

อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติของรอยต่อชน  
เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400  
โดยใช้แผ่นรองหลัง

THE INFLUENCE OF GMAW PARAMETER ON  
SUS304L STAINLESS STEEL AND SS400 CARBON STEEL  
BUTT JOINT PROPERTIES WITH BACKING PLATE

พิชากร ต่วนบุตร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2563  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติของรอยต่อชน  
เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยใช้แผ่นรอง  
หลัง



พิชากร ต่วนบุตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติของรอยต่อชน  
เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยใช้แผ่นรองหลัง  
The Influence of GMAW Parameters on SUS304L Stainless Steel and  
SS400 Carbon Steel Butt Joint Properties with Backing Plates

ชื่อ - นามสกุล

นายพิชากร ต่วนบุตร

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต

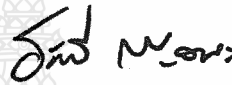
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.

ปีการศึกษา

2563

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



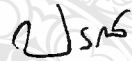
ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระพี กาญจนะ, D.Eng.)




กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทร์มณี, Ph.D.)



กรรมการ

(อาจารย์ปรกช สิริสุวัฒน์, Ph.D.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 22 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2564

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้แนวคิด ถ่ายทอดความรู้ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยในครั้งนี้นี้ งานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ.ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ท่านอาจารย์ ดร.ปรกช สิริสุวัฒน์ ศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทรมณี กรรมการสอบ ที่ได้ให้ความกรุณาในการให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัย อีกทั้งยังเสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณท่านอาจารย์สุรียา ประสมทอง ที่ได้ให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา บ่มเพาะจนสามารถนำเอาหลักการวิชาความรู้มาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และท่านผู้มีพระคุณทุกท่าน

พิชากร ต่วนบุตร



หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยใช้แผ่นรองหลัง
ชื่อ-นามสกุล	นายพิชากร ต่วนบุตร
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2563

### บทคัดย่อ

รอยต่อชนแผ่นบางระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 นั้นยากต่อการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมเนื่องจากความร้อนขาเข้าที่มีค่าสูงมักทำให้เกิดการหลอมทะลุในขั้นตอนการเชื่อม ที่ผ่านมามีการวิจัยที่ใช้แผ่นรองหลังวางด้านล่างรอยต่อชนสามารถทำให้หลีกเลี่ยงการเกิดการหลอมทะลุและสามารถทำให้เกิดรอยต่อสมบูรณ์ปราศจากจุดบกพร่องต่าง ๆ ได้ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการศึกษาตัวแปรการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ที่ใช้แผ่นรองหลัง 2 ชนิด และทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกลและโครงสร้างโลหะวิทยาของโลหะเชื่อม

รอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ที่ใช้เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 เป็นแผ่นรองหลังถูกเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 160-200 แอมแปร์ และความเร็วเดินแนวเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที รอยต่อที่ได้ ถูกนำมาทำการเตรียมชิ้นทดสอบด้วยวิธีการทางกลเพื่อตรวจสอบความแข็งแรง ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาคของรอยต่อ

ผลการทดลองพบว่าความร้อนขาเข้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความกว้าง ความนูน การหลอมลึก และความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้น การใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นแผ่นรองหลังแสดงความแข็งแรงสูงกว่าแผ่นรองหลังเหล็กกล้าคาร์บอนเนื่องจากโลหะเชื่อม และแผ่นรองหลังมีการรวมตัวสูง เมื่อเปรียบเทียบผลการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึง รอยต่อที่ใช้แผ่นรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิมแสดงการพังทลายแบบหลุมซึ่งแสดงสมบัติความเหนียวในปริมาณสูงกว่าแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน ความแข็งแรงดึงสูงสุดของรอยต่อแผ่นรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าสูงกว่ารอยต่อแผ่นรองหลังเหล็กกล้าคาร์บอน 15%

**คำสำคัญ** : การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม ความร้อนขาเข้า แผ่นรองหลัง เหล็กกล้า

<b>Thesis Title</b>	The Influence of GMAW Parameters on SUS304L Stainless Steel and SS400 Carbon Steel Butt Joint Properties with Backing Plates
<b>Name – Surname</b>	Mr. Pichakorn Tuanbut
<b>Program</b>	Industrial and Manufacturing Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2020

## ABSTRACT

A thin plate butt joint of SUS304L stainless steel and SS400 carbon steel was difficult to be welded by a gas metal arc welding process due to the high heat input which could produce a burn-through in joint. It was found that placing a backing plate beneath the butt joint could avoid the burn-through and produce a sound joint without any welding defects. Therefore, this research aimed to study the GMAW parameters affecting SUS304L stainless steel and SS400 carbon steel butt joint properties with 2 types of backing plates, and to compare mechanical properties and microstructures of the welded metal.

The butt joint of SUS304L stainless steel and SS400 carbon steel with a backing plate made of SUS304L stainless steel and the butt joint of SUS304L stainless steel and SS400 carbon steel with a backing plate made of SS400 carbon steel were welded using the GMAW process with the welding current of 160-200 A and the welding speed of 200-300 mm/min. The welded joints were examined for the tensile strength, the joint hardness, and the welded joint microstructure.

The research revealed that the higher heat input increased the weld width, the weld convex, the weld penetration, and the joint strength. The joint with the stainless steel backing plate showed higher joint strength than that of the joint with the carbon steel backing plate due to a better combination between the welded metal and the backing plate material. Comparing the fracture surface of the tensile specimens, the joint with the stainless steel backing plate showed a dimple pattern that implied higher ductile properties than that of the joint with the carbon steel backing plate. The maximum tensile strength of the joint with the stainless steel backing plate was 15% higher than that of the joint with the carbon steel backing plate.

**Keywords:** gas metal arc welding (GMAW), heat input, backing plate, steel

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(2)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(3)
กิตติกรรมประกาศ.....	(4)
สารบัญ.....	(5)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูปภาพ.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(13)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	14
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	17
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	17
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	17
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	18
2.2 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม.....	23
2.3 กระบวนการเชื่อม.....	24
2.4 กระบวนการทดสอบแนวเชื่อม.....	26
2.5 การทดสอบแรงดึงมาตรฐาน.....	30
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	35
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	35

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 วัสดุในการทดลอง.....	36
3.3 การออกแบบรอยต่อ.....	37
3.4 การทดสอบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค.....	38
3.5 ตัวแปรในการทดลอง.....	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	49
4.1 อิทธิพลของกระแสไฟและความเร็วในการเชื่อมต่อลักษณะทาง กายภาพแนวเชื่อม.....	49
4.2 อิทธิพลของกระแสไฟและความเร็วในการเชื่อมต่อค่าความแข็งแรงดึง.....	57
4.3 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม.....	68
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	70
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	70
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	70
บรรณานุกรม.....	72
ภาคผนวก.....	75
ภาคผนวก ก ตารางการทดลอง และผลการทดสอบค่าความต้านทานแรง ดึงตามมาตรฐาน ASTM E8.....	76
ภาคผนวก ข ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อม MIG ของตัวแปรต่างๆ.....	80
ภาคผนวก ค ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงดึง.....	87
ภาคผนวก ง ชิ้นงานที่ผ่านการศึกษาคือโครงสร้างจุลภาค.....	94

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก จ รูปภาพการปฏิบัติงาน.....	113
ภาคผนวก ฉ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	124
ประวัติผู้เขียน.....	135



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า SS400[4].....	20
ตารางที่ 2.2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400.....	20
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานเหล็ก ASTM[6].....	22
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อม (wt%).....	36
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรการเชื่อมด้วยการใช้ SUS 304 Blacking plate.....	47
ตารางที่ 3.3 ตัวแปรการเชื่อมด้วยการใช้ SS 400 Blacking plate.....	48



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 เครื่องจักรกลเกษตรในการทำนา.....	14
รูปที่ 1.2 สกรูลำเลียงสำหรับนำเมล็ดข้าวเปลือกกลับไปนวดใหม่ในรถเกี่ยว.....	16
รูปที่ 2.1 แสดงรอยต่อและแนวเชื่อมต่อชน.....	24
รูปที่ 2.2 เครื่องขัดโลหะ.....	28
รูปที่ 2.3 เครื่องทดสอบแรงกระแทกเพนดูลัม.....	28
รูปที่ 2.4 เครื่องทดสอบความแข็ง.....	29
รูปที่ 2.5 ตู้อบขนาดกลาง.....	29
รูปที่ 2.6 ตู้อบขนาดเล็ก.....	30
รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงานวิจัย.....	35
รูปที่ 3.2 ขนาดชิ้นงานทดลอง (หน่วย: mm).....	36
รูปที่ 3.3 การออกแบบขั้นตอนการเชื่อมรอยต่อชน (หน่วย: mm).....	37
รูปที่ 3.4 วัสดุเชื่อมและการเตรียมวัสดุในการเชื่อมทดลองในการเชื่อมวัสดุต่างชนิดแบบมีวัสดุรองหลัง.....	37
รูปที่ 3.5 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมในการทดลองการเชื่อมวัสดุต่างชนิด.....	38
รูปที่ 3.6 การออกแบบ และการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล.....	39
รูปที่ 3.7 ชิ้นทดสอบสมบัติทางกลแนวเชื่อม (ก) ชิ้นทดสอบแรงดึง (ข) ลักษณะการทดสอบความแข็ง (ค) ตำแหน่งการทดสอบโครงสร้างจุลภาค.....	39
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการขัดกระดาษทราย.....	40
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers).....	41
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการกัดกรดโครงสร้าง.....	42
รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบซุม (Stereo Microscopes).....	43
รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง.....	44

