

อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติ
ของรอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304
และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

วริยส แฉ่งประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติของ
รอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400
Influence of Gas Metal Arc Welding Parameters on T-joint Properties of
SUS304 Stainless Steel and SS400 Carbon Steel

ชื่อ – นามสกุล

นายวริยส แฉ่งประเสริฐ

สาขาวิชา

วิศวกรรมการผลิต

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.

ปีการศึกษา

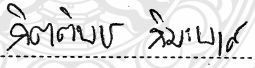
2561

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ต่อสกุล, D.-Ing.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทน์มณี, วศ.ด.)


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


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

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


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

วันที่ 27 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400
ชื่อ - นามสกุล	นายวริยส แฉ่งประเสริฐ
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

รอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 มีการใช้งานเพิ่มขึ้นในงานอุตสาหกรรมเนื่องจากการมีสมบัติยืดหยุ่นของรอยต่อโลหะต่างชนิด ด้วยเหตุนี้การศึกษาหาค่าตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมรอยต่อตัวที่สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตต่อไป งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษา อิทธิพลของการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

วัสดุในการทดลอง คือ เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 แผ่นโลหะความหนา 3 มิลลิเมตร ขนาดความกว้าง 60 มิลลิเมตร และความยาว 150 มิลลิเมตร และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แผ่นโลหะความหนา 6 มิลลิเมตร ถูกเตรียมให้มีขนาดความกว้าง 150 มิลลิเมตร และความยาว 300 มิลลิเมตร รอยต่อตัวที่ถูกทำการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมด้วยตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วยกระแสเชื่อม 140-170 A ความเร็วเดินแนว 400 มิลลิเมตรต่อนาที และมุมหัวเชื่อม 30-60° ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมถูกเตรียมด้วยวิธีการทางกลเพื่อทดสอบและตรวจสอบสมบัติต่างๆ ของรอยต่อตัวที่ประกอบด้วย การทดสอบความแรงคัดโค้ง การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค และการทดสอบความแข็ง

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ ตัวแปรของการเชื่อมที่ดีที่สุด คือ ที่กระแส 160 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที และมุมเชื่อม 45° โครงสร้างจุลภาคบริเวณขอบเขตระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แสดงความไม่เข้ากันของโลหะทั้งสองและเป็นจุดเริ่มการแตกร้าวของชิ้นทดสอบ ความแข็งของรอยต่อมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณธาตุโครเมียมเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าคาร์บอน

Thesis Title	Influence of Gas Metal Arc Welding Parameters on T-joint Properties of SUS304 Stainless Steel and SS400 Carbon Steel
Name - Surname	Mr. Wareeyos Changprasert
Program	Manufacturing Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.
Academic Year	2018

ABSTRACT

T-joint between SUS304 stainless steel and SS400 carbon steel was increasingly applied in various industries due to the flexible properties of a dissimilar metal joint. An optimization of a gas metal arc welding to produce the dissimilar metal T-joint should be further investigated for various industries. This research aimed to study the influence of a gas metal arc welding on the T-joint of SUS304 stainless steel and SS400 carbon steel.

Materials used in this experiment were SUS304 stainless steel of 3 mm. thick, 60 mm. wide, and 150 mm. long, and SS400 carbon steel of 6 mm. thick, 150 mm. wide, and 300 mm. long. The T-joints were welded by gas metal arc with a current of 140-170 A, a welding speed of 400 mm/min, and a welding angle of 30-60°. The welded joints were mechanically prepared, and their bending, microstructure, macrostructure, and hardness were investigated.

The results showed that the best welding parameter was at the welding current of 160 A, the welding speed of 400 mm/min and the welding angle of 45°. The microstructure at the boundary of the welded metal and the SS400 carbon steel showed incomplete combination of the metals and initiated the crack of the joint. The higher the chromium content was, the higher the joint strength ensued.

Keywords: gas metal arc welding, SUS304 stainless steel, SS400 carbon steel

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2561 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจาก ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยะ ปรานีตพลกรัง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทรมณี ที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านเครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่เคยได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในด้านวิชาการ ผู้วิจัยจึงขอขอบความดีทั้งหมดนี้แก่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ และท่านผู้มีพระคุณที่ยังมิได้กล่าวถึงทุกท่าน

วริยส แฉ่งประเสริฐ

สารบัญ

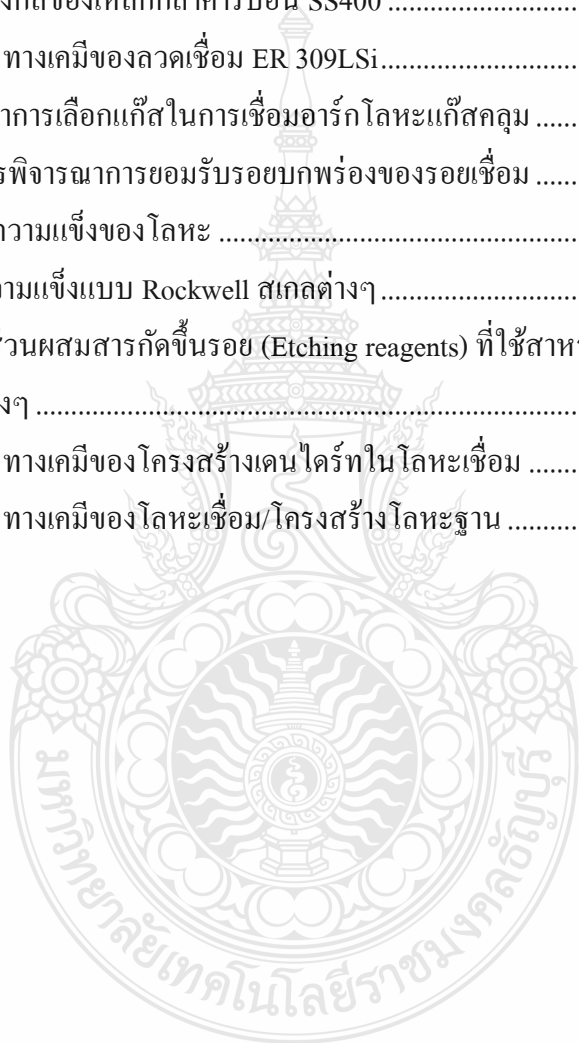
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ	12
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	12
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	16
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	16
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	16
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	17
2.2 ความหมายของการเชื่อมโลหะ.....	18
2.3 กระบวนการเชื่อมโลหะแก๊สคลุม	19
2.4 ลวดเชื่อม	22
2.5 เกณฑ์การพิจารณาการยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม	29
2.6 การทดสอบแรงดึง	30
2.7 การทดสอบความแข็ง.....	33
2.8 การวิเคราะห์โครงสร้าง	39
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	47
3.1 การศึกษากรรมวิธีการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม	47
3.2 การเตรียมชิ้นงาน	48
3.3 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเชื่อม.....	49
3.4 การเชื่อมชิ้นงานทดสอบ	50
3.5 การเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล.....	52
3.6 การทดสอบแรงดัดโค้ง.....	54
3.7 การทดสอบความแข็งแรงไมโครวิกเกอร์ส.....	56
3.8 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	58
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	62
4.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อตัวที่	62
4.2 อิทธิพลของมุมเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อตัวที่.....	75
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	83
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	83
5.2 ข้อเสนอแนะ	83
บรรณานุกรม	85
ภาคผนวก.....	89
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบการหากระแสเชื่อม	90
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบความแข็งแรง	98
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	104
ประวัติผู้เขียน.....	123

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม	17
ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน	18
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400	18
ตารางที่ 2.4 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม ER 309LSi	22
ตารางที่ 2.5 ข้อเสนอแนะการเลือกแก๊สในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม	25
ตารางที่ 2.6 เกณฑ์การพิจารณาการยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม	30
ตารางที่ 2.7 แสดงค่าความแข็งของโลหะ	34
ตารางที่ 2.8 การวัดความแข็งแบบ Rockwell สเกลต่างๆ	37
ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างส่วนผสมสารกัดขึ้นรอย (Etching reagents) ที่ใช้สำหรับกัดขึ้นรอย โลหะต่างๆ	43
ตารางที่ 4.1 ส่วนผสมทางเคมีของโครงสร้างเดนไดรต์ในโลหะเชื่อม	70
ตารางที่ 4.2 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อม/โครงสร้างโลหะฐาน	72



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวที่สำรวจในพื้นที่ตัวอย่าง	13
รูปที่ 1.2 สกรูลำเลียงกลับไปนวดซ้ำที่อยู่ด้านล่างตะแกรงทำความสะอาด.....	13
รูปที่ 2.1 แสดงหลักการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม	20
รูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม	21
รูปที่ 2.3 แสดงชนิดของลวดเชื่อม กับความสามารถในการเชื่อมในโลหะต่างๆ	22
รูปที่ 2.4 แสดงเกณฑ์การพิจารณาการยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม	29
รูปที่ 2.5 หลักการทดสอบแรงดึงอ	31
รูปที่ 2.6 การทดสอบการดึงอแบบ 3 จุด.....	31
รูปที่ 2.7 การทดสอบการดึงอแบบ 4 จุด.....	32
รูปที่ 2.8 การทดสอบแบบ Brinell	33
รูปที่ 2.9 ลักษณะการทดสอบแบบ Brinell ที่ไม่ถูกต้อง.....	34
รูปที่ 2.10 ลักษณะรอยกดจากหัวเพชรของ Vickers Hardness Test.....	36
รูปที่ 2.11 ทิศทางการหมุนปรับชิ้นงานในกระบวนการขัดเมื่อเปลี่ยนกระดาษทราย.....	41
รูปที่ 2.12 การสะท้อนแสงที่ต่างกันบริเวณขอบเกรน และภายในเกรน	42
รูปที่ 2.13 การสะท้อนแสงที่ต่างกันภายในเกรนเนื่องจากการเอียงของอะตอม	42
รูปที่ 3.1 แสดงการอ้างอิงรูปแบบการเชื่อมกับเกลียวลำเลียงของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว	47
รูปที่ 3.2 แสดงขนาดของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400.....	48
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการเชื่อมของโลหะ.....	49
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะเครื่องตัดแก๊สแบบอัตโนมัติ	49
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะเครื่องเชื่อม	50
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการตั้งค่าเครื่อง	50
รูปที่ 3.7 ลักษณะการจับยึดชิ้นงาน	51
รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการเชื่อม.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะมุมในการเชื่อม	52
รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะชิ้นงานเชื่อม	51
รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะการตัดชิ้นงานทดสอบ	52
รูปที่ 3.12 การเตรียมชิ้นงานทดสอบขนาด 32 มิลลิเมตร	52
รูปที่ 3.13 แบบทดสอบแรงคัดโค้งตามมาตรฐาน JIS Z 3134	54
รูปที่ 3.14 เครื่องอัดไฮดรอลิก	54
รูปที่ 3.15 ลักษณะชิ้นงานในการทดสอบแรงคัดโค้ง	55
รูปที่ 3.16 ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงคัดโค้ง	55
รูปที่ 3.17 เครื่องวัดความแข็งไมโครวิกเกอร์ส	56
รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งของการกดวัดความแข็ง	56
รูปที่ 3.19 การปรับ load 300 กรัม	57
รูปที่ 3.20 เครื่องวัดความแข็งไมโครวิกเกอร์ส	57
รูปที่ 3.21 การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้าง	58
รูปที่ 3.22 ชิ้นงานที่ทำการขึ้นเรือนแล้ว	59
รูปที่ 3.23 การขัดชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างมหภาค	59
รูปที่ 3.24 พงอะลูมินา	60
รูปที่ 3.25 ขั้นตอนการกัดกรด	60
รูปที่ 3.26 อุปกรณ์การตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา	61
รูปที่ 3.27 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	61
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะพื้นผิวของโลหะเชื่อมที่กระแส 140-170A	63
รูปที่ 4.2 แสดงภาพโครงสร้างมหภาคและตำแหน่งการวัดขนาดของรอยเชื่อม	64
รูปที่ 4.3 แสดงขนาดของรอยเชื่อมต่อตัวที่	65
รูปที่ 4.4 แสดงขนาดและรอยแตกร้าวจากการทดสอบการคัดโค้ง	66

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 แสดงโครงสร้างจุลภาค	68
รูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อตัวที่ SS400/SUS304 ที่กระแส 140-170A.	69
รูปที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณ	70
รูปที่ 4.8 กราฟการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณของ Weld metal/SUS304 Interface 71	
รูปที่ 4.9 แสดงการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณ	72
รูปที่ 4.10 แสดงการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณ	73
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และกระแสเชื่อม	74
รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะพื้นผิวของโลหะเชื่อมที่มุม 30°-60°	75
รูปที่ 4.13 แสดงขนาดของรอยเชื่อมต่อตัวที่	76
รูปที่ 4.14 แสดงตำแหน่งของรอยแตกร้าว	77
รูปที่ 4.15 ความยาวรอยแตกร้าวที่รอยมุมเชื่อมต่างๆ.....	78
รูปที่ 4.16 แสดงโครงสร้างจุลภาค	79
รูปที่ 4.17 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อตัวที่ที่มุม 30° 45° และ 60°	80
รูปที่ 4.18 แสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และมุมเชื่อม.....	81

บทที่ 1

บทนำ

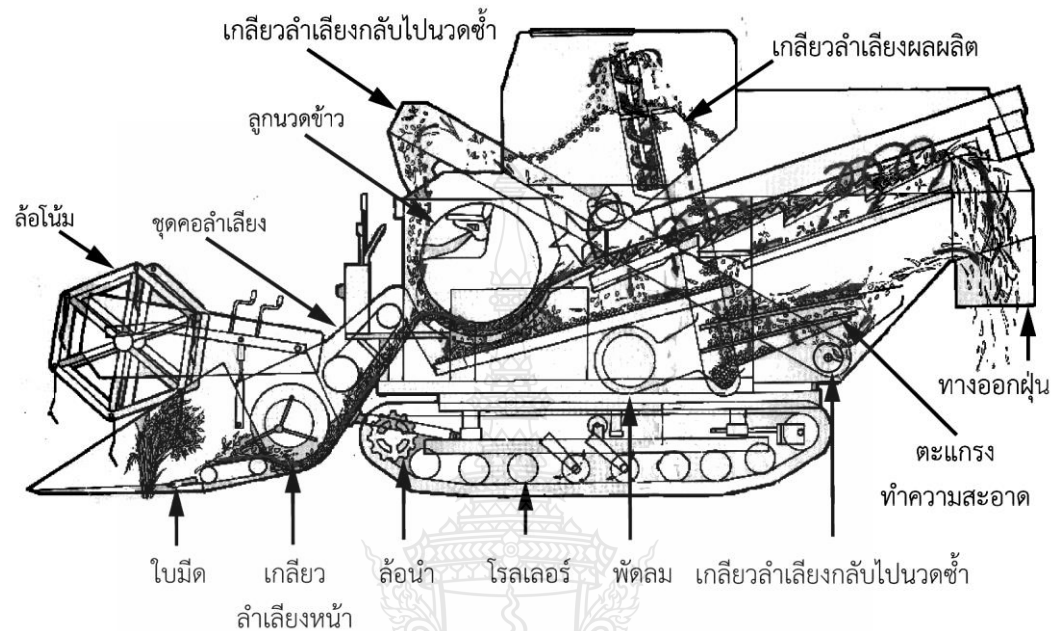
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมต่างๆในปัจจุบันได้มีบทบาทในการพัฒนาประเทศมากขึ้น เนื่องจากความต้องการที่ไม่หยุดยั้งของมนุษย์ โดยมีการนำโลหะหลายชนิดเข้ามาเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างเพื่อนำข้อดีของโลหะแต่ละชนิดมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งการเชื่อมต่อโลหะต่างชนิดสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การเชื่อมด้วยวิธีทางกล (Mechanical joining) การติดยึดด้วยกาว (Adhesive) หรือการเชื่อม (Welding) เป็นต้น โดยมีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร เครื่องมือหรือชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องเกี่ยววนวดข้าวขนาดใหญ่ เช่น เกลียวลำเลียงของเครื่องเกี่ยววนวดข้าว อย่างไรก็ตามการเชื่อมวัสดุต่างชนิดนั้นเกิดขึ้นได้ค่อนข้างยากเนื่องจากวัสดุทั้งสองนั้นมีสมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางเคมีที่แตกต่างกันส่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ขึ้นในเวลาทำการเชื่อม เช่น การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal expansion) จุดหลอมเหลว (Melting temperature) ที่แตกต่างกัน [1] ด้วยเหตุนี้การเลือกวิธีการเชื่อมจึงต้องพิจารณาด้วยความระมัดระวัง ซึ่งงานวิจัยนี้ทางผู้จัดทำได้เลือกวิธีการเชื่อมแบบอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม เป็นกระบวนการเชื่อมที่นำมาทดแทนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมสามารถเชื่อมโลหะต่างๆ ได้หลายชนิด และมีการพัฒนาไปอย่างไม่หยุดยั้งทำให้สามารถเชื่อมได้ทั้งชนิดที่ควบคุมการเชื่อมด้วยมือและด้วยระบบอัตโนมัติ

การใช้รถเกี่ยวและนวดข้าวในการทดแทนแรงงานชาวนาเป็นหนึ่งในวิธีการเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) ข้าวของชาวนาไทย ที่ส่งผลทำให้เกิดปริมาณข้าวที่ปริมาณสูง ลดเวลาในการเก็บเกี่ยว และส่งผลทำให้เพิ่มรายได้ในการผลิตข้าวของชาวนาดังรูปที่ 1 ถึงแม้ว่าการใช้งานเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวในการเก็บเกี่ยวเป็นวิธีการที่สามารถลดระยะเวลาในการนวดข้าวเปลือก และทำให้เกิดความพึงพอใจของชาวนา เมื่อใช้เครื่องเกี่ยวและนวดข้าวเป็นระยะเวลานาน ชิ้นส่วนต่างๆ ของรถเกี่ยวและนวดข้าว มักเกิดการชำรุดและเสียหายส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวลดลง

ในการสำรวจความเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี อ่างทอง และอยุธยา ในตำแหน่งส่วนประกอบต่างๆ พบว่าการสึกหรอของชุดเกลียวลำเลียงข้าวกลับไปนวดข้าวเป็นหนึ่งในชิ้นส่วนที่มีการสึกหรอสูงบริเวณใบสกรูลำเลียงดังรูปที่ 2 [2] ความเสียหายของใบ สกรูลำเลียงเกิดจากการสึกหรอจากขัดสี (Abrasive wear) ที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนที่ผ่านของเมล็ดข้าวที่มีความชื้น และทรายหรือดินที่รวมเข้ามาในเมล็ดข้าว เมื่อเกิดการเคลื่อนที่

ของเมล็ดข้าวและสิ่งเจือปนต่างๆ กับใบสกรูที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน ส่งผลให้เกิดการลดขนาด และพื้นที่ของใบสกรูลำเลียง และทำให้เมล็ดข้าวไม่สามารถส่งกลับไปหาชุดนวดข้าวซ้ำอีกครั้งได้



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบเครื่องเก็ยและนวดข้าวที่สำรวจในพื้นที่ตัวอย่าง [3]



รูปที่ 1.2 สกรูลำเลียงกลับไปนวดซ้ำที่อยู่ด้านล่างตะแกรงทำความสะอาด

เมื่อใบสกรูลำเลียงเกิดการชำรุด ที่ผ่านมาช่างซ่อมเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวจะทำการถอดเปลี่ยนใบสกรูลำเลียงที่ชำรุดออกและทำการเปลี่ยนใบสกรูลำเลียงชิ้นใหม่เข้าไปทดแทน ขณะเดียวกันสกรูลำเลียงที่ชำรุดจะถูกทิ้งเป็นขยะในพื้นที่กรณีศึกษาในปริมาณสูง การเพิ่มปริมาณขยะสกรูลำเลียงที่ชำรุดทำให้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดในการนำพัฒนาสกรูลำเลียงที่มีความต้านทานการสึกหรอสูงขึ้น โดยการเปลี่ยนวัสดุใบสกรูลำเลียงที่ปัจจุบันใช้เหล็กกล้าคาร์บอนเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีความต้านทานการกัดกร่อนและสึกหรอที่ดีกว่า โดยการเชื่อมใบสกรูลำเลียงเข้าสู่เพลาสกรูลำเลียงที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนในลักษณะของรูปแบบรอยต่อตัวทีของเหล็กกล้าไร้สนิมบนเหล็กกล้าคาร์บอน การใช้งานสกรูลำเลียงพบได้ในหลายแขนงงาน เช่น งานเหมืองแร่ งานเกษตร งานก่อสร้าง หรืออุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับสายพานลำเลียง สกรูลำเลียงมีข้อได้เปรียบในการใช้งานที่มากกว่า เช่น การเกิดแรงเสียดทานระหว่างใบสกรูและก้อนวัสดุน้อยกว่าทำให้ช่วยลดการเคลื่อนที่ของก้อนวัสดุ ราคาถูกกว่า ง่ายต่อการบำรุงรักษา และมีความสะดวกในการขนถ่ายก้อนวัสดุในระยะสั้นหรือคั่นก้อนวัสดุขึ้นสู่ที่สูง [4]

เมื่อพิจารณาการเชื่อมรอยต่อตัวที (T fillet joint) ซึ่งเป็นรอยต่อที่ถูกตั้งสมมติฐานว่าสามารถประยุกต์ใช้ในการพัฒนาสกรูลำเลียงในเครื่องเกี่ยวและนวดข้าว นั้น การเชื่อมรอยต่อจากเป็นกระบวนการเป็นหนึ่งในวิธีการต่อวัสดุที่มีการใช้งานมากในงานอุตสาหกรรม เช่น ในการเชื่อมท่อผนังบาง (Thin wall tube) [5,6] ถึงบรรจุน้ำมัน [7] หรือรอยต่อโครงสร้างเรือ [8] เป็นต้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนมากเป็นการดำเนินการวิจัยที่ทำการเชื่อมรอยต่อจากโลหะชนิดเดียวกันเท่านั้น บทความวิจัยส่วนใหญ่ทำการศึกษาและรายงานเปรียบเทียบความเค้นตกค้างและการพยากรณ์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ผลการศึกษาเหล่านั้นประกอบด้วย การเชื่อมมิกรอยต่อจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ DH36 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าความเค้นและการบิดตัวของรอยต่อที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมเท่านั้น ค่าความร้อนที่ให้แก่แนวเชื่อม (Heat input) ที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลทำให้ขนาดความกว้างและการซึมลึกของโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นได้ [9] หรือการเชื่อมมิกรอยต่อจากอลูมิเนียม A6061-T6 ด้วยลวดเชื่อม ER5356 [10] เป็นต้น ค่าความเค้นตกค้างและการบิดตัวในแนวตั้งฉากของการเชื่อมรอยต่อจากมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความร้อนที่ให้แก่รอยต่อ และจำนวนครั้งในการเชื่อม (1 แนว หรือมากกว่า) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังพบได้ในการเชื่อมรอยต่อสองแนวในด้านตรงข้ามกันและมีทิศทางเดียวกัน หรือการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมเชื่อมดับเบิ้ลพัลส์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเชื่อมสองด้านในรอยต่อจากที่มีทิศทางเชื่อมสวนทางกันจะทำให้ความเค้นตกค้างและการบิดเบี้ยวลดลงได้ [9,10]

นอกจากความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นที่ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของรอยต่อแล้ว ความเค้นตกค้างสูงที่อยู่ในสถานะที่เหมาะสม เช่น โลหะเชื่อมเหล็กกล้า API650 ที่มีความสามารถซึ่งเป็นวัสดุในการผลิต

ถึงน้ำมัน ถูกใช้งานอยู่ในสถานะที่มีแก๊สไฮโดรเจน (ความชื้น) และเกิดการกัดกร่อน โลหะเชื่อมสามารถส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวในรอยต่อได้ รอยต่อที่เกิดขึ้นนั้นมักเกิดขึ้นที่บริเวณรากของโลหะเชื่อมที่โลหะแผ่นล่างของรอยต่อฉีก และทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำมันออกมาจากถังน้ำมันได้ [4] การเชื่อมรอยต่อฉีกที่ส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวน้อยที่สุดควรทำการเชื่อมที่ทำให้เกิดโลหะเชื่อม (เมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค) ที่มีความเว้าเข้าสู่ด้านในของรอยต่อฉีก แต่ถ้าหากทำการเชื่อมแล้วได้แนวเชื่อมที่มีโครงสร้างมหภาคเป็นลักษณะสามเหลี่ยมหรือโค้งมนออกด้านนอกรอยต่อ อาจเพิ่มโอกาสในการเกิดการแตกร้าวสูงขึ้นได้ [6] การลดความเค้นตกค้างและการบิดเบี้ยวของรอยต่อฉีกอาจสามารถทำได้เมื่อทำการเชื่อมรอยต่อฉีกสองด้านในทิศทางเดินแนวที่แตกต่างกัน หรือ การเพิ่มความหนาของแผ่นโลหะที่มีอัตราส่วนเปรียบเทียบกับความยาวของแผ่นโลหะที่มีความเหมาะสม [8] หรือการลดความแตกต่างของกระแสพัลส์เพื่อให้เกิดความร้อนในบ่อหลอมละลายที่มีค่าลดลง [10] หรือการเลือกกระบวนการเชื่อมและวัสดุเชื่อมที่เหมาะสม เช่น ในการเลือกกระบวนการเชื่อมอาร์กกลวไส้ฟลักซ์ในการเชื่อมรอยต่อฉีกเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางความแข็งแรงสูง [11] นอกจากนั้นหากต้องการป้องกันการแตกร้าวในโลหะเชื่อมของรอยต่อฉีกเหล็กกล้า API650 สามารถทำได้โดยการอุ่นงานก่อนและหลังเชื่อมเพื่อลดความเค้นในโลหะเชื่อม [7] ผลงานวิจัยที่อภิปรายที่ผ่านมาทำให้เกิดกรอบแนวคิดในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมที่มีผลต่อรูปร่างความเค้นตกค้าง การบิดตัว และสมบัติทางกลของรอยต่อฉีกโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าไร้คาร์บอน SS400 ซึ่งเป็นรอยต่อฉีกและวัสดุที่กลุ่มผู้วิจัยต้องการประยุกต์ใช้ในผลิตสกรูลำเลียงที่มีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ควรทำการออกแบบตัวแปรการเชื่อมให้มีค่าความร้อนที่ให้แก่โลหะเชื่อมที่เหมาะสม อัตราส่วนของความหนาและความยาวของโลหะงานที่เหมาะสม และเลือกใช้วัสดุเชื่อมที่เหมาะสม เพื่อทำให้เกิดความเค้นตกค้างต่ำ การบิดตัว และสมบัติทางกลที่มีค่าสูงสุด

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการยืดอายุการใช้งานของสกรูลำเลียง โดยการผลิต สกรูลำเลียงใหม่ที่มีส่วนประกอบของเพลาลูกกลิ้งคาร์บอนต่ำและใบสกรูลำเลียงที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีสมบัติทางกลและทางเคมีที่ดีกว่า รอยต่อตัวที่โลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าไร้สนิมถูกทำการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมด้วยตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสม และทำการทดสอบสมบัติของรอยต่อเพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตสกรูลำเลียง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

1.2.2 ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมของมุมเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 วัสดุที่ใช้คือเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 หนา 3 มิลลิเมตร และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 หนา 6 มิลลิเมตร เชื่อมในตำแหน่งท่าราบ

1.3.2 ลวดเชื่อมมาตรฐาน AWS A5.9 : ER309LSI ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร

1.3.3 ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง โดยใช้หัวเชื่อมประกอบเข้ากับตัวตัดแก๊สแบบเส้นตรงเพื่อให้เป็นการเชื่อมแบบอัตโนมัติ

1.3.4 แก๊สปกคลุม CO_2 99.99%

1.3.5 ตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อม 3 ตัวแปร คือ กระแสไฟ มุมเชื่อม และความเร็วเดินแนวเชื่อม โดยที่ใช้กระแสไฟฟ้าเชื่อม 4 ระดับ คือ 140 150 160 และ 170 A มุมในการเชื่อม 3 ระดับ คือ 30 45 และ 60 องศา และความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที

1.3.6 ทดสอบสมบัติทางกลโดยการทดสอบแรงดึงโค้ง มาตรฐาน JIS Z 3134

1.3.7 ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

1.3.8 ทดสอบสมบัติทางกลโดยการทดสอบความแข็ง มาตรฐาน JIS Z 3114

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของรอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

1.4.2 เพื่อเป็นข้อมูลงานวิจัยในการศึกษาต่อยอดและพัฒนการใช้งานในงานอุตสาหกรรม การเกษตรหรืออุตสาหกรรมต่างๆต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ขนาดที่ใช้ในการทดลองคือ 60×150 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร ตามขนาดจริงของเกลียวลำเลียงเครื่องเกี่ยววนดข้าว มีคุณสมบัติยากต่อการขึ้นสนิมเมื่อเทียบกับโลหะหรือวัสดุชนิดอื่นๆ ค่าบำรุงรักษาต่ำ ง่ายต่อการเชื่อมและการขึ้นรูป ระยะเวลาการใช้งานคุ้มค่ากับราคา

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม [12]

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	4
309	23.0	13.0	0.15	2.0	-	515	
316	17.0	12.0	0.08	2.0	2.5	515	
เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก							
405	13.0	-	0.08	1	-	415	20
430	17.0	-	0.12	1	-	415	20
เหล็กกล้าไร้สนิมมาเทนซิดิก							
403	12	-	0.15	1	-	485	20
เหล็กกล้าไร้สนิมมาเทนซิดิก							
403 ^b	12	-	0.15	1	-	825	12
416	13	-	0.15	1	-	485	20
416 ^b	13	-	0.15	1	-	965	10
440	17	-	0.65	1	-	725	20

หมายเหตุ ^b คือ การอบชุบด้วยความร้อน

2.1.2 เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ขนาดที่ใช้ในการทดลองคือ 150×300 มิลลิเมตรหนา 6 มิลลิเมตร เป็นเหล็กแผ่นรีดร้อนใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป มีคุณสมบัติในการเชื่อมที่ดีสามารถเชื่อมต่อไปได้ง่ายเป็นโครงสร้างต่างๆ ใช้ในการก่อสร้างตึก ก่อสร้างสะพาน สร้างเรือ หรือใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 [13]

ธาตุ	ส่วนผสมทางเคมี (% น้ำหนัก)				
	C	Si	Mn	P	S
SS400	<0.02	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	0.050	0.050

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

วัสดุ	ความแข็งแรงคราก		ความแข็งแรงดึง (MPa)	การยืดตัว (%)		
	(MPa)					
	t<16 mm.	t>16 mm.		t<5 mm.	T=5-16 mm.	t>16 mm.
SS400	245	235	400-510	21	17	21

2.2 ความหมายของการเชื่อมโลหะ

การเชื่อมเป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับต่อวัสดุตั้งแต่สองชิ้นขึ้นไป ส่วนใหญ่เป็นโลหะและพลาสติก โดยเป็นการรวมตัวของโลหะเข้าด้วยกัน ปกติใช้วิธีทำให้ชิ้นงานหลอมละลายและการเพิ่มเนื้อโลหะเติมลงในแอ่งหลอมละลายของวัสดุที่หลอมเหลว เมื่อเย็นตัวรอยต่อจะมีความแข็งแรง บางครั้งใช้แรงดันร่วมกับความร้อน หรืออย่างเดียว เพื่อให้เกิดรอยเชื่อม ซึ่งตรงข้ามกับการบัดกรีอ่อนและการบัดกรีแข็งซึ่งไม่มีการหลอมละลายของชิ้นงาน มีแหล่งพลังงานหลายอย่างสำหรับนำมาใช้ในการเชื่อม เช่น การใช้ความร้อนจากเปลวแก๊ส, การอาร์คโดยใช้กระแสไฟฟ้า, ลำแสงเลเซอร์, การใช้โอเล็คตรอนบีม, การเสียดสี, การใช้คลื่นเสียง เป็นต้น ในอุตสาหกรรมมีการนำมาใช้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่นการเชื่อมในพื้นที่โล่ง, พื้นที่อับอากาศ, การเชื่อมใต้น้ำ การเชื่อมมีอันตรายเกิดขึ้นได้ง่าย จึงควรมีความระมัดระวังเพื่อป้องกันอันตราย เช่น ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า, ความร้อน, สะเก็ดไฟ, ควันเชื่อม, แก๊สพิษ, รังสีอาร์ค, ชิ้นงานร้อน, ฝุ่นละออง ในยุคเริ่มแรกจนถึงศตวรรษที่ 19 มีการใช้งานเฉพาะการเชื่อมทุบ (forge welding) เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อโลหะ เช่นการทำดาบในสมัยโบราณ วิธีนี้รอยเชื่อมที่ได้มีความแข็งแรงสูง และโครงสร้างของเนื้อ

รอยเชื่อมมีคุณภาพอยู่ในระดับที่น่าพอใจ แต่มีความล่าช้าในการนำมาใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม หลังจากนั้นได้มีการพัฒนามาสู่การเชื่อมอาร์ค และการเชื่อมโดยใช้เปลวแก๊สออกซิเจน และ หลังจากนั้นมีการ เชื่อมแบบความดันตามมา

เทคโนโลยีการเชื่อมได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในศตวรรษที่ 20 ซึ่งอยู่ในช่วงสงครามโลก ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เทคโนโลยีการเชื่อมแบบใหม่ๆ ได้มีการเร่งพัฒนาเพื่อรองรับต่อการสู้รบใน ช่วงเวลานั้น เพื่อทดแทนการต่อโลหะแบบเดิม เช่นการใช้หมุดย้ำซึ่งมีความล่าช้าอย่างมาก กระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) เป็นกระบวนการหนึ่งพัฒนาขึ้นมาในช่วง นั้นและกระทั่งปัจจุบัน ยังคงเป็นกรรมวิธีที่ใช้งานกันมากที่สุดในประเทศไทยและประเทศกำลัง พัฒนาทั้งหลาย

2.3 กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW)

การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม เป็นขบวนการเชื่อมที่นำมาทดแทนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม หุ้มฟลักซ์ที่พบได้ทั่วไป ก็สามารถเชื่อมโลหะต่างๆ ได้หลายชนิด โดยเฉพาะอลูมิเนียมหนา การ เชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมนี้ได้พัฒนาไปอย่างไม่หยุดยั้งทำให้สามารถนำมาทำเชื่อมได้ด้วยระบบ อัตโนมัติและทั้งชนิดที่ควบคุมการเชื่อมด้วยมือ

การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม เป็นขบวนการเชื่อมที่ได้รับความร้อนจากการอาร์คระหว่าง ลวดเชื่อม (Consumable electrode) กับชิ้นงาน สำหรับลวดเชื่อมที่ใช้เป็นลวดเชื่อมเปลือยแข็งที่ส่ง ป้อนอย่างต่อเนื่องไปยังบริเวณอาร์ค และทำหน้าที่เป็นโลหะเติมลงยังบ่อหลอมละลายอีกด้วย บริเวณบ่อการหลอมละลายจะถูกปกคลุมไว้ด้วยแก๊สปกคลุมไม่ให้เกิดการรวมตัวกับอากาศ ซึ่ง อาจจะเป็นแก๊สบริสุทธิ์ หรือแก๊สผสมก็ได้

การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมเป็นกระบวนการเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมสิ้นเปลือง (Consumable electrode) ขนาดเล็กจากม้วนลวด (Spool) ซึ่งจะถูกป้อนผ่านหัวเชื่อมออกมาอย่าง ต่อเนื่องผ่านท่อนำลวดและท่อนำกระแส (Contact tip) เมื่อปลายลวดแตะกับผิวของชิ้นงานจะเกิด การอาร์กขึ้น ความร้อนจากการอาร์คจะหลอมชิ้นงาน และลวดเชื่อมเข้าด้วยกันเดิมลงไปเป็นแนว เชื่อม ขณะเดียวกันแก๊สเฉื่อยจากถังบรรจุ จะไหลเข้าท่อย้ายสู่หัวฉีดพุ่งออกมาปกคลุมบ่อ หลอมเหลว บริเวณรอบปลายอาร์คเพื่อทำหน้าที่เป็นม่านป้องกันไม่ให้ออกซิเจนหรือแก๊สอื่นๆ ใน บรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะที่หลอมเหลว แก๊สเฉื่อยที่ใช้ในการเชื่อมมีได้แก่ แก๊ส อาร์กอน แก๊สฮีเลียม และอาจจะเป็นแก๊สผสม เช่นอาร์กอนผสมฮีเลียม หรือ อาร์กอนผสม คาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแท้จริงแล้วไม่ใช่แก๊สเฉื่อยแต่เป็นแก๊สที่ทำ ปฏิกิริยากับโลหะหลอมเหลวได้บ้าง แต่ไม่มากเพราะมีอะตอมของออกซิเจนประกอบอยู่ด้วย

