม กับความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงจาก 150-250 mm/min พบว่า ความแข็งมีค่าแนวโน้มที่ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.26



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานศึกษาอิทธิพลตัวแปรในการเชื่อมต่อเกยระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับ เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่ส่งผลต่อสมบัติทางกล และ โครงสร้างทางโลหะวิทยาของรอยต่อเกย โดยกำหนดตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ กระแสไฟเชื่อม 5 ระดับ คือ 80, 90, 100, 110, และ 120 A. มุมเชื่อม 3 ระดับ คือ 30° , 45° และ 60° ความเร็วเดินแนวเชื่อม 3 ระดับ คือ 150, 200, และ 250 mm/min ความหนาชั้นทดสอบ 3 มม. จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 อิทธิพลของกระแสไฟเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อเกยระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ที่กระแสเชื่อม 80, 90, 100, 110, และ 120 A. มุมเชื่อม 45° และความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min ได้ผลการทดลองดังนี้

1) กระแสไฟเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกย และแสดงค่าแรงดึงสูงสุดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนเท่ากับ 15,570 N เมื่อเชื่อมรอยต่อด้วยกระแสไฟเชื่อม 100 A.

2) ชั้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนแสดงการเพิ่มมุมบิดเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงถึงการเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อและระยะห่างระหว่างแกนเดนไดรท์ทุติยภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น และส่งผลทำให้รอยต่อมีการบิดงอและบิดตัวเพิ่มขึ้น

3) ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมมีค่าต่ำกว่าขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐาน และบ่งชี้ให้ทราบถึงจุดเริ่มต้นในการบิดของชั้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนก่อนการพังทลายด้วยแรงดึงเฉือน

5.1.2 อิทธิพลของมุมเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อเกยระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ที่เชื่อมด้วยมุมเชื่อม 30° , 45° และ 60° กระแสไฟเชื่อม 100 A. และความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 mm/min ได้ผลการทดลองดังนี้

1) มุมเชื่อมที่ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกยหรือแรงพังทลายมีค่าสูงสุดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนเท่ากับ 15,431 N เมื่อทำการเชื่อมด้วยมุม 45°

2) ความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อมุมเชื่อมเปลี่ยนแปลงจาก 45° เป็น 30° และ 60° ค่าความแข็งแรงของชิ้นทดสอบที่บริเวณขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐาน SUS304 มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 168 HV และบริเวณเนื้อแนวเชื่อม ที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 162 HV ซึ่งมีค่าสูงกว่าขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐาน SS400

3) โครงสร้างจุลภาคโลหะเชื่อมที่เป็นตำแหน่งการพังทลายแสดงระยะห่างระหว่างแกนเดนไดรท์ทำให้ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยต่อเกย

5.1.3 อิทธิพลของความเร็วเดินแนวเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อเกยระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่เชื่อมโดยความเร็วเดินแนวเชื่อม 150, 200 และ 250 mm/min กระแสไฟเชื่อม 100 A. และมุมเชื่อม 45° ได้ผลการทดลองดังนี้

1) มุมเชื่อมที่ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกยหรือแรงพังทลายมีค่าสูงสุดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนเท่ากับ 20,186 N เมื่อทำการเชื่อมความเร็วเดินเชื่อมที่ 150 mm/min

2) ผลการทดสอบพบว่า ค่าความแข็งแรงของเส้นหลอมละลายระหว่างโลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 มีค่าสูงสุดระหว่าง 190-224 HV ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 - 250 mm/min รองลงมาคือ ความแข็งแรงที่บริเวณเนื้อเชื่อม ซึ่งมีความแข็งแรงระหว่าง 180-200 HV และค่าต่ำสุดคือ ความแข็งแรงของเส้นหลอมละลายระหว่างโลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ซึ่งมีความแข็งแรงอยู่ที่ 120-140 HV ค่าความแข็งแรงทั้ง 3 ส่วน มีค่าสูงกว่าความแข็งแรงของโลหะฐานทั้งสองด้าน

3) เกิดการพังทลายที่บริเวณเส้นหลอมละลาย (FL) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงของรอยต่อพบว่า ความหนาของพื้นที่การหลอมละลาย หรือเส้นการหลอมละลายที่มีค่าลดลง จะทำให้รอยต่อมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ค่าความหนาของเส้นการหลอมละลายที่มีค่าสูงมีความเป็นไปได้ในการก่อให้เกิดการเริ่มพังทลายของรอยต่อ และเกิดการขยายตัวของรอยต่อเข้าสู่โลหะเชื่อม

5.1.4 อิทธิพลตัวแปรในการเชื่อมต่อเกยระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับ เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ที่เหมาะสมคือ กระแสไฟเชื่อม 100 A. มุมเชื่อม 45° และ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min

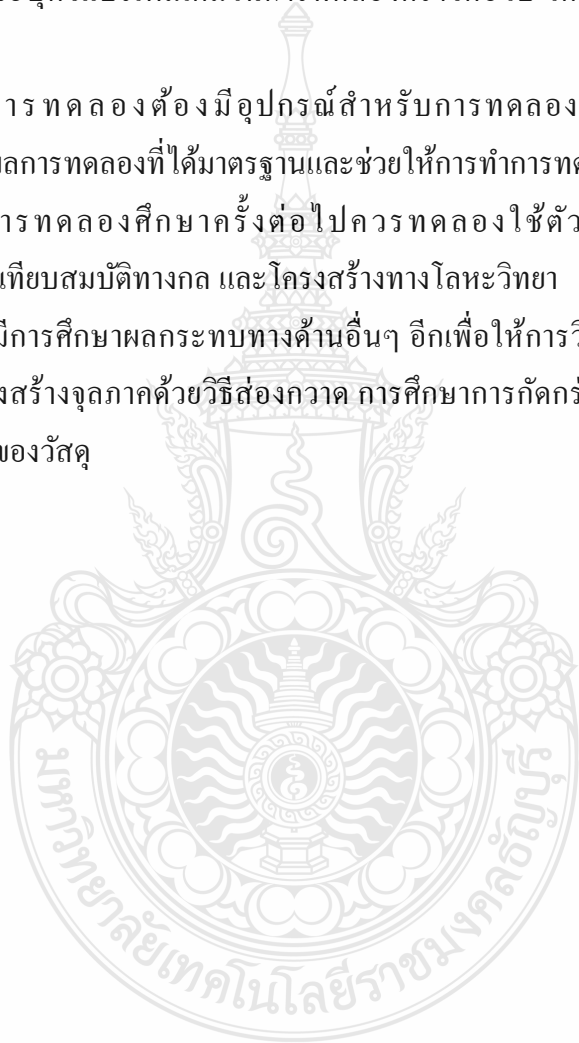
5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาอิทธิพลตัวแปรในการเชื่อมต่อเกาะระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม โดยกำหนดตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ กระแสไฟเชื่อม มุมเชื่อม และความเร็วเดินแนวเชื่อม ซึ่งอาจเกิดปัญหาในระหว่าง การทดลองเนื่องจากเป็นวัสดุโลหะต่างชนิด เพื่อให้การวิเคราะห์ผลของรอยต่อเกาะมีความละเอียด เพิ่มขึ้น จึงต้องมีการระบุตัวแปรเพิ่มเติมในการทดลองคราวต่อไป โดยมีข้อเสนอแนะไว้ในการ พิจารณาดังนี้

5.2.1 ในการ ทดลอง ต้องมีอุปกรณ์สำหรับการทดลองที่มีประสิทธิภาพและได้ มาตรฐานจะทำให้ได้ผลการทดลองที่ได้มาตรฐานและช่วยให้การทำการทดลองสะดวกมากขึ้น

5.2.2 ในการ ทดลอง ศึกษาครั้งต่อไป ควรทดลองใช้ตัวแปรอื่นๆ ในการเชื่อม เพื่อเพิ่มเติมการเปรียบเทียบสมบัติทางกล และ โครงสร้างทางโลหะวิทยา

5.2.3 ควรมีการศึกษาผลกระทบทางด้านอื่นๆ อีกเพื่อให้การวิเคราะห์ผลครอบคลุมมาก ยิ่งขึ้น เช่น ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยวิธีส่องกวาด การศึกษาการกัดกร่อน และอิทธิพลทางความ ร้อนที่ส่งผลต่อสมบัติของวัสดุ