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 ตำแหน่งตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	44
รูปที่ 3.14 ตำแหน่งตรวจสอบรอยแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกวาด.....	45
รูปที่ 3.15 การเตรียมชิ้นงานตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กวาด.....	46
รูปที่ 3.16 เครื่องตรวจสอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด.....	46
รูปที่ 3.17 ตำแหน่งการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อม.....	47
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผิวหน้ากับการซึมลึกของแนวเชื่อมที่รองพื้นด้วย เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L กระแสเชื่อม 160 แอมแปร์ ที่ความเร็วใน การเชื่อมแตกต่างกัน.....	50
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบผิวหน้ากับการซึมลึกของแนวเชื่อมที่รองพื้นด้วย เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304L กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วใน การเชื่อมแตกต่างกัน.....	51
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผิวหน้ากับการซึมลึกของแนวเชื่อมที่รองพื้นด้วย เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304L กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ ที่ความเร็วใน การเชื่อมแตกต่างกัน.....	52
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผิวหน้ากับการซึมลึกของแนวเชื่อมที่รองพื้นด้วย เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 กระแสเชื่อม 160 แอมแปร์ ที่ความเร็วใน การเชื่อมแตกต่างกัน.....	53
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบผิวหน้ากับการซึมลึกของแนวเชื่อมที่รองพื้นด้วย เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วใน การเชื่อมแตกต่างกัน.....	54



## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบผิวหน้ากับการซึมลึกของแนวเชื่อมที่รองพื้นด้วย เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ ที่ ความเร็วในการเชื่อมแตกต่างกัน.....	55
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบการเจือจางของแนวเชื่อม(ก) เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304L รองหลัง (ข) เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รองหลัง.....	56
รูปที่ 4.8 ความแข็งแรงดึงกับอัตราการยืดตัวของแนวเชื่อมด้วยแผ่นรองหลัง เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ที่กระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์.....	59
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย ความเร็ว 250 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L รองหลัง.....	59
รูปที่ 4.10 ความแข็งแรงดึงกับอัตราการยืดตัวของแนวเชื่อมด้วยแผ่นรองหลัง เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ที่กระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์.....	61
รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย ความเร็ว 250 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รองหลัง.....	62
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบชนิดของแผ่นรองหลังต่อค่าความแข็งแรงดึงและ อัตราการยืดตัวของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็ว 250 มิลลิเมตร ต่อนาที กระแสไฟในการเชื่อม 200 แอมแปร์.....	63
รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายฉีกขาดวัสดุรองหลัง เหล็กกล้าไร้สนิมSUS304L กระแสไฟในการเชื่อม 160-180 แอมแปร์ความเร็วในการเชื่อม 200 250 และ 300 มิลลิเมตรต่อ นาที.....	64
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายฉีกขาดวัสดุรองหลังเหล็กกล้า คาร์บอน SS400กระแสไฟในการเชื่อม 160-180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 250 และ 300 มิลลิเมตรต่อนาที.....	65

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะการพังทลายของแนวเชื่อมบริเวณพื้นที่กระทบบร้อน (HAZ).....	66
รูปที่ 4.16 รูปแสดงการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อมชนิดแผ่นรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L.....	67
รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อมชนิดแผ่นรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L.....	68
รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณพื้นที่กระทบบร้อนที่เชื่อมด้วยความเร็วในการเชื่อมที่ 250 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟในการเชื่อมที่ 160 – 200 แอมแปร์.....	69



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope)
kgf	แรงกด (กิโลกรัม)
mm	มิลลิเมตร
Mm/min	ความเร็วเดินเชื่อมและความเร็วการเติมลวด (Welding Speed and Welding Wire Speed)
HV	หน่วยความแข็ง (Micro Hardness Viker)



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากความต้องการบริโภคข้าวมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (ปี พ.ศ.2554-2559) ขณะที่ปริมาณการผลิตข้าวโดยรวมของโลกมีปริมาณที่ลดลงส่งผลทำให้ผู้ผลิตข้าวโดยเฉพาะชาวนาได้ปรับเปลี่ยนวิธีการทำนาเพื่อให้ผลิตภาพ (Productivity) การผลิตข้าวเพิ่มขึ้น ที่ผ่านมาการผลิตภาพที่มีการดำเนินการในอดีตของชาวนาไทยคือ การประยุกต์ใช้เครื่องจักรกลเกษตรในการทำนา เช่น การใช้รถไถนา เครื่องปักดำ รถเกี่ยวและนวดข้าว ทั้งนี้ผู้ศึกษางานวิจัยได้ดำเนินการศึกษาวิจัยรถเกี่ยวและนวดข้าวดังรูปที่ 1.1 พบปัญหาการชำรุดเสียหายในส่วนของใบสกรูลำเลียง ซึ่งปัจจุบันมีวิธีการที่สามารถทำให้วัสดุเกิดความแข็งแรงที่ผิวชิ้นงานได้หลายวิธีได้แก่ กระบวนการชุบผิวแข็ง (Surface hardening) หรือกระบวนการอบชุบเหล็กด้วยความร้อน (Heat treatment) อย่างไรก็ตาม กระบวนการดังกล่าวเป็นการทำงานที่ใช้เวลาและสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง รวมทั้งจำเป็นที่จะต้องมีการอบชิ้นงาน ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวอาจหาได้ยากสำหรับเกษตรกรทั่วไป



รูปที่ 1.1 เครื่องจักรกลเกษตรในการทำนา

สกรูลำเลียงข้าวในรถเกี่ยวและนวดข้าวดังรูปที่ 1.2 ซึ่งมีหน้าที่หลักในการลำเลียงเม็ดข้าวที่ผ่านการนวดกลับ ไปนวดซ้ำอีกครั้ง ในการสำรวจความเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวในพื้นที่กรณีศึกษาภาคกลาง พบว่าสกรูลำเลียงในเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวเป็นสกรูลำเลียงที่มีใบสกรูและเพลาสกรูที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เมื่อถูกนำไปใช้งานแล้วพบว่า การสึกหรอของใบสกรูลำเลียงข้าวกลับไปนวดซ้ำ เป็นหนึ่งในชิ้นส่วนที่มีการสึกหรอสูง ความเสียหายเกิดจากการสึกหรอจากขัด สี (Abrasive wear) ที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนที่ผ่านของเมล็ดข้าวที่มีความชื้น และทรายหรือดินที่รวมเข้ามาในเม็ดข้าวที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้เกิดแรงเสียดทานสูงขึ้นระหว่างเม็ดข้าวและใบสกรูลำเลียง เกิดการสึกหรอของใบสกรูลำเลียงและทำให้เมล็ดข้าวไม่สามารถส่งกลับไปหาชุดนวดข้าวซ้ำอีกครั้งได้ เมื่อพิจารณาการเกิดการสึกหรอดังกล่าวการเลือกวัสดุทดแทนใบสกรูลำเลียงจากเหล็กกล้าคาร์บอนเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้โดยช่างซ่อมบำรุงรถเกี่ยวและนวดข้าว อย่างไรก็ตามเมื่อนำวัสดุใหม่เข้ามาทดแทน ปัญหาต่างๆ จากการเชื่อมหลอมละลายกลับ เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของสมบัติทางกล กายภาพ และเคมีสามารถทำให้เกิดจุดบกพร่อง เช่น การแตกร้าวที่อุณหภูมิสูงการแตกร้าวหลังการเย็นตัว รุปรุน การบิดเบี้ยวของชิ้นงาน เป็นต้น [1]

ปัจจุบันเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 เป็นวัสดุที่ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตร เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง ความสามารถในการเปลี่ยนรูปสูง ทดทานการกัดกร่อนและการเสียดสีได้ดี อีกทั้งสามารถเชื่อมต่อง่าย [2] แต่สำหรับในอุตสาหกรรมบางชิ้นส่วนต้องทำให้ต้นทุนถูกลงแต่ต้องไม่ลดทอนประสิทธิภาพในการทำงาน เหล็กกล้าคาร์บอนจึงเป็นทางเลือกในการลดต้นทุนเนื่องจากมีราคาถูกกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม 3-4 เท่า อีกทั้งมีความสะดวกในการผลิตและที่สำคัญสามารถต่อกับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ด้วยวิธีการเชื่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ[3] แต่ต้องเลือกกระบวนการและวิธีการเชื่อมที่เหมาะสม เช่น การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding: GMAW) รอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าคาร์บอน หรือรอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิมผิวเพลกซ์และเหล็กกล้าคาร์บอน นอกจากนั้นการเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์สามารถประยุกต์ใช้ในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับโลหะอื่นๆ เช่น อินโคเนล นิกเกิลผสม หรือการใช้การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนรอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิมเพอริติกและออสเทนิติก[4] ในการศึกษาการเชื่อมเป็นการศึกษาเพื่อหาตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดสมบัติของโลหะเชื่อมและรอยต่อที่มีค่าสูงสุด ตัวแปรการเชื่อมต่างๆ ที่มีการศึกษาประกอบด้วยกระแสเชื่อม แรงดันไฟเชื่อม และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม[5] ที่ส่งผลโดยตรงต่อการให้ความร้อนแก่รอยต่อ การเลือกรูปแบบของลวดเชื่อม การเปลี่ยนแปลงจำนวนชั้นแนวเชื่อม ในกรณีการเชื่อมโลหะหนา ผลของการเลือกตัวแปรการเชื่อมที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดการแตกร้าวที่อุณหภูมิสูง