เรียกว่า แอ็คทีฟแก๊ส (Active gas) กระบวนการเชื่อมที่ใช้แก๊สนี้จึงเรียกว่าเม็ก (Metal Active Gas : MAG หรือ CO₂ Welding Processes) ดังนั้นเครื่องเชื่อมตัวเดียวจึงเชื่อมได้ทั้งแบบ MIG และ MAG ตามมาตรฐานAWS จะใช้คำว่า Gas Metal Arc Welding : GMAW แต่โดยทั่วไปมักเรียกว่า การเชื่อมมิก (MIG) กระบวนการเชื่อมมิก นิยมใช้แพร่หลายทั้งวิธีการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ วิธี กึ่งอัตโนมัติช่างเชื่อมจะเป็นผู้ดำเนินการเองทั้งหมด ตั้งแต่การตั้งแรงดัน ปรับอัตราการไหลของ แก๊ส และการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อม ส่วนการเชื่อมอัตโนมัติ ส่วนใหญ่จะใช้กับอุตสาหกรรมการผลิต ที่ปริมาณงานเชื่อมมาก ๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ เป็นต้น ขนาดลวดเชื่อมที่นิยมใช้กันมี ตั้งแต่ 0.8 – 3.2 มม. บรรจุในม้วน (Spool) การเลือกใช้จะพิจารณาตามความหนาและชนิดของ ชิ้นงาน โลหะที่นิยมใช้กับกระบวนการเชื่อมมิก ได้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอน อะลูมิเนียม สแตนเลส บรอนซ์ ทองแดง เป็นต้น ข้อดีของการเชื่อมมิกมีหลายประการคือ เชื่อมได้ด้วยอัตราเร็วสูง ความ ร้อนไม่สะสมที่ชิ้นงานมาก ลวดเชื่อมป้อนอย่างต่อเนื่องไม่เสียเวลาเปลี่ยน ให้ความซึมลึกที่ดีกว่า ไม่ ต้องขจัดสแลก สามารถเชื่อมได้ทั้งโลหะที่เป็นเหล็กและโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สกลุ่ม

2.3.1 ข้อดีของการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สกลุ่ม

- 2.3.1.1. สามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม
- 2.3.1.2. แนวเชื่อมไม่มีสแลกปกคลุมจึงไม่เสียเวลาในการเคาะสแลกออก
- 2.3.1.3. ไม่มีเขม่าและควันขณะเชื่อม
- 2.3.1.4. สามารถมองเห็นบ่อหลอมละลายของการเชื่อมได้อย่างชัดเจน
- 2.3.1.5. การเชื่อมกระทำได้เร็ว จึงประหยัดเวลาและลดต้นทุนการผลิต
- 2.3.1.6. งานเชื่อมมีการเสียรูปน้อย
- 2.3.1.7. คุณภาพของแนวเชื่อมสูง
- 2.3.1.8. สามารถเชื่อมงานที่มีระยะห่างรอยต่อ (Gap) มากๆ ได้อย่างต่อเนื่อง

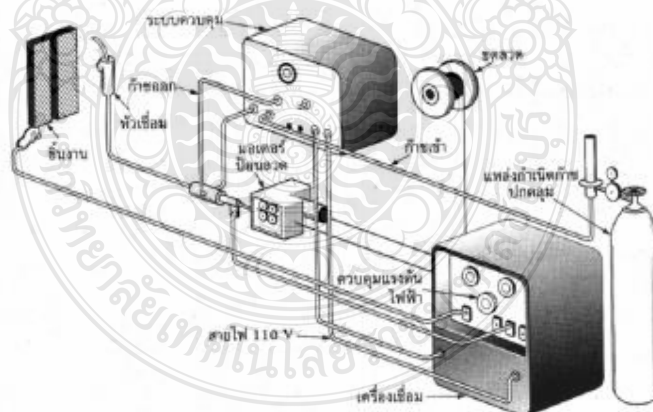
2.3.1.9. ลวดเชื่อมเป็นม้วนยาวสามารถเชื่อมได้แนวยาว และไม่มีเศษปลายลวดเชื่อมที่ต้องทิ้งมากเหมือนกับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

2.3.2 ข้อเสียของการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม

- 2.3.2.1. การติดตั้งและอุปกรณ์ค่อนข้างเยอะ เคลื่อนย้ายยาก
- 2.3.2.2. ต้องมีพื้นที่ในการดำเนินงาน
- 2.3.2.3. เชื่อมเหล็กที่สามารถชุบแข็งได้ไม่ดี เพราะอาจทำให้แนวเชื่อมแตก
- 2.3.2.4. ไม่เหมาะสมในที่ที่มีอากาศถ่ายเท

2.3.3 อุปกรณ์ที่สำคัญในการเชื่อมมีดังต่อไปนี้

- 2.3.3.1. เครื่องเชื่อม
- 2.3.3.2. เครื่องป้อนลวด
- 2.3.3.3. หัวเชื่อม
- 2.3.3.4. แก๊สปกคลุม
- 2.3.3.5. ลวดเชื่อม



รูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม

2.4 ลวดเชื่อม

ลวดเชื่อม (Wire electrode) ในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ลวดเชื่อมถือเป็นอุปกรณ์หรือปัจจัยสำคัญที่ขาดไม่ได้ ลวดเชื่อมเมื่อได้รับความร้อนจนหลอมเหลวจะรวมตัวกับน้ำโลหะชิ้นงาน กลายเป็นแนวเชื่อม ดังนั้น ในการเลือกลวดเชื่อมจะต้องคำนึงถึงส่วนผสมทางเคมี และสมบัติเชิงกลของชิ้นงานด้วย เพื่อจะได้แนวเชื่อมที่มีสมบัติเป็นแบบเดียวหรือใกล้เคียงกับโลหะชิ้นงานมากที่สุด ซึ่งลวดเชื่อมจะเป็นแบบลวดเปลือย (Bare wire)



รูปที่ 2.3 แสดงชนิดของลวดเชื่อม กับความสามารถในการเชื่อมใน โลหะต่างๆ

ลวดเชื่อม MIG 309LSi เป็นลวดเชื่อมมิกสำหรับงานเชื่อมสแตนเลสติดกับเหล็ก หรือโลหะชนิดอื่น ให้ความสามารถในการเชื่อมดี ลวดเชื่อมมิกสแตนเลส อาร์คเทค 309LSi สามารถใช้เชื่อมกับสแตนเลสเกรด 304 หรือ 304L ที่ต้องการต้านทานการกัดกร่อนได้ ลวดเชื่อมมิกสแตนเลส 309L

ตารางที่ 2.4 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม ER 309LSi [18]

วัสดุ	ส่วนผสมทางเคมี (% น้ำหนัก)				
	C	Si	Mn	Cr	Ni
ER309LSi	0.022	0.98	2.09	23.84	12.64

2.4.1 ธาตุผสมในลวดเชื่อมเหล็ก [15]

ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของลวดแต่ละชนิดนั้น ควรทำความรู้จักธาตุที่เติมลงในลวดเชื่อมเหล็กเสียก่อนดังนี้

2.4.1.1 ซิลิกอน (Si)

ซิลิกอนเป็นธาตุจำพวก Deoxidizer โดยทั่วไปจะมีประมาณ 0.40-1.00% ถ้าซิลิกอนในลวดเชื่อมมากขึ้น จะทำให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น แต่ความอ่อน (Ductility) และความเหนียว (Toughness) ลดลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามถ้ามีซิลิกอน 1-1.2% แนวเชื่อมมีโอกาสแตกได้ง่าย

2.4.1.2 แมงกานีส (Mn)

แมงกานีสเป็นธาตุจำพวก Deoxidizer และช่วยเพิ่มความแข็งแรง มีผสมในลวดเชื่อมเหล็กประมาณ 1.00-2.00% เมื่อเพิ่มปริมาณแมงกานีสจะทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นดีกว่าการเพิ่มซิลิกอน และแมงกานีสยังช่วยลดการแตกขณะร้อนของแนวเชื่อมด้วย อะลูมิเนียม (Al), ไทเทเนียม (Ti) และเซอร์โคเนียม (Zr) ธาตุเหล่านี้เป็น Deoxidizer ผสมลงในลวดเชื่อมโดยมีปริมาณรวมกันแล้วไม่เกิน 0.2% ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับแนวเชื่อม

2.4.1.3 คาร์บอน (C)

เป็นธาตุที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงกลของโลหะมากที่สุด ลวดเชื่อม MIG โดยทั่วไปจะมีคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.05-0.12% ซึ่งจะให้ความแข็งแรงกับแนวเชื่อมอย่างเพียงพอ โดยไม่เกิดผลเสียต่อความอ่อน (Ductility), ความเหนียว (Toughness) และการเกิดรูพรุน

ธาตุอื่นๆ ได้แก่ นิกเกิล โครเมียมและโมลิบดีนัม โดยมากเติมลงในลวดเชื่อมเพื่อปรับปรุง คุณสมบัติเชิงกลและความต้านทานต่อการกัดกร่อน ถ้าเติมธาตุดังกล่าวลงไปในลวดเชื่อม เหล็กกล้าคาร์บอนจำนวนเล็กน้อยจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียว (Toughness) ให้กับแนวเชื่อม แต่สำหรับลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีธาตุดังกล่าวนี้ผสมอยู่จำนวนมาก

โดยทั่วไปเมื่อใช้แก๊สปกคลุมที่เป็นอาร์กอนผสมกับออกซิเจน 1-3% จำนวนเล็กน้อยจะได้แนวเชื่อมที่มีส่วนผสมของธาตุต่างๆ ใกล้เคียงกับส่วนผสมของลวดเชื่อม

5. แก๊สปกคลุม (Shielding Gas) กระบวนการการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมจะต้องมีแก๊สปกคลุมบริเวณการอาร์ก เพื่อทำหน้าที่ป้องกันแก๊ส จากบรรยากาศรอบๆการอาร์ก เช่น แก๊สออกซิเจนและแก๊สไนโตรเจนรวมตัวกับน้ำโลหะแนวเชื่อมและยังจะมีผลดีด้านอื่น ๆ ต่อแนวเชื่อมอีกมากมาย แต่ต้องเลือกใช้ให้ถูกต้อง แก๊สปกคลุมที่นำมาใช้กับการเชื่อมมีหลายชนิด ได้แก่

แก๊สอาร์กอน อาร์กอนผสมกับฮีเลียม อาร์กอนผสมออกซิเจน อาร์กอน ผสมกับ คาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การเลือกนำแก๊สมาใช้ปกคลุมจะต้องพิจารณา ถึงองค์ประกอบหลายอย่าง

การเลือกชนิดของแก๊สในการปกคลุมแนวเชื่อมเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมนั้นต้องพิจารณา ตัวแปรต่างๆ เพื่อการเชื่อมให้ได้แนวเชื่อมที่สมบูรณ์ ตัวแปรดังกล่าวประกอบด้วย วิธีการถ่ายโอน โลหะหลอมเหลว รูปร่างของแนวเชื่อม รูปร่างของแนวซึมลึก และความกว้างของพื้นที่การกลอม ละลาย ความต่อเนื่องของแนวเชื่อม การกระเด็นของเม็ดโลหะหลอมเหลว ประสิทธิภาพการถ่าย โอนโลหะหลอมเหลว ชนิดของโลหะชิ้นงานและลวดเชื่อม ทำเชื่อม ราคาของแก๊ส และราคาการ ปฏิบัติการ [14]

การถ่ายโอนโลหะแบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ แบบก้อนกลม (Globular transfer) แบบละออง (Spray transfer) และแบบลัดวงจร (Short circuit transfer) หากเปรียบเทียบจากขนาดและวิธีการเติม โลหะหลอมเหลวลงสู่บ่อหลอมละลายแล้ว สามารถแบ่งลักษณะการเติมได้ดังนี้ 1) แบบก้อนกลม โลหะหลอมเหลวจากปลายลวดเชื่อมขณะเกิดการเติมนั้นจะมีขนาดเป็นก้อนขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่าน ศูนย์กลางของลวดเชื่อมขณะเกิดการเติมโลหะ 2) แบบละออง โลหะหลอมเหลวจากปลายลวดเชื่อม ขณะเกิดการเติมนั้นจะมีขนาดเป็นเล็กและละเอียด ขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อม ขณะเกิดการเติมโลหะ และ 3) แบบลัดวงจร โลหะหลอมเหลวจากปลายลวดเชื่อมขณะเกิดการเติม นั้นจะหลอมเหลวและหยดลงไปบ่อหลอมละลายเป็นจังหวะ โดยไม่เกิดการหลุดออกจากปลาย ลวดเชื่อมก่อนดังที่เกิดใน 2 แบบแรก

ตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมสำคัญที่ส่งผลต่อสมบัติของโลหะเชื่อม และช่างเชื่อม ต้องควบคุมด้วยความระมัดระวังเป็นพิเศษเพื่อให้ได้สมบัติของโลหะเชื่อมตามต้องการ ประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ เช่น กระแสเชื่อม (Welding current: A) แรงดันไฟเชื่อม (Welding voltage: V) ความเร็วเดินแนวเชื่อม (Welding speed: mm/min) การเลือกขั้วไฟฟ้าสำหรับวงจรการ เชื่อม (Welding polarity) ระยะยื่นของปลายลวดเชื่อม (Electrode extension) มุมของลวดเชื่อมเมื่อ เปรียบเทียบกับชิ้นงานเชื่อม (Electrode angle) ชนิดของแก๊ส (Gas type) หรืออัตราการไหลของ แก๊ส (Gas flow rate) เป็นต้น

ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมเมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อม อาร์กลวดหุ้มฟลักซ์ มีดังนี้

- การเชื่อมโลหะสามารถทำได้ทุกท่าเชื่อม ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนลวดเชื่อมเพื่อให้เกิดความ เหมาะสมกับท่าเชื่อมดังการเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์

- แนวเชื่อมที่ได้ไม่มีขี้ตะกรันปกคลุม ทำให้ไม่เสียเวลาในการกำจัดและตกแต่งผิวแนวเชื่อมก่อนนำไปใช้งาน
- ประสิทธิภาพในการเติมโลหะเข้าสู่รอยต่อสูงกว่าการเชื่อมอาร์กหลวงหุ้มฟลักซ์
- พื้นที่ได้รับความร้อนจากการเชื่อมของชิ้นงานมีขนาดเล็กกว่าการเชื่อมอาร์กหลวงหุ้มฟลักซ์ ส่งผลทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานเข้มน้อยกว่า และพื้นที่กระทบร้อนมีขนาดเล็กกว่า
- รอยต่อที่มีช่องว่างสูงสามารถเชื่อมได้ง่ายเพราะการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมมีอัตราการเติมโลหะเข้าสู่รอยต่อสูง
- คุณภาพของแนวเชื่อมดีกว่า เนื่องจากปัญหาของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพฟลักซ์ที่หุ้มรอบๆ แกนหลวงของการเชื่อมอาร์กหลวงหุ้มฟลักซ์ในบรรยากาศหรือการเก็บรักษาลวดไม่ดีไม่สามารถเกิดขึ้นในการเชื่อมแบบนี้

การเชื่อมอาร์กหลวงหุ้มฟลักซ์ที่มีความหมายดังหัวข้อที่ผ่านมามีตัวแปรสำคัญที่หากมีการเปลี่ยนแปลงแล้วจะทำให้สมบัติทางกลเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ตัวแปรการเชื่อมการพอกแข็งที่สำคัญประกอบไปด้วย 1) ความหนาของวัสดุ 2) ชนิดของรอยต่อ 3) ชนิดของวัสดุ 4) ชนิดของลวดเชื่อม 5) เส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อม 6) ท่าเชื่อม 8) กระแสไฟเชื่อม 9) แรงดันไฟเชื่อม 10) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม และ 11) ความเอียงของหัวเชื่อม

ตารางที่ 2.5 ข้อเสนอแนะการเลือกแก๊สในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม [17]

แก๊ส	ชนิด	โลหะ	คำแนะนำ
Ar	เฉื่อย	โลหะไม่ใช่เหล็ก	ให้การถ่ายโอนแบบละออง
He	เฉื่อย	อะลูมิเนียมและแมกนีเซียม	ให้อาร์คอุณหภูมิสูงสำหรับงานหนา หากต้องการเพิ่มอุณหภูมิ การซึมลึกใช้แก๊สผสม
Ar + 1%O ₂	ไวต่อปฏิกิริยา	เหล็กกล้าไร้สนิม	ออกซิเจนทำให้การอาร์กเสถียร
Ar + 2%O ₂	ไวต่อปฏิกิริยา	เหล็กกล้าไร้สนิม	ออกซิเจนทำให้การอาร์กเสถียร
Ar + 5%O ₂	ไวต่อปฏิกิริยา	เหล็กเหนียว เหล็กกล้าผสมต่ำ	ให้การถ่ายโอนโลหะแบบละออง
Ar + 5%CO ₂	ไวต่อปฏิกิริยา	เหล็กกล้าผสมต่ำ	ให้การถ่ายโอนโลหะแบบละอองฟลักซ์และแบบลัดวงจร
Ar + 10%O ₂	ไวต่อปฏิกิริยา	เหล็กกล้าผสมต่ำ	ให้การถ่ายโอนโลหะแบบละอองฟลักซ์แบบลัดวงจรและบ่อหลอมละลายกว้าง

ตารางที่ 2.5 ข้อเสนอแนะการเลือกแก๊สในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (ต่อ)

แก๊ส	ชนิด	โลหะ	คำแนะนำ
Ar + 25%O ₂	ไวต่อปฏิกิริยา	เหล็กเหนียว เหล็กกล้าผสมต่ำ เหล็กกล้าไร้สนิม	ให้ผิวหน้าแนวเชื่อมละเอียด ลดการซึมลึก เมื่อมีการถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร
CO ₂	ไวต่อปฏิกิริยา	เหล็กเหนียว เหล็กกล้าผสมต่ำ เหล็กกล้าไร้สนิม	ราคาถูกที่สุด ให้การซึมลึกสูงเมื่อมีการ ถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจรและแบบก้น กลม
N	เกือบเทียบเท่า แก๊สเฉื่อย	ทองแดงและ ทองแดงผสม	ทำให้เกิดการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานสูง และให้การถ่ายโอนโลหะแบบก้นกลม
Ar + 25%He	เฉื่อย	อะลูมิเนียม แมกนีเซียม ทองแดง นิกเกิล และโลหะผสม	ทำให้เกิดการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานสูง มากกว่าแก๊สอาร์กอน เหมาะสำหรับ ชิ้นงานที่มีความหนา
Ar + 50%He	เฉื่อย	อะลูมิเนียม แมกนีเซียม ทองแดง นิกเกิล	ให้ความร้อนอาร์กสูง ใช้กับชิ้นงานที่หนา มาก และให้การถ่ายโอนโลหะแบบ ละออง
Ar + 75%He	เฉื่อย	ทองแดง นิกเกิล และโลหะผสม	ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานสูงสุด
Ar + CO ₂ + O ₂	ไวต่อปฏิกิริยา	เหล็กกล้าผสมต่ำ เหล็กกล้าไร้สนิม	ให้การถ่ายโอนหลายแบบ และใช้ร่วมกับ หุ่นยนต์อุตสาหกรรม
Ar + CO ₂ + N	เกือบเทียบเท่า แก๊สเฉื่อย	เหล็กกล้าไร้สนิม	ให้การถ่ายโอนหลายแบบ และใช้ได้ดี เชื่อมกับโลหะแผ่นบาง
Ar + 7.5%Ar + 2.5%CO ₂	เกือบเทียบเท่า แก๊สเฉื่อย	เหล็กกล้าผสมต่ำ เหล็กกล้าไร้สนิม	การอาร์กเสถียรดีเยี่ยม แนวเชื่อมสวยงาม มีการกระเด็นเม็ดโลหะหลอมเหลวน้อย เมื่อมีการถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร

2.3.5 ข้อบกพร่องของแนวเชื่อม –สาเหตุและการแก้ไข

จุดบกพร่องที่เกิดแก่การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม คล้ายกับที่เกิดขึ้นเมื่อเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ การฝึกหัดและประสบการณ์ของช่างเชื่อมจะช่วยให้เกิดการเรียนรู้กลวิธีเชื่อมที่เหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดจุดบกพร่องในแนวเชื่อม จึงได้รวบรวมสาเหตุการเกิดจุดบกพร่องแต่ละชนิดและการแก้ไขเอาไว้เป็นแนวทางดังนี้

2.3.5.1 รูพรุน (Porosity)

รูพรุนเกิดจากสาเหตุต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. แก๊สปกคลุมปริมาณน้อยไป จึงไม่เพียงพอที่จะปกคลุมบริเวณอาร์ก เพื่อไม่ให้อากาศภายนอกเข้ามารวมตัวกับโลหะที่หลอมละลายได้
2. แก๊สปกคลุมปริมาณมากเกินไป จึงผสมและดึงเอาอากาศเข้ามา ทำให้แก๊สปกคลุมไม่มีประสิทธิภาพในการปกคลุม
3. แก๊สปกคลุมอาจถูกเป่าและดึงออกจากบริเวณอาร์ก ดังนั้น เมื่อมีลมพัดแรงในขณะที่เชื่อม ควรจัดหาที่กำบังหรือให้ตัวของช่างเชื่อมอยู่ในตำแหน่ง บังคับมิให้พัดแก๊สปกคลุมออกจากบริเวณอาร์ก
4. ระบบแก๊สปกคลุมอุดตัน หรือบกพร่องก็เป็นเหตุที่ทำให้เกิดรูพรุน อันเนื่องจาก Spatter อุดที่ Nozzle สายแก๊ส และข้อต่อรั่วและวาล์วไม่ทำงานหรือเกิดการแข็งตัวที่ที่ตัวปรับความดันแล้ว

2.3.5.2 การหลอมละลายที่ไม่สมบูรณ์ (Cold Lap-Lack of Fusion)

Cold Lap กับ Lack of Fusion เป็นข้อบกพร่องที่เกิดจากการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน เนื่องจากสาเหตุหลายประการ คือ

1. ใช้กระแสไฟสูงแต่แรงเคลื่อนต่ำไป
2. ถือหัวเชื่อมให้ลวดเชื่อมห่างจากขอบด้านหน้าบ่อหลอมละลายมากเกินไป ควรให้หัวเชื่อมอยู่ในตำแหน่งลวดอยู่ที่ขอบด้านหน้าบ่อหลอมละลาย
3. หยดเต็มลวดเชื่อมที่ขอบด้านข้างของแนวเร็วเกินไป

2.3.5.3 จุดบกพร่องที่บ่อหลอมละลาย (Crater Defects)

จุดสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เกิด Crater Defects คือเอาหัวเชื่อมและแก๊สปกคลุมออกจากบ่อหลอมละลาย ก่อนบ่อหลอมละลายจะแข็งตัว ดังนั้น ควรถือหัวเชื่อมไว้ให้แก๊สปกคลุมบ่อหลอมละลายจนกว่าแก๊สปกคลุมจะหยุดไหล

2.3.5.4 การเกิดรูพรุน (Crater porosity) เนื่องจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่

- ใช้แก๊สปกคลุมที่มีความชื้น จึงควรใช้แก๊สปกคลุมที่แห้ง หรืออาจต้องกรองแก๊สก่อน ใช้งาน
- ชี้นงานและลวดเชื่อมสกปรก เนื่องจากมีน้ำมัน, จาระบี, สีสุน, สนิมและอื่นๆ ต้องทำความสะอาด ลวดเชื่อมและชี้นงานก่อนเชื่อม
- ระยะหัวเชื่อมกับชี้นงาน (Tip-to-work) ห่างเกินไป
- ใช้ลวดเชื่อมผิดชนิด หรือเชื่อมทับบนรอยเชื่อมจุดที่ใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เชื่อม

ดังนั้นในการเชื่อมควรเลือกใช้ลวดเชื่อมให้เหมาะสมกับชี้นงาน และในการเชื่อม MIG (Micro wire) ที่ไม่ควรเชื่อมทับบนแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวดหุ้มฟลักซ์

2.3.5.5 ซึมลึกมากเกินไป (Excessive Penetration)

การซึมลึกมากเกินไป เป็นผลเนื่องจากใช้กระแสเชื่อมสูงเกินไป และแก้ไขโดยการลดความเร็วของ การป้อนลวดซึ่งจะทำให้กระแสเชื่อมต่ำลง หรือจะเพิ่มความเร็วในการเชื่อมก็ได้ และยังมีสาเหตุมาจากการออกแบบรอยต่อและการเตรียมรอยต่อที่ไม่เหมาะสม ถ้าระยะ Root opening กว้างไป หรือ Root face เล็กเกินไปจะทำให้แนวเชื่อมที่ซึมลึกมาก ปัญหาดังกล่าวนี้สามารถชดเชยได้โดย ให้ระยะลวดเชื่อมโผล่ยาวกว่าปกติ และให้สายลวดเชื่อม

2.3.5.6 ซึมลึกไม่เพียงพอ (Lack of Penetration)

Lack of Penetration เกิดเนื่องจากใช้กระแสเชื่อมน้อยเกินไป และแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มความเร็วป้อนลวดซึ่งเป็นการเพิ่มกระแสไฟเชื่อมด้วยหรือตรวจสอบระยะหัวเชื่อมกับชี้นงาน (Tip-to-work) ใหม่ และปรับให้ถูกต้อง สำหรับกลวิธีเชื่อมจะต้องเหมาะสมถึงจะได้แนวเชื่อมที่ซึมลึกดี

2.3.5.7 โลหะเชื่อมทะลุ (Whiskers)

Whiskers คือจุดบกพร่องที่เกิดจากลวดเชื่อมขนาดเส้นที่ทะลุขอบด้านหน้าของบ่อหลอมละลายไป ติดกับเนื้อเชื่อมด้านหลังของแนวเชื่อม ซึ่งมีสาเหตุหลายประการ ได้แก่

1. เชื่อมเร็วเกินไป ทำให้ลวดเชื่อมทะลุผ่านรอยต่อออกไปด้านหลัง แก้ไขโดยลดความเร็วการเชื่อมให้ต่ำลง
2. ความเร็วป้อนลวดและกระแสเชื่อมสูงเกินไป
3. ระยะหัวเชื่อมกับชี้นงาน (Tip-to-work) สั้นไป
4. กลวิธีสายลวดเชื่อมไม่ถูกต้อง

2.3.5.8 จุดบกพร่องอื่นๆ

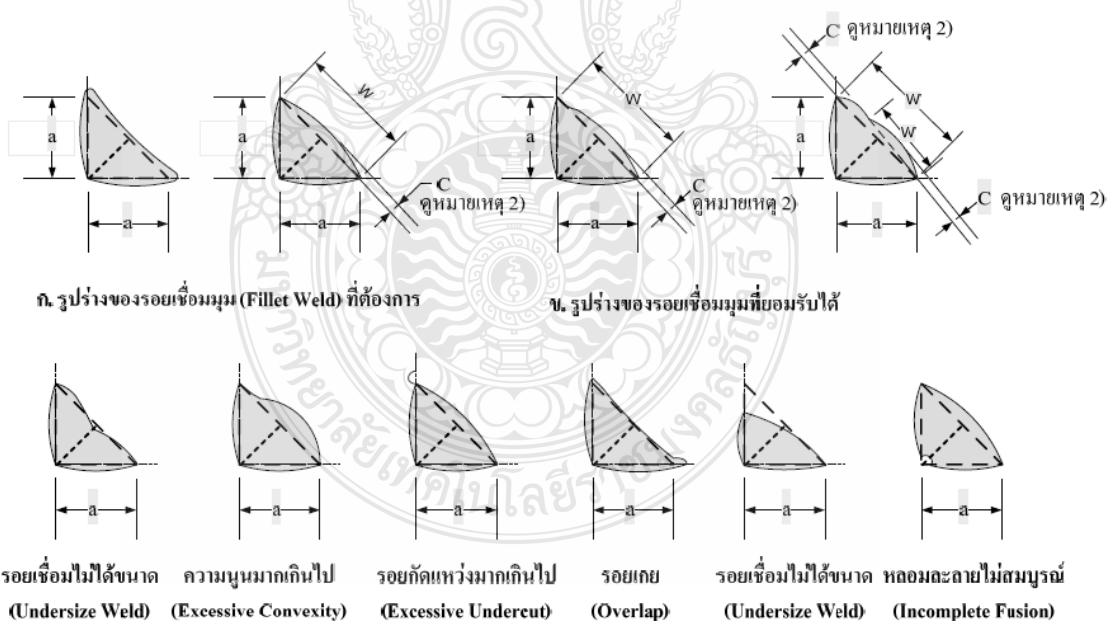
ยังไม่จุดบกพร่องอื่นๆ ที่เกิดกับงานเชื่อมอีก ได้แก่ Spatter, การแตกร้าว, การบิดงอ, ความไม่สมบูรณ์ในแนวเชื่อม, ลักษณะผิวหน้าของแนวเชื่อม, สัดส่วนความโค้งนูนของแนวเชื่อม ฯลฯ ซึ่งจุดบกพร่องที่เกิดกับงานเชื่อม MIG นี้จะคล้ายๆ กับจุดบกพร่องที่เกิดกับงานเชื่อมวิธีอื่นๆ [12]

2.5 เกณฑ์การพิจารณาการยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม AWS D1.1/D1.1M:2006

การเชื่อม (Weld) หมายถึง การประสานให้ชิ้นส่วนโลหะหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันบริเวณรอยต่อชิ้นงานที่ต้องการให้ประสานติดกัน

การตรวจสอบด้วยวิธีตรวจพินิจ (Visual Examination) หมายถึง วิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายเพื่อหารอยบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นด้วยสายตา

เกณฑ์การยอมรับ (Acceptance Criteria) หมายถึง เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินการยอมรับของความไม่ต่อเนื่องของรอยเชื่อมซึ่งจะเป็นไปตามมาตรฐานนี้กำหนด [19]



รูปที่ 2.4 แสดงเกณฑ์การพิจารณาการยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม [19]

หมายเหตุ

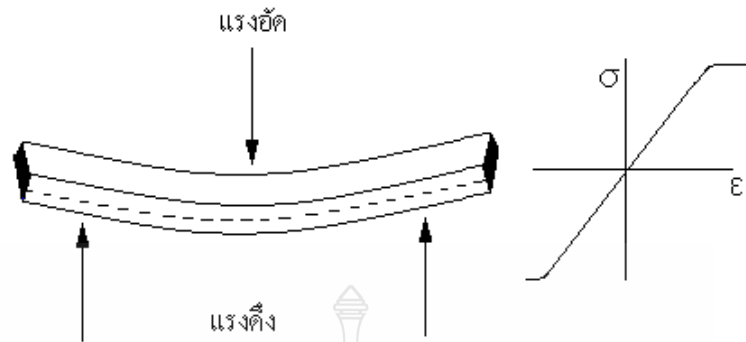
- 1) ขนาดของรอยเชื่อม (Size of Weld:a)
- 2) รอยนูน (Convexity:C) ของรอยเชื่อมหรือของแรงเชื่อมซึ่งมีความกว้าง W ต้องมีค่าไม่เกินค่าระบุดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์การพิจารณาการยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม AWS D1.1/D1.1M:2006

ความกว้างของผิวหน้ารอยเชื่อม (W)	รอยนูนสูงสุด (Convexity: C)
$W \leq 8$ มม. ($W \leq 5/16$ นิ้ว)	2 มม. (1/16 นิ้ว)
8 มม. < W < 25 มม. ($5/16$ นิ้ว < W < $5/16$ นิ้ว)	3 มม. (1/8 นิ้ว)
$W \geq 8$ มม. ($W \geq 1$ นิ้ว)	5 มม. (3/16 นิ้ว)

2.6 การทดสอบแรงดัด [20]

การทดสอบแรงดัดโค้งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับทดสอบการประมาณค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ และหาอัตราเร็วคงที่ นิยมใช้ในการทดสอบวัสดุที่เป็นพลาสติก เนื่องจากวิธีนี้จะไม่ค่อยมีปัญหาซึ่งเกิดจากการเยื้องศูนย์ระหว่างชิ้นงาน และเครื่องทดสอบเหมือนการทดสอบแรงดึง นอกจากนี้การกระจายตัวของแนวแรงยังถูกจำกัดอยู่แต่ในบริเวณที่จะเสียหายอีก ด้วย อย่างไรก็ตามสภาพของแรงที่เกิดขึ้นทั้งสองประเภทนี้แตกต่างกัน ในการทดสอบแรงดัดนั้น ชิ้นทดสอบจะได้รับแรงที่เท่ากันตลอดพื้นที่หน้าตัด (Uniform tension) แต่ในการทดสอบแรงดัดงอ ชิ้นทดสอบจะได้รับแรงที่ไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากในสภาวะที่ชิ้นงานถูกดัดงอนั้น ชิ้นงานทดสอบจะได้รับแรงสูงสุดบนผิว ผิวหนึ่งและได้รับแรงอัดบนผิวตรงกันข้าม โดยทั่วไปแล้วการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่ไม่เหมาะสำหรับพลาสติกอ่อนที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงดัดได้ มาก เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของสภาพการดัดงอนี้จะถูกต้องในกรณีที่การ เปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุในระดับต่ำ วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแบบเชิงเส้น และอยู่ภายใต้แรงดัดงอล้วนๆเท่านั้น ดังนั้นโดยทั่วไปมักจะไม่ใช่ทดสอบที่ระดับความเครียดเกิน 5%

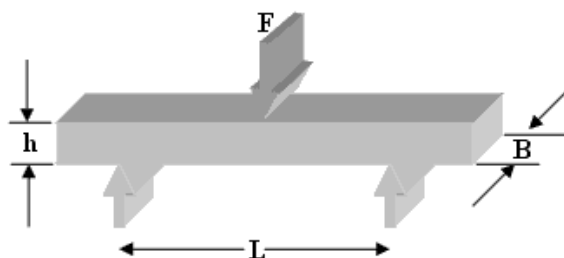


รูปที่ 2.5 หลักการทดสอบแรงค้ำงอ

โดยทั่วไป การทดสอบการค้ำงอแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่การค้ำงอแบบ 3 จุด (three-pointed bending) และการทดสอบแบบ 4 จุด (four-pointed bending)

2.6.1 การทดสอบการค้ำงอแบบ 3 จุด

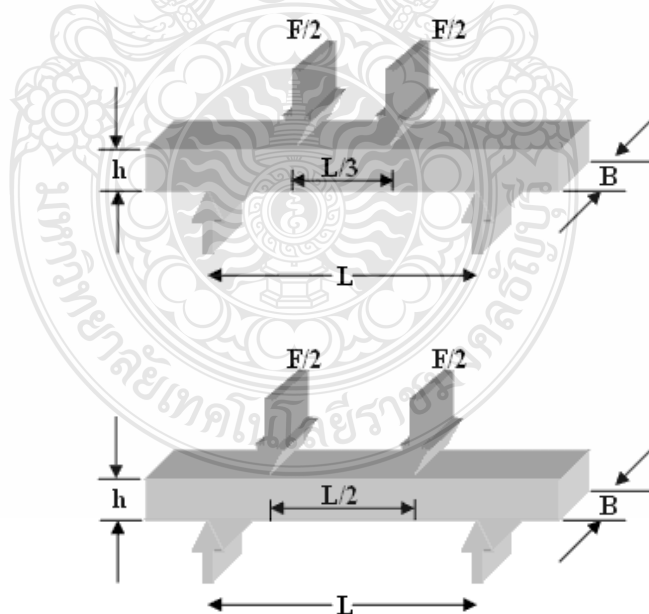
การทดสอบแบบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบและจุด รับรอง ในทิศทางตรงกันข้ามบริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลาง เท่ากัน เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ต่ำ หัวกดที่ใช้ให้แรงกระทำและชุดรองรับมีลักษณะเป็นไบมีดมน (Round knike edges) หรือเพลาลโลหะแข็งก็ได้ รัศมีของหัวกด และชุดให้แรงกระทำ ต้องมีรัศมีอย่างต่ำ 3.2 มิลลิเมตร และมีรัศมีสูงสุดไม่เกิน 4 เท่าของความหนาชิ้นงานทดสอบ สำหรับหัวกด และ 1.5 เท่าของความหนาชิ้นทดสอบสำหรับชุดรองรับ การที่ชุดกดและชุดรองรับ ต้องมีลักษณะเป็นผิวโค้งที่จุดสัมผัสดังกล่าวเพื่อ เป็นการลดความเข้มของความเค้น (Stress concentration) ที่อาจเกิดขึ้นบริเวณจุดสัมผัสดังกล่าว และอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักบริเวณ จุดสัมผัสนั้น นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองสามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนของ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองกับความหนาของชิ้นทดสอบโดยมีค่าได้ระหว่าง 16:1 ถึง 60:1



รูปที่ 2.6 การทดสอบการค้ำงอแบบ 3 จุด

2.6.2 การทดสอบการดัดงอแบบ 4 จุด

การทดสอบแบบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่ 2 จุดในบริเวณกึ่งกลางของชิ้นทดสอบและ จุดรองรับในทิศทางตรงกันข้ามบริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่ง กลางเท่ากัน เหมาะสำหรับการทดสอบวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูงกว่าในกรณีของการ ทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด หัวกดที่ทำให้ภาระและชุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมนหรือเพลาลอยแข็งเช่นเดียว กับการทดสอบแบบ 3 จุด แต่รัศมีของหัวกดและชุดให้ภาระจะมีค่าเท่ากันโดยจะต้องมีรัศมีอย่างต่ำ 3.2 มิลลิเมตร และมีรัศมีสูงสุดไม่เกิน 1.5 เท่าของความหนาของชิ้นงานทดสอบ ระยะห่างระหว่างชุดกดและชุดรองรับในการทดสอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ แบบ 1/3 และแบบ 1/4 การจัดระยะ 1/3 หมายถึง ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ-จุดกดและระหว่างจุดกดทั้งสองมีค่าเท่ากันคือ 1/3 ของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสอง ในขณะที่การจัดระยะแบบ 1/4 หมายถึงระยะห่างระหว่างจุดรองรับและจุดกดมีค่าเท่ากับ 1/4 ของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสอง ในขณะที่ระยะห่างระหว่างจุดกดทั้งสองเท่ากับ 2/4 เท่าของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสอง ทั้งนี้ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองหรือระยะสแปนสามารถกำหนดได้โดยจาก อัตราส่วนของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองกับความหนาของชิ้นงานทดสอบโดย มีค่าได้ระหว่าง 16 : 1 ถึง 60 : 1



รูปที่ 2.7 การทดสอบการดัดงอแบบ 4 จุด

2.7 การทดสอบความแข็ง (Hardness test) [21]

ความแข็ง คือ ความต้านทานต่อแรงกด การขีดสีและการกลึงของวัสดุ ดังนั้นการทดสอบความแข็งจึงสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในเชิงโลหะวิทยา การวัดความแข็งจะเป็นการทดสอบความสามารถของโลหะในการต้านทานต่อการแปรรูปถาวร เมื่อถูกแรงกดจากหัวกดกระทำลงบนชิ้นงานทดสอบ โดยมีวิธีในการทดสอบที่นิยมใช้งาน ดังนี้

2.7.1. การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test) (HB)

เป็นการวัดความแข็งโดยอาศัยแรงกดคงที่กระทำกับลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งลงบนผิวชิ้นงานทดสอบ ค่าความแข็งจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว โดยพื้นที่ผิวมีลักษณะเป็นผิวโค้ง ดังนั้นสามารถคำนวณค่าความแข็งได้ตามสูตร ดังนี้

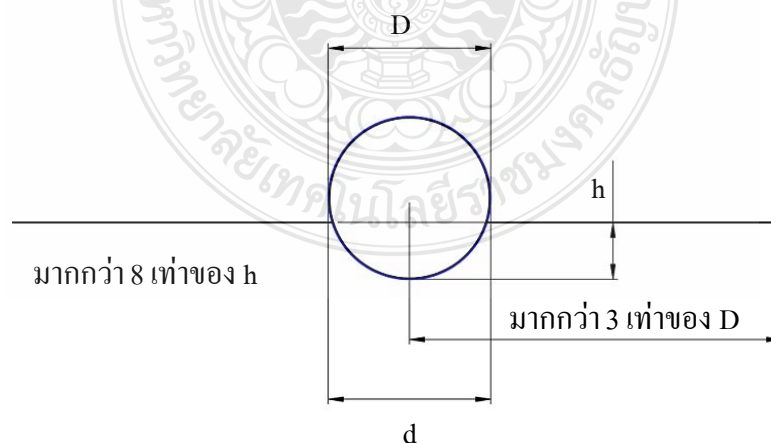
$$H_B = \frac{P}{\pi \frac{D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.1)$$

โดยที่ HB คือ ค่าความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test) (kgf/mm²)

P คือ แรงกด (kgf)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอลเหล็กกล้า (mm.)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด (mm.)