รายการอ้างอิง

- [1] D.R. Askeland and P.P. Phule. 2006. Science and Engineering of Materials. Singapore. Cengage Learning.
- [2] Z. Sun and R. Karppi “The Application of Electron, Beam Welding for the Joining of Dissimilar Metals : An Overview” J. of Materials Processing Technology 59 (1996) 257 – 267.
- [2] Branes, T.A. and Pashyby, I.R. 2000, Joining Techniques for Aluminum Spaceframes used in Automobiles Part I-Solid and Liquid Phase Welding. J. of Materials Processing Technology. 99 : 62 – 71.
- [4] สุวัฒน์ ภูเภา และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์. 2554. อิทธิพลกระแสไฟฟ้าการเชื่อมมิกที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อชนเหล็กกล้า SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริตค 430. การประชุมรายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2554 20-21 ตุลาคม 2554 โรงแรมแอมบาสเดอร์ซีดี จอมเทียนพัทยา จ.ชลบุรี
- [5] Hyeong –Yeon Lee, Se-Hwan Lee, Jong-Bum Kim and Jea-Han Lee. Creep-fatigue damage for a structure with dissimilar metal welds of modified 9Cr-1Mo steel and 316L stainless steel. International Journal of Fatigue 29 (2007) 1868 – 1879.
- [6] M. Sireesha a, V. Shankar b, Shaju K. Albert b, S. Sundaresan. Microstructural features of dissimilar welds between 316LN austenitic stainless steel and alloy 800. Materials Science and Engineering A292 (2000) 74-82.
- [7] C.R. Das, A.K. Bhaduri, G. Srinivasan, V. Shankar, S. Mathew. Selection of filler wire for and effect of auto tempering on the mechanical properties of dissimilar metal Joint between 403 and 304L(N) stainless steels. Journal of materials processing technology 209 (2009) 1428 – 1435.
- [8] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ สิริชัย ต่อสกุล อนินท์ มีมนต์ และนรพร กลั่นประชา. 2550. วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : เซนเกจเอดิชั่น. 525 หน้า
- [9] SS400 Mechanical Properties (<http://www.meadinfo.org>), 14 กุมภาพันธ์ 2558

- [10] M.P. Groover “Fundamentals of Modern Manufacturing, Material, Processes and Systems” (2007) John Wiley & Sons, Inc., USA, 112-113.
- [11] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ ประจักษ์ อ่างบุญตา และบุญส่ง จงกลณี. 2552. รายงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2552 เรื่อง โครงสร้างจุลภาคและสมบัติของรอยเชื่อมวัสดุด้วยเทคโนโลยีการเชื่อมแบบใหม่. กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- [12] ขงยุทธ ดุลยกุล, นภิสพร มีมลลล และประภาส เหมือนจันทร์บุรี “การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระแสเชื่อมและส่วนผสมของแก๊สคลุมที่แตกต่างกันโดยกรรมวิธีการเชื่อมแม่เหล็ก”, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 2551.
- [13] มานะศิษฐ์ พิมพ์สาร. **คู่มือการเชื่อม Mig - Mag**. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนดี้, 2554
- [14] ชูชาติ ด้วงสงค์. 2550. **การตรวจสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ**. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 185-194
- [15] มาตรฐาน ASTM D1002-99.[Online].Available. <http://www.astm.org> (26 มกราคม 2556)
- [16] สมนึก วัฒนศรียกุล. 2549. **การทดสอบวัสดุ. (Material Testing)** กรุงเทพฯ : กรีนเวิลด์มีเดีย.
- [17] อรศิริ จันทร์เมือง. 2551 การศึกษาผลกระทบของแก๊สที่ใช้สำหรับกระบวนการเชื่อม MIG กรณีศึกษา : การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI. เบอร์ 304. กรุงเทพฯ, หน้า 1-77.
- [18] ฉัตรทอง ไสแสง. 2548, อิทธิพลของพารามิเตอร์เชื่อมต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิต เกรด304. กรุงเทพฯ, หน้า 1-75.
- [19] ปริญา แสงทอง. 2549, ผลการแปรพารามิเตอร์ การเชื่อม MIG ต่อโครงสร้างและสมบัติของงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม. กรุงเทพฯ, หน้า 1-93.
- [20] M.P. Groover “Fundamentals of Modern Manufacturing, Material, Processes and Systems” (2007) John Wiley & Sons, Inc., USA,



ภาคผนวก ก

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

ที่ ศธ ๐๕๒๙.๑.๔/๒๒๙๑



มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
๘๕ ถนนสกลมาร্ক ตำบลเมืองศรีโค
อำเภวารินชำราบ
จังหวัดอุบลราชธานี ๓๔๑๙๐

๑๑ มิถุนายน ๒๕๕๘

เรื่อง ตอบรับการนำเสนอและตีพิมพ์ผลงานวิจัยในการประชุมทางวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ ๙
เรียน นายอมรศักดิ์ มาใหญ่

ตามที่ท่านส่งผลงานวิจัยเรื่อง อิทธิพลของมุมเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อความ
แข็งแรงดึงเดือนของรอยต่อเกลียวระหว่างเหล็กกล้า คาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 เพื่อร่วม
นำเสนอผลงานในรูปแบบบรรยาย (Oral Presentation) ในการประชุมทางวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่
๙ วันที่ ๒ - ๓ กรกฎาคม พ.ศ.๒๕๕๘ ณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และประสงค์ตีพิมพ์ผลงานดังกล่าวใน
หนังสือประมวลบทความในการประชุมทางวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ ๙ (Proceedings) นั้น

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีขอแจ้งให้ทราบว่าผลงานวิจัยของท่านผ่านการพิจารณาให้นำเสนอ
และบทความจะได้รับการตีพิมพ์ในหนังสือประมวลบทความในการประชุมทางวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย
ครั้งที่ ๙ (Proceedings) มีกำหนดเผยแพร่ในวันที่ ๑ ตุลาคม พ.ศ.๒๕๕๘ เป็นต้นไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อันทิรา ซาฮิรี)

รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและพันธกิจสังคม

หัวหน้ากองบรรณาธิการการประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ ๙

สำนักงานอธิการบดี สำนักงานส่งเสริมบริหารงานวิจัยฯ

โทรศัพท์ ๐ ๔๕๓๕ ๓๐๓๕

โทรสาร ๐ ๔๕๓๕ ๓๐๔๒



บทคัดย่อการประชุมทางวิชาการระดับชาติ หอบ.วิจัย ครั้งที่ 9

การพัฒนาท้องถิ่นสู่ภูมิภาคอาเซียน : ความหลากหลายบนพื้นที่ชายแดน

2 - 3 กรกฎาคม 2558

ณ อาคารเพชรต้นสิริปภา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี





ประชุมวิชาการ มอว. ใจย์ ครั้งที่ 9

การพัฒนาท้องถิ่นสู่ภูมิภาคอาเซียน : ความหลากหลายบนพื้นที่ชายแดน

2 – 3 กรกฎาคม 2558

อาคารเทพรัตนสิริปภา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



ประกาศมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
เรื่อง แต่งตั้งกองบรรณาธิการการประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 9

ตามที่ สำนักงานส่งเสริมบริหารงานวิจัย บริการวิชาการและทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม สำนักงานอธิการบดี ได้รับอนุมัติให้ดำเนินโครงการประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 9 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีในการนำเสนอ ผลงานวิจัยของนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ในสาขาต่างๆ ทั้งจาก หน่วยงานภาครัฐ เอกชนและผู้สนใจทั่วไป ซึ่งนำมาสู่การสร้างบรรยากาศของการวิจัยและการเผยแพร่องค์ความรู้สู่สังคม และเพื่อให้การดำเนินงานโครงการ ดังกล่าวบรรลุตามวัตถุประสงค์ มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

ฉะนั้น อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 18 และ 21 แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ. 2533 จึงแต่งตั้งกองบรรณาธิการการประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 9 ดังมีรายชื่อต่อไปนี้

1. หัวหน้ากองบรรณาธิการ

รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและพันธกิจสังคม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มีหน้าที่ ดูแลการบริหารและการดำเนินการจัดทำหนังสือประมวลบทความในการประชุมทางวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 9 (Proceedings) และพิจารณาความเหมาะสมในการตีพิมพ์

2. กองบรรณาธิการ

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1) รองศาสตราจารย์สุวัฒน์ วีระพงษ์ธนากร | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 2) รองศาสตราจารย์ณัฐจาพร พิชัยณรงค์ | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| 3) รองศาสตราจารย์ชาญณรงค์ สายแก้ว | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 4) ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิเศษกาญจนา ทองทั่ว | มูลนิธิประชาสังคม จังหวัดอุบลราชธานี |
| 5) ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรทัย เลียงจินดาถาวร | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 6) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชมพูนุท ธาธิ์เชียร | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 7) ผู้ช่วยศาสตราจารย์รุ่งวิทย์ บุญดาว | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 8) ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรุณญา พิมพ์มงคล | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 9) ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิริยา พรหมกอง | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 10) ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมบัติ สินธุเขาวน | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 11) ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุมนา นีระ | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 12) ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัฐธญา มณีเนตร | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |

- | | |
|--|------------------------------|
| 13) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาติรี ฝ่ายคำตา | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 14) ผู้ช่วยศาสตราจารย์กองพล อารีรักษ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 15) ผู้ช่วยศาสตราจารย์กตัญญู แก้วหานาม | มหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์ |
| 16) อาจารย์ชญาดา ดานวงศ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี |
| 17) อาจารย์วัชรีย์ เกษพิชัยณรงค์ | มหาวิทยาลัยมหิดล |

มีหน้าที่ พิจารณากลับกรองผลงานที่เสนอขอรับการตีพิมพ์ ให้ข้อเสนอแนะและตรวจสอบความถูกต้องของบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์ที่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว ก่อนตีพิมพ์เผยแพร่ในหนังสือประมวลบทความในการประชุมทางวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 9 (Proceedings) และให้คำปรึกษาด้านวิชาการฝ่ายจัดการ ในการดำเนินงาน

3. ฝ่ายจัดการ

- | | |
|-----------------------------|------------------------|
| 1) นางสาวปัญจีรา ศุภคต | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 2) นายสุภวัฒน์ โสวรรณิ | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 3) นางสาวนิตยศรี วงศ์สุวรรณ | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |

มีหน้าที่ ดูแลการดำเนินการจัดทำหนังสือประมวลบทความในการประชุมทางวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 9 (Proceedings) ประสานงานระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิ กองบรรณาธิการ และผู้เขียน ตรวจสอบความถูกต้องของการจัดรูปแบบ พิสูจน์อักษร

ทั้งนี้ ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2558

ประกาศ ณ วันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2558

-รองศาสตราจารย์นงนิตย์ อีระวัฒน์สุข-
อธิการบดีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ

รองศาสตราจารย์ ดร.ดำรงค์ วัฒนา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.เอ็มอัชณา วัฒนบูรานนท์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย อัครลาภสกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ณรงค์ สิงห์ปุระอุตม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิป สมชาติโต	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัฐมาภรณ์ พิมพ์ทอง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรธิภา องค์คุณารักษ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี ฝ่ายคำตา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.จักกริช พฤษการ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.พิจิตรา แก้วสอน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.อรพรรณ บุตรกตัญญู	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.เอกภูมิ จันทร์ขันตี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤตยา แสงเจริญ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย สะตะ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลลภา อารีรัตน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สังคม เตชะวงศ์เสถียร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ คำดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ขวัญฤดี ตันตระบันฑิตย์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จินตนา สมสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรัชญา มณีเนตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกาดี แก้วกันเนตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวิชัย ศรีโกคังกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชองคณา แถลงกันท์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนา นีระ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ณอมพร เลหาจรัสแสง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กิ่งฟ้า แสงลี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดวงหทัย กาศวิบูลย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤตินันท์ สมุทรทัย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วีระพงษ์ แสงชูโต	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ดร.กริธา แก้วคง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล อารีรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ทิรา เจียรณีย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กวินธร เสถียร	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชมพูนุช วรางคนากุล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิวากร แก้วมณี	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยสฤกษ์ อเนกสุข	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วศิน ปัญญาวศตระกูล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรินภา กิจเกื้อกุล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจมาศ จันทะภา ไพบูลย์กิจกุล	มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี
ดร.วศิน ยูวนะเดมีย์	มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กรกนก ทิพรส	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร.กัญญารัตน์ โคจร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร.มนตรี วงษ์สะพาน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐจาพร พิชัยณรงค์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.รัตนวัฒน์ ไชยรัตน์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทียนทอง ทองพันธ์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑา เก่งการพานิช	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ณ เกษมผลกุล	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพกร ภูระย้า	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปองรัตน์ รัตนกัญญา	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.วัชรวิทย์ เกษพิชัยณรงค์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กตัญญู แก้วหานาม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์
รองศาสตราจารย์ วัชรวิทย์ กาญจนศิริดี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรกร โพธิ์งาม	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุบิน ยุธะรัช	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัศนีย์ นะแส	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เจริญขาว	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
ดร.ณรงค์ศักดิ์ รอบคอบ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยวัณ ภิรมย์พิทักษ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
ศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศักดิ์ รัตนชัยกุลโสภณ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ วงศ์พิเชษฐ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวัฒน์ อีระพงษ์นาร	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ สมหมาย ชินนาค	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณิกา รัตน์พงศ์เลขา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา พุฒะ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา รุ่งรัชกานนท์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา สิงห์ทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชมพูนุท ธาธีเรีย	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชรีดา ปุกหุด	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ จึงวัฒน์ตระกูล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนาทิพย์ แผลมคม	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาภรณ์ เจริญบุตร	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งรัศมี บุญดาว	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิริยา พรหมกอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเขาวน	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ สีบุตร	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวดี กงเพชร	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แสวง วัชรชนกิจ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรทัย เสียงจินดาถาวร	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรัญญา พิมพ์มงคล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจัน มณีนิล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประชาสันติ ไตรยสิทธิ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร.ท.ดร.สมญา ภูมยะ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีประไพ ธรรมแสง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.กิตติ เหลาสุภาพ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงศ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.ทิฆัมพร วุฒิพรพงษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.ณรุจน์ วศินปิยมงคล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.ณัฐชวัล โศคาพานิชวงศ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.ทรงสุภา ทุมชุมพล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.ธวัฒน์ ศรีโอสม	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.ธารชุตดา พันธนิกุล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.ประเทือง ม่วงอ่อน	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.ศุภชัย วรรณเลิศสกุล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.สุมาลี เจริญจิตร	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.สุวภัทร ศรีจ้องแสง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.เหมวรรณ เหมะนัค	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.อนิรุช สิบสิงห์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.ชุกาศิรี อภินันท์เดชา	วิทยาลัยนครราชสีมา

สารบัญ

	หน้า
<ul style="list-style-type: none"> ● การตรวจจ้งระดับเยื้องศูนย์มอเตอร์ด้วยวิธีมอดูลัสของปาร์เวกเตอร์ นายศุภง กิ่งแสง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 	125
<ul style="list-style-type: none"> ● เปรียบเทียบลักษณะรูปทรงชิ้นงานต่อพฤติกรรมกาเปลี่ยนรูปของแผ่นอลูมิเนียม ด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่อง นายสรพงษ์ ศรีภูมิ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 	127
<ul style="list-style-type: none"> ● การเปรียบเทียบวิธีการกระตุ้นด้วยความเครียดต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ของอลูมิเนียมผสมกึ่งของแข็งเกรด A356 นางสาวนุชจิรา วรรณสิทธิ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 	129
<ul style="list-style-type: none"> ● การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการเชื่อมของการเชื่อมไทเทเนียม ผ.ตะวันฉาย โพธิ์หอม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 	131
<ul style="list-style-type: none"> ● อิทธิพลของธาตุทองแดงที่มีต่อสมบัติทางกลและลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค ของผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าจากกรรมวิธีการอัดผงโลหะ นายสมพงษ์ ทรัพย์นัต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี 	133
<ul style="list-style-type: none"> ● อิทธิพลของมุมเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อ ระหว่างเหล็กกล้า คาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 นายอมรศักดิ์ มาใหญ่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 	135
<ul style="list-style-type: none"> ● คุณสมบัติด้านกำลังและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ นายมรกต ไชยสิทธิ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 	137
<ul style="list-style-type: none"> ● ผลทดสอบเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า นายจารุพันธ์ ไพพลพิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 	139
<ul style="list-style-type: none"> ● ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและสมบัติเชิงกลของพอลิโพรพิลีนและ พอลิสไตรีนผสมสารยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย HPQM รูปแบบสารดูดซับและสารละลาย นายอาทิตย์ เอกศิรินิมิต คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 	141

**อิทธิพลของมุมเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคูลมที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกลย
ระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304**

อมรศักดิ์ มาใหญ่^{1*} กิตติพงษ์ กิมะพงศ์¹ ยอดเปรม ภูกำเนิด² และ ชัยยะ ปราณีตพลกรัง¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี

²โรงเรียนสาธิตเตรียมวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร

E-mail : amornsak.ma@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของมุมเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกลยระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รอยต่อเกลยที่ได้จากการเชื่อมด้วยมุมเชื่อมที่กำหนด ถูกนำไปทำการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน ความแข็ง และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค มหาภาค เพื่อทำการเปรียบเทียบมุมในการเชื่อมที่เหมาะสม ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ มุมเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกลย และแสดงค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุดเท่ากับ 15,431 N เมื่อเชื่อมรอยต่อด้วยมุมเชื่อม 45 องศา ขึ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนแสดงการเพิ่มมุมบิดเมื่อมุมหัวเชื่อมเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงถึงการเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อ และส่งผลทำให้รอยต่อมีการบิดงอและยึดตัวเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคูลม เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าไร้สนิม การเชื่อมโลหะต่างชนิด รอยต่อเกลย



Influence of Gas Metal Arc Welding Angle on Tensile Shear Strength of SS400 Carbon Steel and SUS304 Stainless Steel Lap Joint

Amornsak Mayai^{1*} Kittipong Kimapong¹ Yodprem pukumnert² Chaiya Praneetpong¹

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi Pathumthani

²Demonstration School of Engineering and Technology, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of