(Hot cracking) เนื่องจากสมบัติที่แตกต่างกันของโลหะทั้งสอง หรือทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ เช่น สลักฝังในโลหะเชื่อม



รูปที่ 1.2 สกรูล้ำเสียงสำหรับนำเมล็ดข้าวเปลือกกลับไปนวดใหม่ในรถเกี่ยวและนวดข้าว[1]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาแนวทางในการพัฒนาคุณสมบัติทางกล โดยมีแผ่นรองหลัง (Backing Plate) เสริมความแข็งแรงของรอยต่อชนเชื่อม เพื่อยืดอายุการใช้งานของใบสกรูล้ำเสียงในเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวโดยการเชื่อมซ่อมใบสกรูล้ำเสียงด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ที่ดีกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเดิม SS400 เข้าไปทดแทนในส่วนที่เสียหายด้วยวิธีการเชื่อมชนรอยต่อด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) อาจทำให้ได้ใบสกรูล้ำเสียงที่มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นสามารถนำใบสกรูล้ำเสียงที่ชำรุดกลับมาใช้งานได้ใหม่และเป็นการเพิ่มผลผลิตการผลิตข้าวของชาวนาได้เป็นต้น ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเชื่อมในกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม MAG ในการเชื่อมชิ้นงานทดลองทำการศึกษาตัวแปรได้แก่ กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม และแรงดันในการเชื่อมที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อมหลังจากนั้นทำการตรวจสอบสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (Microstructure Analysis)

ข้อมูลวิจัยพบว่าการทดสอบอหิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมและวัสดุแผ่นรองหลังที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ไม่ได้รายงานไว้และการทดสอบส่วนใหญ่เป็นการทดสอบของวัสดุเหล็กกล้าชนิดอื่น หากมีการรายงานผลการทดสอบ

อาจเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้ในงานด้านการเกษตร ในเครื่องจักรสำหรับการเกษตร โครงการวิจัยนี้จึงมีกรอบแนวคิดในการศึกษาการพัฒนาคุณสมบัติทางกลของรอยเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ด้วยวิธีทดสอบค่าความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (Microstructure Analysis) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการงานวิจัยต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติและโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกลและโครงสร้างโลหะวิทยาของรอยต่อสมบัติและโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L

## 1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

1.3.1 การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding: GMAW) ในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง

1.3.2 วัสดุทดลองที่ใช้คือเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 และกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L

1.3.3 ตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วย

1.3.3.1 กระแสไฟฟ้าในการเชื่อมที่ 160 180 และ 200 แอมป์

1.3.3.2 ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ 200 250 และ 300 มิลลิเมตร/นาที

1.3.3.3 แรงดันในการเชื่อมที่ 25 27 และ 30 โวลต์

1.3.4 วัสดุที่ใช้ในการเชื่อมรอยต่อชนเป็นลวดเชื่อมสแตนเลส เกรด 308L

1.3.5 วัสดุแผ่นรองหลังเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 และกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติและโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L

1.4.2 ได้ทราบถึงคุณสมบัติทางกล และค่าความเหมาะสมต่อการใช้งาน

1.4.3 เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมด้านเกษตรกรรม และชุมชน

1.4.4 ได้องค์ความรู้ในการเชื่อมรอยต่อชนสำหรับการซ่อมแซมบำรุงที่ใช้กับอุปกรณ์

การเกษตร

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ตั้งใจที่จะค้นคว้าหาความรู้เนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อมเชื่อมโลหะกล้าเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ด้วยแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L โดยใช้ลวดเชื่อมสแตนเลส ซึ่งกระบวนการเชื่อมที่จะทำการศึกษาคือ การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) รวมทั้งค้นคว้าหาข้อมูลและหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยเพื่อเป็นแนวทางในการที่จะนำมาประกอบการศึกษาจนบรรลุเป้าหมายตามที่ได้กำหนดไว้ซึ่งมีหัวข้อดังนี้

- 2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง
- 2.2 กระบวนการเชื่อม
- 2.3 กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม
- 2.4 กระบวนการทดสอบแนวเชื่อม
- 2.5 การทดสอบแรงดึงมาตรฐาน
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

##### 2.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอน [6]

เหล็กกล้าเป็นเหล็กที่ถูกนำไปใช้ในงานต่างๆมากมาย ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กกล้านั้น มีคุณสมบัติในการรับแรงต่างๆได้ดี เช่น ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความแข็งแรงอัด (Compressive strength) และ ความแข็งแรงเฉือน (Shear strength) ซึ่งธาตุผสมส่วนใหญ่จะเป็นทั้งโลหะและอโลหะ เช่น โมลิบดีนัม ทังสเตน วาเนเดียม เป็นต้น โดยเหล็กกล้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

##### 2.1.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steels)

เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steels) หมายถึง เหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของธาตุคาร์บอนเป็นธาตุหลักที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติทางกลของเหล็ก และยังมีธาตุอื่นผสมอยู่อีก ซึ่งแบ่งเหล็กกล้าคาร์บอนออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้



### 1) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel)

เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.25% นอกจากคาร์บอนแล้ว ยังมีธาตุอื่นผสม- อยู่ด้วย เช่น แมงกานีส ซิลิคอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน แต่มีปริมาณน้อยเนื่องจาก หลงเหลือมาจาก กระบวนการผลิต เหล็กประเภทนี้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรม และใน ชีวิตประจำวันไม่ต่ำกว่า 90% เนื่องจากขึ้นรูปง่าย เชื่อมง่าย และราคาไม่แพง โดยเฉพาะเหล็กแผ่นมีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ตัวถังรถยนต์ ชิ้นส่วนยานยนต์ต่างๆ กระจ่างบรรจุอาหาร สังกะสีมุงหลังคา เครื่องใช้ในครัวเรือน และในสำนักงาน

### 2) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel)

เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอน 0.2-0.5% มีความแข็งแรงและความเค้นแรงดิ่งมากกว่า เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แต่จะมีความเหนียวน้อยกว่า สามารถนำไปชุบแข็งได้ เหมาะกับ งานทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล รางรถไฟ เฟือง ก้านสูบ ท่อเหล็ก ไขควง เป็นต้น

### 3) เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel)

เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอน 0.5 - 1.5% มีความแข็งแรงและความเค้น- แรงดิ่งสูง เมื่อชุบแข็งแล้วจะเปราะ เหมาะสำหรับงานที่ทนต่อการสึกหรอ ใช้ในการทำ เครื่องมือ สปริงแหนบ ลูกปืน เป็นต้น

#### 2.1.1.2 เหล็กกล้าผสม (Alloys steel)

เหล็กกล้าผสม (Alloys steel) หมายถึง เหล็กที่มีธาตุอื่นนอกจากคาร์บอน ผสมอยู่ในเหล็ก ธาตุบางชนิดที่ผสมอยู่ อาจมีปริมาณมากกว่าคาร์บอน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักในเหล็กก็ได้ธาตุที่ผสม ลงไปได้แก่ โมลิบดีนัม แมงกานีส ซิลิคอน โครเมียม อลูมิเนียม นิกเกิล และวาเนเดียม เป็นต้น จุดประสงค์ที่ต้องเพิ่มธาตุต่างๆเข้าไปในเนื้อเหล็ก ก็เพื่อการทำให้คุณสมบัติของเหล็ก เปลี่ยนไปนั่นเองที่สำคัญก็คือ

- 1) เพิ่มความแข็ง
- 2) เพิ่มความแข็งแรงที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูง
- 3) เพิ่มคุณสมบัติทางฟิสิกส์
- 4) เพิ่มความต้านทานการสึกหรอ
- 5) เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน
- 6) เพิ่มคุณสมบัติทางแม่เหล็ก
- 7) เพิ่มความเหนียวแน่นทนต่อแรงกระแทก

เหล็กกล้าผสม แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) เหล็กกล้าผสมต่ำ ( Low Alloy Steels ) เป็นเหล็กกล้าที่มีธาตุผสมรวมกันน้อยกว่า 8% ธาตุที่ผสมอยู่คือ โครเมียม นิกเกิล โมลิบดีนัม และแมงกานีส ปริมาณของธาตุที่ใช้ผสมแต่ละตัวจะไม่มากประมาณ 1 – 2% ผลจากการผสมทำให้เหล็กสามารถชุบแข็งได้ มีความแข็งแรงสูง เหมาะสำหรับการทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เช่น เฟือง เพลาข้อเหวี่ยง จนบางครั้งมีชื่อว่าเหล็กกล้า เครื่องจักรกล (Machine steelsเหล็กกล้ากลุ่มนี้จะต้องใช้งานในสภาพชุบแข็งและอบก่อนเสมอจึงจะมีค่าความแข็งแรงสูง

2) เหล็กกล้าผสมสูง (High alloy steels) เหล็กกล้าประเภทนี้จะถูกปรับปรุงคุณสมบัติ สำหรับการใช้งานเฉพาะอย่าง ซึ่งก็จะมี ธาตุผสมรวมกันมากกว่า 8% เช่น เหล็กกล้าทนความร้อน เหล็กกล้าทนการเสียดสี และเหล็กกล้าทนการกัดกร่อน

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า SS400 [7]