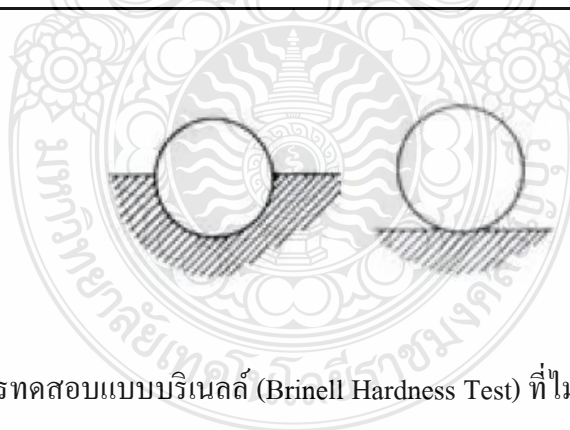


รูปที่ 2.8 การทดสอบแบบบริเนลล์ Brinell

แรงกดสำหรับการทดสอบจะอยู่ในช่วง 500-3000 kgf และลูกบอลเหล็กกล้าจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 – 10 มิลลิเมตรโดยใช้ระยะเวลาในการกดประมาณ 10-15 วินาที สำหรับเหล็กหรือเหล็กกล้า และ 30 วินาทีสำหรับโลหะนิ่ม (เช่น ตะกั่ว ดีบุก เป็นต้น) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโลหะมีความแข็งที่แตกต่างกัน หากโลหะที่ทดสอบนิ่มและใช้แรงกดมากจะมีผลทำให้ระยะที่หัวกดจมลงไปลึกมาก จนอาจเกินกว่าครึ่งลูก ซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณค่าความแข็งผิดพลาดได้หรือไม่ หากเลือกแรงกดน้อยไปเมื่อเทียบกับขนาดของลูกบอลเหล็กกล้าก็จะทำให้การแปลผลทำได้ไม่แม่นยำเช่นกัน ดังนั้นการเลือกใช้แรงกด และขนาดลูกบอลจะแตกต่างกันไปด้วย เพื่อป้องกันข้อบกพร่องที่จะพบได้ในการทดสอบด้วยวิธีนี้ เราสามารถพิจารณาได้จากอัตราส่วน P/D2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าความแข็งของโลหะ

โลหะ	ค่าความแข็งโดยประมาณ (HB)	อัตราส่วน P/D2
เหล็กกล้าและเหล็กหล่อ	มากกว่า 100	30
ทองแดง, ทองแดงผสม, อะลูมิเนียมผสม	30-200	10
อะลูมิเนียม	15-100	5
ดีบุก, ดีบุกผสม, ตะกั่ว, ตะกั่วผสม	3-20	1



รูปที่ 2.9 ลักษณะการทดสอบแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test) ที่ไม่ถูกต้อง

สำหรับการทดสอบเหล็กกล้าชุบแข็ง หรือโลหะที่มีความแข็งสูงมากๆ จะไม่สามารถทดสอบด้วยลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งได้ จะต้องใช้ลูกบอลทังสเตนคาร์ไบด์ขนาด 2.45 มม. แทนซึ่งจะใช้สำหรับทดสอบวัสดุที่แข็งตั้งแต่ 444 ถึง 627 HB

ข้อควรระวังสำหรับการวัดความแข็งด้วยวิธีนี้ ได้แก่

- ผิวของชิ้นงานทดสอบต้องเรียบ เพื่อให้ได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกดที่แน่นอน และที่ผิวของชิ้นงานทดสอบต้องไม่มีออกไซด์ (Oxide scale) หรือสิ่งแปลกปลอม นอกจากนี้การเตรียมผิวต้องระมัดระวังอย่างมาก โดยหลีกเลี่ยงกรรมวิธีร้อน (Heating) และกรรมวิธีเย็น (Cold working)
- ต้องระวังตำแหน่งการทดสอบโดยให้ระยะหัวกดอยู่ห่างจากขอบแต่ละด้านของชิ้นงานอย่างน้อย 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอล ระยะห่างของแต่ละรอยกดห่างกันอย่างน้อย 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอล และชิ้นงานต้องมีความหนาอย่างน้อย 8 เท่าของความลึกของการกด
- ควรวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด 2 ครั้งในแนวตั้งฉากกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปคำนวณหาความแข็งต่อไป

การวัดความแข็งแบบบริเนลล์ ((Brinell Hardness Test) มีข้อดี คือ ในการกด 1 ครั้งจะครอบคลุมหลายๆ เฟสของชิ้นงาน ทำให้ได้ค่าความแข็งที่สม่ำเสมอ ซึ่งหากวัดด้วยวิธีที่ใช้หัวกดขนาดเล็กมาก อาจทำให้วัดได้เพียงเฟสเดียว ทำให้ค่าความแข็งที่ได้ ไม่ได้เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งของทั้งวัสดุนั้น แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ ชิ้นงานต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะวัดกับหัวกดได้ และไม่ควรวัดกับชิ้นงานที่มีรัศมีผิวโค้งน้อยกว่า 1 นิ้ว

2.7.2. การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test)

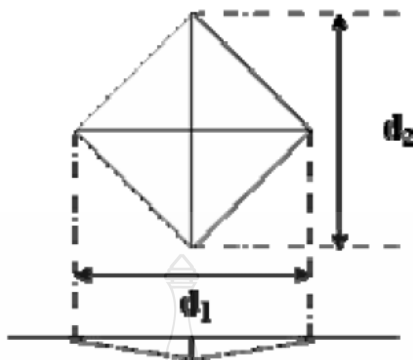
เป็นการวัดความแข็งโดยใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม ที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา (เป็นมุมที่มองศาใกล้เคียงกับหัวกดลักษณะกลมมากที่สุด) เป็นเวลา 10-15 วินาที ค่าความแข็งจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวเช่นเดียวกับการทดสอบแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test) แต่วิธีนี้หัวกดเป็นเพชรซึ่งมีความแข็งสูงมากๆ ดังนั้นในการใช้งานจึงสามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่นิ่มมาก (HV ประมาณ 5) จนถึงโลหะที่แข็งมากๆ (VHN ประมาณ 1500) โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด จะเปลี่ยนก็เฉพาะแรงกดเท่านั้น โดยมีตั้งแต่ 1-120 kgf ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะที่ทดสอบ ซึ่งทำให้วิธีนี้มีข้อได้เปรียบกว่า (Brinell Hardness Test) คือ ไม่ต้องคำนึงถึงอัตราส่วน P/D² และข้อจำกัดในด้านความหนาของชิ้นงานทดสอบ เนื่องจากหัวกดเพชรมีขนาดเล็กมาก

$$HV = \frac{1.854P}{d^2} \quad (2.2)$$

โดยที่ HV คือ ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vicker Hardness Test) (kgf/mm²)

P คือ แรงกด (kgf)

d คือ ขนาดเส้นทแยงมุม d₁ และ d₂ เฉลี่ย (mm.)



รูปที่ 2.10 ลักษณะรอยกดจากหัวเพชรของวิกเกอร์ส Vickers Hardness Test

ข้อควรระวังสำหรับการวัดความแข็งด้วยวิธีนี้ ได้แก่

- การเลือกใช้น้ำหนักกดมีผลต่อความแข็งด้วย คือ ถ้าเลือกน้ำหนักน้อยเกินไป จะได้ค่าความแข็งที่ผิด แต่ถ้าใช้น้ำหนักมากเกินไป อาจทำให้เกิดปัญหากับหัวกดเพชรตอนคลายหัวกดได้
- ผิวของชิ้นงานทดสอบต้องไม่มี oxide scale หรือสิ่งแปลกปลอม การเตรียมผิวของชิ้นทดสอบต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมาก และหลีกเลี่ยงกรรมวิธีร้อน (heating) หรือกรรมวิธีเย็น (cold working)
- ไม่ควรวัดความแข็งในบริเวณที่ใกล้กับตำแหน่งเดิม โดยควรเว้นระยะห่างไว้ไม่น้อยกว่า 2.5 เท่าของเส้นทแยงมุมรอยกด ทั้งตามแนวแกน x และ y
- ความหนาของชิ้นงานทดสอบควรมากกว่าอย่างน้อย 1.5 เท่าของเส้นทแยงมุมของรอยกด และหลังจากการทดสอบวัดความแข็ง ไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ให้เห็นทางด้านหลัง (อีกด้านหนึ่ง) ของชิ้นงานทดสอบ
- การอ่านค่าความยาวเส้นทแยงมุม จะขึ้นกับสายตาของแต่ละคน ดังนั้นควรให้คนใดคนหนึ่งเป็นผู้อ่านค่าวิธีทดสอบนี้ไม่เป็นที่นิยมในการใช้งานสำหรับภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากข้อจำกัดที่ทดสอบได้ช้า ต้องมีเตรียมผิวที่ดี เพื่อให้ได้ค่าเส้นทแยงมุมของรอยกดที่แน่นอน และมีโอกาสผิดพลาดในการวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางได้

2.7.3. การทดสอบความแข็งร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test)

เป็นวิธีวัดความแข็งของโลหะที่นิยมใช้มากที่สุด โดยจะวัดความแข็งจากความลึกระยะกดที่ถูกหัวกดกดด้วยแรงคงที่ ซึ่งจะแตกต่างจากแบบบริเนลล์ (Brinell) และแบบวิกเกอร์ส (Vicker)

ที่วัดจากแรงกดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ดังนั้นวิธีนี้จึงมีการวัดด้วยกันหลายสเกล เพื่อให้สามารถเลือกใช้วัดความแข็งได้เหมาะสมที่สุด แรงที่ใช้กดมี 2 ส่วน คือ minor load และ major load Minor load เป็นแรงที่ยึดหัวกดลูกบอลเหล็กชุบแข็ง หรือหัวกดเพชรไว้บนผิวโลหะที่จะวัดความแข็ง Major load เป็นแรงที่มากกว่า minor load และกดลงภายหลังจากให้ minor load กับชิ้นงานสำหรับมาตรฐานความแข็งแบบ Rockwell มีอยู่ 15 สเกล (ไม่รวม Superficial hardness scale) ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 การวัดความแข็งแบบ Rockwell สเกลต่างๆ

สเกล	ประเภทหัวกด	Major load, kgf	การใช้งานทั่วไป
	หัวกดเพชร (two scales carbide and steel)		ซีเมนต์คาร์ไบด์, เหล็กกล้าที่มีขนาดบาง และเหล็กกล้าชุบแข็งผิวไม่ลึก (Shallow case-hardening steel)
	ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง 1/16 นิ้ว (1.588 มม.)		โลหะผสมของทองแดง (Copper alloys), เหล็กกล้าที่ไม่แข็งมาก (Soft steels)
	หัวกดเพชร		เหล็กกล้า, เหล็กหล่อที่มีความแข็งสูง (Hard cast irons), เหล็กหล่ออบเหนียวชนิด เพอร์ริติก, ไทเทเนียม, เหล็กกล้าชุบแข็งที่ผิวลึก และวัสดุอื่นๆ ที่มีความแข็งมากกว่า 100 HRB
	หัวกดเพชร		เหล็กกล้าที่มีขนาดบาง และเหล็กกล้าชุบแข็งที่ผิว และเหล็กหล่ออบเหนียวชนิด เพอร์ริติก
	ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง 1/8 นิ้ว (3.175 มม.)		เหล็กหล่อ, โลหะผสมของอะลูมิเนียม โลหะผสมของแมกนีเซียม และโลหะสำหรับผลิตเบร็ก
	ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง 1/16 นิ้ว (1.588 มม.)		โลหะผสมของทองแดงที่ผ่านการอบอ่อน และโลหะแผ่นบางที่ไม่แข็ง

ตารางที่ 2.8 การวัดความแข็งแบบ Rockwell สเกลต่างๆ (ต่อ)

สเกล	ประเภทหัวกด	Major load, kgf	การใช้งานทั่วไป
	ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง 1/16 นิ้ว (1.588 มม.)		บรอนซ์ผสมฟอสฟอรัส (Phosphor bronze), โลหะผสมทองแดง-เบริลเลียม (Beryllium copper), เหล็กหล่ออบเหนียว. โดยความแข็งสูงสุดที่วัดได้จะต้องไม่เกิน 92 HRG เพื่อป้องกันหัวกดเสียหาย
	ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง 1/8 นิ้ว (3.175 มม.)		อะลูมิเนียม, สังกะสี และตะกั่ว
	ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง 1/8 นิ้ว (3.175 มม.)		โลหะสำหรับผลิตเบร้ง และวัสดุอื่นๆ ที่บางและนุ่ม โดยเลือกใช้ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งขนาดเล็กและใช้แรงกดสูงเพื่อป้องกันผลของ Anvil effect
	ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง 1/4 นิ้ว (6.350 มม.)		โลหะสำหรับผลิตเบร้ง และวัสดุอื่นๆ ที่บางและนุ่ม โดยเลือกใช้ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งขนาดเล็กและใช้แรงกดสูงเพื่อป้องกันผลของ Anvil effect
	ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง 1/4 นิ้ว (6.350 มม.)		โลหะสำหรับผลิตเบร้ง และวัสดุอื่นๆ ที่บางและนุ่ม โดยเลือกใช้ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งขนาดเล็กและใช้แรงกดสูงเพื่อป้องกันผลของ Anvil effect
	ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง 1/4 นิ้ว (6.350 มม.)		โลหะสำหรับผลิตเบร้ง และวัสดุอื่นๆ ที่บางและนุ่ม โดยเลือกใช้ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งขนาดเล็กและใช้แรงกดสูง
	ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง 1/2 นิ้ว (12.70 มม.)		โลหะสำหรับผลิตเบร้ง และวัสดุอื่นๆ ที่บางและนุ่ม โดยเลือกใช้ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งขนาดเล็กและใช้แรงกดสูงเพื่อป้องกันผลของ Anvil effect

ตารางที่ 2.8 การวัดความแข็งแบบ Rockwell สเกลต่างๆ (ต่อ)

สเกล	ประเภทหัวกด	Major load, kgf	การใช้งานทั่วไป
	ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง 1/2 นิ้ว (12.70 มม.)		โลหะสำหรับผลิตเบร็ก และวัสดุอื่นๆ ที่บางและนิ่ม โดยเลือกใช้ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งขนาดเล็กและใช้แรงกดสูงเพื่อป้องกันผลของ Anvil effect
	ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง 1/2 นิ้ว (12.70 มม.)		โลหะสำหรับผลิตเบร็ก และวัสดุอื่นๆ ที่บางและนิ่ม โดยเลือกใช้ลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งขนาดเล็กและใช้แรงกดสูงเพื่อป้องกันผลของ Anvil effect

2.8 การวิเคราะห์โครงสร้าง

การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาแบ่งเป็น [22]

- การตรวจสอบในระดับมหภาค (Macro-scopic examination) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาของตัวอย่างชิ้นงานโดยใช้กำลังขยายต่ำ กล่าวคือ เมื่อเตรียมชิ้นงานโดยการขัดหยาบ ขัดละเอียด ขัดเงา (Polishing) และกัดกรด (Etching) แล้วสามารถตรวจสอบได้โดยตาเปล่า (Visual inspection) หรืออาจใช้กำลังขยายได้ไม่เกิน 10 เท่า

- การตรวจสอบในระดับจุลภาค (Micro-scopic examination) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงานโลหะโดยใช้กำลังขยายที่สูงขึ้นกล่าวคือ ตั้งแต่ 10 เท่าเป็นต้นไป ซึ่งอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้าง ฯ ในระดับจุลภาค คือ กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหะวิทยา (Metallurgical microscope) หรือกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยจะมีกำลังขยายอยู่ระหว่าง 10-1,000 เท่า ที่กำลังขยายสูงช่วยทำให้การจำแนกชนิดของเฟส (Phase) โครงสร้าง (Structure) ที่ปรากฏอยู่ รวมถึงลักษณะรูปร่าง และขนาดของเฟส หรือโครงสร้างนั้น ๆ ในชิ้นงานตัวอย่างได้ง่ายขึ้น ในบางกรณีที่โครงสร้าง หรือเฟสที่ปรากฏในตัวอย่างชิ้นงานมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถตรวจสอบได้ที่ระดับกำลังขยาย 10-1,000 เท่า จึงต้องมีการเลือกใช้เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่มีศักยภาพสูง ในที่นี้คือมีกำลังขยายที่มากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และใช้แหล่งกำเนิดแสงจากแสงอิเล็กตรอน ดังนั้นกล้องชนิดนี้จึงได้ชื่อว่า “กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน” (กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ในงานในทางโลหะกรรมมีอยู่ 2 ชนิดคือ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน)

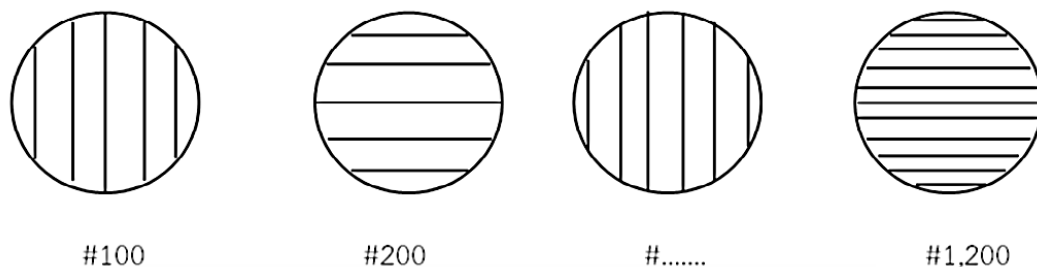
2.8.1 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาประกอบด้วยขั้นตอนที่จำเป็นหลายขั้นตอน ดังนี้

- เลือกตัวอย่างชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะชิ้นส่วนที่ถูกเลือกต้องเป็นตัวแทนที่ดีของชิ้นส่วนทางวิศวกรรมนั้น ๆ
- เตรียมผิวชิ้นงานโดยการขัดด้วยกระดาษทราย โดยเรียงลำดับตั้งแต่ระดับความหยาบไปจนถึงละเอียด (เบอร์ 80, 120, 220, 320, 400, 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ) หลังจากนั้นจึงนำไปขัดเงา/มัน (Polishing) ด้วยผงอะลูมินา (Al_2O_3)
- นำชิ้นงานที่ผ่านการขัดหยาบ ละเอียด และขัดมันแล้วไปกัดกรด หรือกัดขึ้นรอย (Etching) โดยเลือกน้ำยากัดกรด/กัดขึ้นรอย (Etching reagent) ให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถจำแนกแยกแยะ วิเคราะห์โครงสร้างที่มีอยู่ในชิ้นงานนั้น ๆ ได้แล้วศึกษาโครงสร้างดังกล่าวโดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง
- วิเคราะห์ลักษณะของโครงสร้างที่ปรากฏในชิ้นงานนั้น ๆ พร้อมกับการวาดภาพสเกตช์หรือถ่ายภาพ

2.8.2 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

2.8.2.1 การทำตัวเรือน (Mounting) จะกระทำก็ต่อเมื่อตัวอย่างชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้าง ๆ มีขนาดเล็กจนไม่สามารถที่จะจับถือได้สะดวกในระหว่างกระบวนการขัดหยาบ ขัดละเอียด และขัดเงา

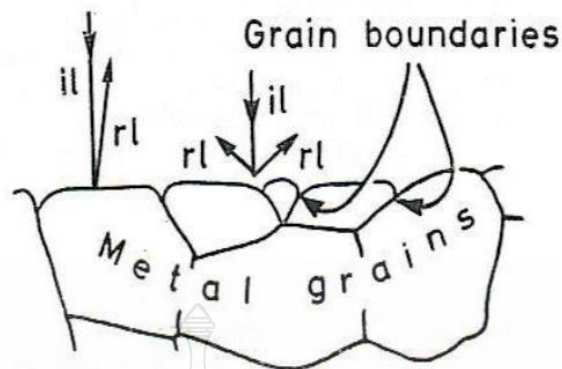
2.8.2.2 กระบวนการขัดเตรียมผิว ซึ่งประกอบด้วยการขัดผิวชิ้นงานตัวอย่างด้วยกระดาษทราย (SiO_2) โดยเรียงลำดับตั้งแต่ระดับความหยาบไปจนถึงละเอียด ก่อนที่จะเริ่มขัดจะต้องทำการขัดลบมุม หรือเหลี่ยมที่แหลมคมของชิ้นงานให้หมดเสียก่อนมิฉะนั้นจะทำให้กระดาษทรายขาดได้ ในระหว่างกระบวนการขัดจะต้องมีน้ำไหลผ่านบนกระดาษขัดตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อให้ น้ำช่วยชะล้างพัสดุพาเอาเศษโลหะที่ไม่ต้องการออกไป และยังช่วยหล่อเย็นไม่ให้เกิดความร้อนบนผิวหน้าชิ้นงาน (ซึ่งในโลหะบางชนิดความร้อนที่เกิดขึ้นนี้อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างได้) อีกด้วย และทิศทางการขัดจะต้องมีการเปลี่ยนโดยการหมุนตัวอย่างชิ้นงานไป 90 องศา จากแนวเดิมดังแสดงในรูปที่ 3 เสมอเมื่อมีการเปลี่ยนเบอร์กระดาษทราย ทั้งนี้เพื่อเป็นการลบรอยกระดาษทรายเบอร์เดิม ขัดชิ้นงานจนกระทั่งรอยขีดขัดต่าง ๆ หายไป จากนั้นจึงนำชิ้นงานไปขัดเงาด้วยผงอะลูมินาผสมน้ำซึ่งจะช่วยทำให้ผิวหน้าชิ้นงานมีความละเอียดมากยิ่งขึ้น และพร้อมสำหรับการกัดกรด/กัดขึ้นรอยเพื่อตรวจสอบโครงสร้างต่อไป



รูปที่ 2.11 ทิศทางการหมุนปรับชิ้นงานในกระบวนการขัดเมื่อเปลี่ยนกระดาษทราย [22]

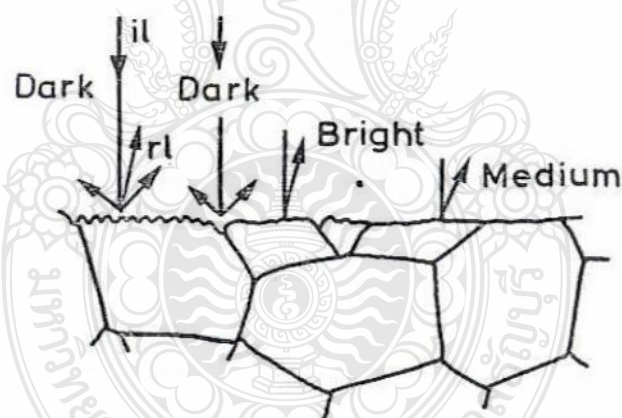
2.8.2.3 การกัดกรด/กัดขึ้นรอย (Etching) ผิวหน้าชิ้นงานเมื่อผ่านการขัดเงาแล้วยังไม่สามารถตรวจสอบวิเคราะห์โครงสร้าง หรือเฟสที่อยู่ภายในได้ทั้งนี้เพราะพื้นผิวหน้าชิ้นงานนั้นค่อนข้างเรียบเสมอกันเมื่อนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ก็จะสะท้อนแสงกลับหมดเพราะไม่มีความขัดลึกต่างกันของโครงสร้าง ดังนั้นจึงต้องนำชิ้นงานไปทำให้เกิดความขัดลึกของแต่ละโครงสร้างภายในชิ้นงานด้วยสารเคมี และเรียกกระบวนการนี้ว่า การกัดกรด/กัดขึ้นรอย (Etching) และเรียกสารเคมีที่ใช้ในการกัดกรด/กัดขึ้นรอย ว่า Etching reagent ซึ่งสารเคมีที่ใช้มีอยู่หลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด ประเภทของโลหะ ตลอดจน โครงสร้าง หรือเฟสที่ต้องการตรวจสอบ

การผสมสารกัดขึ้นรอย (Etching reagent) จะทำปฏิกิริยากับโครงสร้างหรือเฟสแต่ละชนิดที่อยู่ภายใน โครงสร้างของโลหะนั้นด้วยอัตราปฏิกิริยาเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความลึกตื้นไม่เท่ากันของโครงสร้างที่ถูกกัดกรด ในโครงสร้างของโลหะบริเวณขอบเกรน (Grain boundary) จะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับการผสมสารกัดขึ้นรอย (Etching reagent) ได้รวดเร็วกว่าบริเวณภายในเกรน ดังนั้นขอบเกรนจึงมีความลึกมากกว่าเมื่อแสงจากกล้องจุลทรรศน์ส่องผ่านก็จะสะท้อนกลับมายังเลนส์ตาน้อยกว่าบริเวณภายในเกรนที่ตื้นกว่าจึงทำให้เห็นขอบเกรนเป็นเส้น ๆ สีดำนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.12 การสะท้อนแสงที่ต่างกันบริเวณขอบเกรน และภายในเกรน [22]

ส่วนกรณีที่บริเวณภายในเกรนเองมีความเข้มของเจดสีที่ต่างกันทั้งนี้เป็นเพราะระนาบ การจัดเรียงตัวของอะตอมแต่ละแถวไม่เหมือนกัน ดังนั้นเมื่อบริเวณดังกล่าวถูกกัดขึ้นรอยก็จะทำปฏิกิริยา ไม่เท่ากันส่งผลให้การสะท้อนกลับของแสงไม่เท่ากันดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.13 การสะท้อนแสงที่ต่างกันภายในเกรนเนื่องจากการเอียงของอะตอม [22]

การผสมสารกัดขึ้นรอย (Etching reagent) ที่ใช้ในการกัดกรด/กัดขึ้นรอย ชิ้นงานโลหะ ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.9 ซึ่งเป็นตัวอย่างเท่านั้น สำหรับชิ้นส่วนทางวิศวกรรมนั้นผลิตจากโลหะ และโลหะผสมที่มีความหลากหลายมากดังนั้น การผสมสารกัดขึ้นรอย (Etching reagent) ก็จะ แตกต่างไปจากที่แสดงในตารางที่ 2.9 ซึ่งสามารถหาส่วนผสมของการผสมสารกัดขึ้นรอย (Etching reagent) สำหรับโลหะ หรือโลหะผสมนั้น ๆ ได้จากมาตรฐานการทดสอบวัสดุแห่งอเมริกา (ASTM Standards) หรือมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างส่วนผสมสารกัดขึ้นรอย (Etching reagents) ที่ใช้สำหรับกัดขึ้นรอยโลหะต่าง ๆ [19]

Etchant	Composition		Application
2% nital	Nitric acid	2 ml	Cast iron and steel: Magnesium and its alloys: Zinc and its alloys: Tin and its alloys
	Methyl alcohol	98 ml	
5% nital	Nitric acid	5 ml	General structure of iron and steel
	Abs. Methyl alcohol	95 ml	
Picral	Picric acid	4 gm	General structure of iron and steel
	Abs. Ethyl alcohol	96 ml	
Alcoholic ferric chloride	Ferric chloride	5 gm	Copper and its alloys, especially with copper: Tin and its alloys: Nickle and its alloys
	Cone. Hydrochloric	2 ml	
	Alcohol	95 ml	
Alkaline sodium picrate	Picric acid	2 gm	To distinguish iron carbide and ferrite in steel by boiling 5-10 minutes: carbide is dark ened, ferrite unaffected
	Sodium hydroxide	25 gm	
	Water	100 ml	
Alkaline etchant	Sodium hydroxide	10 gm	Aluminium alloys
	Water	90 ml	
Ammoniacal hydrogen Peroxide	Hydrogen peroxide	5 ml	For brass (must swap with cotton continuously during etching)
	Ammonium hydroxide	20 ml	
Aqueous ferric chloride	Ferric chloride	10 gm	Suitable for brass, bronze, German silver, copper alminium alloys, and phosphor bronze
	Hydrochloric acid	30 ml	
	Water	120 ml	

การวิเคราะห์ลักษณะของโครงสร้างที่ปรากฏในชิ้นงานนั้นๆ พร้อมกับการวาดภาพสเกตช์ หรือถ่ายภาพเป็นกระบวนการที่สำคัญ ผู้วิเคราะห์โครงสร้างที่ปรากฏในชิ้นงานได้ค่านั้นจะต้องมีความรู้พื้นฐาน เช่น ส่วนผสมทางเคมี โครงสร้าง หรือเฟสที่สำคัญที่ปรากฏในโลหะ

และโลหะผสมนั้น อย่างไรก็ตามสามารถตรวจสอบโครงสร้าง หรือเฟสที่ปรากฏในโลหะ หรือโลหะผสมนั้นๆ ได้จากหนังสืออ้างอิง หรือมาตรฐานการทดสอบต่าง ๆ เช่น ASM Handbook (Metallography), ASTM standard เป็นต้น ตัวอย่างของการเขียนการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างที่ปรากฏในชิ้นงานโลหะชนิดต่าง ๆ [19]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อมรศักดิ์ มาใหญ่ [23] รอยต่อเคาะระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 มีการใช้งานเพิ่มขึ้นในงานอุตสาหกรรมเนื่องจากการมีคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นของรอยต่อโลหะต่างชนิด ด้วยเหตุนี้การศึกษาหาค่าตัวแปรการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมรอยต่อเคาะที่อาจเป็นประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆ ควรมีการศึกษาต่อไป งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อเคาะเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 วัสดุในการทดลอง คือเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 แผ่นโลหะความหนา 3 mm. ถูกเตรียมให้มีขนาดกว้าง 100 mm. และ ยาว 200 mm. รอยต่อเคาะถูกทำการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมด้วยตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วยกระแสเชื่อม 80-120 A. ความเร็วเดินแนว 150-250 mm/min และมุมหัวเชื่อม 30-60° ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมถูกเตรียมด้วยวิธีการทางกลเพื่อทดสอบและตรวจสอบสมบัติต่างๆ ของรอยต่อเคาะประกอบด้วยการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค และมีการทดสอบความแข็ง ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเพิ่มกระแสเชื่อมส่งผลทำให้ค่าแรงพังทลาย การยึดตัวของรอยต่อ และความแข็งของโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงมุมหัวเชื่อมไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อตัวแปรของการเชื่อมที่ดีที่สุด คือที่กระแส 100 A. ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min และมุมเชื่อม 45° โครงสร้างจุลภาคบริเวณขอบเขตระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แสดงความไม่เข้ากันของโลหะทั้งสอง และเป็นจุดเริ่มการพังทลายของชิ้นทดสอบระยะห่างระหว่างแกนเดนไดรต์ทุติยภูมิของโครงสร้างจุลภาคโลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมและความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น และส่งผลโดยตรงทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้น

ศักดิ์ชัย จันทศรี [24] บทควมนี้มีจุดประสงค์เพื่อประยุกต์การเชื่อมมิกในการต่อรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 และศึกษาอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติของรอยเชื่อม ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเชื่อมมิกด้วยสภาวะการเชื่อมที่กำหนดสามารถทำให้เกิดแนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ในแนวเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสม

ที่ทำให้เกิดค่าความแข็งแรงสูงสุดประมาณ 400 MPa ที่กระแสไฟเชื่อม 110 A ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 mm/min การเพิ่มกระแสไฟเชื่อมส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงของพื้นที่กระแทกร้อนของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนมีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่กระแทกร้อนของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมและโลหะเชื่อม ผลที่เกิดขึ้นนี้ทำให้การพังทลายขึ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเกิดขึ้นที่ด้านแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบการรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าไร้สนิม และโลหะเชื่อม

ปริญญา แสงทอง [25] ได้ทำการศึกษาปัจจัยซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาพ และสมบัติทางกลของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โดยใช้กระบวนการเชื่อม MIG โดยมีปัจจัยคือ กระแสเชื่อม มี 3 ระดับ คือ 150 160 และ 170 Amp. แรงดันไฟฟ้ามี 3 ระดับคือ 20 22 และ 24 Volt และแก๊สอาร์กอนมี 2 ระดับ คือ ความบริสุทธิ์ของแก๊สอาร์กอน 99.990 % และความบริสุทธิ์ของแก๊สอาร์กอน 99.999 % ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อ ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดคือ กระแสเชื่อม แรงดันไฟฟ้า และแก๊สอาร์กอน ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวคือ กระแสเชื่อม แรงดันไฟฟ้า และแก๊สอาร์กอน ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก คือ กระแสเชื่อม แรงดันไฟฟ้า และแก๊สอาร์กอน ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก คือ กระแสเชื่อม แรงดันไฟฟ้าและแก๊สอาร์กอน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ฉัตรทอง ไสแสง [26] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อสมบัติทางกล และโครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304 การวิจัยเป็นการออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design ที่พารามิเตอร์ในการศึกษา ได้แก่ กระแสเชื่อม, ความเร็วในการเชื่อม และแก๊สปกคลุม โดยทำการศึกษาทางด้าน ความแข็งแรงดึงสูงสุด ความแข็งแรงดึงจุดคราก อัตราการยึดตัวและความแข็ง 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) ผลการศึกษาต่ออัตราการยึดตัว (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 และแก๊สปก