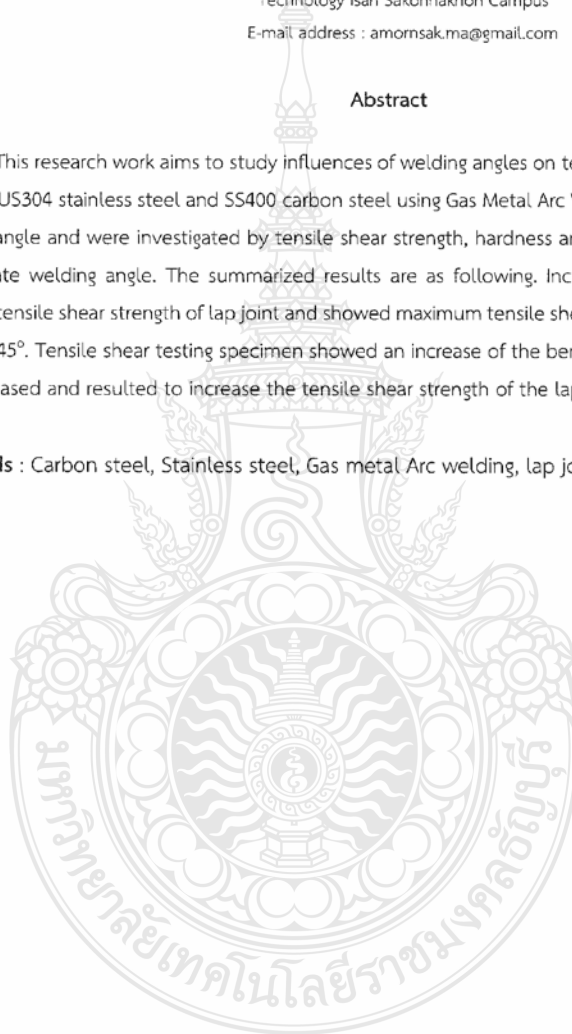
Technology Isan Sakonnakhon Campus

E-mail address : amornsak.ma@gmail.com

Abstract

This research work aims to study influences of welding angles on tensile shear strength focusing on lap joint of SUS304 stainless steel and SS400 carbon steel using Gas Metal Arc Welding that were welded by given welding angle and were investigated by tensile shear strength, hardness and microstructure for finding out an appropriate welding angle. The summarized results are as following. Increase of welding angle affected to increase tensile shear strength of lap joint and showed maximum tensile shear strength of 15,431 N at a welding angle of 45°. Tensile shear testing specimen showed an increase of the bending angle when the welding angle was increased and resulted to increase the tensile shear strength of the lap joint.

Keywords : Carbon steel, Stainless steel, Gas metal Arc welding, lap joint



สาส์น จากประธานคณะกรรมการอำนวยการ

การจัดสัมมนาวิชาการและจัดประชุมวิชาการนานาชาติ ครั้งที่ 11

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ประจำปี 2557

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ได้จัดสัมมนาวิชาการและประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ครั้งที่ 11 ระหว่างวันที่ 8-9 ธันวาคม 2557 ภายใต้คำขวัญ “ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์กำแพงแสน” โดยมีผู้นำเสนอมผลงานวิจัยในสาขาต่าง ๆ จำนวน 8 สาขา ได้แก่ สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ สัตว์และสัตวแพทย์ วิศวกรรมศาสตร์ ศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์ มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการเกษตร เพื่อให้อาจารย์ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา ในระดับอุดมศึกษา ตลอดจนภาคเอกชนได้มีโอกาสเผยแพร่ผลงานทางวิชาการสู่สาธารณะ แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และประสบการณ์เชิงวิชาการ ที่นำไปสู่การใช้ประโยชน์ได้จริง

ทั้งนี้ คณะกรรมการจัดสัมมนาวิชาการและจัดประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการจัดสัมมนาวิชาการและจัดประชุมวิชาการในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดกิจกรรมครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติต่อไป



(รองศาสตราจารย์สมบัติ ชิมะวงศ์)

รองอธิการบดีวิทยาเขตกำแพงแสน


ประธานคณะกรรมการอำนวยการ การจัดสัมมนาวิชาการ

และจัดประชุมวิชาการนานาชาติ ครั้งที่ 11

คำนำ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ได้จัดสัมมนาวิชาการและประชุมวิชาการระดับนานาชาติ เพื่อให้ อาจารย์ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา ในระดับอุดมศึกษาตลอดจนภาคเอกชนได้มีโอกาสเผยแพร่ผลงานทางวิชาการสู่สาธารณะ และทำให้เกิดการกระตุ้นการสร้างผลงานวิจัยการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและประสบการณ์เชิงวิชาการที่นำไปสู่ภาคปฏิบัติ โดยผลงานนำเสนอที่มีคุณภาพจะได้รับการพิจารณาให้ได้รับรางวัลดีเด่นดีและชมเชยในแต่ละสาขาและเจ้าของผลงานสามารถ นำผลงานไปเสนอเพื่อตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ เช่น วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร วารสารเกษตรศาสตร์ วิทยาการ กำแพงแสน ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ (e-Journal) เป็นต้น ดังนั้น จึงได้กำหนดจัดสัมมนาวิชาการและประชุมวิชาการระดับ นานาชาติ ครั้งที่ 11 ระหว่างวันที่ 8-9 ธันวาคม 2557 เพื่อที่จะได้แสดงความเป็นเลิศในด้านวิชาการ บริการวิชาการ และวิจัย ทั้งนี้เพื่อมุ่งสู่ความเป็นมหาวิทยาลัยวิจัยชั้นนำของประเทศ

คณะกรรมการฝ่ายจัดสัมมนาวิชาการและจัดประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ครั้งที่ 11 ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ทุกสาขา วิทยาการ ผู้เข้าร่วมประชุมทุกท่าน ตลอดจนคณะกรรมการ คณะอนุกรรมการจัดสัมมนาวิชาการและจัดประชุม วิชาการทุกฝ่าย ที่ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่ง


(อาจารย์ ดร.อนามัย ดำเนตร)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายจัดสัมมนาวิชาการ
และประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ครั้งที่ 11



รายนามคณะกรรมการ

และ

ผู้ทรงคุณวุฒิ



คณะกรรมการจัดสัมมนาวิชาการและจัดประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

คณะกรรมการอำนวยการ

ที่ปรึกษา	อธิการบดี รองศาสตราจารย์อู๊ด รัตนภักดิ์ ผู้ทรงคุณวุฒิพิเศษ นายศิริ ลีวัฒนานานพงศ์ ผู้ทรงคุณวุฒิพิเศษ
ประธานกรรมการ	รองอธิการบดีวิทยาเขตกำแพงแสน
กรรมการและเลขานุการ	ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายบริหารและประกันคุณภาพ วิทยาเขตกำแพงแสน
กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ	ผู้อำนวยการสำนักงานวิทยาเขตกำแพงแสน ผู้อำนวยการกองธุรการ (กำแพงแสน)
กรรมการ	ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายการศึกษาและวิเทศสัมพันธ์ วิทยาเขตกำแพงแสน ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิจัย วิทยาเขตกำแพงแสน ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการ วิทยาเขตกำแพงแสน ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการ วิทยาเขตกำแพงแสน ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายกิจการนิสิต กีฬา และศิลปวัฒนธรรม วิทยาเขตกำแพงแสน คณบดีคณะเกษตร กำแพงแสน คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา คณบดีคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ รองคณบดีคณะสัตวแพทยศาสตร์ กำแพงแสน รองคณบดีวิทยาเขตกำแพงแสน บัณฑิตวิทยาลัย ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมและฝึกอบรม กำแพงแสน ผู้อำนวยการสำนักหอสมุด กำแพงแสน ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยควบคุมศัตรูพืชโดยชีวินทรีย์แห่งชาติ ภาคกลาง ผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว หัวหน้าสถานีวิจัยประมงกำแพงแสน

คณะกรรมการดำเนินงาน

ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์อู๊ด รัตนภักดิ์ ผู้ทรงคุณวุฒิพิเศษ นายศิริ ลีวัฒนานานพงศ์ ผู้ทรงคุณวุฒิพิเศษ
ประธานกรรมการ	รองอธิการบดีวิทยาเขตกำแพงแสน
กรรมการและเลขานุการ	ผู้อำนวยการสำนักงานวิทยาเขตกำแพงแสน
กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ	ผู้อำนวยการกองธุรการ (กำแพงแสน) ผู้อำนวยการกองบริการการศึกษา (กำแพงแสน) ผู้อำนวยการกองกิจการนิสิต (กำแพงแสน) ผู้อำนวยการกองอาคารสถานที่และยานพาหนะ (กำแพงแสน)

ผู้อำนวยการศูนย์กีฬา กำแพงแสน
ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายการศึกษาและวิเทศสัมพันธ์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิจัย วิทยาเขตกำแพงแสน

ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการ วิทยาเขตกำแพงแสน

ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายบริหารและประกันคุณภาพ วิทยาเขตกำแพงแสน

ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายกิจการนิสิต กีฬา และศิลปวัฒนธรรม

วิทยาเขตกำแพงแสน

ประธานคณะกรรมการฝ่ายจัดหารายได้

(ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการ วิทยาเขตกำแพงแสน)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายสถานที่ ยานพาหนะและรักษาความปลอดภัย

(ผู้อำนวยการสำนักงานวิทยาเขตกำแพงแสน)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายประเมินผล

(ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายบริหารและประกันคุณภาพ วิทยาเขตกำแพงแสน)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายเผยแพร่ผลงานนิสิต

(ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายกิจการนิสิต กีฬา และศิลปวัฒนธรรม

วิทยาเขตกำแพงแสน)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายจัดนิทรรศการหน่วยงานภาครัฐและเอกชน

(ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการ วิทยาเขตกำแพงแสน)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายจัดสัมมนาและประชุมวิชาการ

(ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายการศึกษาและวิเทศสัมพันธ์ วิทยาเขตกำแพงแสน)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายนิทรรศการงานวิจัยด้านพืช

และวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการเกษตร (คณบดีคณะเกษตร กำแพงแสน)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายนิทรรศการงานวิจัยด้านวิศวกรรมศาสตร์

(คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายนิทรรศการงานวิจัยด้านการศึกษาและพัฒนาชุมชน

(คณบดีคณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายนิทรรศการงานวิจัยหอสมุด

(ผู้อำนวยการสำนักหอสมุด กำแพงแสน)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายจัดการประกวดและแข่งขันระดับนักเรียน

(คณบดีคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายจัดแสดงและประกวดพืช

(คณบดีคณะเกษตร กำแพงแสน)

ประธานคณะกรรมการฝ่ายนิทรรศการงานวิจัยและประกวดสัตว์

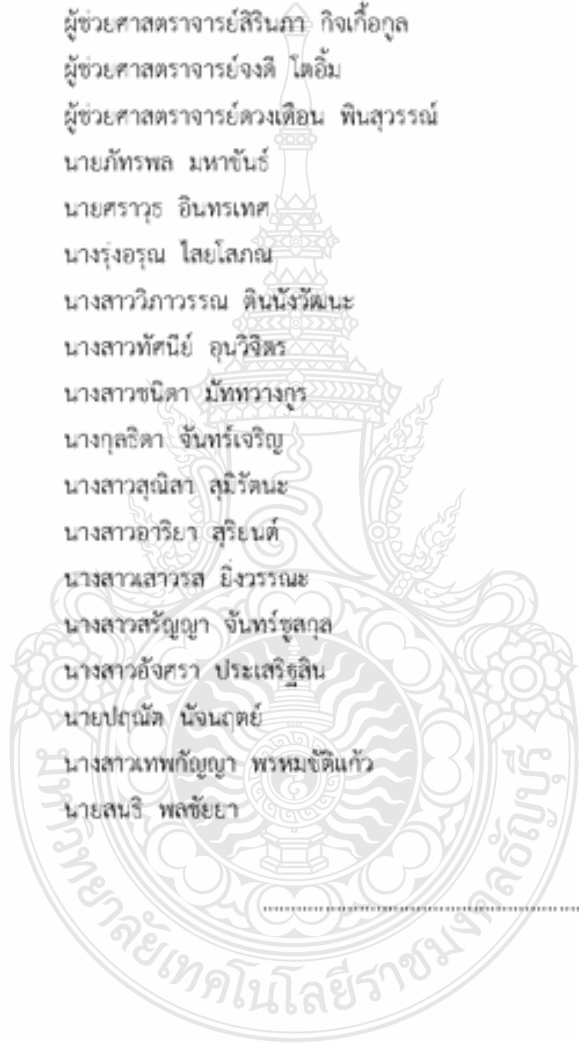
(คณบดีคณะเกษตร กำแพงแสน)

นางสาวกนิษฐา เขาวัดพัฒนกุล
นางสาวพินดา วราสุนันท์
นางสาววรรณิ อังสิทธิ์พูนพร
นางสาวจุฑาทิพย์ ถาวรรัตน์
นางสาวสุภาสิณี นุ่มเนียม
นางสาวสิริรัตน์ เชษฐสมน
นายฐณัฐ วงศ์สายเชื้อ
นางสาวอารีรัตน์ ภาคพิระเจริญ
นายระวี สัจจโสภณ
นางสาวศุภรักษ์ อธิคมสุวรรณ
นางวารารณ แยมทิม

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

รองศาสตราจารย์อาชัญญา รัตนอุบล
รองศาสตราจารย์คณิต เขียววิชัย
รองศาสตราจารย์เอมอชฌา วัฒนบูรานนท์
รองศาสตราจารย์ไพวัลย์ ตันลาพุด
รองศาสตราจารย์ภาคภูมิ รัตน์โรจนกุล
รองศาสตราจารย์อุตร รัตนภักดี
รองศาสตราจารย์ผ่องพรรณ ตรัมย์คลกุล
รองศาสตราจารย์ภักพงค์ ปวงสุข
รองศาสตราจารย์พิรพงศ์ ทิพย์นาค
รองศาสตราจารย์ณสรศักดิ์ ผลโภาค
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิรัตน์ สุปัญญา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชดากร พลภักดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มาลี สบายยิ่ง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริบุณ จงวุฒิเวศย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วีระเทพ ปทุมเจริญวัฒนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชรา เล้าเรียนดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ อ่วมเจริญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มาเรียม นิลพันธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษม นครเขตต์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพิ่มศักดิ์ สุริยะจันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นภดล นิมสุวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพัชรินทร์ ปานอุทัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุชิต แท้สูงเนิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญญัติ สร้อยแสง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรณัฐ กิจรุ่งเรือง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไชยยศ ไพวิทยศิริธรรม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์โชคชัย ยืนยง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรศักดิ์ บัระพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุระ วุฒิพรหม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศักดิ์ศรี สุภาขร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิรินภักดิ์ กิจเกื้อกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จงดี ไตอัม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดวงเดือน พินสุวรรณ
นายภัทรพล มหาพันธ์
นายศราวุธ อินทรเทศ
นางรุ่งอรุณ ไสยโสภณ
นางสาววิภาวรรณ ตินนังวัฒนะ
นางสาวทัศนีย์ อุณวิจิตร
นางสาวชนิดา มัททวงกูร
นางกุลธิดา จันทร์เจริญ
นางสาวสุนิสา สุมิรัตน์
นางสาวอาริยา สุรินทร์
นางลลมาสวรรส ยิงวรรณะ
นางสาวสรัญญา จันทร์ชุลกุล
นางสาวอังศรา ประเสริฐสิน
นายปณัต นัจฉิตย์
นางลลมาทพกัญญา พรหมชาติแก้ว
นายสนธิ พลชัยยา



อิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกลยระหว่างเหล็กกล้า
คาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304
Influence of Welding Current on Tensile Shear Strength of SS400 Carbon Steel and SUS304
Stainless Steel Lap Joint

อมรศักดิ์ มาใหญ่¹ อรรถกร จันทร์ชนะ¹ เจษฎา แก้ววิชิต¹ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์¹
Amornsak Mayai¹ Atthakorn Chanchana¹ Jesada Kaewwichit¹ Kittipong Kimapong¹

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกลยระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รอยต่อเกลยที่ได้จากการเชื่อมด้วยกระแสที่กำหนดถูกนำไปทำการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน ความแข็ง และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เพื่อทำการเปรียบเทียบหาตัวแปรกระแสเชื่อมที่เหมาะสม ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกลย และแสดงค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุดเท่ากับ 15,570 N เมื่อเชื่อมรอยต่อด้วยกระแสเชื่อม 100 A ซึ่งทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนแสดงการเพิ่มมุมบิดเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงถึงการเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อ ระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรท์ทุติยภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นและส่งผลทำให้รอยต่อมีการบิดงอและยึดตัวเพิ่มขึ้นความแข็งแรงของโลหะเชื่อมมีค่าต่ำกว่าขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐาน และบ่งชี้ให้ทราบถึงจุดเริ่มต้นในการบิดงอซึ่งทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนก่อนการพังทลายด้วยแรงดึงเฉือน

ABSTRACT

Aim of the research work was to study influence of welding current on tensile shear strength of SUS304 stainless steel and SS400 carbon steel lap joint. Lap joints that were welded by given welding currents were investigated by tensile shear strength, hardness and microstructure to optimize the welding current. The summarized results are as following. Increase of welding current affected to increase tensile shear strength of lap joint and showed maximum tensile shear strength of 15,570 N at a welding current of 100 A. Tensile shear testing specimen showed an increase of the bending angle when the welding current was increased and resulted to increase the tensile shear strength of the lap joint. Weld metal microstructure showed that secondary dendrite arm spacing was increased when the welding current was increased and resulted to increase the bending angle and the displacement of the lap joint. Hardness of weld metal was lower than that of boundary between base metal and weld metal and implied to initiate the bending of the testing specimen and resulted to be failed.

E-mail address : amornsak.ma@hotmail.com

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12100

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Pathumthani 12110

คำนำ

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปสินค้าเกษตรสำคัญที่มีส่วนช่วยในการพัฒนาประเทศ กระบวนการผลิตอาจประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตสำคัญ คือ การแปรรูปด้วยวิธีการทางกล เช่น การตัด การสับ หรือการบีบอัด เป็นต้น และวิธีการทางเคมีอื่นๆ เพื่อให้ได้น้ำตาลทรายในการบ่อนผู้บริโภคทั้งในและนอกประเทศในปริมาณสูงต่อไป (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล, 2557) ในการผลิตน้ำตาล โรงงานผลิตน้ำตาลจำเป็นต้องมีเครื่องจักร และโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ที่แข็งแรงและทนทาน สามารถทำให้กระบวนการผลิตสามารถปฏิบัติการได้ตลอดทั้งปี หรือยาวนานที่สุดเช่น ส่วนของสายพานหรือรางเลื่อน สำหรับลำเลียงอ้อยเข้าสู่กระบวนการตัดอ้อย ลูกรีบ และเตาอบไอน้ำจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion) และสึกกร่อน (Wear) ซึ่งโดยทั่วไปวิศวกรมักออกแบบและนำเอาเหล็กกล้าไร้สนิมเข้ามาใช้งานในส่วนต่างๆ เหล่านี้ อย่างไรก็ตามบริเวณโครงสร้างที่รองรับน้ำหนักของสายพานลำเลียง หรือรางเลื่อนนั้นอาจไม่เหมาะสมในการออกแบบโครงสร้างโดยการใช้เหล็กกล้าไร้สนิมได้ เนื่องจากเหตุผลทางด้านราคา ด้วยเหตุนี้วิศวกรจึงมักออกแบบให้โครงสร้างรับน้ำหนักสายพานลำเลียง หรือรางเลื่อนนั้นผลิตขึ้นจากเหล็กคาร์บอนที่ใช้ทำโครงสร้างทั่วไป ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่น และสามารถนำข้อดีของวัสดุแต่ละชนิดมาใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้น (Sun and Karppi, 1996)