ความหนา	คุณสมบัติทางกล (ไม่ต่ำกว่า)		
	Tensile Strength	Yield Strength	Elongation
ต่ำกว่า 5 มิลลิเมตร	400 - 510	245	21 %
5 มิลลิเมตร - 16 มิลลิเมตร	400 - 510	245	17 %
16 มิลลิเมตร - 40 มิลลิเมตร	400 - 510	235	21%
40 มิลลิเมตร ขึ้นไป	400 - 510	215	23%

ตารางที่ 2.2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 [7]

มาตรฐาน	ส่วนผสมทางเคมี ( ไม่เกินร้อยละ)			
	C	Mn	P	S
SS400	-	-	0.050	0.050

2.1.2 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) เป็นโลหะผสม (Alloy) ที่นิยมใช้เพื่อเป็นวัสดุสร้างเครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหาร(Food Processing Equipment) เนื่องจากมีความ

แข็งแรง ทนทาน และทนต่อการกัดกร่อน พื้นผิวที่สัมผัสกับอาหาร (Food Contact Surface) มีความปลอดภัยและถูกสุขลักษณะ ทำความสะอาดง่าย เป็นกลาง และไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร [8]

#### 2.1.2.1 ส่วนประกอบของเหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิมมีส่วนผสมหลักคือ โครเมียม (Chromium) ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อน และนิกเกิล (Ni) มีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง โครเมียมป้องกันการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจน (Oxidation) เป็นโครเมียมออกไซด์ (Chromium oxide film : CrO<sub>2</sub> หรือเรียกว่า passive film) ซึ่งเป็นฟิล์มบางมาก ติดแน่นที่ผิวของเหล็กกล้า ถ้าฟิล์มนี้ถูกทำลายจากแรงกล สารเคมี หรือออกซิเจน จะถูกสร้างทดแทนขึ้น ใหม่ด้วยตัวเอง เหล็กกล้าไร้สนิมต้องมีโครเมียม (Chromium) ผสมอยู่อย่างน้อย 10.5 เปอร์เซ็นต์ และอาจมีส่วนผสมอื่นๆ เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านทานการกัดกร่อน เช่น โมลิบดีนัม (Molybdenum) และไนโตรเจน (Nitrogen) ซึ่งช่วยจัดการเกิดการกัดกร่อนประเภทรูเข็มและมุมอับ ทองแดง (Copper) จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติการต้านทานการกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

ส่วนประกอบของเหล็กกล้าไร้สนิม มักบอกเป็นสัดส่วน เช่น สเตนเลส 18/8 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์และนิกเกิล 8 เปอร์เซ็นต์

#### ชนิดของเหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเทนนิติก (Austenitic) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ The American Iron and Steel Institute (ASAI) จัดอยู่ในซีรีส์ 300 (series 300) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่นำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในเครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหาร เกรดที่นิยมใช้มากที่สุด คือ 304 และ 316มีส่วนผสมของโครเมียม (Cr) อย่างน้อย 16 เปอร์เซ็นต์ และมีนิกเกิล (Ni) ซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติในการขึ้นรูป ความแข็งแรง บางเกรดจะมี โมลิบดีนัม (Mo) ผสมอยู่ด้วยเพื่อเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อน

เหล็กกล้าไร้สนิม 304 อาจเรียกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 18/8 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมในตระกูลออสเทนนิติก มีโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ นิกเกิล 9 เปอร์เซ็นต์ เป็นสเตนเลสที่ The American Iron and Steel Institute (AISI) แนะนำให้ใช้เป็นพื้นผิวที่สัมผัสอาหาร (Food contact surface) แต่ 3A Sanitary Standards อนุญาตให้ใช้เฉพาะในส่วนสนับสนุน (Utility) เช่น ท่อ (Pipe) เหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิห้อง ที่ความดันบรรยากาศ มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-8.0 สามารถทนการกัดกร่อนของสารละลายคลอรีนความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm)

เหล็กกล้าไร้สนิม 316 เป็นเหล็กกล้าในตระกูลออสเทนนิติก ที่มีส่วนประกอบคือ โครเมียม 17 เปอร์เซ็นต์ นิกเกิล 10 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มส่วนผสมของโมลิบดีนัม 2 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการกัดกร่อน ซึ่ง 3A แนะนำให้ใช้เป็นพื้นผิวสัมผัสกับอาหาร (Food contact surface) มีราคาแพงกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม 304 สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ ทนอุณหภูมิต่ำได้มากกว่า และทนการกัดกร่อนของคลอรีนที่ความเข้มข้นสูงกว่าสแตนเลส 314 ประมาณเท่าตัว ใช้เป็นวัสดุสำหรับเครื่องจักร อุปกรณ์แปรรูปอาหาร เช่น เครื่องจักรอุปกรณ์ในการผลิตเบียร์ (Beer) ผลิตภัณฑ์นม (Dairy Product) ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม (Beverage) เนื้อสัตว์ (Meat) เครื่องบรรจุ ปีม วาล์ว ใบพัด อุปกรณ์เครื่องครัว เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำติดลบได้ สำหรับถังเก็บแก๊สเหลว เช่น ไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen) และสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่น แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (Plate heat exchanger) ท่อและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Tubular heat exchanger) ถังเก็บ (Storage tank) ภาชนะที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมอาหาร และรถเข็นอาหาร

เหล็กกล้าไร้สนิม 316 L มีโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ นิกเกิล 14 เปอร์เซ็นต์ และโมลิบดีนัม 3 เปอร์เซ็นต์ จึงแข็งแรงและทนการกัดกร่อนได้ดีกว่า สแตนเลส 316

### ตารางที่ 2.3 มาตรฐานเหล็กกล้าสแตนเลส ASTM [9]

ASTM	Chem.Composition(%)	EN	TYPE
304L	18 Cr , 9 Ni	1.4307	

การเชื่อมเหล็กกล้าสแตนเลสตระกูลออสเทนนิติก (Austenitic) ทำได้ง่ายที่สุด และเชื่อมได้โดยไม่ต้องให้ความร้อนก่อนทำการเชื่อม หรือให้ความร้อนภายหลังการเชื่อม แต่สิ่งที่ต้องระวัง คือ ผลของความร้อนที่สูงเกินไปจะทำให้เกรนหยาบและไม่ทนต่อแรงกระแทก นอกจากนี้อุณหภูมิสูงจะทำให้ชิ้นงานเชื่อมบิดเบี้ยวได้ เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะขยายตัวได้มากที่อุณหภูมิสูง (High thermal expansion) แต่การนำความร้อน (Thermal conductivity) ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอน การแก้ไขทำได้โดยการปรับกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมให้ต่ำเพื่อควบคุมปริมาณความร้อนที่ให้กับชิ้นงาน หรืออุ่นงาน (preheat) เพื่อให้ชิ้นงานมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ นอกจากนี้อาจป้องกันโดยการใช้อุปกรณ์จับยึด (clamp หรือ jig) ช่วยยึดชิ้นงานเชื่อม การเชื่อมแบบการเชื่อมก้าวถอย (back step welding) การเชื่อมแบบลำดับที่สมดุล (balanced sequence welding) หรือการเชื่อมทีละน้อยๆ จะลดการบิดเบี้ยวได้ ปัญหาอีกประการ คือการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์บริเวณรอยเชื่อม ทำให้ขาดการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์เพื่อป้องกันการเกิดสนิม ดังนั้นบริเวณรอยเชื่อมจะถูกกัดกร่อนได้ง่าย การแก้ไข

สามารถทำได้โดยการใช้เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ เช่น 316L หรือใช้ชนิดที่มีส่วนผสมของ ไททาเนียม หรือไนโอเบียม (Stabilized grades) เช่น 347

## 2.2 กระบวนการเชื่อม [10]

กระบวนการเชื่อมโลหะ เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการผสมโลหะให้ติดกันและเป็นเนื้อเดียวกัน ขณะทำการเชื่อมจะเกิดบ่อหลอมละลายและทำการเติมเนื้อโลหะเพิ่มลงไปบ่อหลอมเมื่อเกิดการเย็นตัวจะทำให้โลหะเกิดความแข็งแรง พลังงานที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการเชื่อมโลหะ เช่น พลังงานจากแก๊ส พลังงานจากกระแสไฟฟ้า พลังงานจากลำแสงเลเซอร์ พลังงานจากการใช้อิเล็กตรอน และพลังงานจากการเสียดสี เป็นต้น ในช่วงศตวรรษที่ 20 กระบวนการเชื่อมมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วเพื่อเป็นการทดแทนการต่อโลหะด้วยการใช้หมุดย้ำ วิธีการเชื่อมโลหะแบ่งออกได้ดังนี้

### 2.2.1 วิธีการเชื่อม

2.2.1.1 การเชื่อมแก๊ส (Gas welding) คือ การหลอมเหลวโลหะ แหล่งความร้อนที่ใช้เกิดมาจากการเผาไหม้ระหว่าง แก๊ส อะเซทิลีน ซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิง และแก๊สออกซิเจน อุณหภูมิของการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ให้ความร้อนสูง 3200°C และจะไม่มีเขม่าหรือควัน

2.2.1.2 การเชื่อมไฟฟ้า (Arc welding) หรือ “อาร์ค” ความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมเกิดจากการอาร์ค ระหว่างชิ้นงาน และลวดเชื่อม เพื่อทำหน้าที่ประสานเนื้อโลหะเข้าด้วยกัน

2.2.1.3 การเชื่อมอัด (Press welding) คือ การประสานโลหะ 2 ชิ้น โดยใช้ความร้อน กับชิ้นงานในบริเวณที่จะทำการเชื่อม จากนั้นใช้แรงอัดส่วนที่หลอมละลายจนกระทั่งชิ้นงานติดกันเป็นจุดหรือเกิดแนวความร้อนที่ใช้ได้จากความต้านทานไฟฟ้า เช่น การเชื่อมจุด (Spot welding)