คลุ่ม ความสัมพันธ์ คือ กระแสเชื่อม* ความเร็ว* แก๊สปกคลุม โดยพารามิเตอร์การเชื่อมที่กระแสเชื่อม 90 แอมป์) ความเร็ว 300 มม. / นาที ปกคลุมด้วยแก๊ส $\text{Ar} + 5\%\text{H}_2$ มีค่าเท่ากับ 278.33 HV ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile) ที่มีค่ามากที่สุดกับชิ้นงานที่มีค่าต่ำสุด พบว่าลักษณะโครงสร้างของ Columnar Dendrite และการโตของเกรนในบริเวณ HA_2 มีความแตกต่างกันมาก กล่าวคือ ขนาดของ Columnar dendrite จะเล็กกว่า ในกรณีของชิ้นงานที่มี Ultimate Tensile สูงกว่า และขนาดของเกรนที่โตในบริเวณ HAZ ก็โตได้น้อยกว่า ส่วนโครเมียมคาร์ไบด์ (Cr_{23}C_6) สามารถเกิดขึ้นได้กับทั้งสอง

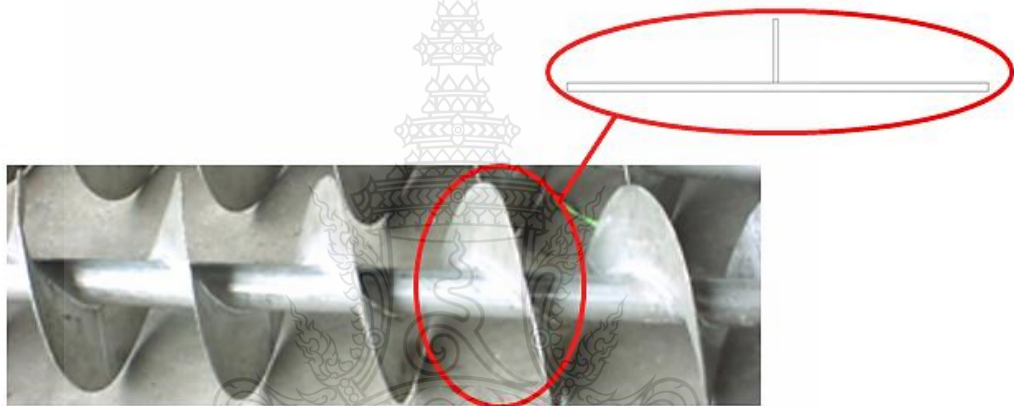
สรุปงานวิจัยที่กล่าวไว้ด้านบนพบว่า ตัวแปรในการเชื่อม เช่น กระแสเชื่อม, ความเร็วเดินเชื่อม มุมเชื่อม ชนิดของแก๊สคลุม อัตราการไหลของแก๊สคลุม มีผลต่อสมบัติทางกลของโลหะเชื่อม ทำให้สมบัติทางกลของโลหะเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อเปลี่ยนตัวแปรการเชื่อมดังกล่าว ดังนั้นในการทดลองเชื่อมรอยต่อวัสดุโลหะต่างชนิดควรมีการศึกษาอย่างเป็นระบบเพื่อเป็นการกำหนดตัวแปรในการศึกษาให้เหมาะสมกับรอยต่อเฉพาะอย่างในอนาคตต่อไป



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

เนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึง การศึกษากรรมวิธีการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม การเตรียมชิ้นงานเชื่อม การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเชื่อม การเชื่อมชิ้นงานทดสอบ การเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล โดยการทดสอบความต้านทานแรงคัดและการทดสอบความแข็งแรงไมโครวิกเกอร์ส ตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค ซึ่งงานวิจัยเล่มนี้ทำการเชื่อมแบบตัวที่ โดยอ้างอิงจากเกลียวลำเลียงของเครื่องเกี่ยววนดข้าวดังรูปที่ 3.1 และ โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงการอ้างอิงรูปแบบการเชื่อมกับเกลียวลำเลียงของเครื่องเกี่ยววนดข้าว

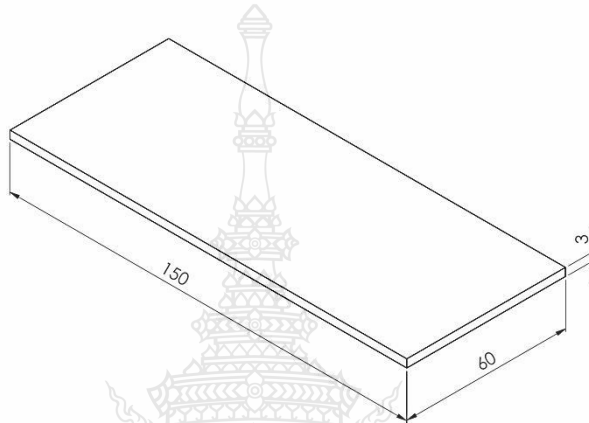
3.1 การศึกษากรรมวิธีการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม

การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เป็นกระบวนการเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมสั่นเปลือง (Consumable Electrode) ขนาดเล็กจากม้วนลวด (Spool) ซึ่งจะถูกป้อนผ่านหัวเชื่อมออกมาอย่างต่อเนื่องผ่านท่อนำลวดและท่อนำกระแส (Contact Tip) เมื่อปลายลวดแตะกับผิวของชิ้นงานจะเกิดการอาร์คขึ้น ความร้อนจากการอาร์คจะหลอมชิ้นงาน และลวดเชื่อมเข้าด้วยกันเดิมลงไปเป็นแนวเชื่อมขณะเดียวกันแก๊สเฉื่อยจากถังบรรจุ จะไหลเข้าท่อย้ายสู่หัวฉีดพุ่งออกมาปกคลุมบ่อหลอมเหลว บริเวณรอบปลายอาร์คเพื่อทำหน้าที่เป็นม่านป้องกันไม่ให้ออกซิเจนหรือแก๊สอื่นๆ ในบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับโลหะที่หลอมเหลว แก๊สเฉื่อยที่ใช้ในการเชื่อมได้แก่ แก๊สอาร์กอน แก๊สฮีเลียม และอาจจะเป็นแก๊สผสม เช่น อาร์กอนผสมฮีเลียม หรือ อาร์กอนผสมคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

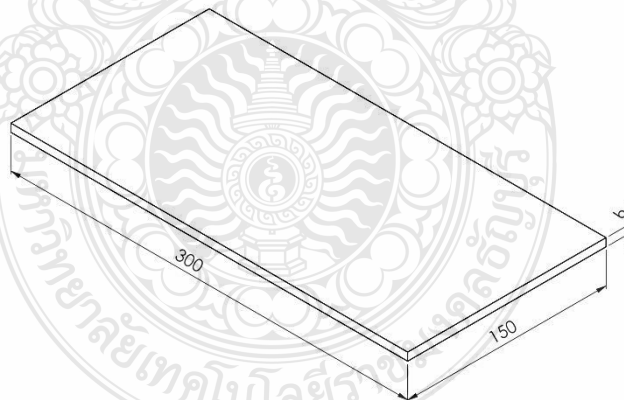
3.2 การเตรียมชิ้นงาน

ในการจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จะใช้ในกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมทางผู้ทำการศึกษาได้แยกหัวข้อการเตรียมงานไว้ดังต่อไปนี้

3.2.1 เตรียมชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ขนาด $50 \times 100 \times 3$ มิลลิเมตร และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ขนาด $150 \times 300 \times 6$ มิลลิเมตร ตัดด้วยเครื่องเลื่อยสายพาน

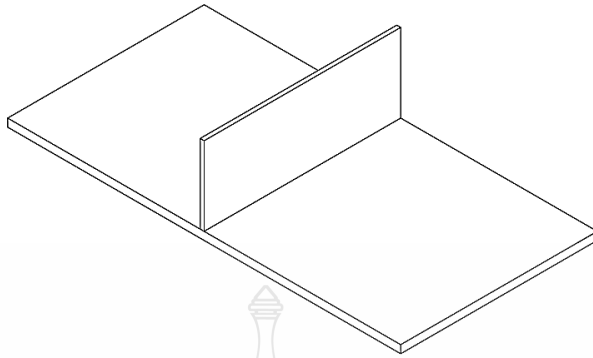


(ก) เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304



(ข) แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400

รูปที่ 3.2 แสดงขนาดของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการเชื่อมของโลหะ

3.3 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเชื่อม

ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เชื่อมชิ้นงานทดลองโดยใช้หัวเชื่อมประกอบเข้ากับเครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงเพื่อให้เกิดการเชื่อมแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะเครื่องตัดแก๊สแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะเครื่องเชื่อม

3.4 การเชื่อมชิ้นงานทดสอบ

3.4.1 เตรียมเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ โดยการเปิดเครื่องเชื่อม เช็คส่วนผสมของแก๊ส เช็คอัตรา
การป้อนลวดเชื่อม และเช็คกระแสที่ใช้เชื่อม



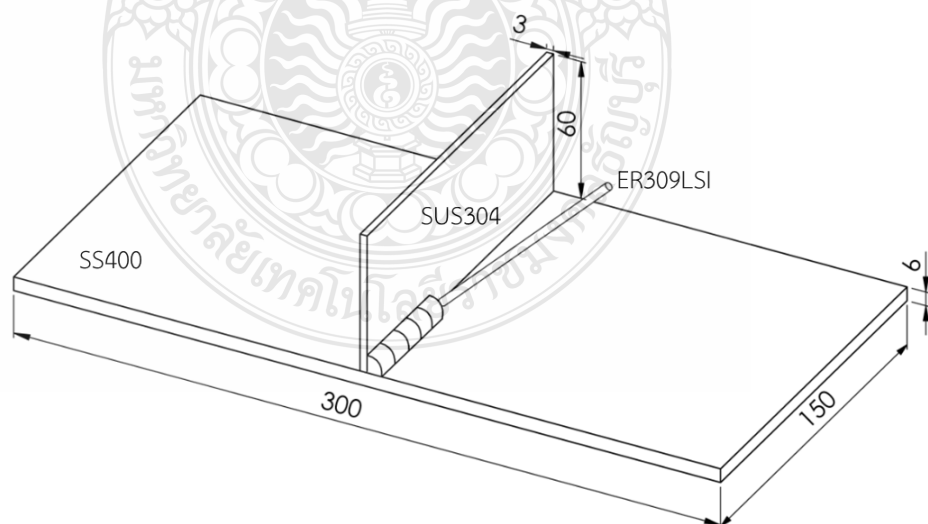
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการตั้งค่าเครื่อง

3.4.2 นำแผ่นชิ้นงานที่ตัดเสร็จเรียบร้อยแล้วมาทำการจับยึดชิ้นงานโดยนำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 วางบนแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ในลักษณะตั้งฉากเป็นรูปตัวที จากนั้นทำการขันยึดให้แน่น แสดงดังรูปที่ 3.5

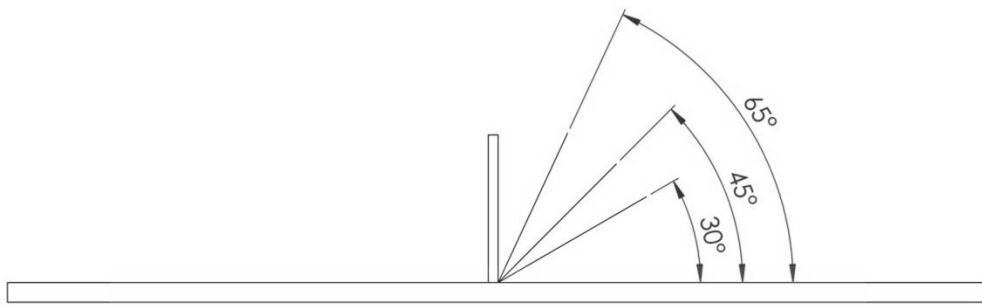


รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะการจับยึดชิ้นงาน

3.4.3 เชื่อมโลหะชิ้นงานด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 99.99% ลวดเชื่อม ER309LSi ขนาด 1.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการเชื่อม



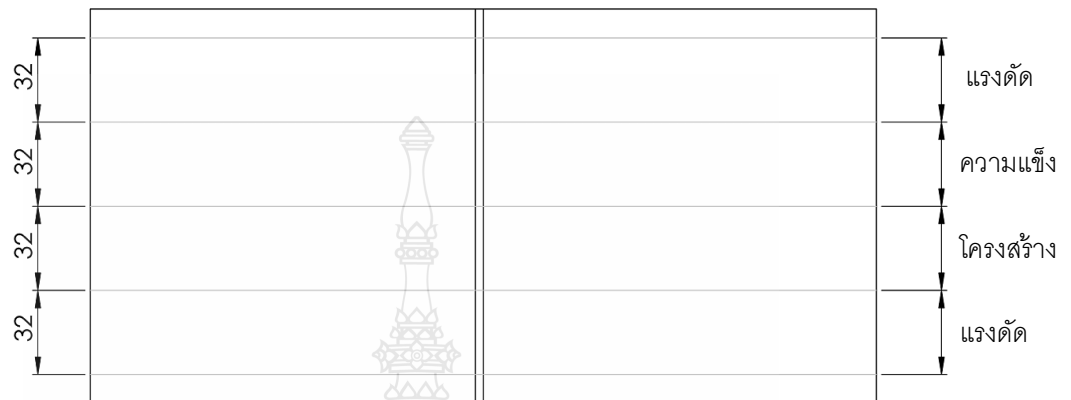
รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะมุมในการเชื่อม



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะชิ้นงานเชื่อม

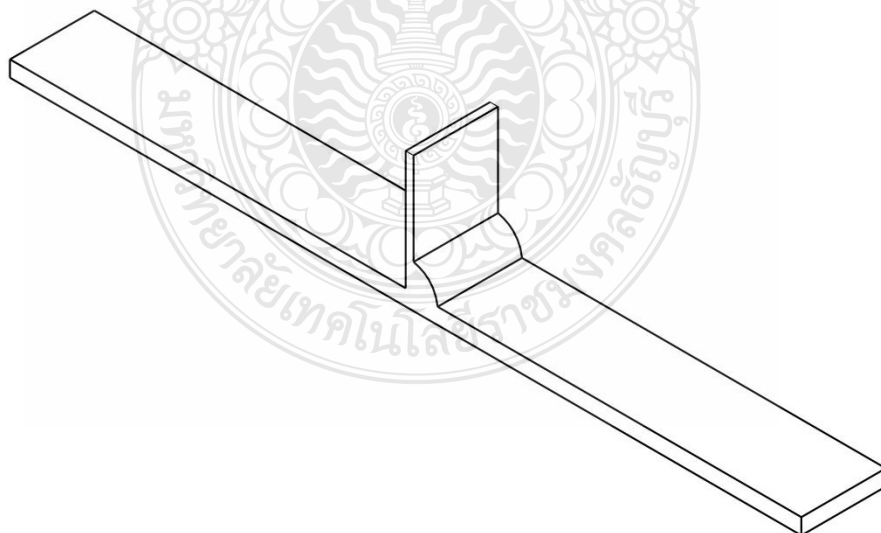
3.5 การเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล

3.5.1 นำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม มาทำการตัดตามขนาดเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาต่อไป แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะการตัดชิ้นงานทดสอบ

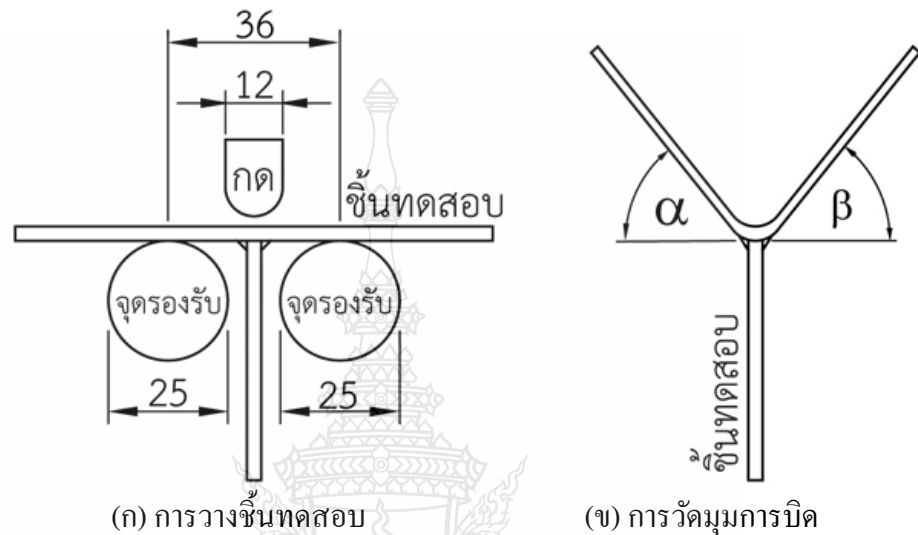
3.5.2 การเตรียมชิ้นทดสอบแรงดัดตามมาตรฐาน JIS Z 3134



รูปที่ 3.12 การเตรียมชิ้นงานทดสอบขนาด 32 มิลลิเมตร

3.6 การทดสอบแรงดัดโค้ง

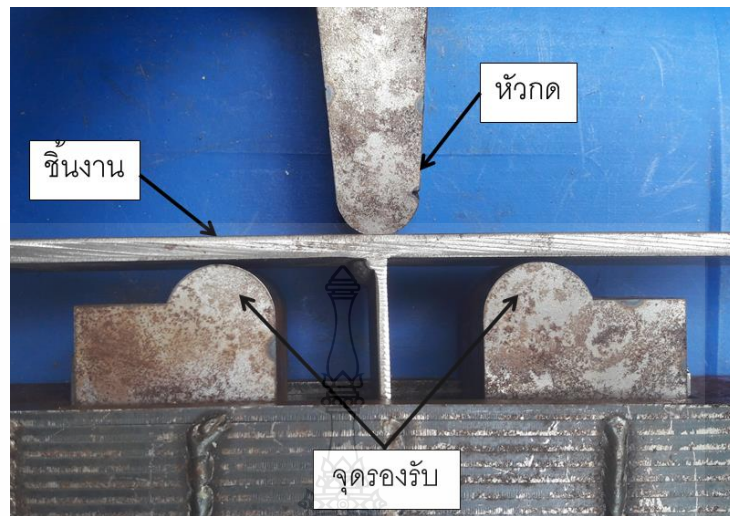
การทดสอบแรงดัดตามมาตรฐาน JIS Z 3134 โดยให้มุมรวมจากการดัดเป็น 120 องศา ดังรูปที่ 3.10 โดยสร้าง Jix Fixture มาประยุกต์ใช้กับเครื่องอัดไฮดรอลิก ดังรูปที่ 3.11



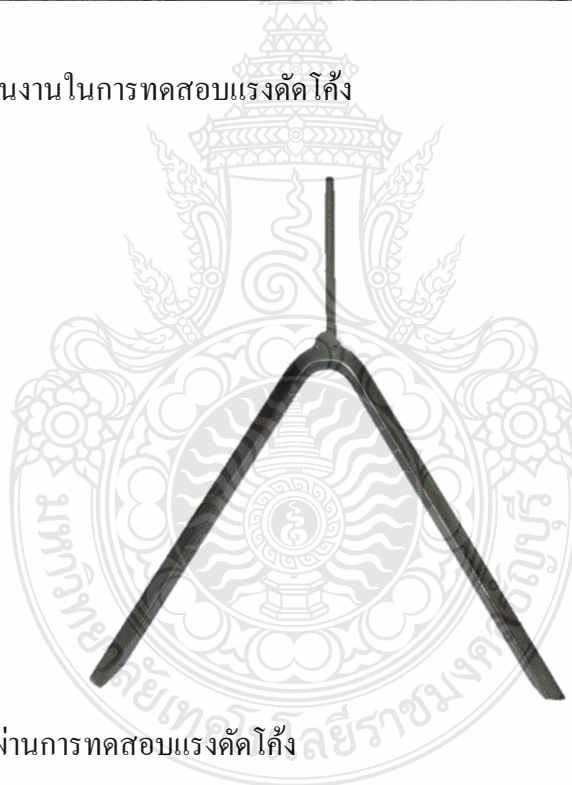
รูปที่ 3.13 แบบทดสอบแรงดัดโค้งตามมาตรฐาน JIS Z 3134



รูปที่ 3.14 เครื่องอัดไฮดรอลิก



รูปที่ 3.15 ลักษณะชิ้นงานในการทดสอบแรงดัดโค้ง



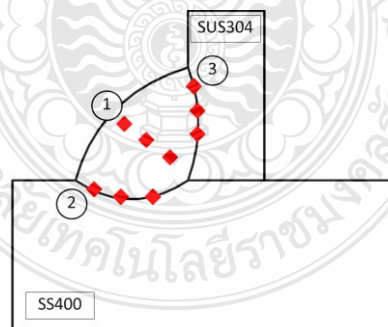
รูปที่ 3.16 ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงดัดโค้ง

3.7 การทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์



รูปที่ 3.17 เครื่องวัดความแข็งไมโครวิกเกอร์

การทดสอบความแข็ง (Hardness testing) ของแนวเชื่อมทำได้โดยใช้การทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งดังรูปที่ 3.14 อ้างอิงการทดสอบตาม JIS Z3114 [27] โดยกำหนดให้ใช้แรงกดทดสอบที่ 300 gf และเวลากดแช่ 10 วินาที ตำแหน่งระยะห่างการทดสอบในแต่ละแนวมีค่าประมาณ 0.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งของการกดวัดความแข็ง

1. บริเวณ โลหะเชื่อม (Welding Zone)
2. บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอน 400 (HAZ SS 400)
3. บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 (HAZ SUS 304)

3.7.1 ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) เปิดเครื่องทดสอบทดสอบความแข็งและทำการปรับแรงกด (load) 0.3 kgf จากนั้นนำชิ้นงานที่จะทดสอบมาทำการทดสอบความแข็งบนเครื่องทดสอบ



รูปที่ 3.19 การปรับ (load) 300 กรัม

- 2) ทำการเล็งตำแหน่งที่ต้องการกดจากนั้นทำการกดเวลาประมาณ 30 วินาที



รูปที่ 3.20 เครื่องวัดความแข็งไมโครวิกเกอร์ส

3.8 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

3.8.1 ตัดชิ้นงานและการตรึงชิ้นงาน



(ก) เครื่องตัดชิ้นงาน



(ข) ชิ้นงานที่ตัดทำการตรวจสอบโครงสร้าง



(ค) ทำการจับยึดชิ้นงานด้วยเรซิน

รูปที่ 3.21 การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบ โครงสร้าง



รูปที่ 3.22 ชิ้นงานที่ทำการขึ้นเรือนแล้ว

3.8.2 ขัดผิวชิ้นงานจะใช้กระดาษทรายน้ำ ดัดบนเครื่องขัดแบบจานหมุน เริ่มขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180 220 320 400 600 800 1000 และ 1200 ต้องขัดทิศทางเดียวกันตลอด ผิวชิ้นงานแล้วหมุนไปมุม 90 องศา โดยให้น้ำไหลผ่านชิ้นงานตลอดเวลา



รูปที่ 3.23 การขัดชิ้นงานตรวจสอบ โครงสร้างมหภาค

3.8.3 หลังจากขัดกระดาษทรายแล้วนำชิ้นงานมาขัดบนผ้าสักหลาด ซึ่งมีผงขัดได้แก่ ผงอะลูมินา ผสมกับน้ำแล้วฉีดลงบนผ้าสักหลาดก่อนนำชิ้นงานลงขัด ซึ่งผงอะลูมินา ที่ใช้โดยทั่วไปมีขนาดประมาณ 0.3 และ 0.05 ไมโครเมตร ในการขัดผงต่างๆ เหล่านี้โดยทั่วไปจะต้องทำการขัดจนกว่าผิวชิ้นงานเรียบ และไม่มีรอยต่างๆ ปรากฏที่ผิวชิ้นงาน ชิ้นงานจะมีความเงาใสคล้ายกระจก



รูปที่ 3.24 ฟองอะลูมินา

3.8.4 เมื่อจัดชิ้นงานด้วยผ้าสักหลาดแล้ว นำชิ้นงานมาล้างทำความสะอาด เป่าผิวหน้าชิ้นงานให้แห้งด้วยไดร์เป่าผม จากนั้นนำชิ้นงานมากัดผิวด้วยกรด $\text{HNO}_3 + \text{HCl} + \text{น้ำกลั่น}$ ประมาณ 5 – 60 วินาที จากนั้นทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น แล้วเป่าให้แห้ง



รูปที่ 3.25 ขั้นตอนการกัดกรด

3.8.5 นำชิ้นงานไปส่องกล้องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 1 เท่า จัดเก็บข้อมูลภาพโครงสร้างและวิเคราะห์ผล



(ก) กล้องขยายกำลังต่ำ



(ข) กล้องจุลทรรศน์แบบแสง

รูปที่ 3.26 อุปกรณ์การตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา

3.8.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Energy Dispersive X - ray Spectroscopy: EDS)

เป็นการวิเคราะห์หาองค์ประกอบธาตุ โดยการตรวจสอบวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ร่วมกับการใช้กล้องจุลทรรศน์ SEM ร่วมกับเทคนิคการ EDS/ EDX เพื่อให้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบและการมีอยู่ของธาตุบนพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างได้อย่างละเอียดและมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยใช้เครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.27 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) [28]

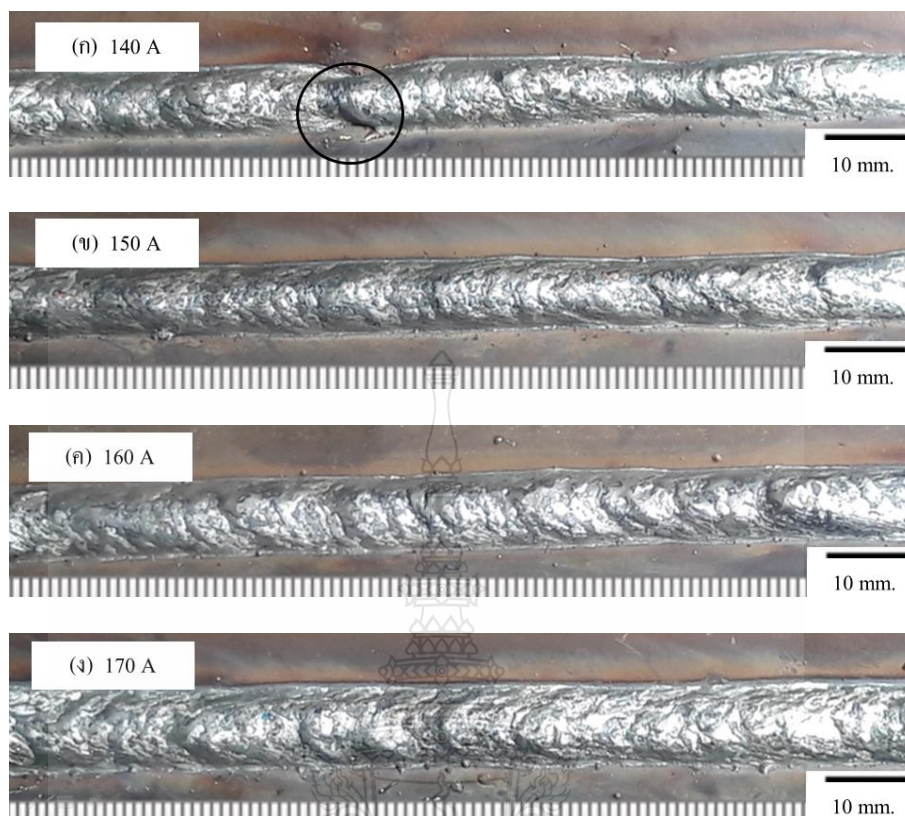
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมรอยต่อตัวที่เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่มีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยา มีความเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 มีขนาดกว้าง 150 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตรหนา 6 มิลลิเมตร และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ขนาดกว้าง 60 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร วางชิ้นงานในตำแหน่งทำราบโดยใช้ลวดเชื่อม AWS.A5.9 ER309LSI ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร แก๊สคลุมคือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวแปรที่ทำการทดลองในการเชื่อมประกอบด้วย กระแสไฟเชื่อม มุมเชื่อม และความเร็วเดินแนวเชื่อม ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม นำมาทำการตรวจความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมด้วยตาเปล่าบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม ทดสอบสมบัติทางกล โดยการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macro Structure) โครงสร้างจุลภาค (Micro Structure) ทดสอบแรงดัดโค้ง (Bending testing) ทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน JIS Z 3134 ทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers Hardness Test) ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

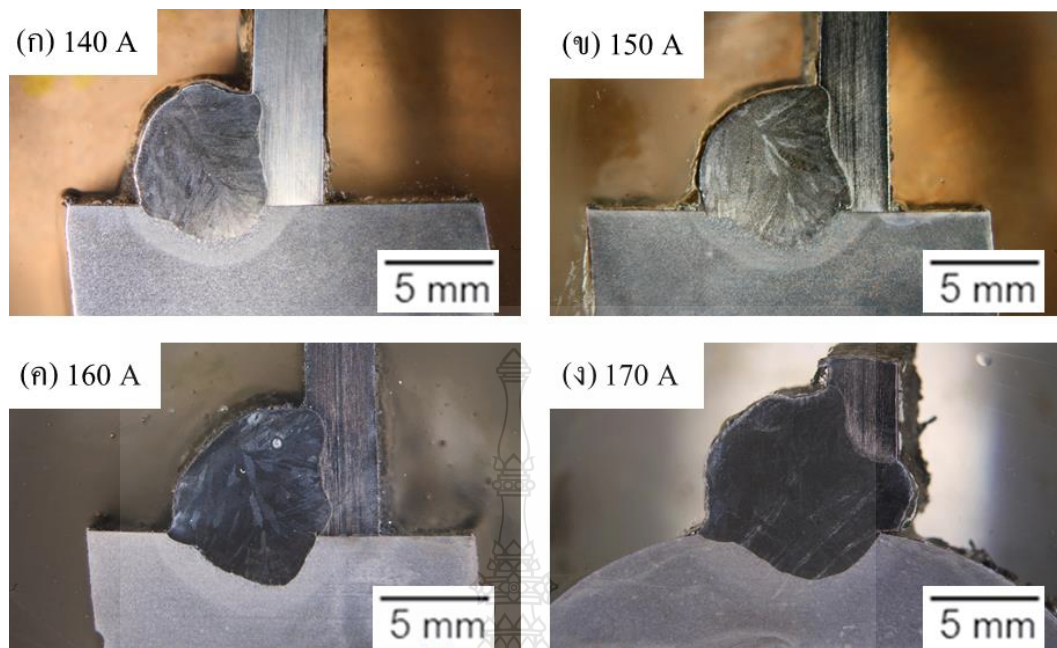
4.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อตัวที่

รอยต่อตัวที่เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ตัวแปรในการเชื่อมประกอบด้วยกระแสเชื่อม 140 A – 170 A มีมุมในการเชื่อม 45 ° ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที รอยต่อที่ได้ถูกนำมาทดสอบสมบัติทางกล โดยทำการทดสอบแรงดัดโค้ง ความแข็ง และตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

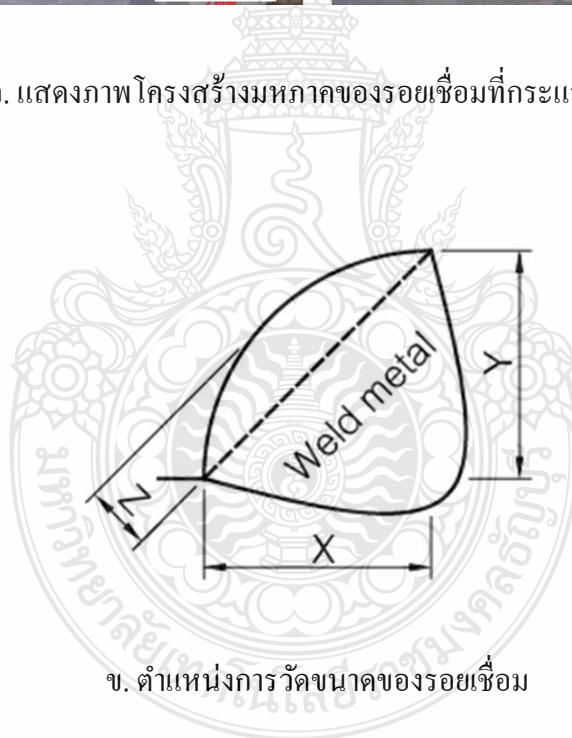


รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะพื้นผิวของโลหะเชื่อมที่กระแส 140-170 A

ผิวหน้าแนวเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมที่แตกต่างดัง รูปที่ 3 พบความแตกต่างของผิวหน้าแนวเชื่อม เมื่อกระแสเชื่อมมีค่าต่ำ 140 A ลักษณะแนวเชื่อมมีความไม่ต่อเนื่องดังแสดงโดยวงกลมใน รูปที่ 4.1 (ก) ความไม่ต่อเนื่องนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการอาร์กที่ไม่สม่ำเสมอในขณะที่ทำการเชื่อม นอกจากนั้น การอาร์กที่ไม่สม่ำเสมอนี้ทำให้ความกว้างของแนวเชื่อมนั้นไม่สม่ำเสมอ ความเสถียรของการอาร์ก เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเชื่อมด้วยกระแส 150 A ความกว้างของแนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นดัง รูปที่ 4.1 (ข) เมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 140 A ค่าความกว้างและความสม่ำเสมอของ แนวเชื่อมมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มเป็น 160 และ 170 A ตามลำดับดังรูปที่ 4.1 (ค) และ (ง) การสม่ำเสมอของความกว้างของแนวเชื่อมและความราบเรียบของแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นเมื่อกระแส เชื่อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความร้อนขาเข้า (Heat input) ที่เพิ่มขึ้นในบ่อหลอมละลายมีค่าสูงกว่าและมี เวลาที่พอเพียงทำให้เกิดการหลอมละลายที่สมบูรณ์กว่า ผลการทดลองนี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกันในการ เชื่อมเลเซอร์เหล็กกล้าคาร์บอนที่แสดงความสม่ำเสมอและการหลอมละลายที่สูงกว่าเมื่อความร้อนขา เข้าของการเชื่อมเลเซอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานเลเซอร์และความเร็วเดินแนวเชื่อมลดลง [29]

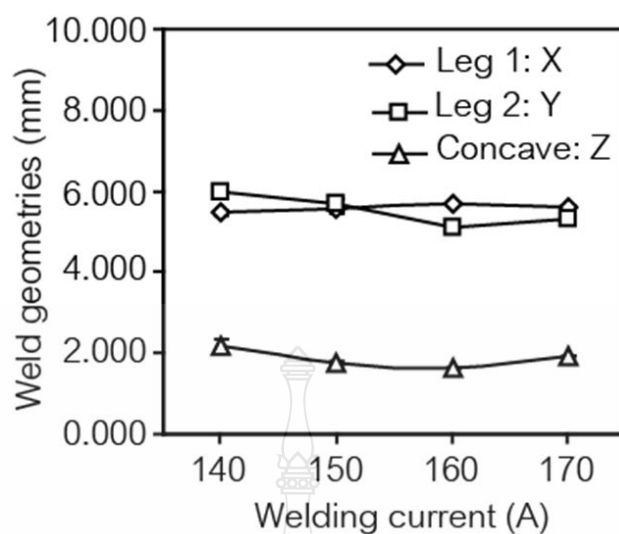


ก. แสดงภาพโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสต่างๆ



ข. ตำแหน่งการวัดขนาดของรอยเชื่อม

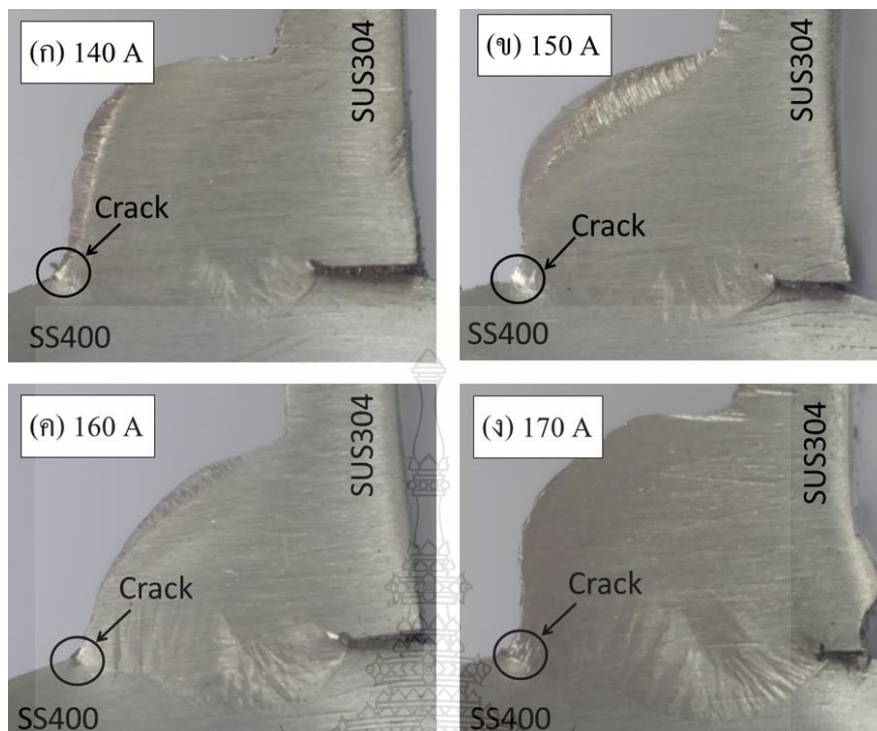
รูปที่ 4.2 แสดงภาพโครงสร้างมหภาคและตำแหน่งการวัดขนาดของรอยเชื่อม