ถึงแม้ว่าโครงสร้างของวัสดุต่างชนิด คือ เหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าคาร์บอน มีข้อดีในการออกแบบและการนำไปใช้งาน แต่ข้อเสียโครงสร้างนี้ก็เป็นปัญหาที่นักวิจัยกำลังศึกษาและพัฒนาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด กล่าวคือ โครงสร้างที่ประกอบด้วยเหล็กชนิดนั้นเป็นโครงสร้างที่ยากต่อการเชื่อมเข้าด้วยกัน เพราะว่าเหล็กทั้งสองมีสมบัติทางกล กายภาพ และเคมีที่แตกต่าง ทำให้ยากต่อการทำให้เกิดแนวเชื่อมสมบูรณ์ (Branes and Pashby, 2000) อย่างไรก็ตามได้มีการทดลองที่ได้รายงานผลการทดลองเชื่อมที่แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการเชื่อมเหล็กกล้าและเหล็กกล้าคาร์บอนเข้าด้วยกัน เช่น การเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ด้วยการเชื่อมมิก(สุวัฒน์ ภูเภา และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, 2554)การเชื่อมรอยต่อเหล็กกล้าผสม 9Cr-1Mo เหล็กกล้าไร้สนิม 316L (Lee et al, 2007)การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมเหล็กกล้าไร้สนิม 316L และโลหะผสม 800(Sireeshaei et al, 2000) หรือการเชื่อมมิกเหล็กกล้าไร้สนิม 403 และ 304L (Das et al, 2009) เป็นต้น โดยงานวิจัยเหล่านี้กล่าวถึงการศึกษาการเชื่อมรอยต่อชนเป็นหลัก เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างของรางเลื่อนสำหรับการลำเลียงอ้อย กากอ้อย หรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตพบว่ารอยต่อส่วนใหญ่ที่มีการใช้งานในชิ้นส่วนโครงสร้างรางเลื่อนลำเลียงอ้อยนั้นเป็นลักษณะของรอยต่อเกย ซึ่งเป็นรอยต่อที่มีความพิเศษกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรอยต่อชน กล่าวคือ การเชื่อมรอยต่อเกยมีความยากกว่าการเชื่อมรอยต่อชน เนื่องจาก ช่วงเชื่อมต้องกระจายความร้อนและโลหะเชื่อมเข้าสู่แผ่นเหล็กทั้งสองเท่ากัน การพังทลายเกิดจากการกระทำด้วยแรงเฉือนโดยตรงซึ่งเป็นลักษณะแรงที่วิกฤติกว่าแรงดึงดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดโครงสร้างต่างๆ เหล่านี้ที่มีสมบัติตามต้องการ

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา การศึกษาและพัฒนาเพื่อทำให้เกิดรอยต่อเกยที่ได้จากการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่ทำให้เกิดรอยต่อที่มีความแข็งแรงสูง สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และพบว่าการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อเกย

เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS340 ซึ่งเป็นรอยต่อที่มีปริมาณการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นนั้น มีผลการศึกษาที่ผ่านการนำเสนอในปริมาณน้อย ดังนั้นหากมีการศึกษาหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดสมบัติของรอยต่อเกยมีประสิทธิภาพสูงสุดแล้ว คาดว่าจะทำให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุในการทดลองคือ เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงใน Table1 แผ่นชิ้นงานที่กำหนดถูกตัดให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 100 มม. ยาว 200 มม. ทน 3 มม. แผ่นเหล็กถูกนำมาประกอบเป็นรอยต่อเกยโดยกำหนดให้เหล็กกล้าไร้สนิมวางเกยบนเหล็กกล้าคาร์บอน 30 มม. ดังแสดงใน Figure1(A) รอยต่อเกยที่ถูกยึดแน่นในอุปกรณ์การจับยึดที่ตำแหน่งการเชื่อมดัง Figure1(A) ด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding : GMAW) ลักษณะในการเชื่อมแบบต่อเนื่อง โดยการประยุกต์ไอพ่นเชื่อมประกอบติดตั้งเข้ากับเครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงเพื่อทำการเชื่อมเป็นแบบอัตโนมัติ และควบคุมความเร็วที่ในการเชื่อม วางชิ้นงานในตำแหน่งท่าราบโดยใช้ลวดเชื่อม AWS.A5.9 ER309L ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มม. ที่มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงใน Table1 ตัวแปรในการเชื่อมประกอบด้วยกระแสเชื่อม 80-120 แอมแปร์ แก๊สคลุมคือ แก๊สผสม 95%Ar+5%He ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200 มม./นาที

Table 1 Chemical properties of materials in the experiment

วัสดุ	Chemical composition(wt%)							
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
AISI 304	0.02	1.32	0.045	0.002	0.44	18.67	8.04	0.02
SS 400	0.05	0.2	0.007	0.009	0.01	0.05	0.017	0.02
ER309L	0.034	1.52	0.021	0.08	0.49	23.52	13.86	-

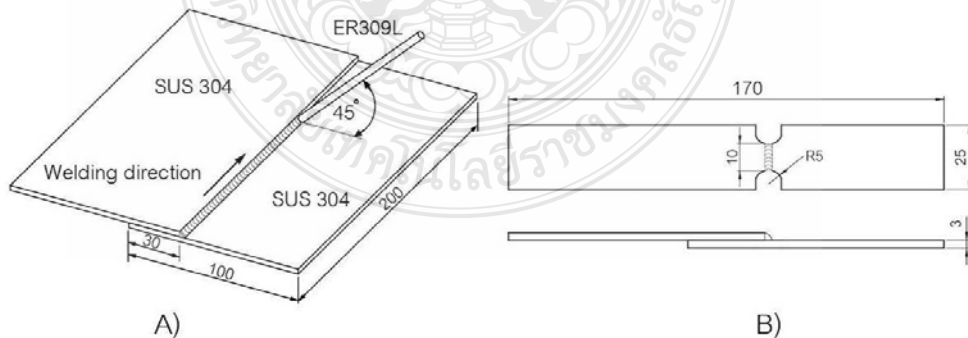


Figure 1 Schematic of Lap joint welding: (A) Dimension of lap joint and (B) Tensile shear specimen.

ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมต่อเคยแสดงดังใน Figure1(A) ถูกนำมาทำการทดสอบสมบัติทางกล คือ การทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน (Tensile shear strength testing) โดยกำหนดให้ชิ้นงานมีรูปร่างและขนาดดังแสดงใน Figure 1 (B) อัตราการเกิดความเครียด (Strain rate) หรือความเร็วในการดึงทดสอบ คือ 0.7 มม./นาที ที่กึ่งกลางแนวเชื่อมที่ได้ ถูกตัดขวางในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเดินแนวเชื่อมชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนถูกนำมาทำการวัดมุมบิดของชิ้นงานทดสอบดังแสดงใน Figure2(A)

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมได้กำหนดจุดตรวจสอบดังแสดงใน Figure2(B)คือ กึ่งกลางโลหะเชื่อม ชิ้นงานเชื่อมที่ได้ถูกตัดขวางทิศทางการเชื่อมและทำการขึ้นรูปเย็นเพื่อการขัดขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150-2000 ชิ้นทดสอบที่ผ่านการขัดหยาบถูกนำไปทำการขัดมันด้วยผงเพชรขนาด 1 ไมครอนเมตรบนผ้าสักหลาดก่อนทำการกัดผิวหน้าด้วยสารละลายที่ประกอบด้วยกรดไฮโดรคลอริก 45 ml. กรดไนตริก 15ml. และน้ำสะอาดที่ระยะเวลา 5 วินาที เพื่อแสดงรายละเอียดของเฟสและเกรนบริเวณโลหะเชื่อม

ชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคถูกนำมาทำการทดสอบความแข็งของโลหะเชื่อมที่ตำแหน่งดังแสดงใน Figure 2 (C) ด้วยการทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers Hardness Test) ด้วยน้ำหนักทดสอบ 300 กรัม และใช้เวลากดแช่ 10 วินาที

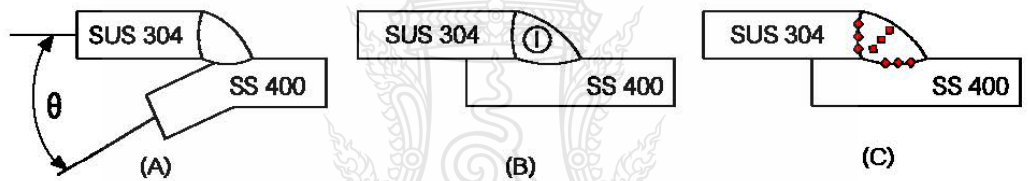


Figure 2 Cross section of welded specimen (A), Bending angle measurement (B), microstructure investigation location and (C) hardness measurement location.