2.2.1.4 การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สเฉื่อย (Tungsten inert gas welding) เป็นวิธีเชื่อมโลหะด้วยความร้อน ที่เกิดจากการอาร์คระหว่างลวดทั้งสแตน กับชิ้นงาน โดยมีแก๊สเฉื่อยปกคลุมบริเวณเชื่อม และบ่อหลอมละลายเพื่อไม่ให้บรรยากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยา

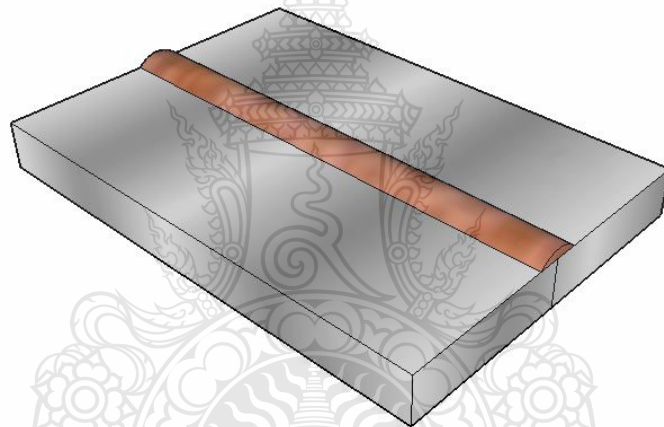
2.2.1.5 การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สเฉื่อย (Metal inert gas welding) เป็นกระบวนการเชื่อมที่สร้างความร้อน ระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน ลวดเชื่อมที่ใช้จะเป็นลวดเชื่อมเปลือยที่ส่งป้อนอย่างต่อเนื่อง ไปยังบริเวณอาร์ค และทำหน้าที่เป็นโลหะเติมลงยังบ่อหลอมละลาย บริเวณบ่อหลอมละลายจะถูกปกคลุมไปด้วยแก๊สเฉื่อย เพื่อไม่ให้เกิดการรวมตัวกับอากาศ

2.2.1.6 การเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged arc welding) เป็นกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าที่ได้รับความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมเปลือยกับชิ้นงานเชื่อม โดยมีฟลักซ์ชนิดเม็ด (Granular Flux)

ปกคลุมบริเวณอาร์ค และฟลักซ์ส่วนที่อยู่ใกล้ กับเนื้อเชื่อมจะหลอมละลายปกคลุมเนื้อเชื่อมเพื่อป้องกัน อากาศภายนอกทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม ส่วนฟลักซ์ที่อยู่ห่างจากเนื้อเชื่อมจะไม่หลอมละลาย และไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ซึ่งในงานวิจัยเล่มนี้จะใช้กระบวนการเชื่อมมิก

### 2.2.2 การเชื่อมต่อชนตามมาตรฐาน AWS[11]

รอยต่อชนเป็นการนำขอบชิ้นงานทั้งสองชิ้นมาวางให้ขอบชนกันซึ่งจะมีการเว้นช่องว่าง หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับความหนาของงานและเป็นที่นิยมกันมากสำหรับการต่อโลหะในงานทั่วไป เมื่อทำการ เชื่อมรอยต่อทั้งสองด้านแล้วจะเป็นรอยต่อที่มีประสิทธิภาพสูงมาก ซึ่งการที่จะทำให้รอยต่อนั้นมีความ แข็งแรงมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของการซึมลึกของรอยเชื่อม ขนาดของการซึมลึกขึ้นอยู่กับขนาด ของลวดเชื่อมและกระแสที่ใช้ในการเชื่อม แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงรอยต่อและแนวเชื่อมต่อชน

### 2.3 กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding: GMAW) [8]

กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมเป็นกระบวนการเชื่อมที่ใช้ลวดเชื่อมสิ้นเปลือง (Consumable electrode) ขนาดเล็กจากม้วนลวด (Spool) ซึ่งจะถูกป้อนผ่านหัวเชื่อมออกมาอย่างต่อเนื่องผ่านท่อนำลวดและท่อนำกระแส (Contact Tip) เมื่อปลายลวดแตะกับผิวของชิ้นงานจะเกิดการอาร์คขึ้นความร้อนจากการอาร์คจะหลอมชิ้นงาน และลวดเชื่อมเข้าด้วยกันเติมลงไปเป็นแนวเชื่อม ขณะเดียวกันแก๊สเฉื่อยจากถังบรรจุจะไหลเข้าที่จ่ายสู่หัวฉีดพุ่งออกมาปกคลุมบ่อหลอมเหลวบริเวณ รอบปลายอาร์คเพื่อทำหน้าที่เป็นม่านป้องกันไม่ให้ออกซิเจนหรือแก๊สอื่นๆ ในบรรยากาศเข้าไปทำ ปฏิกิริยากับโลหะที่หลอมเหลวแก๊สเฉื่อยที่ใช้ในการเชื่อมมิกได้แก่ แก๊สอาร์กอน แก๊สฮีเลียม และอาจจะ

เป็นแก๊สผสม เช่น อาร์กอนผสมฮีเลียม หรือ อาร์กอนผสมคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นเครื่องเชื่อมตัวเดียวจึงเชื่อมได้ทั้งแบบ MIG และ MAG ตามมาตรฐาน AWS จะใช้คำว่า Gas metal arc welding : GMAW แต่โดยทั่วไปมักเรียกว่า การเชื่อมมิก (MAG) กระบวนการเชื่อมมิก นิยมใช้แพร่หลายทั้งวิธีการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติวิธีกึ่งอัตโนมัติช่างเชื่อมจะเป็นผู้ดำเนินการเองทั้งหมดตั้งแต่การปรับแรงดันปรับอัตราการไหลของแก๊ส และการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมส่วนการเชื่อมอัตโนมัติส่วนใหญ่จะใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตที่ปริมาณงานเชื่อมมาก ๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ เป็นต้น ขนาดลวดเชื่อมที่นิยมใช้กันมีตั้งแต่ 0.8 – 3.2 มิลลิเมตร บรรจุในม้วน (Spool) การเลือกใช้จะพิจารณาตามความหนาและชนิดของชิ้นงานโลหะที่นิยมใช้กับกระบวนการเชื่อมมิก ได้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอน อะลูมิเนียม สแตนเลส บรอนซ์ ทองแดง เป็นต้น

### 2.3.1 ระบบกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อม [12]

#### 2.3.1.1 กระแสตรงขั้วลบ (Direct Current Electrode Negative; DCEN)

กระแสตรงขั้วลบ หมายความว่า หัวเชื่อมหรือทังสเตนอิเล็กโทรดใช้กระแสไฟเชื่อมเป็นขั้วลบ และกระแสไฟเชื่อมขั้วบวกเป็นตำแหน่งของชิ้นงาน โดยประจุไฟฟ้าลบลไหลจาก หัวเชื่อมหรืออิเล็กโทรดไปสู่ชิ้นงาน ดังนั้นความร้อนจะเกิดขึ้นที่ชิ้นงานมาก โดยเกิดที่ชิ้นงานประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และเกิดที่หัวเชื่อมหรือทังสเตนอิเล็กโทรดประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ แนวเชื่อมที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะแคบแต่กินลึกมาก

#### 2.3.1.2 กระแสตรงขั้วบวก (Direct Current Electrode Positive; DCEP)

กระแสตรงขั้วบวก หมายความว่า หัวเชื่อมหรือทังสเตนอิเล็กโทรด ใช้กระแสไฟฟ้าเชื่อมเป็นขั้วบวก และกระแสไฟฟ้าเชื่อมขั้วลบเป็นตำแหน่งของชิ้นงาน ดังนั้นความร้อนจะเกิดขึ้นที่ชิ้นงานมาก โดยเกิดที่ชิ้นงานประมาณ 30% และเกิดที่หัวเชื่อมหรือทังสเตนอิเล็กโทรดประมาณ 70% แนวเชื่อมจะมีลักษณะแบนและกว้างการซึมลึกน้อย แท่งทังสเตนอิเล็กโทรดที่ใช้กับกระแสไฟเชื่อมแบบนี้ จะมีขนาดโตกว่าทังสเตนอิเล็กโทรดที่ใช้กับกระแสไฟฟ้าแบบ DCEN และ ACHF

### 2.3.2 ตัวแปรของกระบวนการเชื่อมมีหลายตัวแปรดังนี้

#### 2.3.2.1 กระแสไฟฟ้า (Arc Current) เป็นตัวที่ควบคุมการซึมลึกของการเชื่อม ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมนั้นจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานที่ต้องการเชื่อมและประเภทของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ก็มีผลต่อลักษณะของบ่อหลอมด้วยเช่นกัน

2.3.2.2 แรงดันไฟฟ้า (Arc Voltage) เป็นแรงดันไฟฟ้าระหว่างหัวเชื่อมหรือทั้งสแตงอิเล็กโทรดกับชิ้นงานค่าแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าระยะห่างระหว่างหัวเชื่อมหรือทั้งสแตงอิเล็กโทรดกับชิ้นงานและชนิดของแก๊สปกคลุมที่ใช้

2.3.2.3 ความเร็วในการเชื่อม (Travel Speed) มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเชื่อม ถ้าความเร็วในการเชื่อมเร็วเกินไปอาจทำให้ลวดเชื่อมไม่สามารถหลอมรวมเข้ากับชิ้นงานได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนลวดด้วย