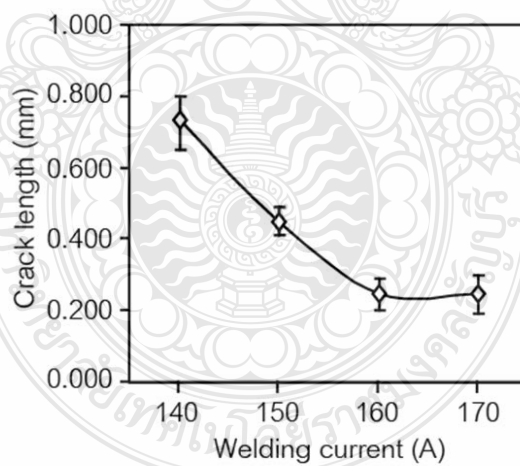
รูปที่ 4.3 แสดงขนาดของรอยเชื่อมต่อตัวที่

รูปที่ 4.2 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อตัวที่ที่เชื่อมด้วยมุม 30° , 45° และ 60° ซึ่งรอยต่อตัวที่แสดงความสมบูรณ์ของโลหะเชื่อม จุดบกพร่องต่างๆที่เกิดจากการเชื่อมไม่สามารถตรวจสอบพบได้ในตำแหน่งโลหะเชื่อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบขนาด รูปร่างของรอยต่อ เกยซึ่งประกอบไปด้วย ขนาดความกว้างผิวแนวเชื่อม , ขนาดคอแนวเชื่อม และระยะซึมลึกของแนวเชื่อม โดยมีลักษณะการตรวจสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข)

รูปที่ 4.2 (ข) แสดงภาพร่างการวัดส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างมหการอยต่อตัวที่ซึ่งประกอบด้วยความกว้างของฐานโลหะเชื่อม (Weld toe) ของด้านรอยต่อตัวที่ (ระยะ X และ Y) และความนูนของแนวเชื่อม (ระยะ Z) เมื่อพิจารณาโครงสร้างมหการอยต่อตัวที่ของการเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 160 A ดัง รูปที่ 4.2 (ก) พบค่าการวัดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 140 ถึง 170 A ดังรูปที่ 4.3 ความกว้างของฐานโลหะเชื่อมแผ่นล่าง (ระยะ X) และความนูนของโลหะเชื่อม (ระยะ Z) มีค่าลดลงเมื่อกระแสเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 140-160 A และเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อกระแสเปลี่ยนแปลงเป็น 170 A นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาความกว้างของฐานโลหะเชื่อมแผ่นบน (ระยะ Y) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น



ก. แสดงตำแหน่งของรอยแตกร้าว

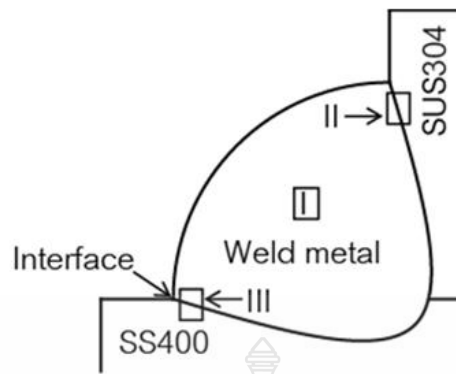


ข. ความยาวรอยแตกร้าวที่กระแสเชื่อมต่างๆ

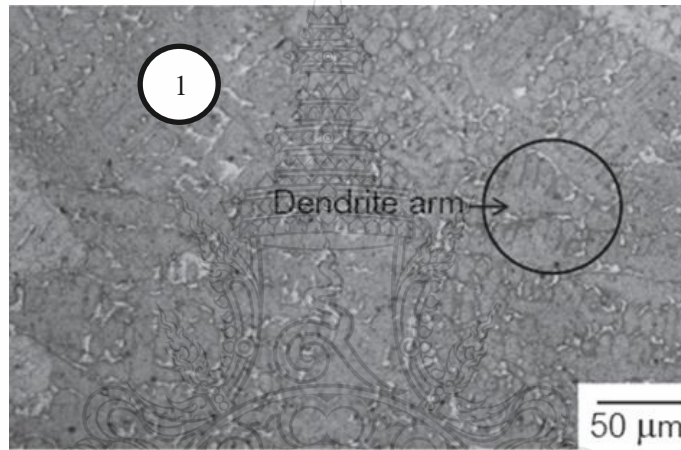
รูปที่ 4.4 แสดงขนาดและรอยแตกร้าวจากการทดสอบการตัดโค้ง

รอยต่อตัวที่ทำการเชื่อมด้วยกระแส 140 150 160 และ 170 A นำไปทำการทดสอบการตัดโค้ง พบว่าชิ้นงานสามารถทำการตัดโค้งให้มีมุมรวมมากกว่า 120° เมื่อทำการตรวจสอบรอยต่อด้วยกล้องขยายต่ำและได้ภาพดังรูปที่ 4.4 (ก) พบว่าเกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กที่บริเวณฐานโลหะเชื่อม (Weld toe) ที่โลหะแผ่นล่างหรือเหล็กกล้าคาร์บอนและแนวเชื่อม รอยแตกร้าวที่พบนั้นเกิดขึ้นในชิ้นทดสอบการตัดโค้งที่ผ่านการัดจนชิ้นงานมีมุมรวม 120° เท่านั้น เมื่อวัดความยาวรวมของรอยแตกร้าวในชิ้นทดสอบที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 140 ถึง 170 A พบความยาวของรอยแตกร้าวมีค่าลดลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 140 ถึง 160 A และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 170 A ดังรูปที่ 4.4 (ข) เมื่อเปรียบเทียบกับเกิดการแตกร้าวที่ฐานโลหะเชื่อมด้านล่างของชิ้นทดสอบการตัดโค้งดัง รูปที่ 4.3 (ค) พบความสัมพันธ์ที่สามารถตอบคำถามได้ว่า เมื่อโลหะมีความหนูนของโลหะเชื่อมและความกว้างของฐานโลหะเชื่อมด้านล่างเพิ่มขึ้นสามารถส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายในโลหะเชื่อมรอยต่อตัวที่

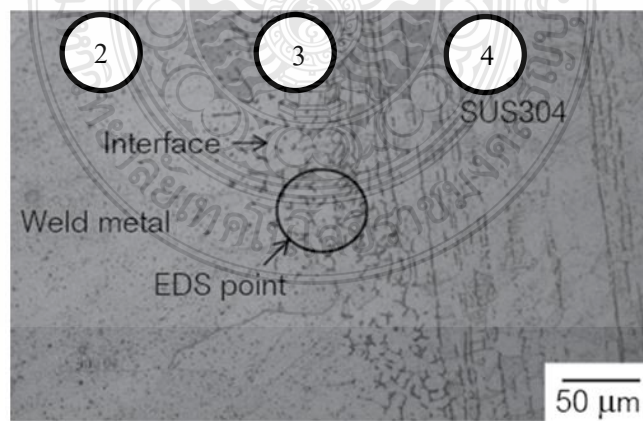




ก. ตำแหน่งการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

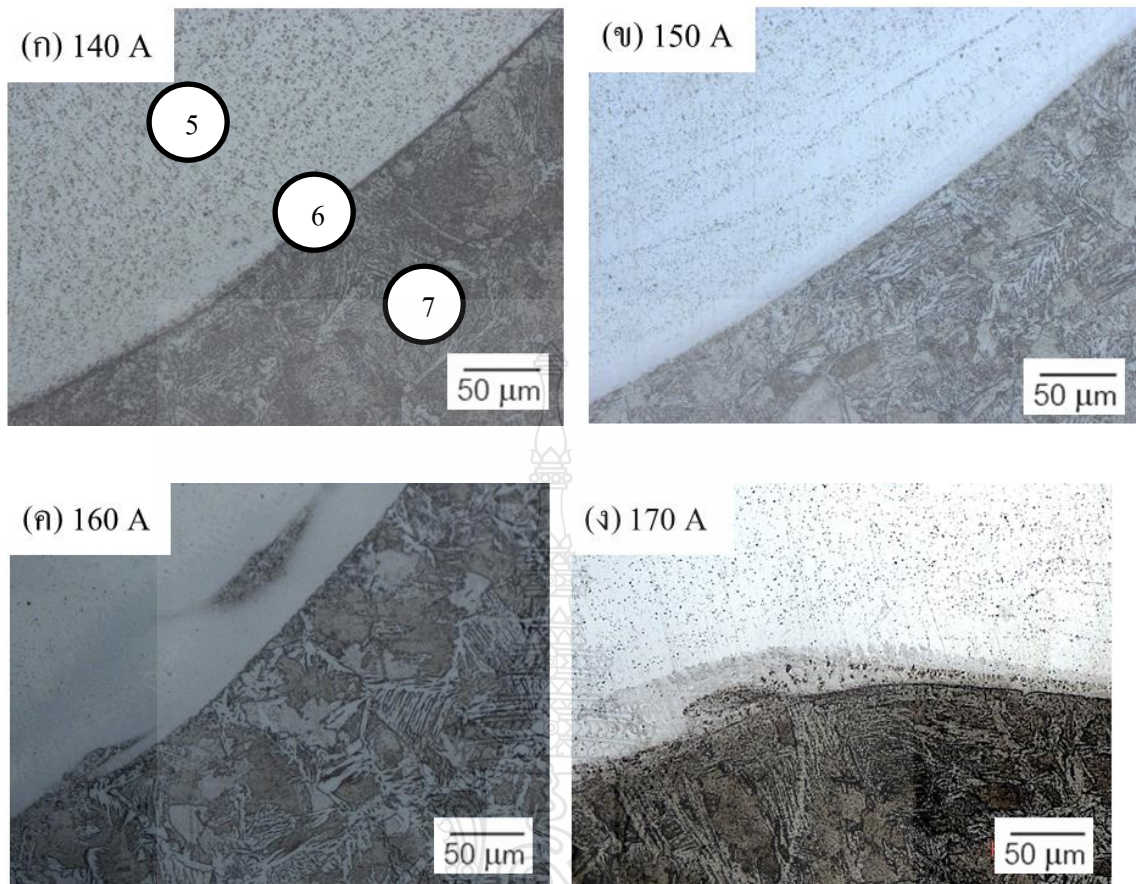


ข. โลหะเชื่อม



ค. ผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและ SUS304

รูปที่ 4.5 แสดงโครงสร้างจุลภาค



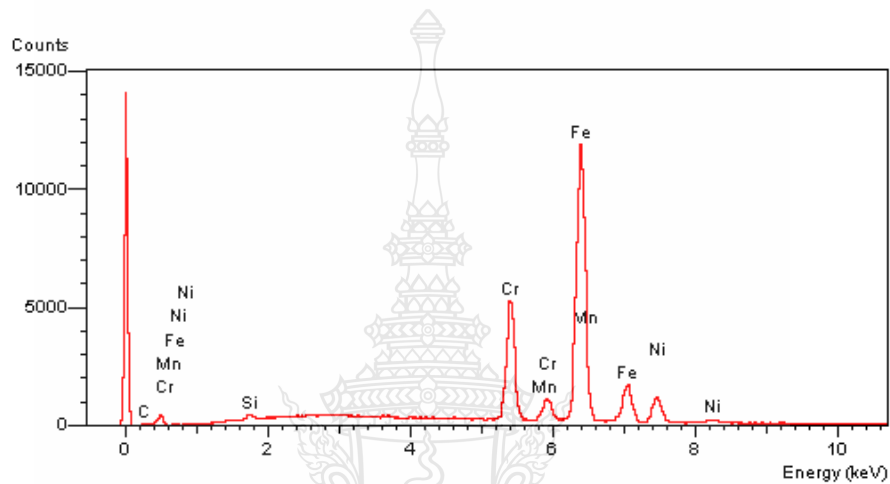
รูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อตัวที่ SS400/SUS304 ที่กระแส 140-170 A.

การตรวจสอบเพื่อเข้าใจสาเหตุของการเกิดการแตกร้าว รอยต่อตัวที่ถูกนำไปทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค โดยกำหนดให้มีการตรวจสอบ 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.4(ก) ซึ่งประกอบด้วย โลหะเชื่อมตำแหน่งที่ I ผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐาน SUS 304 ตำแหน่งที่ II และผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐาน SS400 ตำแหน่ง III

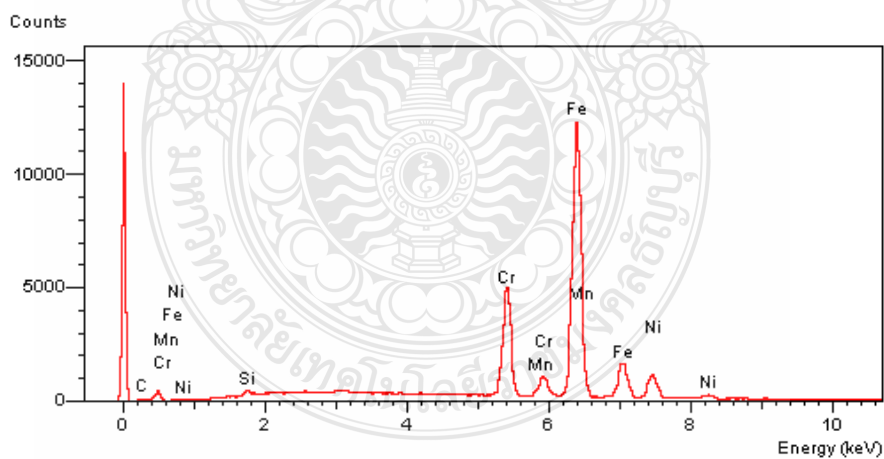
ตำแหน่ง I พบว่า แสดงโครงสร้างเดนไดรต์ของโลหะเชื่อมที่เกิดจากการเย็นตัวไม่สมดุล หรือการเย็นตัวเร็วของโลหะเชื่อมหลอมเหลวที่ได้รับความร้อนจากการอาร์กของลวดเชื่อมกับชิ้นงาน จากสถานะของเหลวสู่สถานะของแข็งของโลหะ โครงสร้างเดนไดรต์ที่ก่อตัวมีความแข็งสูงและส่งผลทำให้เกิดสมบัติทางกลและส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อมไม่สมดุล เมื่อทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีที่ตำแหน่งโครงสร้างเดนไดรต์และช่องว่างระหว่างแกนเดนไดรต์ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาปริมาณของธาตุเสริมความแข็งแรง คือโครเมียม แมงกานีส นิกเกิล และซิลิกอน พบว่าปริมาณของธาตุเหล่านี้มีค่าสูงกว่าในพื้นที่ของเดนไดรต์ [30]

ตารางที่ 4.1 ส่วนผสมทางเคมีของโครงสร้างเดนไดรต์ในโลหะเชื่อม

Analytical area (Element: wt%)	Si	Cr	Mn	Fe	Ni
Dendrite arm	0.37	18.16	1.68	69.7	10.09
Dendrite arm spacing	0.41	17.29	1.51	70.79	10.00



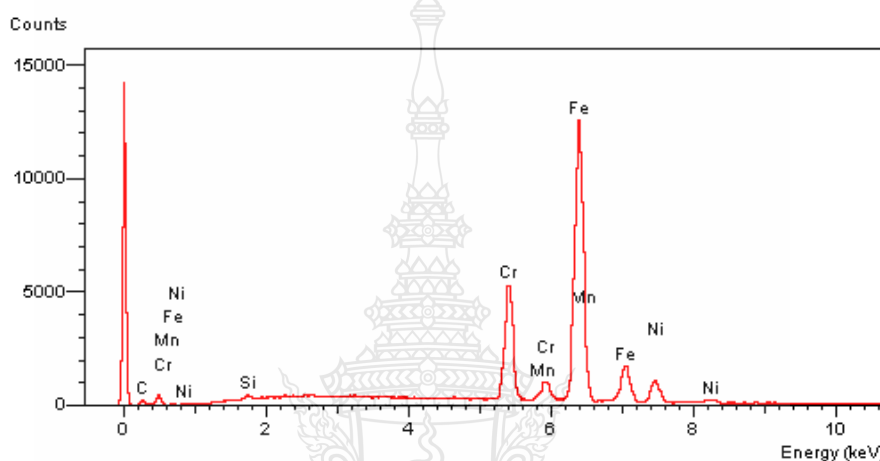
ก. กราฟการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณของ Dendrite arm



ข. กราฟการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณของ Dendrite arm spacing

รูปที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณ

ตำแหน่ง II พบว่า บริเวณโลหะเชื่อมประกอบด้วยโครงสร้างเดนไดรท์ของลวดเชื่อม (ตำแหน่ง2) ที่เกิดการหลอมละลายและแข็งตัวในบ่อหลอมละลายการเชื่อม โครงสร้างเดนไดรท์มีขนาดเล็กลงเมื่อตำแหน่งการตรวจสอบเข้าใกล้ผิวสัมผัสของรอยต่ออินเตอร์เฟซ(ตำแหน่ง3) ลักษณะของผิวสัมผัสที่พบไม่มีการแบ่งแยกเป็นเส้นชัดเจนแต่เป็นผิวสัมผัสที่เป็นพื้นที่การรวมกันระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SUS304(ตำแหน่ง4) การเกิดการรวมกันนี้เกิดขึ้นเนื่องจากโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SUS304 เป็นเหล็กกล้าผสม โครเมียมที่มีส่วนผสมทางเคมีที่ใกล้เคียงกันดัง ตารางที่ 4.2 (1)

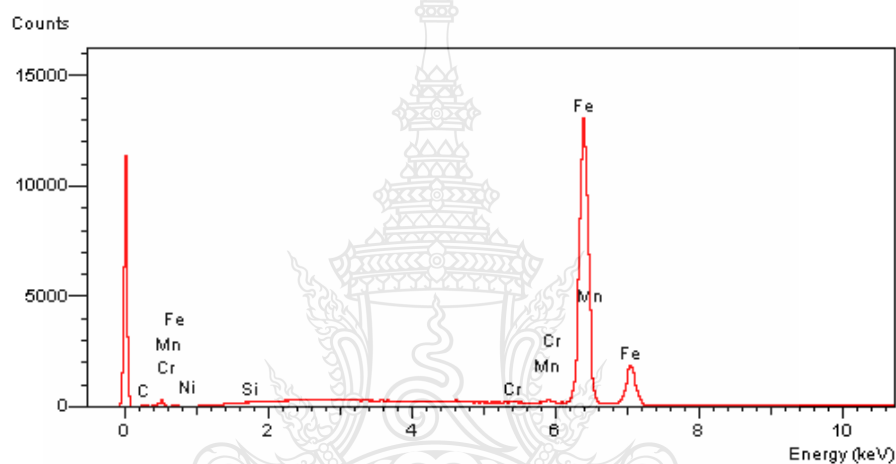


รูปที่ 4.8 กราฟการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณของ Weld metal/SUS304 Interface

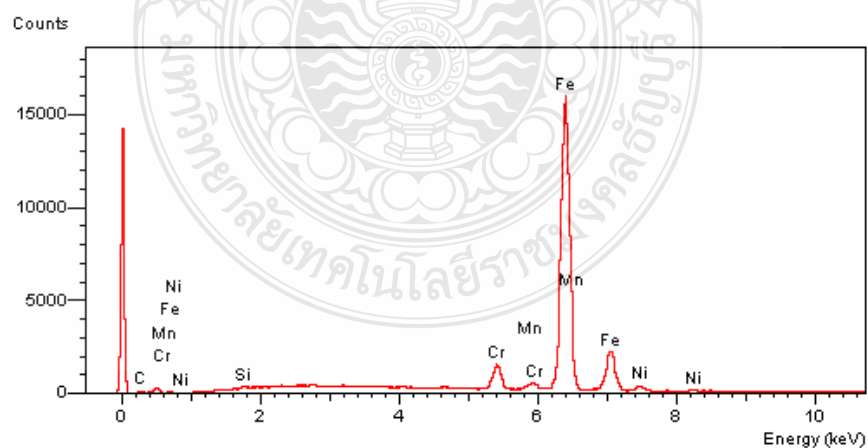
ตำแหน่งที่ III พบว่า ผิวสัมผัสของรอยต่อตัวที่ระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SS400 มีความแตกต่างจากผิวสัมผัสของรอยต่อตัวที่ระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SUS304 ดัง รูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงลักษณะของผิวสัมผัสที่เป็นเส้นบาง(ตำแหน่ง6)แบ่งแยกชัดเจนระหว่างโลหะเชื่อม(ตำแหน่ง5)และเหล็กกล้า SS400(ตำแหน่ง7) [23] การเกิดลักษณะนี้เนื่องจากส่วนผสมของเหล็กกล้าต่างชนิดและมีส่วนผสมทางเคมีต่างกัน ธาตุเสริมความแข็งแรงที่มีปริมาณสูงในโลหะเชื่อมไม่สามารถเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ได้น้อยเพื่อเข้าไปรวมตัวกับเหล็กกล้า SS400 ซึ่งมีปริมาณของธาตุเสริมความแข็งแรงต่ำได้ รูปแบบของผิวสัมผัสที่เกิดขึ้นนี้พบได้เมื่อทำการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าต่างชนิด SS400/SUS304 [31] ส่วนผสมทางเคมีของพื้นที่รวมตัวกันขนาดเล็กบริเวณผิวสัมผัสดัง รูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 มีค่าค่อนข้างต่ำส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของพื้นที่นี้ต่ำกว่าและส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวที่บริเวณผิวสัมผัสที่ตำแหน่ง III ดังรูปที่ 4.4 (ก) ผิวสัมผัสที่แบ่งแยกชัดเจนระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้านี้สามารถพบได้ในการเชื่อมรอยต่อด้วยกระแสเชื่อม 140 150 และ 170 A เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของส่วนผสมทางเคมีของธาตุเสริมความแข็งแรงในพื้นที่ผิวสัมผัสพบว่าธาตุต่างๆ เหล่านี้มีค่าลดลงดัง ตารางที่ 4.2 และเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการแตกร้าวมีความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจาก 160 A

ตารางที่ 4.2 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อม/โครงสร้างโลหะฐาน

Analytical area (Element: wt%)	Si	Cr	Mn	Fe	Ni
Weld metal/SUS304 Interface	0.36	18.01	1.12	71.74	8.77
Weld metal/SS400 Interface of 140 A	0.05	2.65	0.51	95.13	1.66
Weld metal/SS400 Interface of 150 A	0.09	3.89	0.70	93.31	2.01
Weld metal/SS400 Interface of 160 A	0.11	4.27	0.81	92.36	2.45
Weld metal/SS400 Interface of 170 A	0.05	3.99	0.77	93.18	2.01

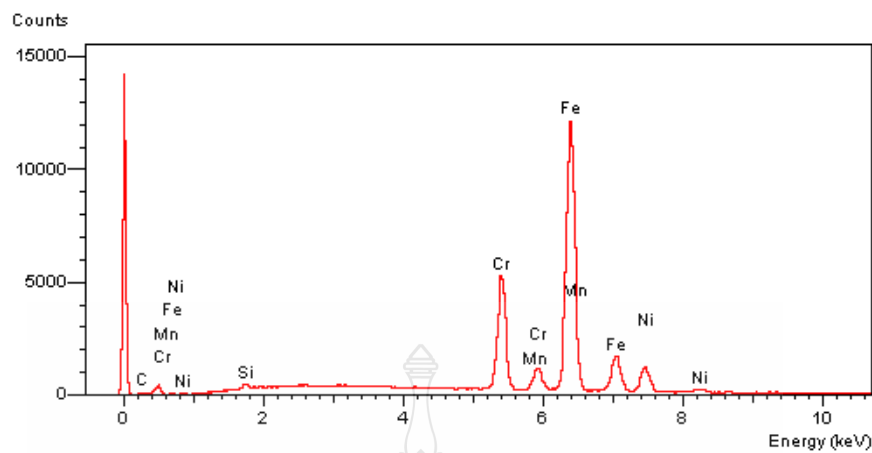


ก. กราฟการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณของ Weld metal/SS400 Interface of 140 A

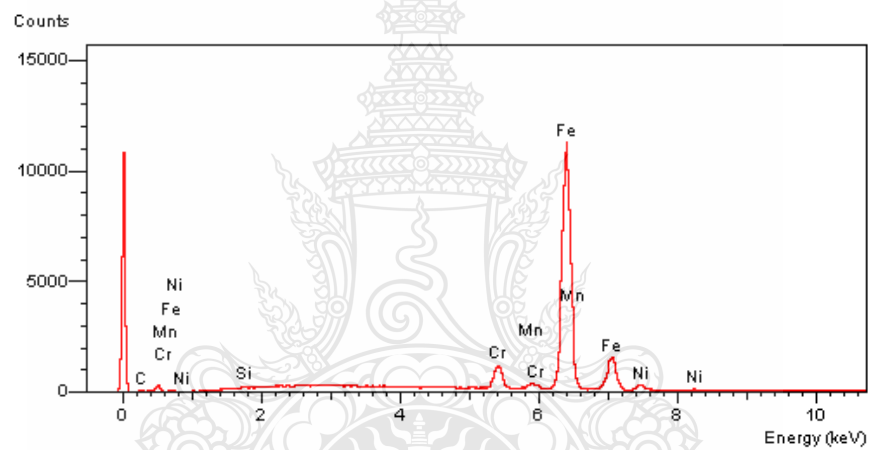


ข. กราฟการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณของ Weld metal/SS400 Interface of 150 A

รูปที่ 4.9 แสดงการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณ

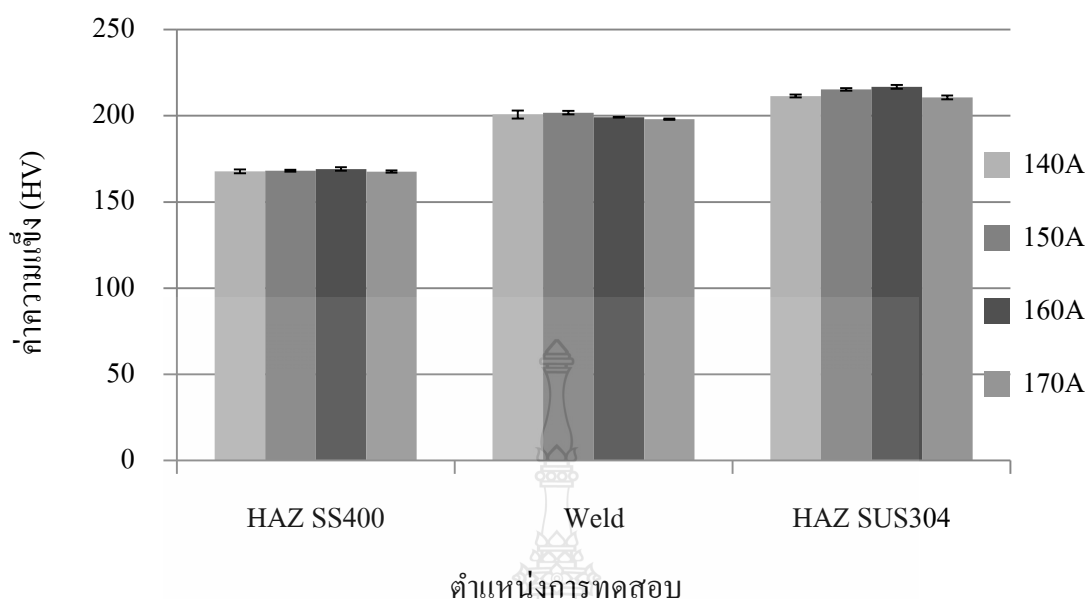


ก. กราฟการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณของ Weld metal/SS400 Interface of 160 A



ข. กราฟการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณของ Weld metal/SS400 Interface of 170 A

รูปที่ 4.10 แสดงการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณ

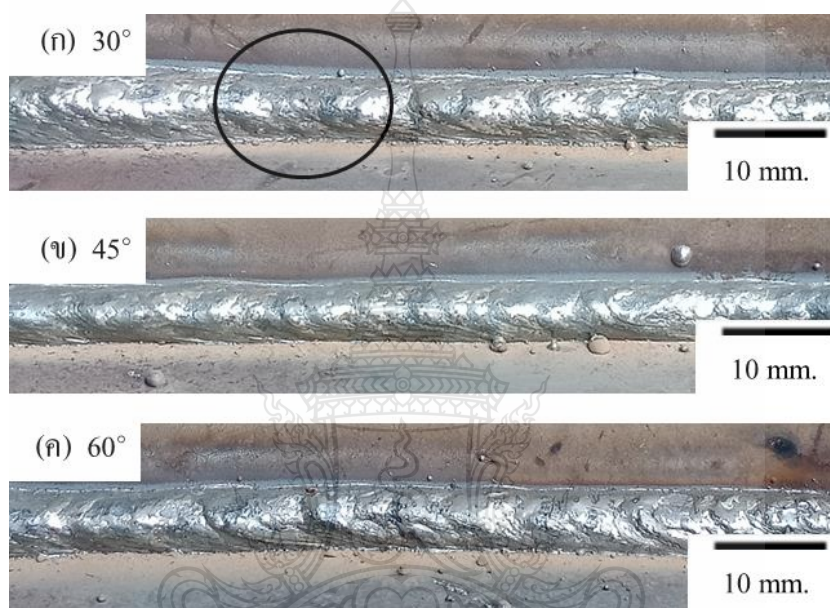


รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และกระแสเชื่อม

รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 140A, 150A, 160A และ 170A ผลการทดสอบพบว่า ค่าความแข็งของบริเวณกระแทกร้อนระหว่างโลหะเชื่อม ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 มีค่าสูงสุดระหว่าง 210-228 HV ที่กระแสเชื่อม 140A, 150A, 160A และ 170A รองลงมาคือ ความแข็งที่บริเวณเนื้อเชื่อม ซึ่งมีความแข็งระหว่าง 197-203 HV และค่าต่ำสุดคือ ความแข็งของบริเวณกระแทกร้อนระหว่างโลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ซึ่งมีความแข็งอยู่ที่ 167-171 HV ค่าความแข็งทั้ง 3 ส่วน มีค่าสูงกว่าความแข็งของโลหะฐานทั้งสองด้าน ค่าความแตกต่างของความแข็งด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่มีค่ามากกว่า และเส้นการหลอมละลายที่แสดงความสามารถไม่เข้ากันของโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ส่งผลทำให้รอยต่อมีความแข็งแรงต่ำกว่า และเกิดการแตกร้าวที่บริเวณแนวเชื่อมกับโลหะฐาน เมื่อเปรียบเทียบความแข็งเฉลี่ยของตำแหน่งการตรวจสอบทั้งสาม กับกระแสเชื่อมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงจาก กระแสเชื่อม 140A, 150A, 160A และ 170A พบว่า ความแข็งมีค่าแนวโน้มที่ลดลง

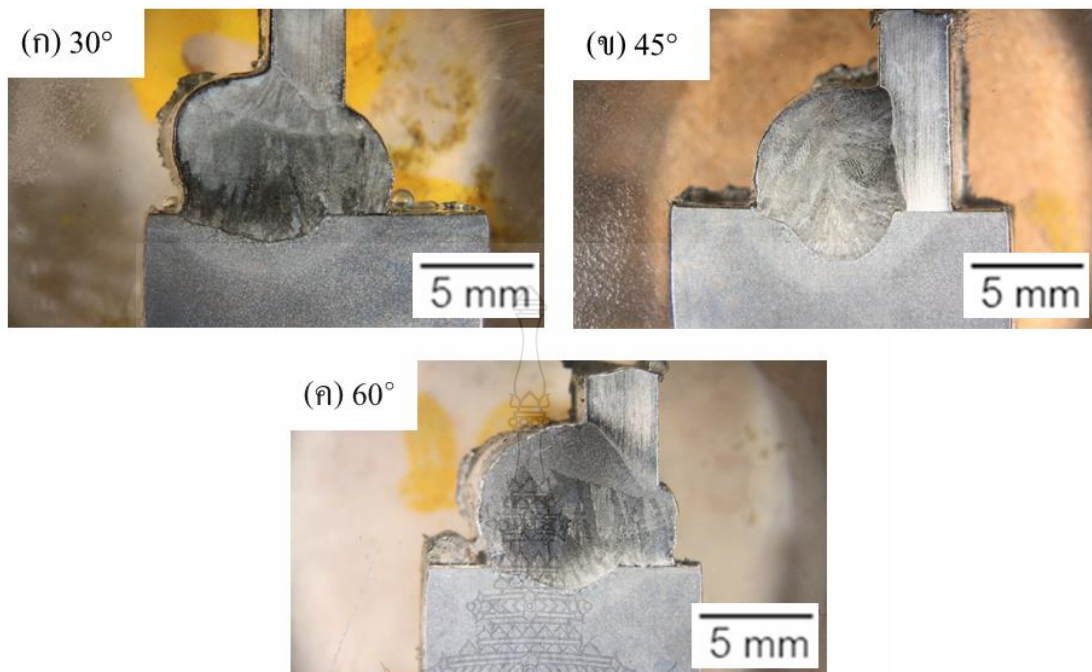
4.2 อิทธิพลของมุมเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อตัวที่

รอยต่อตัวที่เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ตัวแปรในการเชื่อม ประกอบด้วยมุมหัวเชื่อม 30° 45° และ 60° กระแสเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที รอยต่อที่ได้ถูกนำมาทดสอบสมบัติทางกล โดยทำการทดสอบแรงคัตโค้ง ความแข็ง และตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

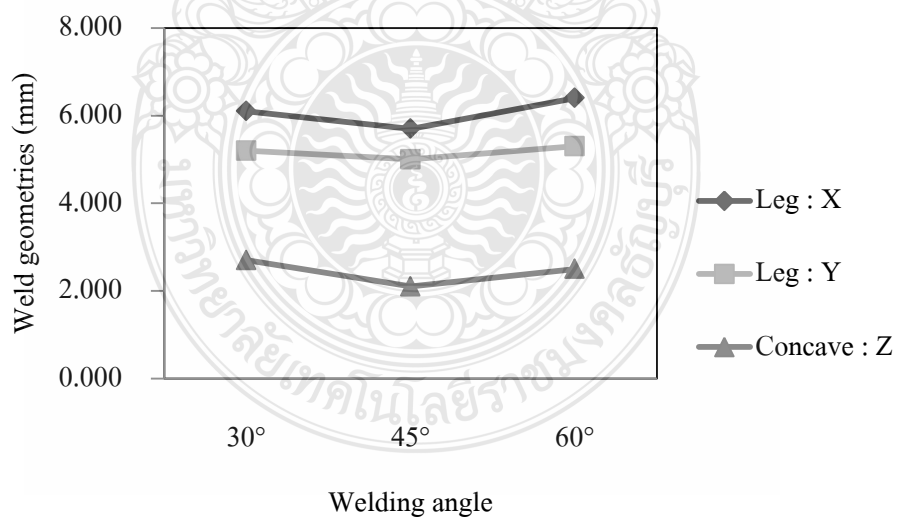


รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะพื้นผิวของโลหะเชื่อมที่มุม 30° - 60°

ผิวหน้าแนวเชื่อมด้วยมุมการเชื่อมที่แตกต่างดัง รูปที่ 4.11 พบว่าลักษณะแนวเชื่อมเมื่อมุมเชื่อมมีค่าเท่ากับ 30° แนวเชื่อมมีลักษณะของการเดิมไม่เต็มดังแสดงโดยวงกลมใน รูปที่ 4.9 (ก) ซึ่งผู้ทำการทดลองสันนิษฐานว่าเกิดจากมุมเชื่อมที่น้อยจึงทำให้การเดิมลวดไม่สมบูรณ์ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมเชื่อมที่ 45° และ 60° แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ข) และ (ค) ตามลำดับ และเกิดเม็ดโลหะที่แนวเชื่อมทุกกระแสเชื่อม