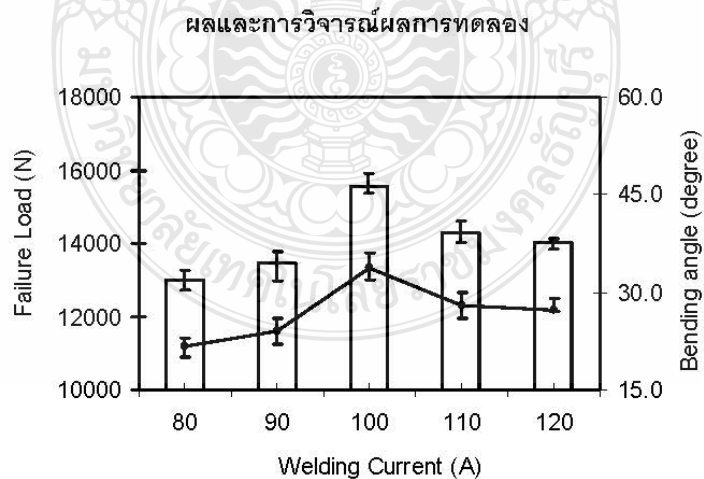


Figure 3 Relation of failure load and welding current of the lap joint.

Figure 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสูงสุดของการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนที่จุดพังทลายและกระแสเชื่อม 80-110 A ที่ใช้การเชื่อมรอยต่อเกย ผลการทดสอบพบว่าแรงดึงจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน ของรอยต่อมีค่าแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 80-100A คือ 12,700-15,570 N และมีค่าลดลงเท่ากับ 13,700N เมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 120A การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อเมื่อกระแสเชื่อมเปลี่ยนแปลงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นทดสอบความแข็งแรงเฉือน กล่าวคือ รอยต่อเกยมีการบิดงอเสียรูปตามการเพิ่มกระแสเชื่อมดังแสดงใน Figure 3 การบิดงอของชิ้นทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น ชิ้นทดสอบมีการบิดงอของชิ้นงานสูงสุดเมื่อใช้กระแสเชื่อมเท่ากับ 100A เท่ากับ 35 องศา ซึ่งแสดงความแข็งแรงดึงเฉือน คือ 15,570N นอกจากนั้นการบิดงอของชิ้นทดสอบมีค่าลดลง คือ 28 และ 27 องศา เมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 110 และ 120 องศา ที่แสดงค่าความแข็งแรงเฉือนที่ลดลง 13,700 N และ 13,600 N ตามลำดับ

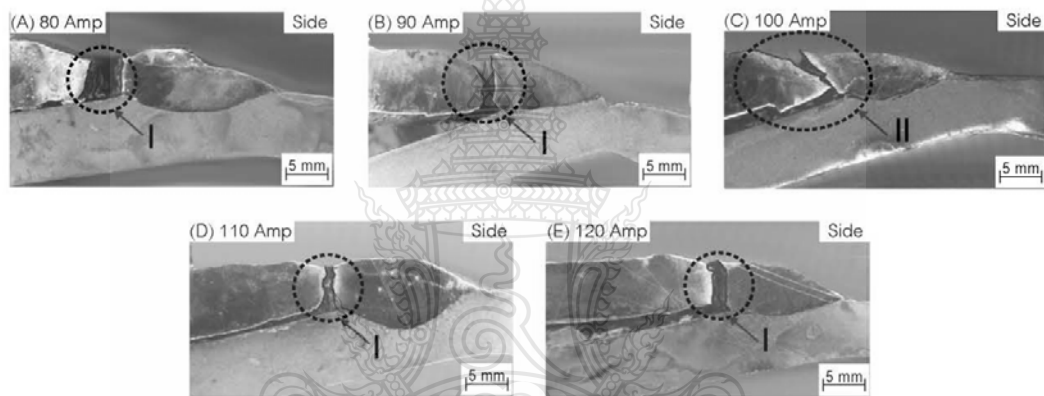


Figure 4 Fracture path and location of tensile shear testing specimen.

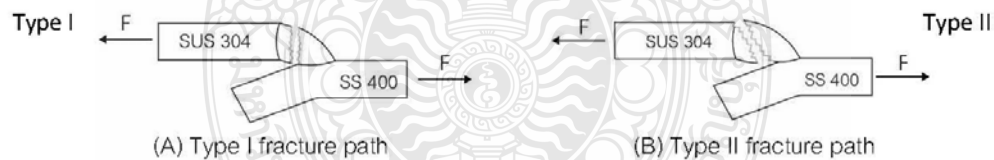


Figure 5 Fracture type of tensile shear testing specimen

Figure 4 แสดงตำแหน่งการพังทลายหรือฉีกขาดของชิ้นทดสอบความแข็งแรงเฉือนของรอยต่อเกยที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 80-120 รูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบที่ได้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มดังแสดงใน Figure 5 คือ รูปแบบที่ 1 คือ การพังทลายที่มีแนวการพังทลายตั้งฉากกับทิศทางการให้แรงดังแสดงใน Figure 5 (A) ซึ่งเป็นรูปแบบการพังทลายของชิ้นทดสอบที่แสดงความแข็งแรงเฉือนต่ำและเป็นการพังทลายของชิ้นทดสอบส่วนใหญ่ในการศึกษานี้ดังแสดงใน Figure 4 (A)(D) และ (E) และรูปแบบที่ 2 คือ การพังทลายที่ไม่ทำมุมตั้งฉากกับทิศทางการให้แรงดังแสดงใน Figure 5 (B) ซึ่งแสดงความแข็งแรงเฉือนสูงกว่าดังแสดงใน Figure 4 (C)

ชั้นทดสอบที่แสดงการพังทลายทั้งหมดเกิดการพังทลายที่บริเวณโลหะเชื่อมก่อนไปที่ตำแหน่งของโลหะฐานด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 เมื่อเทียบเคียงรูปแบบการพังทลายกับความแข็งแรงดึงเฉือนดังแสดงใน Figure 3 พบว่าชั้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนแสดงการยึดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น ดังแสดงการเปรียบเทียบส่วนที่ยึดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Figure 4 (A) ที่เชื่อมด้วยกระแส 80 A และ Figure 4 (C) ที่เชื่อมด้วยกระแส 100 A เมื่อพิจารณาการพังทลายของชั้นทดสอบที่แสดงค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดดังแสดงใน Figure 4 (C) พบส่วนที่ทำให้เกิดการยึดตัวสูงก่อนการพังทลาย แนวการพังทลายคล้ายกับการพังทลายเนื่องจากการเชื่อมทำมุม 45 องศา กับแนวการให้แรงดึงเฉือนกับชั้นทดสอบ

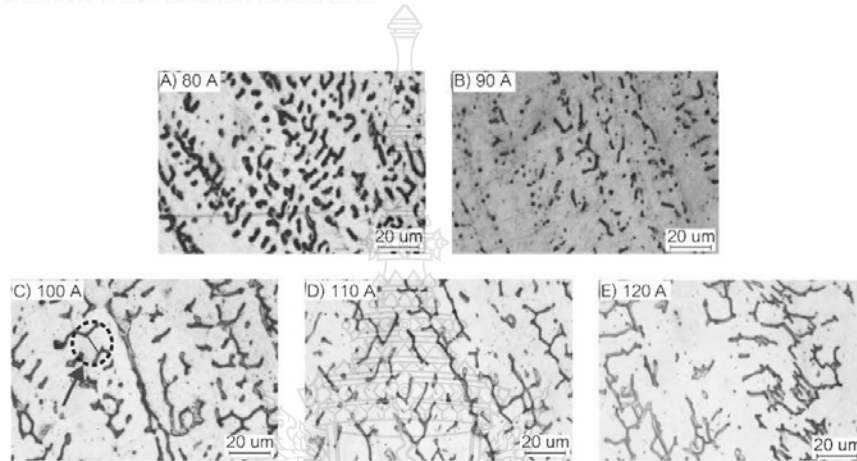


Figure 6 Microstructure at the interface

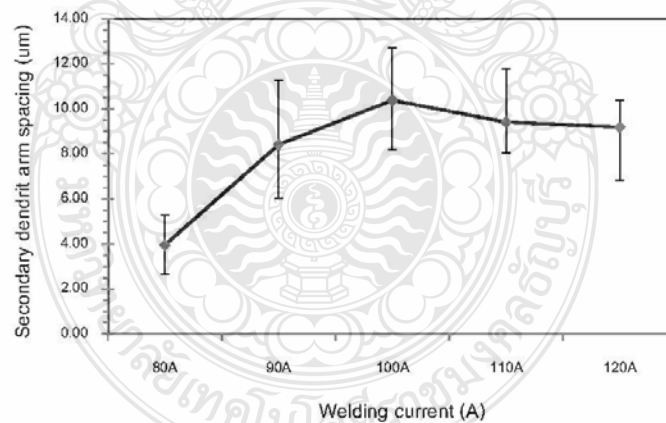


Figure 7 Measuring dendrite sprites.