2.3.2.4 อัตราการป้อนลวด (Wire Feed Rate) เป็นความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมลงไปหล่อลอม ถ้าป้อนลวดช้าเกินไปจะทำให้ลวดเชื่อมไม่สามารถหลอมรวมเข้ากับชิ้นงาน (Undercut) การแตกร้าว (Cracking)

### 2.3.3 แก๊สสำหรับใช้ปกคลุมแนวเชื่อม

สมบัติพื้นฐานของแก๊สปกคลุมรอยเชื่อมได้แก่

2.3.3.1 สามารถปกคลุมบริเวณอาร์คป้องกันอากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยาและความสกปรกกับโลหะหลอมเหลว เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน และความชื้น

2.3.3.2 สมบัติทางความร้อน ได้แก่ การนำความร้อน และการพาความร้อน ซึ่งมีอิทธิพลต่อแรงเคลื่อนอาร์คและมีผลต่อรูปร่างรอยเชื่อม

2.3.3.3 การเกิดปฏิกิริยาบริเวณผิวหน้าชิ้นงานเช่น ปฏิกิริยาทำความสะอาดชิ้นงานเพื่อกำจัดออกไซด์ออก

## 2.4 กระบวนการทดสอบแนวเชื่อม[13]

### 2.4.1 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยา(Metallurgical Investigation)

โลหะ วิทยา (Metallurgy) หมายถึง การนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์แขนงที่เกี่ยวข้องกับโลหะไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม ซึ่งแขนงความรู้ดังกล่าวเป็นหัวใจสำคัญในการศึกษาเกี่ยวกับโลหะต่างๆ ที่จะอธิบายถึงวิธีการแยกแยะโลหะ กระบวนการทำสินแร่ให้เป็นโลหะบริสุทธิ์ รวมไปถึงการแบ่งประเภทโลหะ มากกว่านั้นวิชาโลหะวิทยายังทำการศึกษาในทาง พฤติกรรม คุณสมบัติ และโครงสร้างภายในของโลหะ เมื่อศึกษาและทำความเข้าใจแล้วจึงจะสามารถนำความรู้ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ให้ผลที่มีประสิทธิภาพ สำหรับการสร้างหรือคิดค้นคุณสมบัติของโลหะให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานเฉพาะด้านต่างๆ ได้



ประวัติของวิชาโลหวิทยา อ้างอิงจากหลักฐานทางธรณีวิทยากล่าวว่า โลกที่มีอายุประมาณ สามพันล้านปีนี้ได้เกิดมนุษย์ขึ้นในช่วงสองล้านปีก่อน โดยที่มนุษย์อาศัยอยู่บนเปลือกโลกมาตั้งแต่ยุคดึกดำบรรพ์ ซึ่งเปลือกโลกดังกล่าวนั้นได้กลายเป็นแร่ธาตุที่มีคุณค่าอย่างมากมายในยุคปัจจุบัน เปลือกโลกชั้นหนึ่งเกิดจากการผสมรวมกันของโลหะมากมายหลากหลายชนิด มักรวมอยู่กับอะตอมของธาตุโลหะ ซึ่งเป็นรูปที่ยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้ ตัวอย่างเช่น ออกซิเจน หรือสารอื่นๆ เช่น หิน และดิน จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้มนุษย์ได้คิดค้นในการแยกธาตุต่างๆ ออกจากกันได้

ตั้งแต่สมัยโบราณมานั้น มนุษย์ได้ทำการคิดค้นและทำการเรียนรู้แบบลองผิดลองถูกในการแยกแร่ธาตุ รวมไปถึงการค้นหาคณะการถลุงแร่ เพื่อจะนำวิธีการเหล่านั้นไปประดิษฐ์เป็นภาชนะ เครื่องประดับ อาวุธ และเครื่องกลต่างๆ โดยโลหะที่เกิดอย่างบริสุทธิ์ตามธรรมชาติมักถูกเลือกนำมาใช้ในกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น ทอง เงิน และทองแดง โลหะดังกล่าวนี้เป็นโลหะจำพวกที่มีจำนวนน้อย หากนำไปเทียบกับปริมาณของโลหะและแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ บนเปลือกโลก ซึ่งปัจจุบันสามารถดูได้จากตารางแสดงปริมาณแร่ธาตุที่มีในเปลือกโลก

นักโลหวิทยา (Metallurgists) เป็นอาชีพที่ทำการศึกษาวិชาเกี่ยวกับโลหะ มีหน้าที่ศึกษาและตรวจสอบระดับโครงสร้างภายในของโลหะในเชิงลึก เพื่อทำการคิดค้น พัฒนา และแก้ไขข้อบกพร่องของโลหะที่อยู่ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันให้มีความเหมาะสม รวมไปถึงการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการใช้งานเฉพาะด้านทางอุตสาหกรรมของโลหะ

## 2.4.2 การศึกษาโครงสร้างทางโลหวิทยา [7]

2.4.2.1 การตรวจสอบในระดับจุลภาค (Micro - scopic examination) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงานโลหะโดยใช้กำลังขยายที่สูงขึ้นกล่าวคือ ตั้งแต่ 10 เท่าเป็นต้นไปซึ่งอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างในระดับจุลภาคคือ กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานทางโลหวิทยา (Metallurgical Microscope) หรือกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) โดยจะมีกำลังขยายอยู่ระหว่าง 10-1,000 เท่า ที่กำลังขยายสูงช่วยให้การจำแนกชนิดของเฟส (Phase) โครงสร้าง (Structure) ที่ปรากฏอยู่รวมถึงลักษณะรูปร่าง และขนาดของเฟสหรือโครงสร้างนั้นๆ ในชิ้นงานตัวอย่างได้ง่ายขึ้น ในบางกรณีที่โครงสร้าง หรือเฟสที่ปรากฏในตัวอย่างชิ้นงานมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถตรวจสอบได้ที่ระดับกำลังขยาย 10-1,000 เท่า จึงต้องมีการเลือกใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่มีศักยภาพสูงในที่นี้คือมีกำลังขยายที่มากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และใช้แหล่งกำเนิดแสงจากลำแสงอิเล็กตรอนดังนั้นกล้องชนิดนี้จึงได้ชื่อว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้งานในทางโลหกรรมมีอยู่ 2 ชนิดคือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน)

#### 2.4.5 เครื่องมือปฏิบัติการโลหวิทยา

ห้องปฏิบัติการโลหวิทยาจะมีเครื่องมือทั้งหมด 5 ประเภทคือ เครื่องขัดโลหะ เครื่องเพ้นดูลัม เครื่องทดสอบความแข็ง ตู้อบขนาดกลาง และตู้อบขนาดเล็ก

2.4.5.1 เครื่องขัดโลหะ เป็นเครื่องขัด เพื่อทำการเตรียมชิ้นงานทางโลหวิทยา สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค สามารถใช้ในการขัดหยาบและขัดละเอียดได้ การใช้งานจะต้องไม่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนและแรงเครียด เป็นเครื่องขัดชนิดจานคู่ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 250 มิลลิเมตร จานขัดขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ส่งกำลัง ควบคุมการทำงานด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ มีระบบน้ำหล่อเย็นขณะขัดชิ้นงาน พร้อมวาล์วเปิด - ปิด ปรับระดับความแรงของน้ำได้



รูปที่ 2.2 เครื่องขัดโลหะ

2.4.5.2 เครื่องทดสอบแรงกระแทกเพนดูลัม เป็นชุดทดสอบหาคุณภาพของวัสดุอีกวิธีหนึ่ง เป็นวิธีทำลายชิ้นงาน โดยใช้แรงเหวี่ยงของค้อนกระแทก ให้ไปกระทบชิ้นงานทดสอบเพียงครั้งเดียวให้แตกหักภายใต้สภาวะที่กำหนด เป็นอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างที่แข็งแรงและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกเครื่องทดสอบ มีอุปกรณ์สำหรับเบรค มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายขณะทดสอบ



รูปที่ 2.3 เครื่องทดสอบแรงกระแทกเพนดูลัม

2.4.5.3 เครื่องทดสอบความแข็ง เป็นเครื่องทดสอบความแข็งที่อ่านค่าหน่วย Rockwell และ Brinell ได้โดยตรงจากเครื่องทดสอบ เป็นเครื่องทดสอบความแข็งแสดงผลด้วยเข็มบอกค่ารีกเวลล์ ทำงานโดยใช้โหลดสปริง สามารถใช้ทำสอบหน่วย Rockwell มีขนาด 60 , 100 , 150 กิโลกรัมและแบบ Brinell ที่ขนาด 62.5 , 125 , 187.5 กิโลกรัม



รูปที่ 2.4 เครื่องทดสอบความแข็ง

2.4.5.4 ตู้อบขนาดกลาง ใช้อบโลหะ ระบบควบคุมอุณหภูมิเป็นแบบ Solid state สามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำ มีระบบนิรภัย เต่าจะหยุดทำงานเมื่อมีปัญหา ห้องใส่งานอบระบบด้วยฉนวนและมีพัดลม เพื่อควบคุมความร้อนให้กระจายสม่ำเสมอภายในเตาและ สามารถเร่งความร้อนรวดเร็วขึ้น



รูปที่ 2.5 ตู้อบขนาดกลาง

2.4.5.5 ตู้ขนาดเล็ก ใช้บอลโลหะ ระบบควบคุมอุณหภูมิเป็นแบบ Solid state สามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำ มีระบบนิรภัย เต่าจะหยุดทำงานเมื่อมีปัญหา ห้องใส่งานอบระบบด้วยฉนวน และมีพัดลมเพื่อควบคุมความร้อนให้กระจายสม่ำเสมอภายในเตาและ สามารถเร่งความร้อนรวดเร็วขึ้น