ก. แสดงภาพโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่มุมต่างๆ

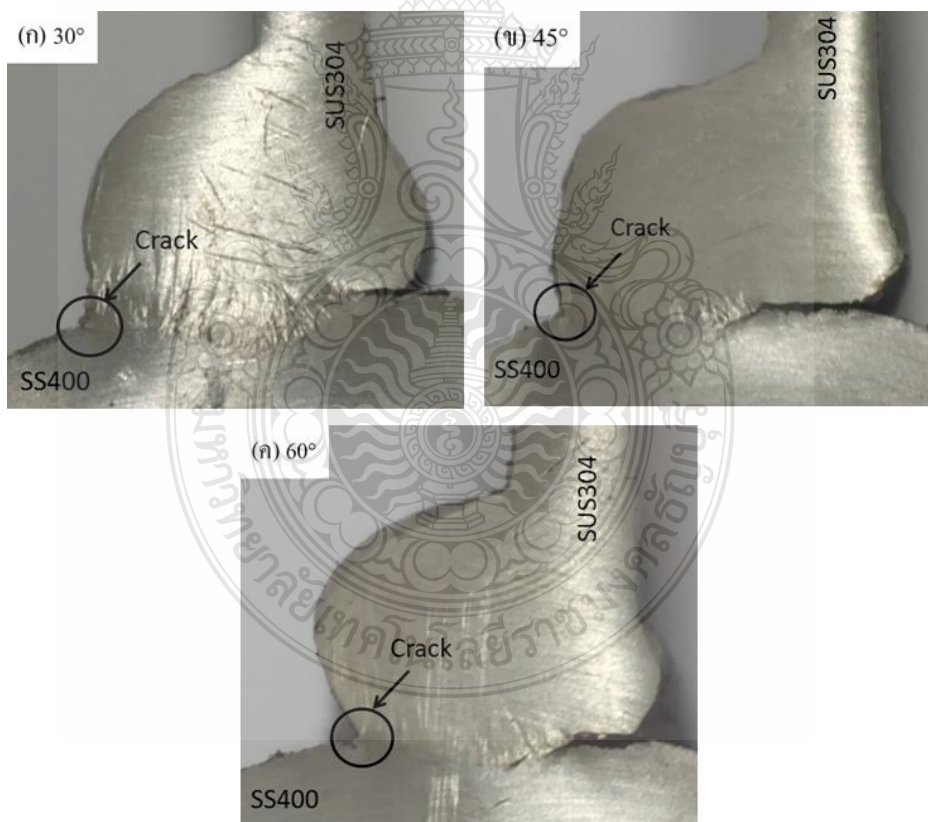


ข. ขนาดรูปร่างโลหะเชื่อม

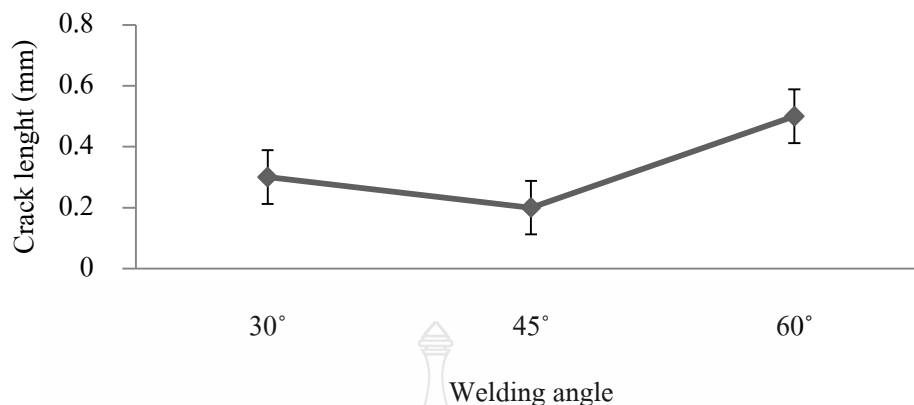
รูปที่ 4.13 แสดงขนาดของรอยเชื่อมต่อตัวที่

รูปที่ 4.12 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อตัวที่เชื่อมด้วยมุม 30° 45° และ 60° ซึ่งรอยต่อตัวที่แสดงความสมบูรณ์ของโลหะเชื่อม จุดบกพร่องต่างๆที่เกิดจากการเชื่อมไม่สามารถตรวจสอบพบได้ในตำแหน่งโลหะเชื่อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบขนาด รูปร่างของรอยต่อเกลี้ยงประกอบไปด้วย ขนาดความกว้างผิวแนวเชื่อม , ขนาดคอแนวเชื่อม และระยะซึมลึกของแนวเชื่อม

เมื่อพิจารณาโครงสร้างมหภาคของรอยต่อของการเชื่อมที่เชื่อมด้วยมุมเชื่อมต่างๆดัง รูปที่ 4.12 (ข) พบค่าการวัดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 30° และ 60° ดัง รูปที่ 4.12 (ข) ความกว้างของฐานโลหะเชื่อมแผ่นล่าง (ระยะ X) และความนูนของโลหะเชื่อม (ระยะ Z) มีค่าลดลงเมื่อมุมเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 30° ถึง 45° และเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมุมเชื่อมเปลี่ยนแปลงเป็น 60° นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาความกว้างของฐานโลหะเชื่อมแผ่นบน (ระยะ Y) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมุมเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 60°

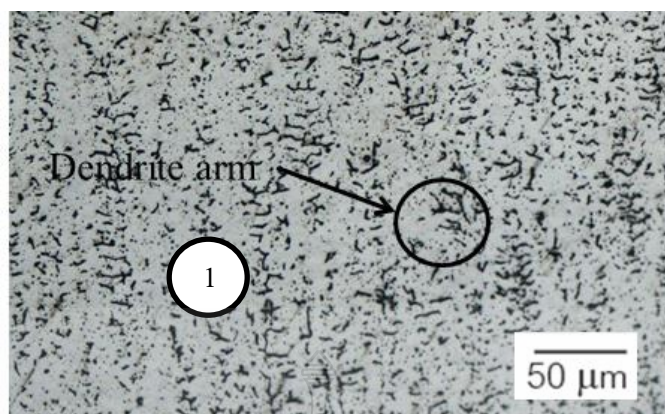


รูปที่ 4.14 แสดงตำแหน่งของรอยแตกร้าว

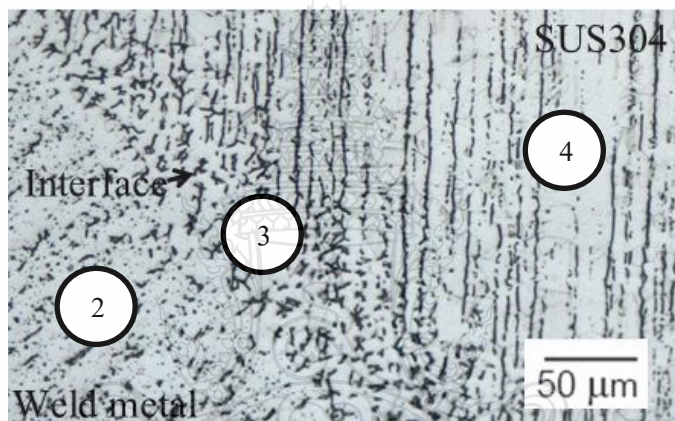


รูปที่ 4.15 ความยาวรอยแตกร้าวที่รอยมุมเชื่อมต่างๆ

รอยต่อตัวที่ที่ถูกทำการเชื่อมด้วยมุมเชื่อมต่างๆ ถูกนำไปทำการทดสอบการดัดโค้งด้วยวิธีการดังแสดงในหัวข้อที่ผ่านมาพบว่า ชิ้นงานสามารถทำการดัดโค้งให้มีมุมรวมมากกว่า 120° เมื่อทำการตรวจสอบรอยต่อด้วยกล้องขยายค่าและได้ภาพดัง รูปที่ 4.13 พบว่าเกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กที่บริเวณฐานโลหะเชื่อม (Weld toe) ที่โลหะแผ่นล่างหรือเหล็กกล้าคาร์บอนและแนวเชื่อม รอยแตกร้าวที่พบนั้นเกิดขึ้นในชิ้นทดสอบการดัดโค้งที่ผ่านการดัดจนชิ้นงานมีมุมรวม 120° เท่านั้น เมื่อทำการวัดความยาวรวมของรอยแตกร้าวในชิ้นทดสอบที่ผ่านการเชื่อมด้วยมุมเชื่อม 30° 45° และ 60° พบความยาวของรอยแตกร้าวมีค่าลดลงเมื่อมุมเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 30 ° ถึง 45 ° และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมุมเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 60 ° ดัง รูปที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบกับเกิดการแตกร้าวที่ฐานโลหะเชื่อมด้านล่างของชิ้นทดสอบการดัดโค้ง รูปที่ 4.14 พบความสัมพันธ์ที่สามารถตอบคำถามได้ว่า เมื่อโลหะมีความหนาของโลหะเชื่อมและความกว้างของฐานโลหะเชื่อมด้านล่างเพิ่มขึ้นสามารถส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายในโลหะเชื่อมรอยต่อตัวที่



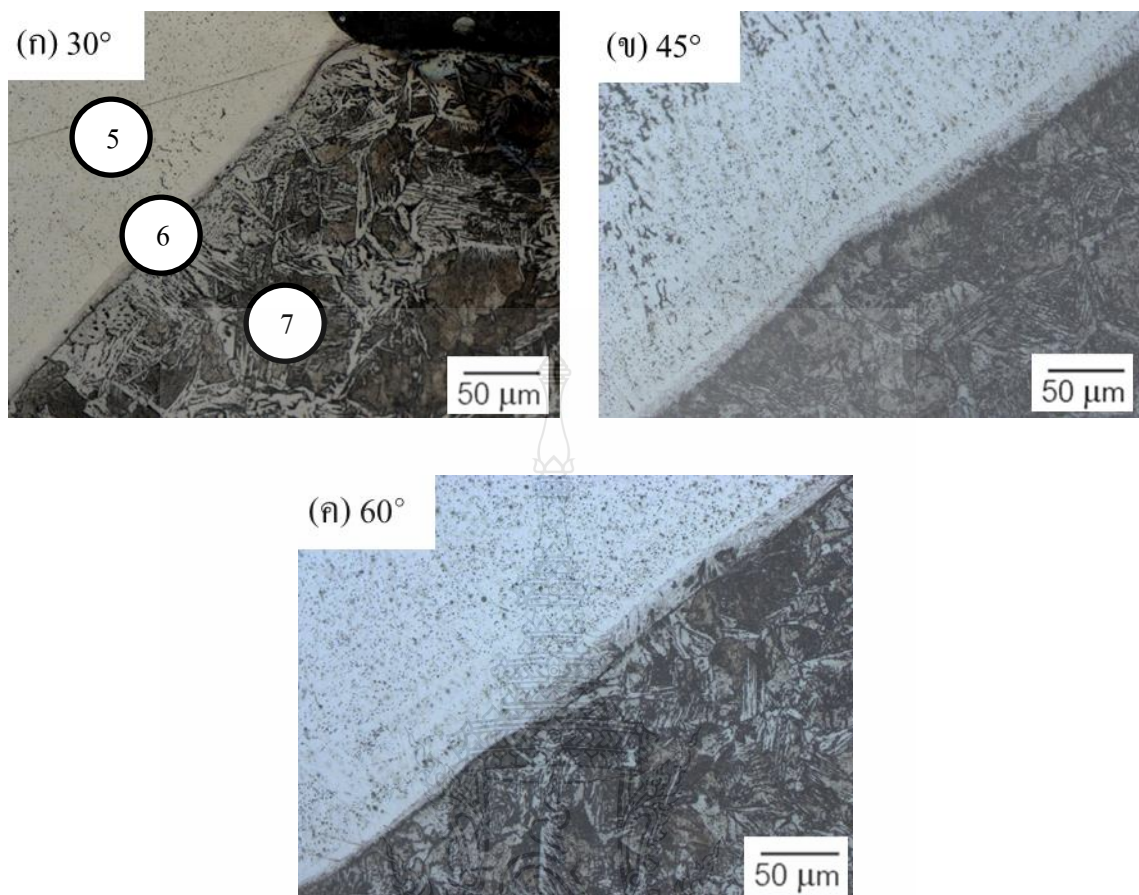
ก. โลหะเชื่อม



ข. ผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและ SUS304

รูปที่ 4.16 แสดงโครงสร้างจุลภาค

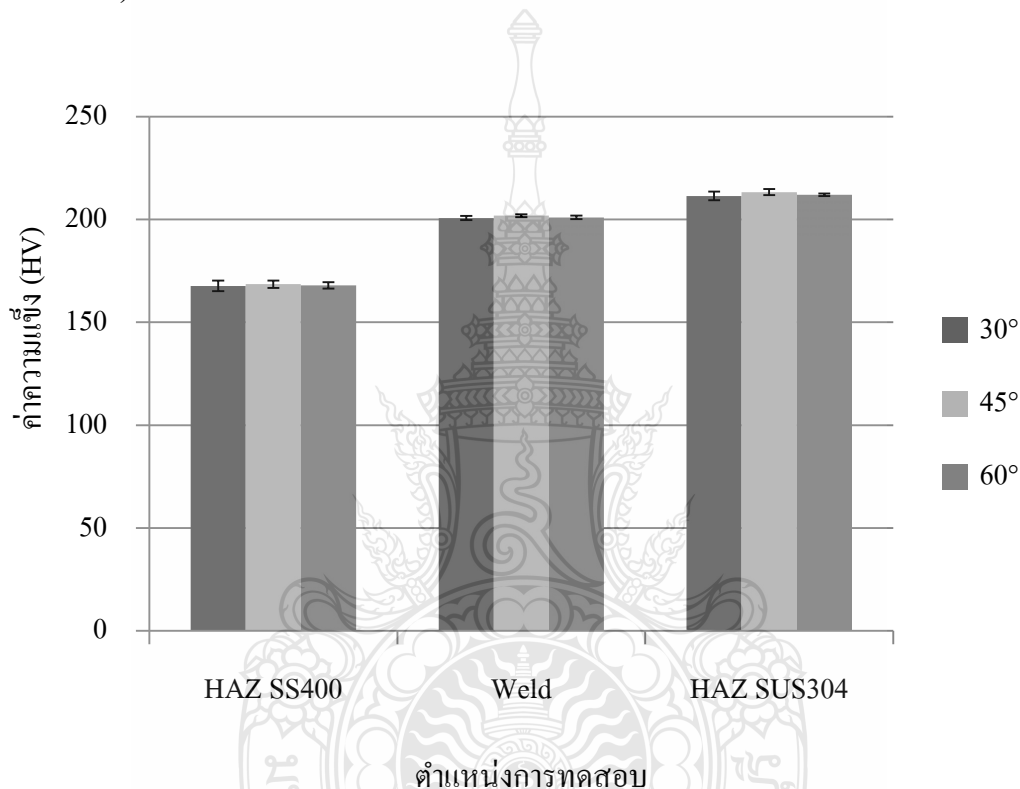
แสดงภาพโครงร่างของรอยต่อตัวที่และตำแหน่งการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมตำแหน่งที่ I โครงสร้างจุลภาคของผิวสัมผัส (Interface) ระหว่างโลหะฐาน SUS304 และโลหะเชื่อมตำแหน่งที่ II และโครงสร้างจุลภาคของผิวสัมผัสระหว่างโลหะฐาน SS400 และโลหะเชื่อมตำแหน่งที่ III โลหะเชื่อมของรอยต่อตัวที่ที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม ER309LSi ดัง รูปที่ 4.15 (ก) แสดงโครงร่างเดนไดรต์ของโลหะเชื่อมที่เกิดจากการเย็นตัวไม่สมดุลหรือการเย็นตัวเร็วของโลหะเชื่อมหลอมเหลวที่ได้รับความร้อนจากการอาร์กของลวดเชื่อมกับชิ้นงานจากสถานะของเหลวสู่สถานะของแข็งของโลหะ โครงสร้างเดนไดรต์ที่ก่อตัวมีความแข็งแรงสูงและส่งผลทำให้เกิดสมบัติทางกลและส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อมไม่สมดุล



รูปที่ 4.17 แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อตัวที่ที่มุม 30° 45° และ 60°

รูปที่ 4.15 (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ซึ่งอยู่ด้านบนของรอยต่อตัวที่ตำแหน่งที่ II ดัง รูปที่ 4.4 (ก) บริเวณโลหะเชื่อมประกอบด้วยโครงสร้างเดนไดรต์ของโลหะเชื่อมที่เกิดการหลอมละลายและแข็งตัวในบ่อหลอมละลาย การเชื่อม โครงสร้างเดนไดรต์มีขนาดเล็กลงเมื่อตำแหน่งการตรวจสอบเข้าใกล้ผิวสัมผัสของรอยต่อ (ตำแหน่งที่3) ลักษณะของผิวสัมผัสที่พบไม่มีการแบ่งแยกเป็นเส้นชัดเจนแต่เป็นผิวสัมผัสที่เป็นพื้นที่การรวมกันระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SUS304 การเกิดการรวมกันนี้เกิดขึ้นเนื่องจากโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SUS304 เป็นเหล็กกล้าผสมโครเมียมที่มีส่วนผสมทางเคมีที่ใกล้เคียงกันดัง ผิวสัมผัสของรอยต่อตัวที่ระหว่างโลหะเชื่อม(ตำแหน่งที่5) และเหล็กกล้า SS400 (ตำแหน่งที่7) มีความแตกต่างจากผิวสัมผัสของรอยต่อตัวที่ระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SUS304 (ตำแหน่งที่6) ดัง รูปที่ 4.16 ซึ่งแสดงลักษณะของผิวสัมผัสที่เป็นเส้นบางแบ่งแยกชัดเจนระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SS400 การเกิดลักษณะนี้เนื่องจากส่วนผสมของเหล็กกล้าต่างชนิดและมีส่วนผสมทางเคมีต่างกัน ธาตุเสริมความแข็งแรงที่มีปริมาณสูงในโลหะเชื่อมไม่สามารถเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ได้น้อย

เพื่อเข้าไปรวมตัวกับเหล็กกล้า SS400 ซึ่งมีปริมาณของธาตุเสริมความแข็งแรงต่ำได้ ซึ่งการทดสอบโครงสร้างจุลภาคของหัวข้อนี้มีผลเหมือนกับการทดลองที่ 4.1 ส่วนผสมทางเคมีของพื้นที่รวมตัวกันขนาดเล็กบริเวณผิวสัมผัสดัง รูปที่ 4.6 มีค่าค่อนข้างต่ำส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของพื้นที่นี้ต่ำกว่า และส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวที่บริเวณผิวสัมผัสตำแหน่งที่ III ดัง รูปที่ 4.4 (ก) ผิวสัมผัสที่แบ่งแยกชัดเจนระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้านี้สามารถพบได้ในการเชื่อมด้วยมุมเชื่อมทุกมุมการเชื่อม (ตำแหน่งที่5)



รูปที่ 4.18 แสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และมุมเชื่อม

รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งแรงของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยมุมเชื่อม 30°, 45° และ 60° ผลการทดสอบพบว่า ค่าความแข็งแรงของบริเวณกระแทกร้อนระหว่างโลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 มีค่าสูงสุดระหว่าง 214-129 HV ที่มุมเชื่อม 30° 45° และ 60° รองลงมาคือ ความแข็งแรงที่บริเวณเนื้อเชื่อม ซึ่งมีความแข็งแรงระหว่าง 196-200 HV และค่าต่ำสุดคือ ความแข็งแรงของบริเวณกระแทกร้อนระหว่างโลหะเชื่อมด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ซึ่งมีความแข็งแรงอยู่ที่ 167-172 HV ค่าความแข็งแรงทั้ง 3 ส่วน มีค่าสูงกว่าความแข็งแรงของโลหะฐานทั้งสองด้าน ค่าความแตกต่างของความแข็งแรงด้านเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่มีค่ามากกว่า และเส้นการหลอมละลายที่แสดงความสามารถไม่เข้ากัน

ของโลหะเชื่อม และเหล็กคาร์บอน SS400 ส่งผลทำให้รอยต่อมีความแข็งแรงต่ำกว่า และเกิดการแตกร้าวที่บริเวณแนวเชื่อมกับโลหะฐาน เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของตำแหน่งการตรวจสอบทั้งสาม กับมุมเชื่อมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงจาก 30° 45° และ 60° พบว่า ความแข็งแรงมีค่าแนวโน้มที่ลดลง



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาอิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อตัวที่ระหว่าง เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รอยต่อตัวที่ได้จากการเชื่อมถูกนำไป ทดสอบแรงดัดโค้ง ความแข็ง และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เพื่อการเปรียบเทียบหาตัวแปร กระแสเชื่อมที่เหมาะสม ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. รอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 สามารถทำ การเชื่อมได้ด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมโดยไม่พบจุดบกพร่องในโลหะเชื่อม และเมื่อทำการ เชื่อมด้วยกระแสที่เพิ่มขึ้น จะให้ค่าความแข็งแรงดัดมากที่สุดที่กระแส 160 A และลดลงเล็กน้อยที่ กระแส 170 A
2. เมื่อทำการเชื่อมด้วยมุมที่เพิ่มขึ้น จะให้ค่าความแข็งแรงดัดมากที่สุดที่มุม 45° และลดลง เล็กน้อยที่มุม 60°
3. ส่วนผสมที่แตกต่างกันระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ โลหะเชื่อมโครเมียมสูงทำให้เกิดผิวสัมผัสที่มีพื้นที่การรวมตัวกันน้อยของธาตุเสริมความแข็งแรง และส่งผลทำให้มีความแข็งแรง ต่ำกว่าผิวสัมผัสที่ด้านเหล็กกล้า SUS304 และ โลหะเชื่อมที่มีพื้นที่การรวมตัวกันมากกว่า
4. การเพิ่มกระแสเชื่อมส่งผลทำให้รอยต่อมีค่าความแข็งแรงดัดสูงขึ้นเนื่องจากความสามารถ ในการรวมตัวของธาตุเสริมความแข็งแรงและความแข็งแรงในตำแหน่งผิวสัมผัสระหว่างโลหะฐานกับโลหะ เชื่อม

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้พบว่าการเชื่อมรอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 กับ เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม โดยกำหนดตัวแปรที่ ทำการศึกษาคือ กระแสไฟเชื่อม มุมเชื่อม และความเร็วเดินแนวเชื่อม ซึ่งอาจเกิดปัญหาในระหว่าง การทดลองเนื่องจากเป็นวัสดุโลหะต่างชนิด เพื่อให้การวิเคราะห์ผลของรอยต่อตัวที่มี

ความละเอียดเพิ่มขึ้น จึงต้องมีการระบุตัวแปรเพิ่มเติมในการทดลองคราวต่อไป โดยมีข้อเสนอแนะไว้ในการพิจารณาดังนี้

5.2.1 เมื่อทำการเชื่อมที่กระแสไฟที่สูงขึ้นจะเกิดการบิดของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 เล็กน้อย ซึ่งงานวิจัยนี้ยังไม่พบผลกระทบการบิดของโลหะ แต่ควรระวังผลกระทบที่อาจพบในตัวแปรอื่นๆ

5.2.2 ในการทดลองศึกษาครั้งต่อไปควรทดลองใช้ตัวแปรอื่นๆ ในการเชื่อม เพื่อเพิ่มเติมการเปรียบเทียบสมบัติทางกล และโครงสร้างทางโลหะวิทยา

5.2.3 ควรมีการศึกษาผลกระทบทางด้านอื่นๆ อีกเพื่อให้การวิเคราะห์ผลครอบคลุมมากยิ่งขึ้น เช่น ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยวิธีส่องกวาด การศึกษาการกัดกร่อน และอิทธิพลทางความร้อนที่ส่งผลต่อสมบัติของวัสดุ



บรรณานุกรม

- [1] Sun, Z. and R. Karppi. 1996. The application of electron beam welding for the joining of dissimilar metals: an overview. *Journal of Materials Processing Technology* 59(3): page 257-267.
- [2] อติศักดิ์ ไสวอมร ระพี กาญจนะ และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์. 2559. การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงของเครื่องเกี่ยวมัดข้าวโดยประยุกต์ใช้เทคนิค Failure Mode and Effect Analysis (FEMA). แผ่นซีดีรอม. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, จ.พระนครศรีอยุธยา.
- [3] บริษัท นวนครแทรกเตอร์ จำกัด. (17 มิถุนายน 2559). แทรกเตอร์. Available: http://www.navatractor.com/tractor%20pages/AX60_3.html
- [4] Pezo, L., Jovanovic, A., Pezo, M., Colovic, R. and Loncar, B. 2015. Modified screw conveyor-mixers – Discrete element modeling approach. *Advanced Powder Technology* 26(5): 1391-1399.
- [5] K. Niklas, "Calculations of notch stress factor of a thin-walled spreader bracket fillet weld with the use of a local stress approach," *Engineering Failure Analysis*, vol. 45, pp. 326-338, 10/2014.
- [6] M. Cerit, K. Hosgor, and A. O. Ayhan, "Fracture mechanics-based design and reliability assessment of fillet welded cylindrical joints under tension and torsion loading," *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 116, pp. 69-79, 1// 2014.
- [7] J.-S. Kim, D.-H. An, S.-Y. Lee, and B.-Y. Lee, "A failure analysis of fillet joint cracking in an oil storage tank," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 22, pp. 845-849, 11// 2009.
- [8] D. Deng, W. Liang, and H. Murakawa, "Determination of welding deformation in fillet-welded joint by means of numerical simulation and comparison with experimental measurements," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 183, pp. 219-225, 3/23/ 2007.
- [9] G. Fu, M. I. Lourenço, M. Duan, and S. F. Estefen, "Influence of the welding sequence on residual stress and distortion of fillet welded structures," *Marine Structures*, vol. 46, pp. 30-55, 3// 2016.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [10] J. Yi, S.-f. Cao, L.-x. Li, P.-c. Guo, and K.-y. Liu, "Effect of welding current on morphology and microstructure of Al alloy T-joint in double-pulsed MIG welding," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 25, pp. 3204-3211, 2015/10/01 2015.
- [11] E. J. Rao, B. Guha, G. Malakondaiah, and V. M. Radhakrishnan, "Effect of welding process on fatigue crack growth behaviour of austenitic stainless steel welds in a low alloy (Q & T) steel," *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 27, pp. 141-148, 1997/06/01 1997.
- [12] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing, Material, Processes and Systems*. USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [13] L. Henan BEBON international international international international CO. (2016, June 3. 2016). *JIS G3101 SS400 steel plate*. Available:
<http://www.steel-plate-sheet.com/pdf/ss400.pdf>
- [14] ภูมิ ภูมิพัฒน์. (17 มิถุนายน 2559). งานเชื่อม. Available:
<https://sites.google.com/site/phumiphumiphathn/phaenkar-sxn-ngan-cheuxm>
- [15] ความปลอดภัยในการเชื่อม. (20 ธันวาคม 2559). บทความผู้เชื่อม. Available:
<http://xn--b3cv5aai5eub9aq4e4b5bjj.com>
- [16] รอบรู้งานเชื่อม MIG. (20 ธันวาคม 2559). รอบรู้งานเชื่อม MIG. 2014:
<https://www.facebook.com/รอบรู้งานเชื่อม MIG>
- [17] L. Jeffus, *Welding and Metal Fabrication*. USA: Delmar Cengage Learning, 2012.
- [18] ลวดเชื่อม MIG. (20 ธันวาคม 2559). C.C. SUPPLY Co., Ltd. 2008:
http://www.ccsupply.com/product/pro_detail.php?cid=0&cid.
- [19] American National Standards Institute. "Structural Welding Code-Steel". American Welding Society. November 29, 2005
- [20] การทดสอบแรงดัดงอ. (20 ธันวาคม 2559). ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2007:
<https://www.mtec.or.th/mcu/phml/index.php/th/2014-09-12-03-39-42/20-bending-test1>
- [21] การทดสอบความแข็งของเหล็ก (Hardness test). (6 มกราคม 2560). Iron & steel. Available:
<https://sites.google.com/site/ironsteel/home/kar-thdsxb-khwam-khaeng-hardness-test>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [22] พรวิสา วงศ์ปัญญา. การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสะท้อน. (6 มกราคม 2560). 2556:
http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/Lab_3_Microstructural_Examination_using_Reflective_Light_Optical_Microscope.pdf
- [23] อมรศักดิ์ มาใหญ่. “การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมรอยต่อเกลเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304”. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 2558.
- [24] ศักดิ์ชัย จันทศรี, “การประยุกต์การเชื่อมมิกในการต่อชนแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430”. การประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555, จ.เพชรบุรี. 2555.
- [25] ปริญญา แสงทอง. 2549, “ผลการแปรพารามิเตอร์ การเชื่อม MIG ต่อโครงสร้างและสมบัติของงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม”. กรุงเทพฯ, หน้า 1-93.
- [26] นัทรทอง ไสแสง. 2548, “อิทธิพลของพารามิเตอร์เชื่อมต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิต เกรด304”. กรุงเทพฯ, หน้า 1-75.
- [27] Japanese Industrial Standard, Welding: JIS Z 3114 (1990) Method of Hardness Test for Deposited Metal Tokyo: Japanese Standards Association, 1997.
- [28] dose24hr. (20 ธันวาคม 2550). การวิเคราะห์ธาตุ. Available: <http://www.dose24hr.com>.
- [29] Liu, C.B.Jia, C.S.Wu, G.K.Zhang, J.Q.Gao 2017. Measurement of the keyhole entrance and topside weld pool geometries in keyhole plasma arc welding with dual CCD cameras. Journal of Materials Processing Technology. 248: 39-48
- [30] Askeland, D. R. and P. P. Phule. 2006. The Science and Engineering of Materials. Thompson Canada Limited, Toronto.
- [31] Poonnayom, P., Yamphuarn, P., and Kimapong, K. 2015. Effect of Gas Metal Arc Welding Speed on Tensile Strength of SUS304 Stainless Steel and SS400 Carbon Steel Butt Joint. pp. 64-67. in The 7th International Conference on Engineering and Technology ICET-2015. Songkla, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University.

บรรณานุกรม (ต่อ)

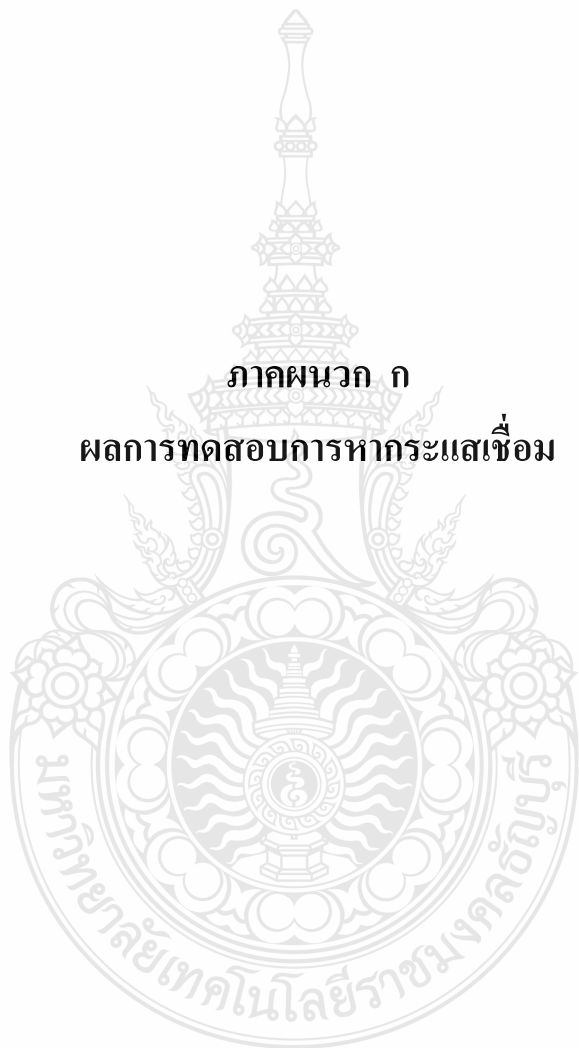
- [32] S.Sekiguchi and F.Shibata. 2011. “Mechanical Properties of Electron Beam Welded Spheroidal Graphite Cast Iron and Mild Steel Welded Joints”. Materials Transactions.pp. 1920 – 1925 (2011)
- [33] ชีรพงษ์ หาญวิโรจน์กุล. 2554, เหล็กกล้า (ไร้สนิม) สำหรับงานทนความร้อน. Metal world. กรุงเทพฯ: หน้า 70-73.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบการหากระแสเชื่อม



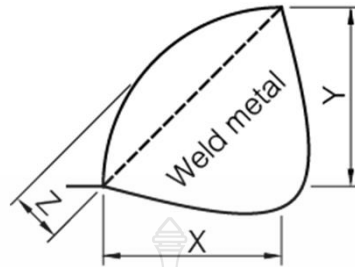
ผลการทดสอบการหากระแสเชื่อม

ก.1 แสดงลักษณะพื้นผิวของโลหะเชื่อม

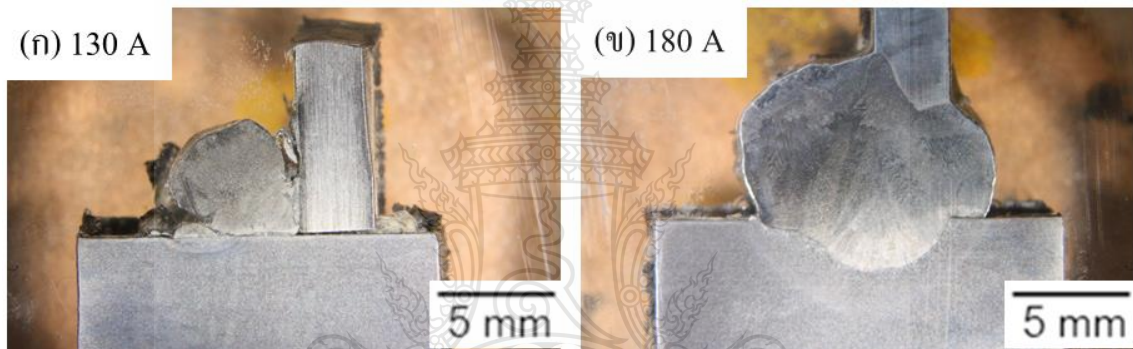


ผิวหน้าแนวเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมที่แตกต่างดัง รูปที่ ก.1 พบความแตกต่างของผิวหน้าแนวเชื่อม เมื่อกระแสเชื่อมมีค่าต่ำ 130 A ลักษณะแนวเชื่อมมีความไม่ต่อเนื่องดังแสดงใน รูปที่ ก.1 (ก) ความไม่ต่อเนื่องนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการอาร์กที่ไม่สม่ำเสมอในขณะที่ทำการเชื่อมในกระแสที่ต่ำมากเกินไป นอกจากนั้นการอาร์กที่ไม่สม่ำเสมอนี้ทำให้ความกว้างของแนวเชื่อมนั้นไม่สม่ำเสมอ ความเสถียรของการอาร์กเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเชื่อมด้วยกระแสที่เพิ่มขึ้น เมื่อกระแสเชื่อมมีค่าเป็น 180 A ความกว้างของแนวเชื่อมมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นดัง รูปที่ ก.1 (ข) การสม่ำเสมอของความกว้างของแนวเชื่อมและความราบเรียบของแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความร้อนขาเข้า (Heat input) ที่เพิ่มขึ้นในบ่อหลอมละลายมีค่าเพิ่มขึ้นและมีเวลาที่พอเพียงทำให้เกิดการหลอมละลายที่สมบูรณ์