ความสัมพันธ์ระหว่างการยึดตัวของชั้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนดังแสดงใน Figure 3 และ 4 กับความแข็งแรงดึงเฉือนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมบริเวณตำแหน่งการพังทลายที่

แสดงด้วยหมายเลข 1 ใน Figure 2 (B) พบโครงสร้างจุลภาคที่มีลักษณะดัง Figure 6 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมทุกกระแสเชื่อมแสดงการก่อตัวของโครงสร้างเดนไดรท์พื้นที่สีขาวของโครงสร้างจุลภาคแสดงพื้นโลหะเดนไดรท์และพื้นที่สีดำแสดงพื้นที่แบ่งแยกเดนไดรท์ กระแสเชื่อมที่เปลี่ยนแปลงส่งผลต่อการกระจายตัวของพื้นที่สีดำในโลหะเชื่อม นอกจากนี้ขนาดของเดนไดรท์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อกระแสเชื่อมเปลี่ยนแปลง ทำการวัดขนาดระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรท์ทุติยภูมิ (Secondary dendrite arm spacing: SDAS) พบว่ากระแสที่เพิ่มขึ้นจาก 80-100A ส่งผลทำให้ระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรท์ทุติยภูมิเพิ่มขึ้น และลดลงเล็กน้อยเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 110-120A ดังแสดงใน Figure 7 การเพิ่มระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรท์ทุติยภูมิที่ได้นี้เป็นสาเหตุทำให้ค่าการยึดตัวของชิ้นทดสอบความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นดัง Figure 4 และมุมการบิดของชิ้นทดสอบที่เพิ่มขึ้นดัง Figure 3 การเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างแขนเดนไดรท์ทุติยภูมิส่งผลทำให้ความสามารถในการยึดตัวของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้น (Askeland and Phule, 2006)

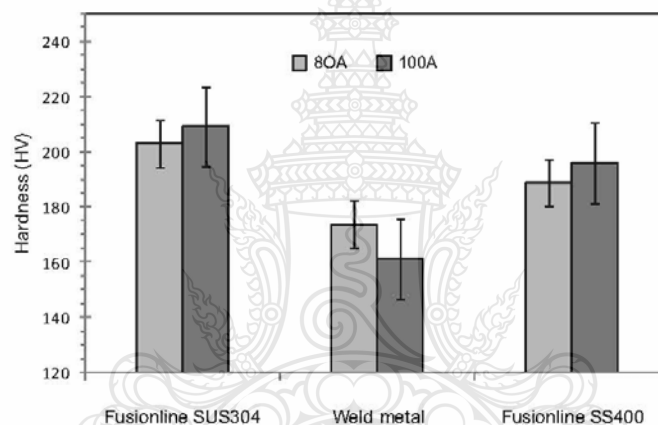


Figure 8 Hardness testing of welds.

Figure 8 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งแรงของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 80A และ 100 A ซึ่งเป็นชิ้นทดสอบที่แสดงความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดในการทดลองนั้นผลการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงของชิ้นทดสอบที่บริเวณขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐาน SUS304 และบริเวณขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐาน SS400 มีค่าสูงกว่าโลหะเชื่อมบริเวณที่แสดงแนวการพังทลายในชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉลี่ย ความแข็งแรงที่ต่ำกว่าของโลหะเชื่อมเมื่อเปรียบเทียบขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐานนี้เป็นสาเหตุให้ชิ้นทดสอบแรงดึงเฉลี่ยเกิดการบิดตัวง่าย และเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเริ่มต้นการพังทลายซึ่งคาดว่า การพังทลายเกิดจากกลไกการบิดทำให้ชิ้นงานเสียรูปยึดตัวออกและเปลี่ยนรูปเนื่องจากแรงดึงเฉลี่ยจนกระทั่งเกิดการพังทลายออกจากกันของโลหะเชื่อม อย่างไรก็ตามกลไกการเกิดการพังทลายนี้ไม่ได้รับการพิสูจน์ในการทดลองนี้ และควรมีการศึกษาต่อไปเพื่อเข้าใจกลไกการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉลี่ยของรอยต่อเกยระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าคาร์บอนที่ทำการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมต่างๆ ต่อไป

สรุปผลการทดลอง

บทความนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รอยต่อเกยที่ได้จากการเชื่อมถูกนำไปทำการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน ความแข็ง และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เพื่อทำการเปรียบเทียบหาตัวแปรกระแสเชื่อมที่เหมาะสม ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้

1. กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกย และแสดงค่าแรงดึงสูงสุดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนเท่ากับ 15,570 N เมื่อเชื่อมรอยต่อด้วยกระแสเชื่อม 100 A
2. ขึ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนแสดงการเพิ่มมุมบิดเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงถึงการเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อ
3. ระยะห่างระหว่างแกนเดนไดรท์ทุติยภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น และส่งผลทำให้รอยต่อมีการบิดงอและยึดตัวเพิ่มขึ้น
4. ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมมีค่าต่ำกว่าขอบของโลหะเชื่อมและโลหะฐาน และบ่งชี้ให้ทราบถึงจุดเริ่มต้นในการบิดของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือนก่อนการพังทลายด้วยแรงดึงเฉือน
5. บทความนี้แสดงอิทธิพลของกระแสที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนของแนวเชื่อม ส่วนอัตราเร็วการเชื่อมผู้วิจัยจะทำการศึกษาต่อไปในอนาคต
6. ในบทความวิจัยนี้การใช้งานจริงสถานประกอบการสามารถเลือกกระแสเชื่อมที่ 100 แอมแปร์ ซึ่งให้ค่าแรงดึงสูงสุดไปใช้สถานประกอบการ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้สนับสนุนทุนวิจัย 2557 คณาจารย์และเจ้าหน้าที่โปรแกรมวิชาช่างโลหะ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ศูนย์กลางนครราชสีมา ที่ให้คำแนะนำความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์และสถานที่ ในการจัดทำงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, ศิริชัย ต่อสกุล, อนันท์ มีมนต์, นรพร กลั่นประชา. 2550. วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: เชน เภจเลนนิ่ง.
- สุวัฒน์ภูเกา และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. 2554. อิทธิพลกระแสไฟฟ้าการเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อชนเหล็กกล้า SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริตค 430. การประชุมรายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554 20-21 ตุลาคม 2554 โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้ จอมเทียนพัทยา จ.ชลบุรี
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล, <http://www.ocsb.go.th>, 27 ตุลาคม 2557.
- Askeland, D.R. and P.P. Phule. 2006. Science and Engineering of Materials. Singapore. Cengage Learning.

- Branes, T.A. and Pashyby, I.R. 2000. Joining Techniques for Aluminum Spaceframes used in Automobiles Part I-Solid and Liquid Phase Welding. *J. of Materials Processing Technology*. 99: 62-71.
- Das, C.R., Bhaduri, A.K., Srinivasan, G., Shankar, V., Mathew, S. 2009. Selection of filler wire for and effect of auto tempering on the mechanical properties of dissimilar metal joint between 403 and 304L(N) stainless steels. *Journal of Materials Processing Technology* 209 :1428–1435.
- Jaewon Lee, KamramAsim, Jwo Pan. 2011. Modeling of failure mode of laser welds in lap-shear specimens of HSLA steel sheets. 78 : 374-396.
- Jian Lin, Ninshu Ma, Yongping Lei, Hurakawa. 2013. Shear strength of CMT brazed lap joints between aluminum and zinc-coated steel. 213 : 1303-1310.
- Lee, H.Y. Lee, S.H., Kim, J.B. and Lee, J.H. 2007. Creep-fatigue damage for a structure with dissimilar metal welds of modified 9Cr-1Mo steel and 316L stainless steel. *International Journal of Fatigue* 29 : 1868–1879.
- M. Fazel-Najafabadi et al. 2011. Dissimilar lap joining of 304 stainless steel to CP-Ti employing friction stir welding. *Materials & Design* 32 :1824–1832.
- Su, Y. and Hua, X. 2013. Effect of input current modes on intermetallic layer and mechanical property of aluminum-steel lap joint obtained by gas metal arc welding. 578 : 340-345.
- Sun, Z. and Karppi, R. 1996. The Application of Electron Beam Welding for the Joining of Dissimilar Metals: An Overview. *J. of Materials Processing Technology* 59 : 257-267.
- Sireesha, M., Shankar, V., Shaju K., Albert, B, Sundaresan, S. 2000. Microstructural features of dissimilar welds between 316L Austenitic stainless steel and alloy 800. *Materials Science and Engineering A292* : 74–82.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายอมรศักดิ์ มาใหญ่
วัน เดือน ปีเกิด	23 พฤษภาคม 2521
ที่อยู่	200 ถนนกักตึบรีรักษ์ ตำบลนางรอง อำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ 31110
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน ศูนย์กลาง นครราชสีมา พ.ศ.2551
ประสบการณ์การทำงาน	บริษัท โคราชพีริซัน จำกัด พ.ศ. 2547 ถึง 2547 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา ตำแหน่งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการโลหะวิทยา พ.ศ. 2547 ถึง 2550 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง นครราชสีมา ตำแหน่งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุและการอบชุบโลหะด้วย ความร้อน พ.ศ. 2550 ถึง 2552 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง นครราชสีมา ตำแหน่งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการหล่อโลหะและชุบเคลือบผิว พ.ศ. 2552 ถึง 2554 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง นครราชสีมา ตำแหน่งอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ พ.ศ. 2554 ถึง ปัจจุบัน