รูปที่ 2.6 ตู้ขนาดเล็ก

## 2.5 การทดสอบแรงดึงมาตรฐาน [14]

มาตรฐาน ASTM E8 ระบุถึงวิธีการทดสอบแรงดึงเพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดโดยในแต่ละรูปแบบนั้น มาตรฐานจะกำหนดรูปทรงและขนาดที่เหมาะสม รวมทั้งวิธีการจับยึดชิ้นงานที่ต้องการเพื่อให้การทดสอบประสบความสำเร็จ โดยชิ้นงานที่กำหนดเป็นรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมมีขนาดความกว้าง 12.5 มิลลิเมตร และมีความยาว 150 มิลลิเมตร เพื่อหาค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) โดยใช้การกัดชิ้นงานให้มีรูปร่างตามมาตรฐานการทดสอบ และนำไปทดสอบโดยเครื่องทดสอบแรงดึง ซึ่งปกติแล้วจะดึงด้วยแรงดึงสม่ำเสมอตามข้อกำหนดในแต่ละมาตรฐานในหนึ่งทิศทาง (Uni-axial) จนชิ้นงานขาดออกจากกันระหว่างการทดสอบ เครื่องจะวัดการยืดตัวของชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง แล้วทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำ และการยืดตัวในรูปของกราฟความเค้น ความเครียด และคำนวณค่าต่างๆ เชิงวิศวกรรมอันได้แก่ ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก ความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดตัวค่าความเค้นเชิงวิศวกรรมคือค่าแรงกระทำหารด้วยค่าพื้นที่หน้าตัดชิ้นงานเริ่มต้น ซึ่งอาจจะมีหน่วยเป็น นิวตัน/มิลลิเมตร<sup>2</sup>, MPa, kgf/mm<sup>2</sup>, psi หรือ ksi ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียดเชิงวิศวกรรมคือค่าความยาวที่เพิ่มขึ้นของชิ้นงานหารด้วยความยาวเดิมในการพิจารณาค่าความเค้นจริงนั้นใช้การคำนวณจากค่าพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไป ณ ช่วงเวลาใดช่วงเวลาที่ชิ้นงานมีหน้าตัดเล็กลงเนื่องจากกราฟที่เกิดจาก

การทดสอบนั้นใช้ค่าพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานเริ่มต้นในการคำนวณ และในความเป็นจริงเมื่อมีพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนขนาดไปในระหว่างการทดสอบ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวัสดุเหนียวจะมีพื้นที่หน้าตัดลดลงอย่างรวดเร็ว) จะส่งผลให้แรงกระทำที่ใช้ในการแปรรูปจริงลดลงอย่างรวดเร็วทำให้ค่าความเค้นเฉลี่ยในกราฟของความเค้น ความเครียดหลังจากจุดที่รับแรงสูงสุดลดลงในขณะที่ความเป็นจริงโลหะจะเกิด (Strain Hardening) อย่างต่อเนื่องส่งผลให้ค่าความเค้นที่ต้องการจริงในการแปรรูปวัสดุเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าความเค้นจริงที่คำนวณจากค่าพื้นที่หน้าตัดจริงของชิ้นงานจะทำให้กราฟความเค้น ความเครียดเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่เกิดการแตกหักหากพิจารณาจากกราฟที่ได้จากการทดสอบแรงดึงโดยทั่วไปจะพบว่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield Stress) นั้นแสดงถึงจุดที่วัสดุจะมีการเปลี่ยนแปลงการแปรรูปจากการแปรรูปแบบยืดหยุ่นเป็นการแปรรูปแบบถาวรซึ่งช่วงการแปรรูปแบบยืดหยุ่นนั้นค่าของแรงกระทำจะสัมพันธ์กับค่าการยืดตัว หรือค่าความชันคงที่ที่นี้หากทำการปล่อยแรงที่กระทำต่อชิ้นงานในช่วงดังกล่าววัสดุจะเกิดการหดตัวกลับไปยังความยาวแรกเริ่มของชิ้นทดสอบแต่เมื่อพ้นจุดครากไปแล้วปล่อยแรงวัสดุจะไม่กลับสู่ความยาวเดิมนั้นคือช่วงการแปรรูปแบบถาวรการพิจารณาค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดครากนั้นสามารถทำได้ 2 วิธีขึ้นกับลักษณะของกราฟที่เกิดขึ้นคือ กรณีแรกหากกราฟปรากฏจุดครากอย่างชัดเจนสามารถลากเส้นจากจุดดังกล่าวไปตัดกับแกนความเค้นได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดครากหากกรณีของกราฟที่ไม่ปรากฏจุดคราก เช่น กราฟของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ผ่านการอบอ่อนและผ่านการรีดปรับผิวจะต้องใช้วิธีการลากเส้นขนานกับเส้นกราฟความเค้น ความเครียดในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรงที่จุด 0.2 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความยาวที่เพิ่มขึ้นจากความยาวเดิม หรือ 0.2 เปอร์เซ็นต์ของค่าความเครียดจุดที่ตัดกับเส้นกราฟของวัสดุเรียกว่าค่าความเค้นพิสูจน์ที่ 0.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อดึงวัสดุไปเรื่อยๆ จะถึงจุดหนึ่งซึ่งปรากฏให้เห็นจุดสูงสุดของกราฟเป็นจุดที่วัสดุสามารถต้านทานแรงดึงสูงสุดซึ่งหากดึงต่อไปจากจุดนี้พื้นที่ของวัสดุบางส่วนจะเกิดการคอดตัว (Necking) ทำให้ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นลดลงอย่างต่อเนื่องในขณะที่ความเครียดเพิ่มขึ้น หรือมีการยืดตัวเพิ่มขึ้นจนสุดท้ายชิ้นงานถูกดึงจนขาดจากกัน และการยืดตัวของวัสดุหลังแตกหักดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดตัวได้

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการเชื่อมโลหะแก๊สคลูม (MAG) ถือว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่จะช่วยยืดอายุการใช้งานและช่วยลดต้นทุนในการสั่งซื้ออุปกรณ์ต่างๆได้ มีงานวิจัยที่ให้ความสำคัญในเรื่องของการนำอุปกรณ์ชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่เกิดปัญหาต่างๆสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่และมีประสิทธิภาพ เช่น การแตกร้าว การสึกหรอ เป็นต้น ซึ่งเมื่อเกิดการเสียหายจะต้องมีการสั่งซื้อใหม่ และจะต้องใช้งบประมาณในการสั่งซื้อเป็นจำนวนมากดังนั้นในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่าง ๆ

ศักดิ์ชัย จันทศรี สุรัตน์ ตรียวนพงศ์ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ สุวัฒน์ ภูเภา[15] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์การเชื่อมมิกในการต่อรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 และศึกษาอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติของรอยเชื่อมผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้การเชื่อมมิกด้วยสภาวะการเชื่อมที่กำหนดสามารถทำให้เกิดแนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ในแนวเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิด ค่าความแข็งแรงสูงสุดประมาณ 400 เมกะปาสคาล ที่กระแสไฟเชื่อม 110 แอมป์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 400 มิลลิเมตร/นาที การเพิ่มกระแสไฟเชื่อมส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าสูงขึ้นค่าความแข็งแรงของพื้นที่กระทบร้อนของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนมีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่กระทบร้อนของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมและโลหะเชื่อมผลที่เกิดขึ้นนี้ทำให้การพังทลายขึ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเกิดขึ้นที่ด้านแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบว่าการรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าไร้สนิม และโลหะเชื่อม

ยอดเปรม ภูกำเนิด[16] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมรอยต่อโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นสิ่งท้าทายมากกว่าการเชื่อมรอยต่อโลหะชนิดเดียวกันเนื่องจากความแตกต่างของสมบัติของโลหะฐานที่ต้องทำการเชื่อมในการเชื่อมรอยต่อสมบูรณ์ที่แสดงความแข็งแรงดึงสูงสุดต้องมีการหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์สูงสุดจากรอยต่อด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของชนิดแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชน ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 วัสดุในการทดลองคือเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ขนาด 100×200×3 มิลลิเมตร รอยต่อชนถูกเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมด้วยกระแสเชื่อม 100-120 A และความเร็วเดินเชื่อม 300-450 มิลลิเมตร/นาที แก๊สปกคลุมคือ 95%Ar+5%He, 95% Ar+5% N<sub>2</sub>และ 95% Ar+5% O<sub>2</sub> รอยต่อชนที่ถูกเชื่อมนำไปทำการทดสอบความแข็งแรงดึง ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาคผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ แก๊สคลุมที่เหมาะสมที่ให้ความแข็งแรงดึง 548 MPa คือ 95%Ar-5%N<sub>2</sub> เมื่อเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 100A และความเร็วเชื่อม 350 มิลลิเมตร/นาที ความแข็งแรงของรอยต่อชนเพิ่มขึ้นเมื่อส่วนผสมแก๊สคลุมมีการเปลี่ยนแปลงเป็นฮีเลียม ออกซิเจน และไนโตรเจน ตามลำดับไนโตรเจนในแก๊สคลุมทำให้ช่องว่างระหว่างแกนเดนไดรที่ในโลหะเชื่อมมีความละเอียดและส่งผลทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้น