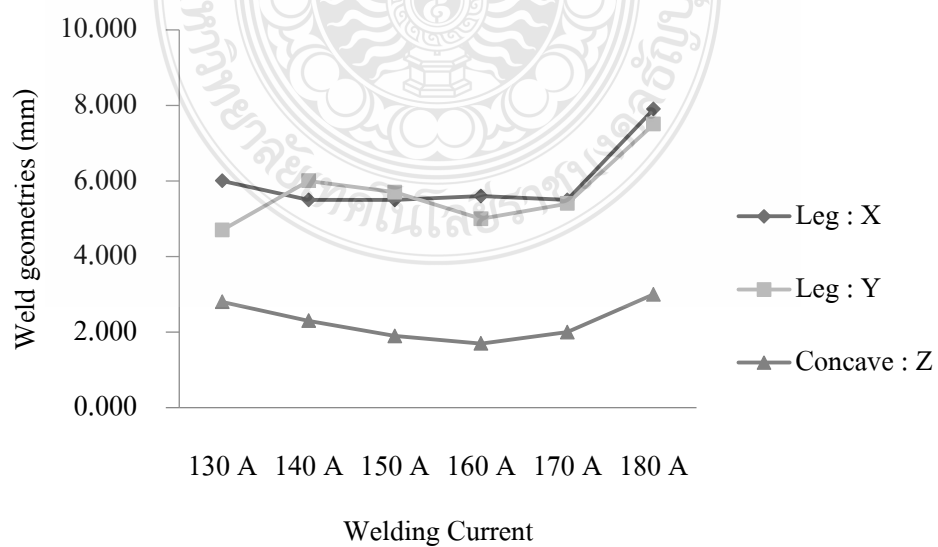
ก.2 ตำแหน่งการวัดขนาดของรอยเชื่อม



ก.3 แสดงภาพโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่กระแสต่างๆ



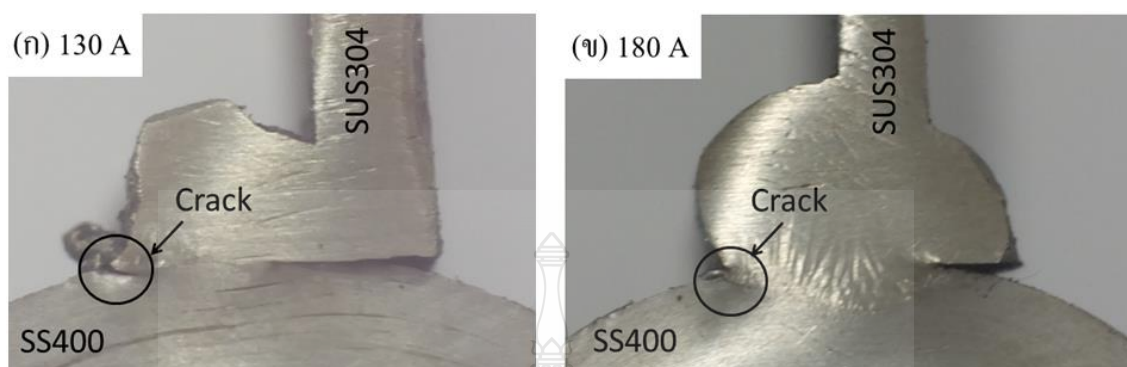
ก.4 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของรอยเชื่อมต่อตัวที่ที่กระแสต่างๆ



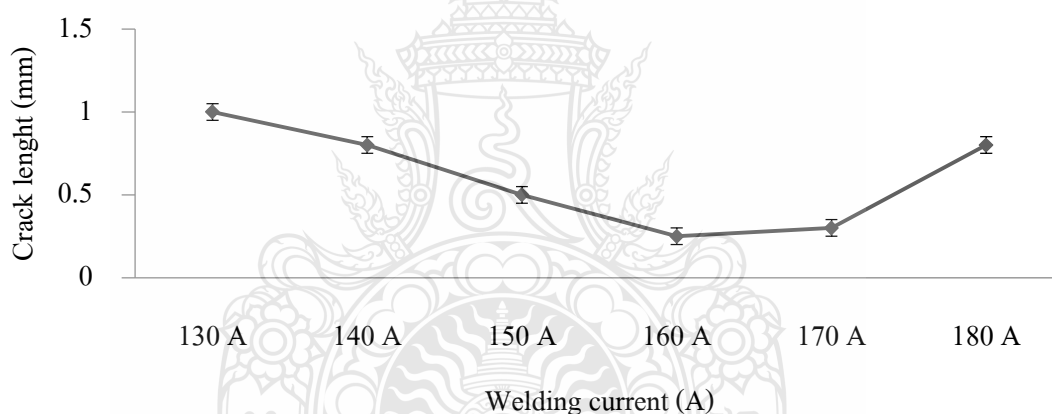
รูปที่ ก.2 แสดงภาพร่างการวัดส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างมหากรอยต่อตัวที่ซึ่งประกอบด้วยความกว้างของฐานโลหะเชื่อม (Weld toe) ของด้านรอยต่อตัวที่ (ระยะ X และ Y) และความหนาของแนวเชื่อม (ระยะ Z) เมื่อพิจารณาโครงสร้างมหากของการเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 130 A และ 180 A ดัง รูปที่ ก.3 พบค่าการวัดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 130 ถึง 170 A ดัง รูปที่ ก.4 ความกว้างของฐานโลหะเชื่อมแผ่นล่าง (ระยะ X) มีค่าลดลงและจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มกระแสเป็น 180 A และความหนาของโลหะเชื่อม (ระยะ Z) มีค่าลดลงเมื่อกระแสเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 130-160 A และเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อกระแสเปลี่ยนแปลงเป็น 170 A และจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อกระแสการเชื่อมเป็น 180 A นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาความกว้างของฐานโลหะเชื่อมแผ่นบน (ระยะ Y) ที่กระแสเชื่อม 130 A มีค่าลดลงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากเมื่อกระแสการเชื่อมเปลี่ยนแปลงเป็น 180 A เมื่อเปรียบเทียบกับเกิดการแตกร้าวที่ฐานโลหะเชื่อมด้านล่างของชิ้นทดสอบการตัด ดัง รูปที่ ก.5 พบความสัมพันธ์ที่สามารถตอบคำถามได้ว่า เมื่อโลหะมีความหนาของโลหะเชื่อมและความกว้างของฐานโลหะเชื่อมด้านล่างเพิ่มขึ้นสามารถส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายในโลหะเชื่อมรอยต่อตัวที่



ก.5 แสดงตำแหน่งของรอยแตกร้าว

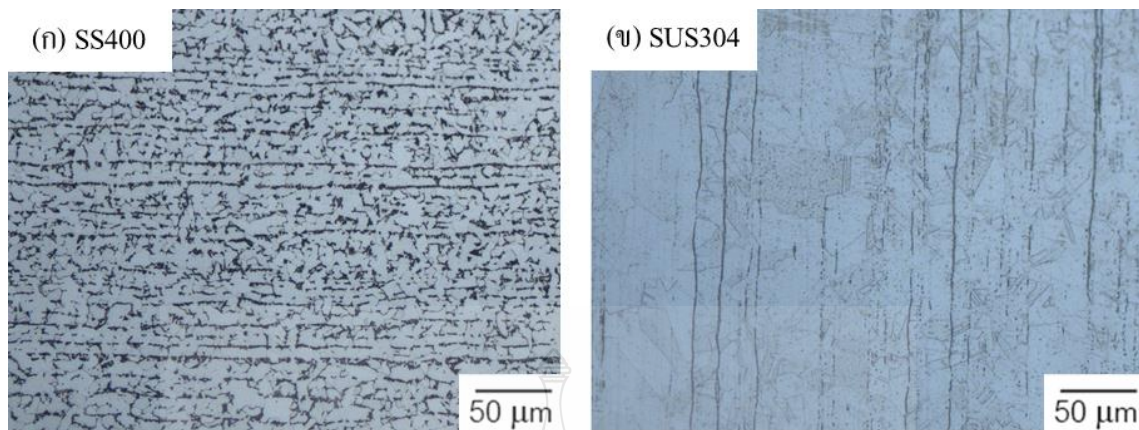


ก.6 รอยแตกร้าวจากการทดสอบการดัดโค้ง



รอยต่อตัวที่ที่ถูกทำการเชื่อมด้วยกระแสต่างๆ ถูกนำไปทำการทดสอบการดัดโค้งด้วยวิธีการดังแสดงในหัวข้อที่ผ่านมาพบว่า ชิ้นงานสามารถทำการดัดโค้งให้มีมุมรวมมากกว่า 120° เมื่อทำการตรวจสอบรอยต่อด้วยกล้องขยายต่ำและได้ภาพดัง รูปที่ ก.5 พบว่าเกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กที่บริเวณฐานโลหะเชื่อม (Weld toe) ที่โลหะแผ่นล่างหรือเหล็กกล้าคาร์บอนและแนวเชื่อม รอยแตกร้าวที่พบนั้นเกิดขึ้นในชิ้นทดสอบการดัดโค้งที่ผ่านการดัดจนชิ้นงานมีมุมรวม 120° เท่านั้น เมื่อทำการวัดความยาวรวมของรอยแตกร้าวในชิ้นทดสอบที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 130 ถึง 180 A พบว่าขนาดรอยแตกร้าวที่มีค่ามากที่สุดคือกระแสเชื่อมที่ 130 A และพบความยาวของรอยแตกร้าวมีค่าลดลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 140 ถึง 150 A และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นดัง รูปที่ ก.6

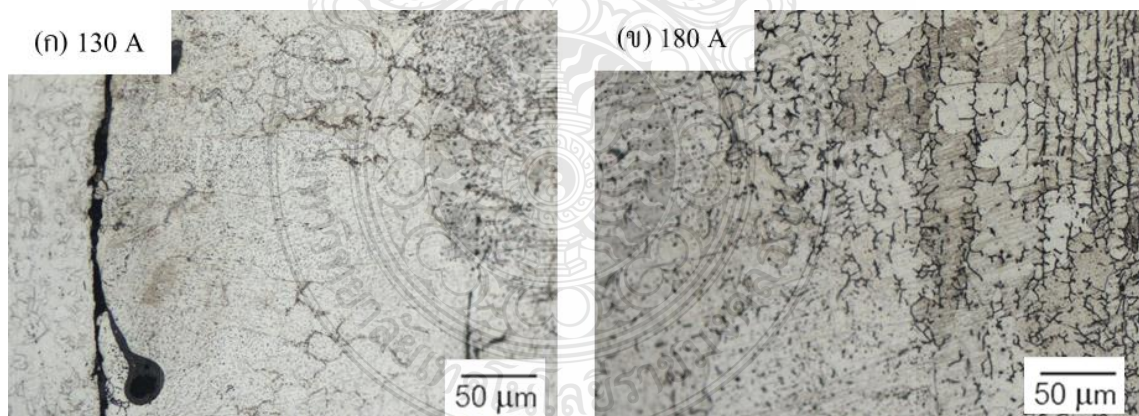
ก.7 แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะฐาน



โครงสร้างจุลภาคของรูปที่ ก.7 (ก) คือตำแหน่งของโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 พบว่าโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ประกอบด้วยเฟอร์ไรท์ (Ferrite) และเพิร์ลไลต์ (Pearlite) [32]

โครงสร้างจุลภาคของรูปที่ ก.7 (ข) คือตำแหน่งของโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 พบว่าโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ประกอบด้วยเกรนหลายขนาดของ (Austenite) [33]

ก.8 แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304

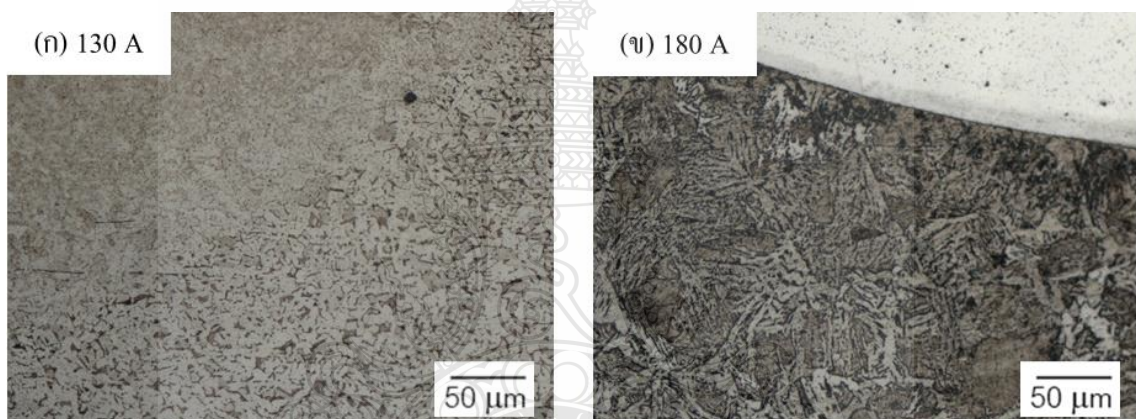


จากรูป ก.8 (ก) แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ของการเชื่อมที่กระแส 130 A พบว่าเกิดการหลอมละลายของโลหะทั้งโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าไร้สนิม

SUS304 แบบไม่สมบูรณ์ เนื้อโลหะไม่สามารถหลอมละลายเข้ากันได้ โดยแบ่งชั้นกันอย่างชัดเจน เพราะอุณหภูมิในการหลอมเหลวนี้น้อยเกินกว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของโลหะทั้งสอง

จากรูป ก.8 (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ของการเชื่อมที่กระแส 180 A พบว่า ลักษณะของผิวสัมผัสที่พบไม่มีการแบ่งแยกเป็นเส้นชัดเจนแต่เป็นผิวสัมผัสที่เป็นพื้นที่การรวมกันระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SUS304 การเกิดการรวมกันนี้เกิดขึ้นเนื่องจากโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SUS304 เป็นเหล็กกล้าผสมโครเมียมที่มีส่วนผสมทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน

ก.9 แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าคาร์บอน SS400



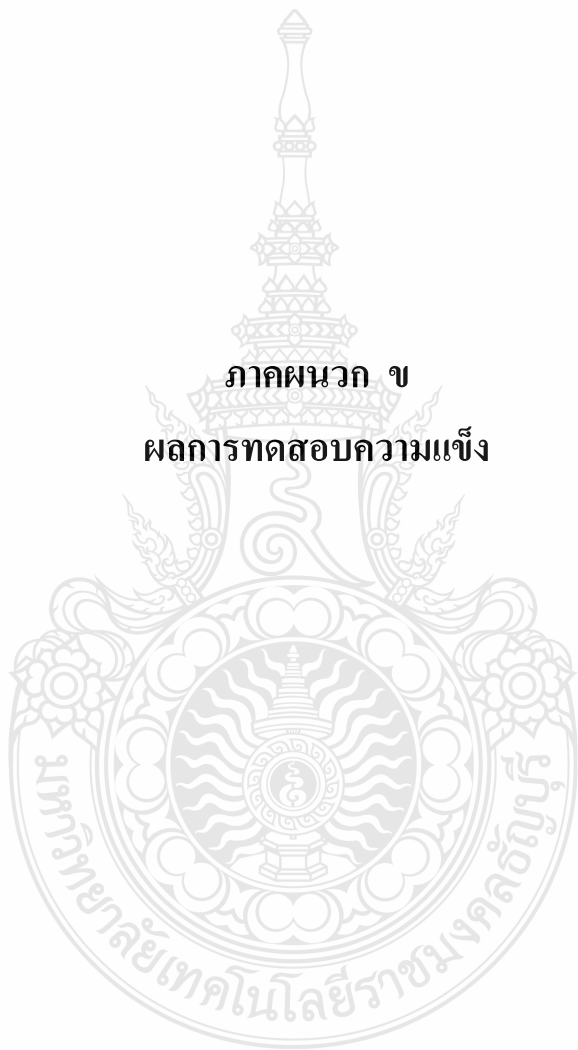
จากรูป ก.9 (ก) แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ของการเชื่อมที่กระแส 130 A พบว่าโครงสร้างของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 เกิดโครงสร้างที่ยังไม่เปลี่ยนแปลงไปมาจากโลหะฐานของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ดังรูป ก.7 (ก) เนื่องจากกระแสการเชื่อมที่ 130 A มีอุณหภูมิในการหลอมละลายโลหะน้อยกว่าอุณหภูมิการหลอมละลายของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ส่งผลให้ตำแหน่งในการทดสอบค่าความแข็งในบริเวณนี้มีค่าน้อยที่สุด

จากรูป ก.9 (ข) แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมและเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ของการเชื่อมที่กระแส 180 A พบว่า ผิวสัมผัสของรอยต่อตัวที่ระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SS400 มีความแตกต่างจากผิวสัมผัสของรอยต่อตัวที่ระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SS400 ดัง รูปที่ (ก) ซึ่งแสดงลักษณะของผิวสัมผัสที่เป็นเส้นบางแบ่งแยกชัดเจนระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SS400 การเกิดลักษณะนี้เนื่องจากการหลอมละลายและมีส่วนผสมของเหล็กกล้าต่างชนิดและมีส่วนผสมทาง

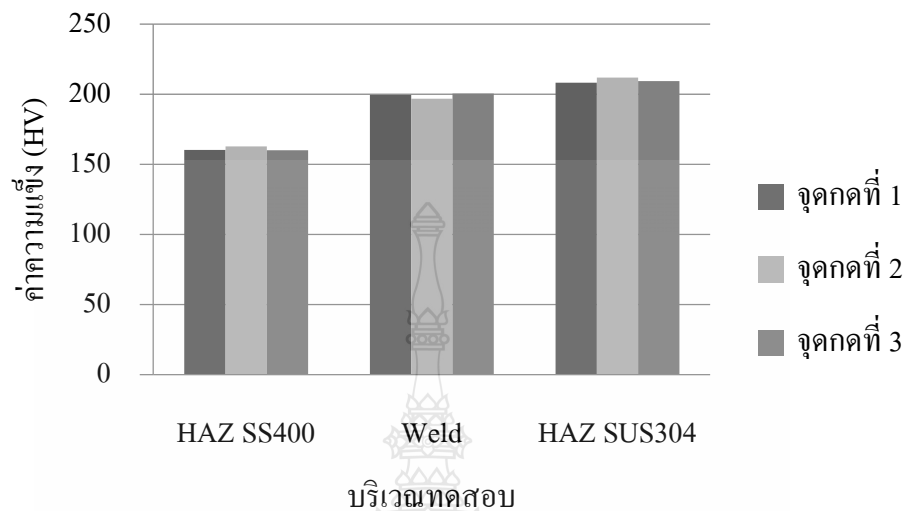
เคมีต่างกัน ทำให้ไม่สามารถแสดงการหลอมละลายรวมเนื้อโลหะเข้าด้วยกันเหมือนกับโลหะเชื่อม และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่มีส่วนผสมทางเคมีที่ใกล้เคียงกันดังรูป ก.8 (ข)



ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบความแข็ง



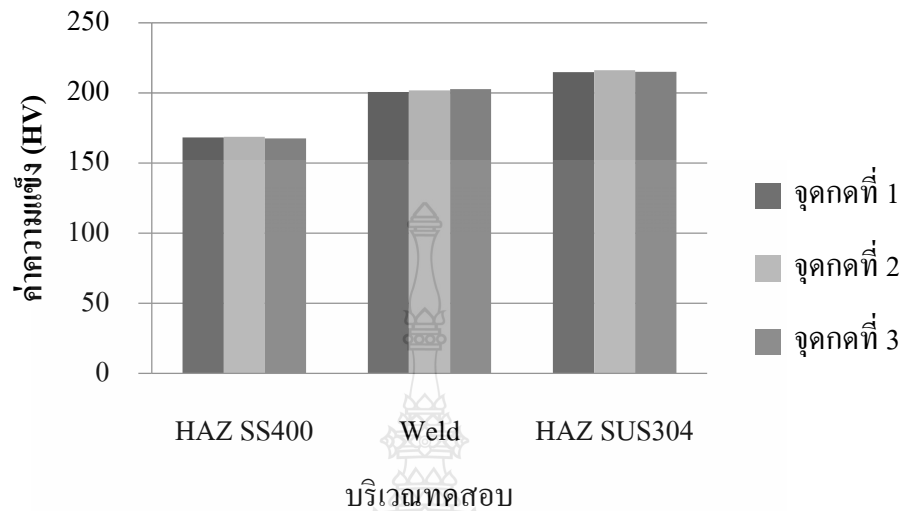
ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และกระแสเชื่อม 130 A



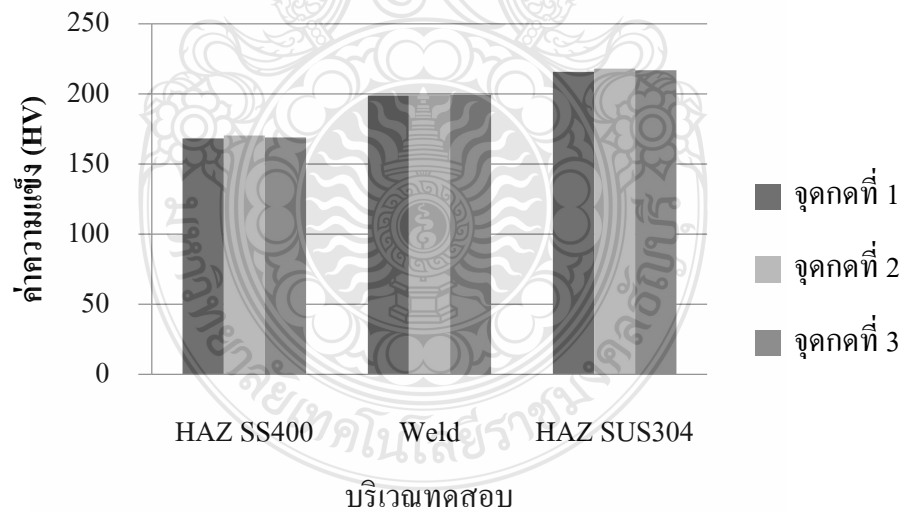
ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และกระแสเชื่อม 140 A



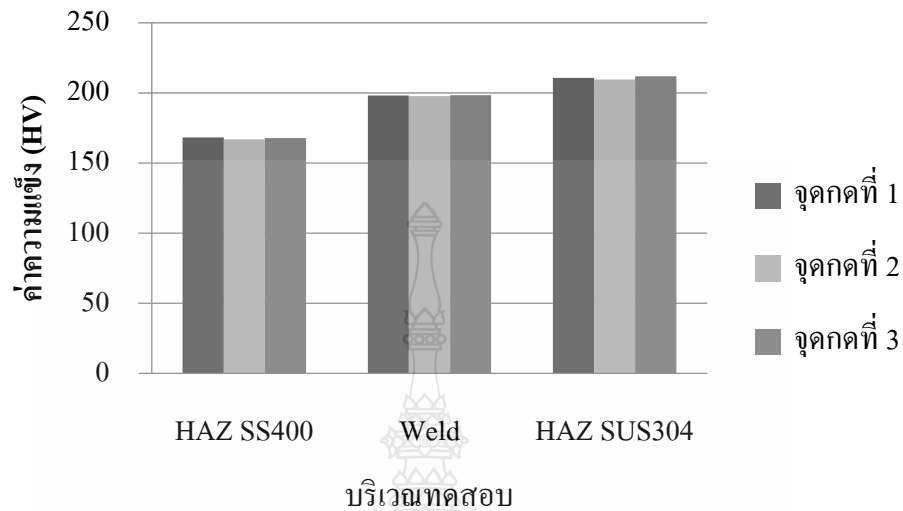
ข.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และกระแสเชื่อม 150 A



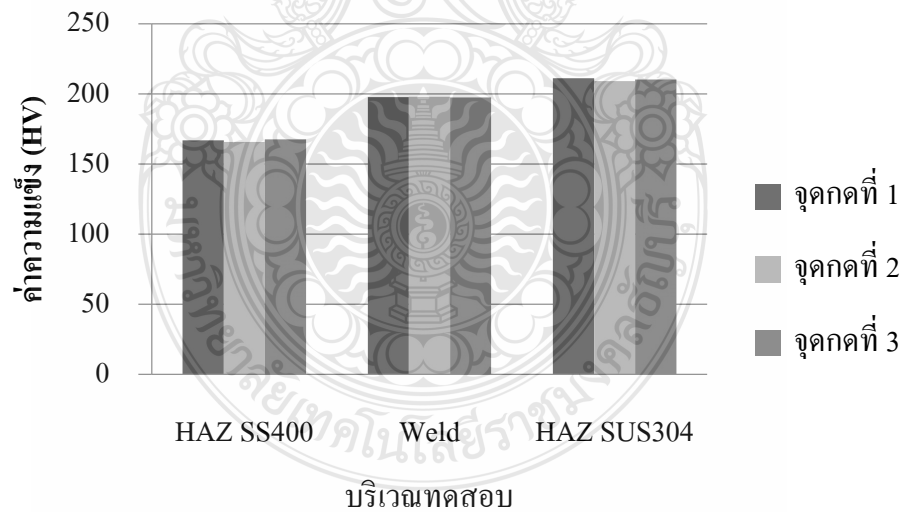
ข.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และกระแสเชื่อม 160 A



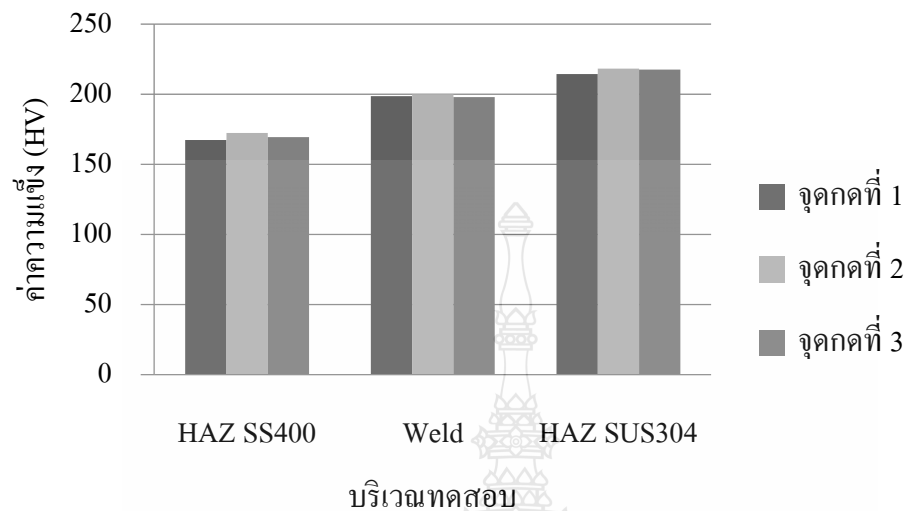
ข.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และกระแสเชื่อม 170 A



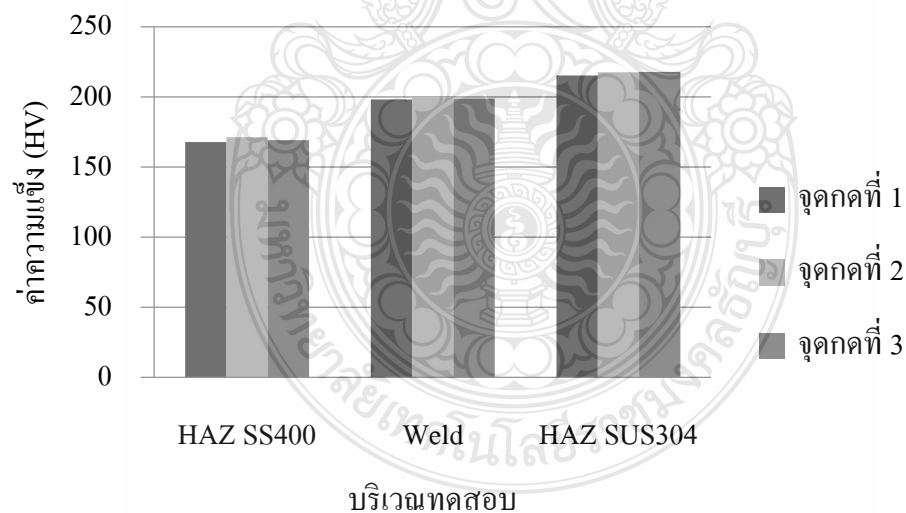
ข.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และกระแสเชื่อม 180 A



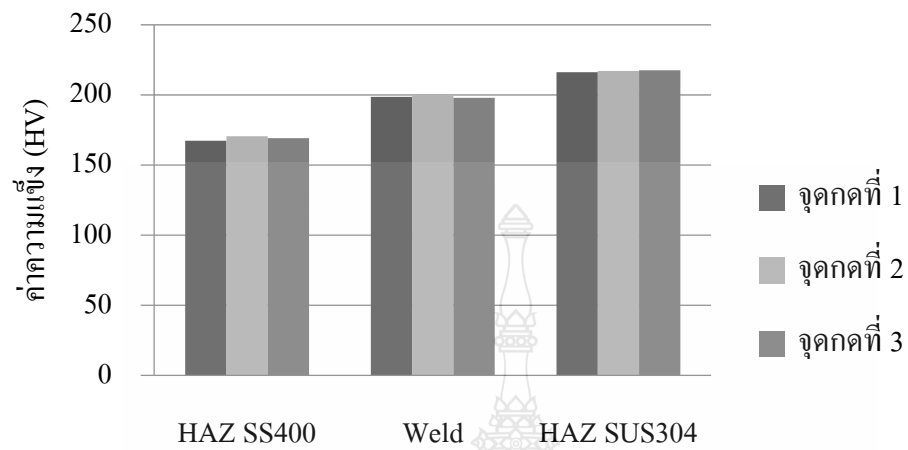
ข.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และมุมเชื่อม 30°



ข.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และมุมเชื่อม 45°



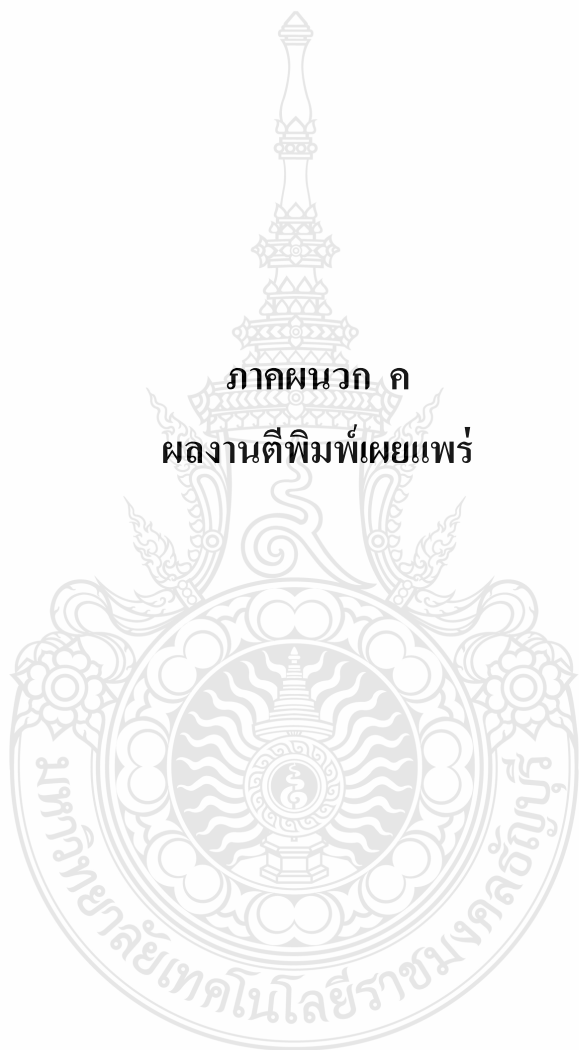
ข.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง ตำแหน่งการวัด และมุมเชื่อม 60°



บริเวณทดสอบ



ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์ก้าวหน้า
การประชุมวิชาการระดับชาติ



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่
The 14th KU-KPS Conference

14

ระหว่างวันที่ 7-8 ธันวาคม 2560

ณ อาคารศูนย์เรียนรวม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

ผลงานทางวิชาการ 8 สาขา

1. พืชและเทคโนโลยีชีวภาพ
2. สัตว์และสัตวแพทย์
3. วิศวกรรมศาสตร์
4. ศึกษาศาสตร์และพัฒนาศาสตร์
5. มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
6. วิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา
7. วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
และความหลากหลายทางชีวภาพ
8. ส่งเสริมการเกษตร



ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์กำแพงแสน
การประชุมวิชาการระดับชาติ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ **14**
The 14th KU-KPS Conference



คณะกรรมการฝ่ายจัดสัมมนาและประชุมวิชาการ

คณะกรรมการฝ่ายจัดสัมมนาและประชุมวิชาการ

ที่ปรึกษา	รักษาการแทนรองอธิการบดีวิทยาเขตกำแพงแสน
ประธานคณะอนุกรรมการ	รักษาการแทนผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายการศึกษาและวิเทศสัมพันธ์ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์นฤณ วรามิตร)
รองประธานคณะอนุกรรมการ	ผู้อำนวยการสำนักงานวิทยาเขตกำแพงแสน (นายวิโรจน์ ทองสุพรรณ)
อนุกรรมการและเลขานุการ	ประธานคณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ ฝ่ายเลขานุการจัด- ประชุมวิชาการ (นายสมเกียรติ ไทยปรีชา)
อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ	นางลวาลย์ เกียรติกำจาย นางรุ่งนภา สุนทรศารทูล นายนิรุทธิ์ รวยรื่น นางสาวพรรณวิภา โชคพิกุลทอง นางสาวพรรณพนิช จันทา นายทิวากร สอนสงวน
อนุกรรมการ	ประธานคณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ (รองศาสตราจารย์สนธิชัย จันทน์เปรม) ประธานคณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาสัตว์และสัตวแพทย์ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิรินทร์พร สินธุวนิชย์) ประธานคณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาวิศวกรรมศาสตร์ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฐิติพงษ์ สติระเมธีกุล) ประธานคณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์ (รองคณบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์) ประธานคณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (อาจารย์อนามัย คำเนตร)

ประธานคณะกรรมการจัดประชุมวิชาการ

สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา

(คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา)

ประธานคณะกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์

เทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม และความหลากหลายทางชีวภาพ

(อาจารย์อรรัม อันอาดมิ่งาม)

ประธานคณะกรรมการจัดประชุมวิชาการ

สาขาส่งเสริมการเกษตร

(รองศาสตราจารย์สุภาพร ไทยภักดี)

ประธานคณะกรรมการจัดประชุมวิชาการ

ฝ่ายประกวดผลงานทางวิชาการภาคโปสเตอร์

(ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมและฝึกอบรม กำแพงแสน)

ประธานคณะกรรมการ ฝ่ายจัดทำวิทยาสาร

(นายสมเกียรติ ไทยปรีชา)

ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย

(นายรัฐธีร์ ไชยศิริวัฒน์)



คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาวิศวกรรมศาสตร์

ที่ปรึกษา

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

ประธานคณะอนุกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฐิติพงษ์ สติวเมธีกุล

รองประธานคณะอนุกรรมการ

รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล

อนุกรรมการและเลขานุการ

นางสาวอรุณี สุขศรี

อนุกรรมการ

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสิณี ไสธวิทย์

อาจารย์ ดร.จตุเทพ วงษ์เพชร



ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

1. รองศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล
2. รองศาสตราจารย์ ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชรพล ชยประเสริฐ
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันรัฐ อับดุลลากาซิม
5. อาจารย์ ดร.ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล
6. อาจารย์ ดร.อาทิตย์ พวงสมบัติ
7. อาจารย์ ดร.สิรินาฏ น้อยพิทักษ์
8. อาจารย์ ดร.ภวินท์ ธีรภัทรานนท์

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

1. รองศาสตราจารย์ ดร.บัญชา ขวัญยืน
2. รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒินิชัย
3. รองศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ไชยสิทธิ์กุลชัย
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศธร ไสภาพันธุ์
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ดอนเจดีย์
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุวัฒน์ แสนสมบัติ
7. อาจารย์ ดร.ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์
8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิธิชิต์ สงวนเดื่อน
10. อาจารย์ ดร.เกศวรา สิทธิโชค
11. อาจารย์ ดร.จตุเทพ วงษ์เพชร
12. รองศาสตราจารย์ชัยศรี สุขสาโงจน์
13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชลอ จารุสุทธิรักษ์
14. นางปิยาภรณ์ สมสมัคร

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

1. รองศาสตราจารย์ ดร.รังสินี ไสอรวีทย์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รณฤทธิ์ ฤทธิธรรณ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ ขำของ
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา วิชชุกิจ
5. อาจารย์ ดร.วงศ์ผกา วงศ์รัตน

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

1. รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย กิจวัชรพรเวทย์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงศ์วัฒน์ ภัทรประภาพันธ์
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปนัดดา กลกิจวิวัฒน์
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทวัฒน์ ขมหวาน
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล อมรฟ้า
6. อาจารย์ ดร.สมชาย ประยงค์พันธ์
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริบุญา ทองชาติ
8. อาจารย์ ดร.นิภาวรรณ กุลสุวรรณ
9. อาจารย์ ดร.นที อธิกคุณากร
10. อาจารย์ ดร.ชารินทร์ ลิ้มสวัสดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐดนัย ตันพริ้วให้
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา ปรางกูมก
4. อาจารย์ ดร.จิรัชย์ สุภาสุทธากุล
5. อาจารย์ ดร.คมกฤษณ์ ชัยโย
6. อาจารย์ ดร.คณิต มานะธูระ

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพงษ์ สติระเมธีกุล
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรฤทธิ พุทธิพัฒน์ขจร
3. อาจารย์ ดร.กายรัฐ เจริญราษฎร์
4. อาจารย์ ดร.ปาริฉัตร เสริมวุฒิสาร
5. อาจารย์ ดร.ศิวตล เสถียรพัฒนากุล
6. อาจารย์ ดร.จักรกฤษ พฤษการ
7. อาจารย์ ดร.พิเชษฐ สืบสานพรหม
8. อาจารย์ ดร.วิริยา อรรถเสนา

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

1. อาจารย์ ดร.อรุณา เนื่องมัจฉา
2. อาจารย์ ดร.อริวัฒน์ บุญมี
3. รองศาสตราจารย์ ดร.ธนรัตน์ แต้วัฒนา
4. อาจารย์ ดร.กิตติชัย อธิกุลรัตน์
5. ดร.ศศิวิมล ขาวโกล

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

1. รองศาสตราจารย์ ดร.ปานมนัส ศิริสมบุญ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกิต ทิมขำ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตริอำนาจ
4. อาจารย์ ดร.กระวี ตริอำนาจ
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิตต์ สายสุนทร
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช
7. อาจารย์ ดร.นฤมล บุญกระจ่าง
8. อาจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล
9. อาจารย์ ดร.นารัณพี นาคะวัจนะ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารียา ฤทธิมา
2. อาจารย์ ดร.วิชญ์ ศรีวงษา
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณพิมพ์ พุทธิรักษา มะเปี่ยม
4. อาจารย์ ดร.วัชร เลือดี
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิตดา เตียวค้อย
6. อาจารย์ ดร.ดวงภา วาณิชสุรพร
7. อาจารย์ ดร.ธเนศร์ สมบุญ

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์
2. รองศาสตราจารย์ ดร.อัมพวัน ตันสกุล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนาตล คงสมบุญ
2. อาจารย์ ดร.กิตติ ทรัพย์ประสม
3. รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิช พูลเงิน
4. อาจารย์ ดร.นที สุริยานนท์
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กริณี ชัยมูล
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณพล อยู่บรรพต
7. อาจารย์ ดร.สราวุธ จันทสุวรรณ
8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองกฤษ โดชัยวัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศนพ กำเนิดทอง
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสาน สถิตเรืองศักดิ์
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพจน์ เวศพันธ์
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นฤปดี ศรีสังข์
5. อาจารย์ ดร.อาคม ประหลามานิต

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

1. อาจารย์ ดร.ไผทณ ผู้มีจรรยา
2. อาจารย์ ดร.ณัฐชามณูย์ ศรีจำเริญรัตน์
3. อาจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ ไชยสถานันต์กุล
4. อาจารย์ ดร.อุเทน สุปัติ
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุพธนา กันทะพะเยา
6. อาจารย์ ดร.ดำรงค์ อมรเดชาพล
7. อาจารย์ ดร.ภมร ศิลาพันธ์
8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระพีพันธ์ แก้วอ่อน
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกาเกษ วัฒยา
10. อาจารย์ ดร.พรภัทร์ ศิริธรรมกุล
11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระชัย มลายเวช

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

1. อาจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์
2. อาจารย์ ดร.มงคล อธิผลสิน
3. อาจารย์ ดร.ฐิติพงศ์ จำรัส
4. อาจารย์ ดร.ทศพล แจ่มใส
5. อาจารย์ ดร.ภักนี ปฏิทัศน์
6. อาจารย์ ดร.เพชร ชาดะวดี
7. อาจารย์ ดร.อาทิตย์ อภิโชติธนกุล
8. อาจารย์ ดร.วรมล เขาวรัตน์ วาตานาเบะ
9. อาจารย์ ดร.สันห์ รัฐวิบูลย์
10. อาจารย์ ดร.ชนู ขำบุญ

การศึกษาอิทธิพลของแรงดันไฟฟ้าและความเร็วรอบสายพานที่เหมาะสมต่อ	
กระบวนการชุบผิวแข็งวิธีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำสำหรับชิ้นส่วนฝาข้างโช้ตั้นตะขาบ.....	312
การวิเคราะห์การลดอุณหภูมิห้องโดยEco-cooler ด้วยโปรแกรมCFD.....	324
การวิเคราะห์การพาความร้อนแบบบังคับ โดยใช้โปรแกรม CFD.....	334
การใช้ประโยชน์ของส่วนผสมเถ้าเตาเผาขยะและเถ้าปาล์มเป็นวัสดุก่อสร้างถนน.....	344
การประเมินและเสริมกำลังอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว.....	353
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุบัติเหตุทางถนนของการขนส่งน้ำมันดิบ.....	363
การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของอาคารเก่าภายหลัง	
การปรับปรุงอาคารโดยการเพิ่มน้ำหนักแท่งค้ำและลิฟท์.....	375
คุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของอิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารา	
จากโรงงานปลาป่น.....	384
การประเมินอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้นภายใต้แรงแผ่นดินไหวในจังหวัดเชียงใหม่.....	393
กำลังเสริมของรากพืชในดิน พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำแม่พร่อง-แม่พูล บ้านผามูบ จังหวัดอุดรธานี.....	402
การประเมินผลการซ่อมแซมและปรับปรุงตอม่อของอาคารเก่า.....	411
ความหนาแน่นและความเค้นของพืชพันธุ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ดินถล่ม.....	420
สมบัติทางวิศวกรรมของไม้ดัดกลาสไฟเบอร์ประสานด้วยกาว.....	430
การศึกษาศักยภาพของวัสดุควบคุมกักต้งต่ำ(CLSM)จากกากดินขาวสำหรับงานโครงสร้างชั้นทาง.....	439
มาตรการการจัดการอาคารเพื่อลดความเสียหายจากภัยพิบัติแผ่นดินไหว	
ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.....	449
การศึกษากาปริมาณการยึดตัวของเหล็กเสริมจากการทดสอบกำลังรับแรงดึง.....	457
พฤติกรรมของการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง.....	470
การประยุกต์ใช้ไม้ไผ่เสริมคอนกรีตสำหรับโครงสร้างชายทะเล.....	479
อิทธิพลของกระแสเชื่อมแม่เหล็กต่อสมบัติรอยต่อตัวที่เหล็กกล้าต่างชนิด SS400/SUS304.....	488
การประเมินผลการสำรวจชั้นดินเพื่อหาจุดอ่อนไหวต่อการพิบัติสำหรับถนนเลียบคันคลอง.....	496
การศึกษาระยะห่างที่ปลอดภัยของรถที่ขับตามกันบนถนนพหุคูณ 2.....	504
แผ่นพื้นไม้จากไม้ปาล์มน้ำมัน.....	512
การประเมินทางเลือกของการลงทุนโรงไฟฟ้าขยะชุมชนขนาด 3 เมกะวัตต์	
โดยวิธีการเรย์ลอปชั่น.....	521
การประเมินค่ากักจัดขยะอุตสาหกรรมอันตรายประเภทของแข็งที่เหมาะสม	
กับโรงไฟฟ้าแบบแก๊สซิฟิเคชั่น อุณหภูมิสูง.....	530

อิทธิพลของกระแสเชื่อมแม่เหล็กต่อสมบัติรอยต่อตัวที่เหล็กกล้าต่างชนิด SS400/SUS304
Influence of MAG Welding Current on Dissimilar SS400/SUS304 Steels T-Joint Properties

วริยส แจ่งประเสริฐ¹ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์²
Wareeyos Changprasert¹, Kittipong Kimapong²

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์ในการเชื่อมรอยต่อตัวที่เหล็กกล้าต่างชนิด SS400/SUS304 ด้วยการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมโครเมียมสูง และศึกษาอิทธิพลกระแสเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อ รอยต่อตัวที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อมที่ถูกออกแบบถูกเตรียมด้วยวิธีทางกลและตรวจสอบสมบัติต่างๆ ของรอยต่อเชื่อม ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ รอยต่อตัวที่สามารถทำการเชื่อมได้ด้วยการเชื่อมแม่เหล็กโดยไม่ทำให้เกิดจุดบกพร่องใดๆ ในโลหะเชื่อม กระแสเชื่อมที่เหมาะสมในการทดลองนี้ คือ 160 A ซึ่งแสดงรอยแตกกว้างต่ำสุดในการทดลองการดัดโค้งที่ 0.247 mm ความแตกต่างของส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนและโลหะเชื่อมโครเมียมสูงทำให้เกิดผิวสัมผัสที่มีพื้นที่การรวมตัวของธาตุเสริมความแข็งแรงและโลหะหลักและส่งผลทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อลดลง อย่างไรก็ตามการเพิ่มกระแสเชื่อมสามารถเพิ่มการรวมตัวของโลหะทั้งสองที่ผิวสัมผัสและเพิ่มความแข็งแรงที่รอยต่อได้

คำสำคัญ: การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าไร้สนิม

ABSTRACT

This paper aims to weld a dissimilar SS400/SUS304 steel T-joint using high chromium electrode and study an effect of welding current on joint properties. T-joints that were welded by the designed welding currents were mechanically prepared and systematically investigated for joint properties. The experimental results were summarized as follows. Dissimilar SS400/SUS304 steels T-joint could be successfully welded using MAG welding process with no defect in weld metal. The optimized welding current in this experiment was 160 A that showed a minimized crack in a bending test of 0.247 mm. A different chemical composition of low carbon steel and high chromium weld metal produced a small interface that showed a smaller mixed zone of reinforced elements and base metal, and also affected to decrease the joint strength. However, the increase of the welding current could increase the combination of the reinforced element and the base metal at the interface and affected to increase the joint strength.

Keyword : MAG welding SUS304 stainless steel SS400 carbon steel

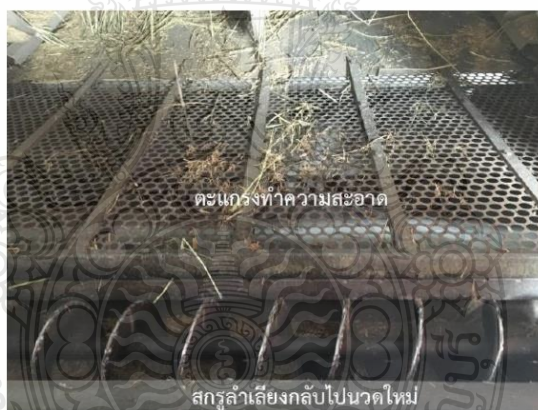
E-mail address : wareeyos_c@mail.mut.ac.th

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi 12110

คำนำ

สกรูลำเลียงเป็นหนึ่งในชิ้นส่วนสำคัญที่ถูกใช้งานกันอย่างกว้างขวางสำหรับการขนถ่ายก้อนวัสดุขนาดเล็กที่ต้องการอัตราการขนถ่ายที่เสถียรและสามารถควบคุมปริมาณการไหลเข้าออกได้ การใช้งานสกรูลำเลียงพบได้ในหลายแขนงงาน เช่น งานเหมืองแร่ งานเกษตร งานก่อสร้าง หรืออุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับสายพานลำเลียง สกรูลำเลียงมีข้อได้เปรียบในการใช้งานที่มากกว่า เช่น การเกิดแรงเสียดทานระหว่างใบสกรูและก้อนวัสดุน้อยกว่าทำให้ง่ายต่อการเคลื่อนที่ของก้อนวัสดุ ราคาถูกกว่า ง่ายต่อการบำรุงรักษา และมีความสะดวกในการขนถ่ายก้อนวัสดุในระยะสั้นหรือต้นก้อนวัสดุขึ้นสู่ที่สูง (Pezo *et al.*, 2015) ตัวอย่างการใช้งานสกรูลำเลียงในงานเกษตรกรรมไทยเพื่อจุดประสงค์ในการลดเวลาในการทำการเกษตร เช่น สกรูลำเลียงข้าวในรถเกี่ยวและนวดข้าว ดังรูปที่ 1 ซึ่งมีหน้าที่หลักในการลำเลียงเมล็ดข้าวกลับที่ผ่านการนวดกลับไปนวดซ้ำอีกครั้ง ในการสำรวจความเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวในพื้นที่กรณีศึกษาภาคกลาง พบว่าสกรูลำเลียงในเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวเป็นสกรูลำเลียงที่มีใบสกรูและเพลาสกรูที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เมื่อถูกนำไปใช้งานแล้วพบว่าการสึกหรอของใบสกรูลำเลียงข้าวกลับที่นวดซ้ำเป็นหนึ่งในชิ้นส่วนที่มีการสึกหรอสูง ความเสียหายเกิดจากการสึกหรอจากขัดสี (Abrasive wear) ที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนที่ผ่านของเมล็ดข้าวที่มีความชื้น และทรายหรือดินที่รวมเข้ามาในเมล็ดข้าวที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้เกิดแรงเสียดทานสูงขึ้นระหว่างเมล็ดข้าวและใบสกรูลำเลียง เกิดการสึกหรอของใบสกรูลำเลียง และทำให้เมล็ดข้าวไม่สามารถส่งกลับไปหาชุดนวดข้าวซ้ำอีกครั้งได้ (อดิศักดิ์ ไสวอมร และคณะ, 2559)



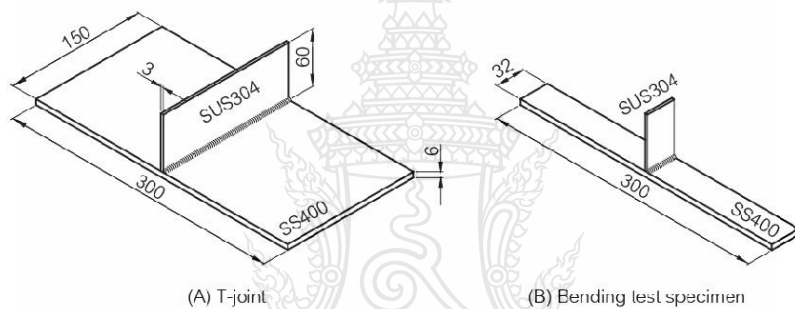
รูปที่ 1. แสดงสกรูลำเลียงในเครื่องเกี่ยวและนวดข้าว

เมื่อพิจารณาการเกิดการสึกหรอดังกล่าว การเลือกวัสดุทดแทนใบสกรูลำเลียงจากเหล็กกล้าคาร์บอนเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้โดยช่างซ่อมบำรุงรถเกี่ยวและนวดข้าว (อดิศักดิ์ ไสวอมร และคณะ, 2559) อย่างไรก็ตามเมื่อนำวัสดุใหม่เข้ามาทดแทนปัญหาต่างๆ ก็เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากใบและฐานของสกรูลำเลียงเป็นวัสดุต่างชนิดและมีรูปร่างที่แตกต่าง สมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางเคมีที่แตกต่างสามารถทำให้เกิดจุดบกพร่อง เช่น การแตกร้าวที่อุณหภูมิสูง การแตกร้าวหลังการเย็นตัว รุพุน การบิดเบี้ยวของชิ้นงาน เป็นต้น (Sun and Krappi, 1996) นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาการเชื่อมรอยต่อตัวที่มักทำให้เกิดปัญหาการกระจายตัว

ที่ไม่ล้มน้ำเสมอส่งผลทำให้รอยต่อมีการบิดเบี้ยวและเกิดความเค้นตกค้างในรอยต่อตัวที่ได้ (Yi *et al.*, 2015 และ Fu *et al.*, 2016) ความเค้นตกค้างที่มีค่าสูง เช่นบริเวณฐานของรอยต่อตัวที่เมื่อถูกนำไปใช้งานในสภาวะที่สัมผัสกับไฮโดรเจนหรือความชื้นมักทำให้เกิดการกัดกร่อนและแตกร้าวได้ เช่น การเกิดการร้าวซึมและแตกร้าวบริเวณโลหะเชื่อมรอยต่อตัวที่ถึงน้ำมันเหล็กกล้า API650 (Kim *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตามความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นสามารถลดลงได้เมื่อโลหะเชื่อมที่บริเวณรอยต่อมีความเว้าสูง (Cerit *et al.*, 2014) หรือทำการเชื่อมรอยต่อจากสองด้านในทิศทางแตกต่างกัน หรือการเพิ่มความหนาของแผ่นโลหะ (Deng *et al.*, 2007)

ข้อมูลวิจัยข้างต้นทำให้เกิดกรอบแนวคิดในการประยุกต์ใช้ใบสกรูเหล็กกล้าไร้สนิมทดแทนเหล็กกล้าคาร์บอนในสกรูลำเลียง และทำการประยุกต์การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมในการเชื่อมใบเข้ากับฐานสกรูลำเลียง ผลการทดลองที่ได้อาจสามารถทำให้เกิดสกรูลำเลียงแบบใหม่ที่มีอายุการใช้งานสูงกว่าสกรูลำเลียงแบบเดิม และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้ต่อไปในอนาคต

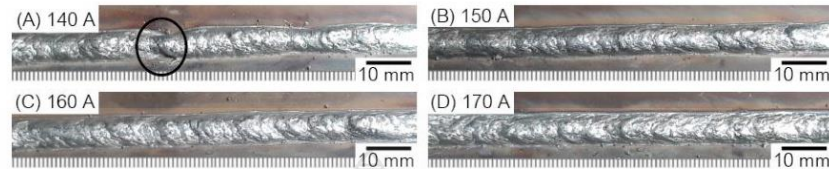
อุปกรณ์และวิธีการ



รูปที่ 2. แสดงแผนภาพรอยต่อจาก: (A) ขนาดของรอยต่อจากและ (B) การทดสอบการดัดโค้ง (Unit: mm.)

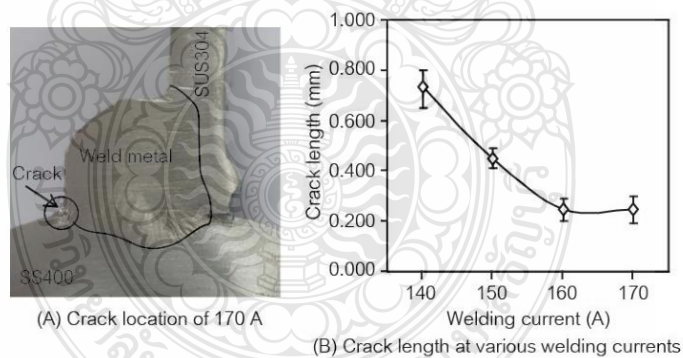
วัสดุในการทดลองคือ แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 (0.01C, 0.05P, 0.05S, wt%) หนา 6 mm. และแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 (18.0Cr, 8.0Ni, 0.08C, 2.0Si, wt%) หนา 3 mm. แผ่นเหล็กถูกตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยกำหนดให้เหล็กกล้าคาร์บอนมีขนาดกว้าง 150 mm และยาว 300 mm และเหล็กกล้าไร้สนิมมีขนาดกว้าง 60 mm และยาว 150 mm แผ่นเหล็กทั้งสองถูกนำมาประกอบเป็นรอยต่อตัวที่ดัง รูปที่ 2 (A) โดยกำหนดให้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมวางตั้งฉากบนเหล็กกล้าคาร์บอนที่กึ่งกลางด้านความยาวที่ 150 mm รอยต่อตัวที่ถูกทำการเชื่อมด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding: GMAW) โดยการใช้แก๊สคลุมคาร์บอนไดออกไซด์หรือการเชื่อมแม่เหล็ก (Metal active gas: MAG) ที่มีอัตราการไหล 15 l/min ด้วยลวดเชื่อม AWS A5.9 ER308LSi (0.016C, 0.85Si, 1.65Mn, 0.016P, 0.008S, 20.56Cr, 10.0Ni-wt%) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.26 mm กระแสเชื่อม 140-170 A ความเร็วเชื่อม 400 mm/min รอยต่อที่ได้จากการเชื่อมถูกนำไปทำการเตรียมเพื่อทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ประกอบด้วย การทดสอบการดัดโค้ง (Bending strength testing) ของชิ้นทดสอบตามเกณฑ์ JIS Z 3134 (1965) วิธีการทดสอบการดัดโค้งของรอยเชื่อมต่อจาก การตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา (Metallographic examination) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

ผลการทดลองและวิจารณ์



รูปที่ 3. แสดงลักษณะพื้นผิวของโลหะเชื่อมที่กระแส 140-170 A

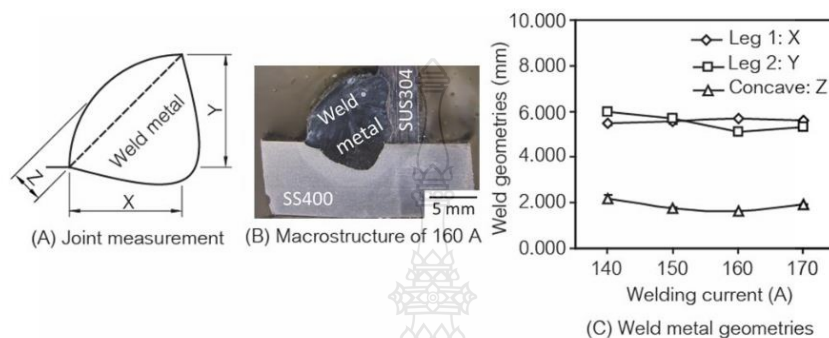
ผิวหน้าแนวเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมที่แตกต่างกัน รูปที่ 3 พบความแตกต่างของผิวหน้าแนวเชื่อม เมื่อกระแสเชื่อมมีค่าต่ำ 140 A ลักษณะแนวเชื่อมมีความไม่ต่อเนื่องดังแสดงโดยวงกลมใน รูปที่ 3 (A) ความไม่ต่อเนื่องนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการอาร์กที่ไม่สม่ำเสมอในขณะที่ทำการเชื่อม นอกจากนี้การอาร์กที่ไม่สม่ำเสมอนี้ทำให้ความกว้างของแนวเชื่อมไม่สม่ำเสมอ ความเสถียรของการอาร์กเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเชื่อมด้วยกระแส 150 A ความกว้างของแนวเชื่อมมีความสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นดัง รูปที่ 3 (B) เมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 140 A ค่าความกว้างและความสม่ำเสมอของแนวเชื่อมมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มเป็น 160 และ 170 A ตามลำดับดัง รูปที่ 3 (C) และ (D) การสม่ำเสมอของความกว้างของแนวเชื่อมและความราบเรียบของแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความร้อนขาเข้า (Heat input) ที่เพิ่มขึ้นในบ่อหลอมละลายมีค่าเพิ่มขึ้นและมีเวลาที่พอเพียงทำให้เกิดการหลอมละลายที่สมบูรณ์กว่า ผลการทดลองนี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกันในการเชื่อมเลเซอร์เหล็กกล้าคาร์บอนที่แสดงความสามารถและการหลอมละลายที่สูงกว่าเมื่อความร้อนขาเข้าของการเชื่อมเลเซอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานเลเซอร์และความเร็วเดินแนวเชื่อมลดลง (Liu *et al.*, 2017)



รูปที่ 4. แสดงขนาดและรอยแตกจากการทดสอบการดัดโค้ง

รอยต่อตัวที่ที่ถูกทำการเชื่อมด้วยกระแสต่างๆ ถูกนำไปทำการทดสอบการดัดโค้งด้วยวิธีการดังแสดงในหัวข้อที่ผ่านมาพบว่า ชิ้นงานสามารถทำการดัดโค้งให้มีมุมรวมมากกว่า 120° เมื่อทำการตรวจสอบรอยต่อด้วยกล้องขยายต่ำและได้ภาพดัง รูปที่ 4 (A) พบว่าเกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กที่บริเวณฐานโลหะเชื่อม (Weld toe) ที่

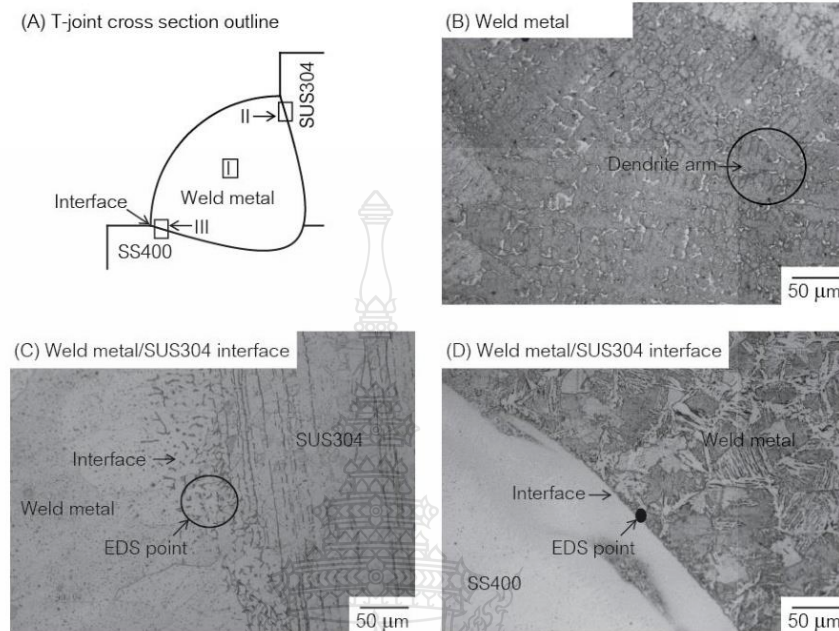
โลหะแผ่นล่างหรือเหล็กกล้าคาร์บอนและแนวเชื่อม รอยแตกร้าวที่พบนั้นเกิดขึ้นในชั้นทดสอบการดัดโค้งที่ผ่านการดัดจนขึ้นงานมีมุมรวม 120° เท่านั้น เมื่อทำการวัดความยาวรวมของรอยแตกร้าวในชั้นทดสอบที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 140 ถึง 170 A พบความยาวของรอยแตกร้าวมีค่าลดลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 140 ถึง 150 A และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นดัง รูปที่ 4 (B)



รูปที่ 5. แสดงขนาดของรอยเชื่อมต่อตัวที่

รูปที่ 5 (A) แสดงภาพร่างการวัดส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างมหาครอยต่อตัวที่ซึ่งประกอบด้วย ความกว้างของฐานโลหะเชื่อม (Weld toe) ของด้านรอยต่อตัวที่ (ระยะ X และ Y) และความหนาของแนวเชื่อม (ระยะ Z) เมื่อพิจารณาโครงสร้างมหาครอยต่อตัวที่ของการเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 160 A ดังรูปที่ 5 (B) พบค่าการวัดที่เปลี่ยนแปลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 140 ถึง 170 A ดังรูปที่ 5 (C) ความกว้างของฐานโลหะเชื่อมแผ่นล่าง (ระยะ X) และความหนาของโลหะเชื่อม (ระยะ Z) มีค่าลดลงเมื่อกระแสเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 140-160 A และเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อกระแสเปลี่ยนแปลงเป็น 170 A นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความกว้างของฐานโลหะเชื่อมแผ่นบน (ระยะ Y) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การเกิดการแตกร้าวที่ฐานโลหะเชื่อมด้านล่างของชิ้นทดสอบการตัดรูปที่ 4 พบความสัมพันธ์ที่สามารถตอบคำถามได้ว่า เมื่อโลหะมีความหนาของโลหะเชื่อมและความกว้างของฐานโลหะเชื่อมด้านล่างเพิ่มขึ้นสามารถส่งผลให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายในโลหะเชื่อมรอยต่อตัวที่

รูปที่ 6 (A) แสดงภาพโครงร่างของรอยต่อตัวที่ 1 และตำแหน่งการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมตำแหน่งที่ I โครงสร้างจุลภาคของผิวสัมผัส (Interface) ระหว่างโลหะฐาน SUS304 และโลหะเชื่อมตำแหน่งที่ II และโครงสร้างจุลภาคของผิวสัมผัสระหว่างโลหะฐาน SS400 และโลหะเชื่อมตำแหน่งที่ III โลหะเชื่อมของรอยต่อตัวที่ 1 เชื่อมด้วยลวดเชื่อม ER309LSi ดังรูปที่ 6 (B) แสดงโครงสร้างเคโนไครท์ของโลหะเชื่อมที่เกิดจากการเย็นตัวไม่สมดุลหรือการเย็นตัวเร็วของโลหะเชื่อมหลอมเหลวที่ได้รับความร้อนจากการอาร์กของลวดเชื่อมกับชิ้นงานจากสถานะของเหลวสู่สถานะของแข็งของโลหะ โครงสร้างเคโนไครท์ที่ก่อตัวมีความแข็งแรงสูงและส่งผลทำให้เกิดสมบัติทางกลและส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อมไม่สมดุล เมื่อทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีที่ตำแหน่งโครงสร้างเคโนไครท์และช่องว่างระหว่างแกนเคโนไครท์ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาปริมาณของธาตุเสริมความแข็งแรง คือโครเมียม แมงกานีส นิกเกิล และซิลิกอน พบว่าปริมาณของธาตุเหล่านี้มีค่าสูงกว่าในพื้นที่ของเคโนไครท์ (Askeland and Phule, 2006)



รูปที่ 6. แสดงโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อตัวที่ SS400/SUS304 ที่กระแส 160 A.

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของโครงสร้างเดนไดรต์ในโลหะเชื่อม

Analytical area (Element: wt%)	Si	Cr	Mn	Fe	Ni
Dendrite arm	0.37	18.16	1.68	69.7	10.09
Dendrite arm spacing	0.41	17.29	1.51	70.79	10.00

รูปที่ 6 (C) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SUS304 ซึ่งอยู่ด้านบนของรอยต่อตัวที่ตำแหน่งที่ II ดังรูปที่ 6 (A) บริเวณโลหะเชื่อมประกอบด้วยโครงสร้างเดนไดรต์ของลวดเชื่อมที่เกิดการหลอมละลายและแข็งตัวในบ่อหลอมละลายการเชื่อม โครงสร้างเดนไดรต์มีขนาดเล็กลงเมื่อตำแหน่งการตรวจสอบเข้าใกล้ผิวสัมผัสของรอยต่อ ลักษณะของผิวสัมผัสที่พบไม่มีการแบ่งแยกเป็นเส้นชัดเจน แต่เป็นผิวสัมผัสที่เป็นพื้นที่การรวมกันระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SUS304 การเกิดการรวมกันนี้เกิดขึ้นเนื่องจากโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SUS304 เป็นเหล็กกล้าผสมโครเมียมที่มีส่วนผสมทางเคมีที่ใกล้เคียงกันดังตารางที่ 2 ผิวสัมผัสของรอยต่อตัวที่ระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SS400 มีความแตกต่างจากผิวสัมผัสของรอยต่อตัวที่ระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SUS304 ดังรูปที่ 6 (D) ซึ่งแสดงลักษณะของผิวสัมผัสที่เป็นเส้นบางแบ่งแยกชัดเจนระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้า SS400 การเกิดลักษณะนี้เนื่องจากส่วนผสมของเหล็กกล้าต่างชนิดและมีส่วนผสมทางเคมีต่างกัน ธาตุเสริมความแข็งแรงที่มีปริมาณสูงในโลหะเชื่อมไม่สามารถเคลื่อนที่

หรือเคลือบที่ได้น้อยเพื่อเข้าไปรวมตัวกับเหล็กกล้า SS400 ซึ่งมีปริมาณของธาตุเสริมความแข็งแรงต่ำได้ รูปแบบของผิวสัมผัสที่เกิดขึ้นนี้พบได้เมื่อทำการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าต่างชนิด SS400/SUS304 (Poonnyom *et al.*, 2015) ส่วนผสมทางเคมีของพื้นที่รวมตัวกันขนาดเล็กบริเวณผิวสัมผัสดัง รูปที่ 6 (D) มีค่าค่อนข้างต่ำส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของพื้นที่นี้ต่ำกว่าและส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวที่บริเวณผิวสัมผัสดัง รูปที่ 6 (A) ผิวสัมผัสที่แบ่งแยกชัดเจนระหว่างโลหะเชื่อมและเหล็กกล้านี้สามารถพบได้ในการเชื่อมรอยต่อด้วยกระแสเชื่อม 140 150 และ 170 A เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของส่วนผสมทางเคมีของธาตุเสริมความแข็งแรงในพื้นที่ผิวสัมผัสพบว่าธาตุต่างๆ เหล่านี้มีค่าลดลงดัง ตารางที่ 2 และเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการแตกร้าวมีความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจาก 160 A

ตารางที่ 2 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อม/โครงสร้างโลหะฐาน

Analytical area (Element: wt%)	Si	Cr	Mn	Fe	Ni
Weld metal/SUS304 Interface	0.36	18.01	1.12	71.74	8.77
Weld metal/SS400 Interface of 140 A	0.05	2.65	0.51	95.13	1.66
Weld metal/SS400 Interface of 150 A	0.09	3.89	0.70	93.31	2.01
Weld metal/SS400 Interface of 160 A	0.11	4.27	0.81	92.36	2.45
Weld metal/SS400 Interface of 170 A	0.05	3.99	0.77	93.18	2.01

สรุปผลและเสนอแนะ

1. รอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้า SS400 และ SUS304 สามารถทำการเชื่อมได้ด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมโดยไม่พบจุดบกพร่องในโลหะเชื่อม และให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดเมื่อเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 160 A
2. ส่วนผสมที่แตกต่างกันระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และโลหะเชื่อมโครเมียมสูงทำให้เกิดผิวสัมผัสที่มีพื้นที่การรวมตัวกันน้อยของธาตุเสริมความแข็งแรง และส่งผลทำให้มีความแข็งแรงต่ำกว่าผิวสัมผัสที่ด้านเหล็กกล้า SUS304 และโลหะเชื่อมที่มีพื้นที่การรวมตัวกันมากกว่า
3. การเพิ่มกระแสเชื่อมส่งผลทำให้รอยต่อมีค่าความแข็งแรงลดลงเนื่องจากความสามารถในการรวมตัวของธาตุเสริมความแข็งแรงและความแข็งแรงต่ำแห่งผิวสัมผัสระหว่างโลหะฐานกับโลหะเชื่อม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีสำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Askeland, D. R. and P. P. Phule. 2006. **The Science and Engineering of Materials**. Thompson Canada Limited, Toronto.
- Cerit, M., Hosgor, K. and Ayhan, A.O. 2014. Fracture mechanics-based design and reliability assessment of fillet welded cylindrical joints under tension and torsion loading. **Engineering Fracture Mechanics** 116: 69-79.
- Deng, D., Liang, W., and Murakawa, H. 2007. Determination of welding deformation in fillet-welded joint by means of numerical simulation and comparison with experimental measurements. **Journal of Materials Processing Technology** 183(2-3): 219-225.
- Fu, G., M. I. Lourenço, M. Duan and S. F. Estefen (2016). "Influence of the welding sequence on residual stress and distortion of fillet welded structures." *Marine Structures* 46: 30-55.
- Kim, J.S., An, D.-H., Lee, S.Y. and Lee, B.Y. 2009. A failure analysis of fillet joint cracking in an oil storage tank. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries** 22(6): 845-849.
- Liu, C.B.,Jia, C.S.Wu, G.K.Zhang, J.Q.Gao 2017. Measurement of the keyhole entrance and topside weld pool geometries in keyhole plasma arc welding with dual CCD cameras. **Journal of Materials Processing Technology**. 248: 39-48
- Poonnayom, P., Yamphuam, P., and Kimapong, K. 2015. Effect of Gas Metal Arc Welding Speed on Tensile Strength of SUS304 Stainless Steel and SS400 Carbon Steel Butt Joint. pp. 64-67. *in The 7 th International Conference on Engineering and Technology ICET-2015*. Songkla, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University.
- Pezo, L., Jovanovic, A., Pezo, M., Colovic, R. and Loncar, B. 2015. Modified screw conveyor-mixers – Discrete element modeling approach. **Advanced Powder Technology** 26(5): 1391-1399.
- Sun, Z. and R. Karppi. 1996. The application of electron beam welding for the joining of dissimilar metals: an overview. **Journal of Materials Processing Technology** 59(3): 257-267.
- Yi, J., S., Cao, L.x., Li, P.C., Guo., C., and Liu, K.Y. 2015. Effect of welding current on morphology and microstructure of Al alloy T-joint in double-pulsed MIG welding. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China** 25(10): 3204-3211.
- อดิศักดิ์ ไสวอมร ระพี กาญจนะ และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์. 2559. การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว โดยประยุกต์ใช้เทคนิค Failure Mode and Effect Analysis (FEMA). แผ่นซีดีรอม. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, จ.พระนครศรีอยุธยา.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล	นายวริยส แฉ่งประเสริฐ
วัน เดือน ปีเกิด	28 เมษายน 2535
ที่อยู่	8/2 หมู่ 3 ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์ทำงาน	บริษัท เจวีซีเคนิวค อีเล็กทรอนิกส์ (ไทยแลนด์) จำกัด พ.ศ.2561 ถึง ปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	08 -4699-02142
อีเมลล์	wareeyos_c@mail.rmutt.ac.th