สุรัถยา ลิ้มนา [17] ได้ทำการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและความแข็งแรงล้ำของผิวเชื่อมพอกโดยใช้เหล็กกล้าผสมต่ำ AISI4340 โดยใช้กระบวนการเชื่อมไฟฟ้า กระบวนการเชื่อมมิก/แม็ก และกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ ซึ่งก่อนการเชื่อมและหลังการเชื่อมจะให้ความร้อนที่ต่างกัน รวมทั้งทำการศึกษาระยะที่ได้รับผลกระทบร้อน (HAZ) พบว่าค่าความแข็งแรงของเนื้อเชื่อมที่ได้จากกระบวนการเชื่อมไส้ฟลักซ์จะมีค่าใกล้เคียงกับเนื้อเดิมมากกว่ากระบวนการเชื่อมไฟฟ้า และ

กระบวนการเชื่อมมิก/แม็ก ส่วนบริเวณที่ได้รับผลกระทบร้อนทั้ง 3 กระบวนการ มีค่าใกล้เคียงกับเนื้อเชื่อมและเนื้อโลหะเดิม

ไพบูลย์ หาญมนต์[18] ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับอิทธิพลความร้อนในงานเชื่อมที่มีผลต่อการหลอมลึกความกว้างความสูงและบริเวณกระทบร้อน (HAZ) ของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม (SUS304) ด้วยกระบวนการเชื่อม MIG โดยใช้ค่าความร้อนในงานเชื่อม (Heat Input) 6 ระดับคือ 1.425 กิโลจูล/มิลลิเมตร 2.640 กิโลจูล/มิลลิเมตร 4.461 กิโลจูล/มิลลิเมตร 6.486 กิโลจูล/มิลลิเมตร 8.025 กิโลจูล/มิลลิเมตร และ 10.412 กิโลจูล/มิลลิเมตร ความเร็วในการเชื่อม 110 มิลลิเมตร/วินาที ด้วยลวดเชื่อมชนิด AWS ER 308 L-16 พบว่าแนวเชื่อมที่ใช้ค่าความร้อนในงานเชื่อม (Heat Input) สูงขึ้นจะให้ค่าการหลอมลึกเพิ่มมากขึ้นให้ค่าความกว้างของแนวเชื่อมกว้างมากขึ้นให้ค่าความสูงของแนวเชื่อมลดต่ำลงและทำให้บริเวณกระทบร้อน (HAZ) มีความกว้างและค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้น สรุปได้ว่าอิทธิพลความร้อนในงานเชื่อมมีผลต่อการหลอมลึกความกว้างความสูงและบริเวณกระทบร้อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม

วินิต และคณะ,2542[19] ได้เขียนวารสารวิจัยความสูญเสียในการเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิโดยใช้แรงงานคนและใช้เครื่องเกี่ยวนวด ว่าข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อทั้งเศรษฐกิจ สังคม และการเมืองของไทย การผลิตข้าวมีหลายขั้นตอน การเก็บเกี่ยวเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพ และปริมาณของผลผลิต การผลิตข้าวที่มีอยู่เป็นจำนวนมากของประเทศไทยหากเกิดความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวจะส่งผลต่อความเสียหายทางเศรษฐกิจของประเทศทั้งในด้านปริมาณ และมูลค่าเป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันการใช้เครื่องเกี่ยวนวดกำลังได้รับความนิยมจากเกษตรกรอย่างแพร่หลาย และมีการใช้งานขยายไปทุกภูมิภาคของประเทศ ซึ่งเครื่องเกี่ยวนวดข้าวนี้เป็นเครื่องจักรที่ใช้เครื่องยนต์เป็นสันดาปภายในเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนและทำงาน ในการทำงานรวมขั้นตอนของการเกี่ยว นวด และทำความสะอาดไว้ในเครื่องเดียวกัน มีการทำงานอย่างต่อเนื่อง และเบ็ดเสร็จในตัวเองประกอบไปด้วย กระบวนการตัดลำเลียง นวด คัดแยกเมล็ดออกจากฟาง และทำความสะอาดข้าวเปลือก โดยมีถังรองรับข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการทั้งหมดแล้วหรือมีการบรรจุข้าวเปลือกลงในภาชนะบรรจุอื่น มีการทำงานที่เบ็ดเสร็จในตัวเอง มีสมรรถนะการทำงานที่ดีและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป ในบางพื้นที่ที่มีแปลงนาขนาดเล็กหรือมีต้นไม้มากไม่เหมาะแก่การใช้งานเครื่องเกี่ยวนวดก็ได้มีการรวบรวมแปลงเพื่อให้เป็นแปลงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีการตัดหรือขุดต้นไม้ออก ทั้งนี้เพราะการใช้เครื่องเกี่ยวช่วยทำให้เกษตรกรลดการสูญเสียผลผลิต และลดค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวเมื่อเทียบกับวิธีการใช้แรงงานคน อีกทั้งยังเป็นการ



ทำงานที่เบ็ดเสร็จ ไม่ยุ่งยากรวดเร็วและสามารถนำข่าวไปจำหน่ายได้ทันที อีกทั้งเกษตรกรหลายราย มีอาชีพอื่นนอกจากการเพาะปลูกข้าวจึงจำเป็นต้องเร่งรีบเก็บเกี่ยวเพื่อที่จะมีเวลาไปประกอบอาชีพอื่นๆ



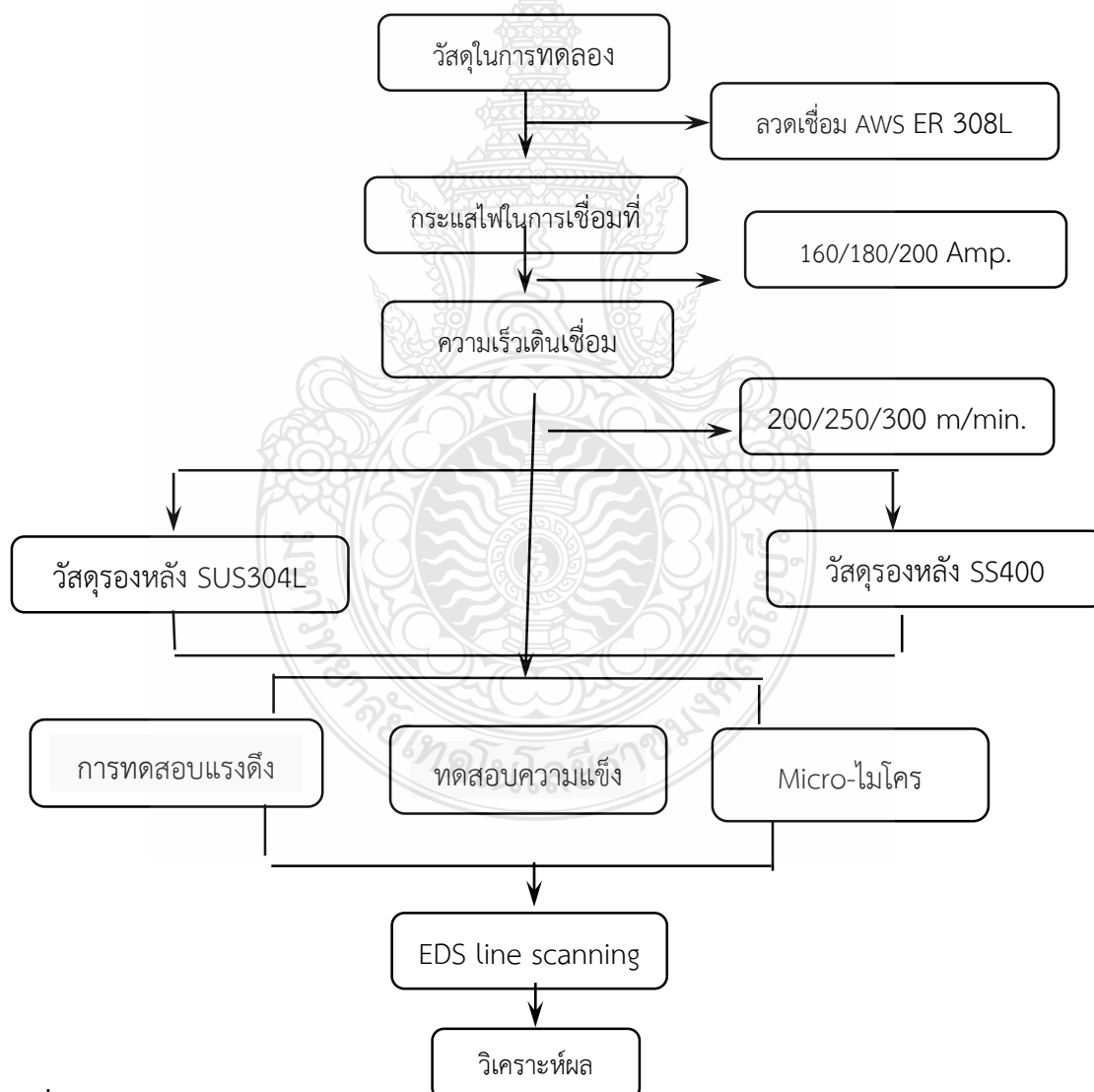


### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการเชื่อมต่อวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304L กับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม ทำการศึกษาตัวแปรการเชื่อม ประกอบด้วยกระแสไฟในการเชื่อม ความเร็วเดินเชื่อม และวัสดุรองหลังระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304L ซึ่งการทดลองมีแผนการดำเนินงาน เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการดังนี้

#### 3.1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงานวิจัย

### 3.2 วัสดุในการทดลอง

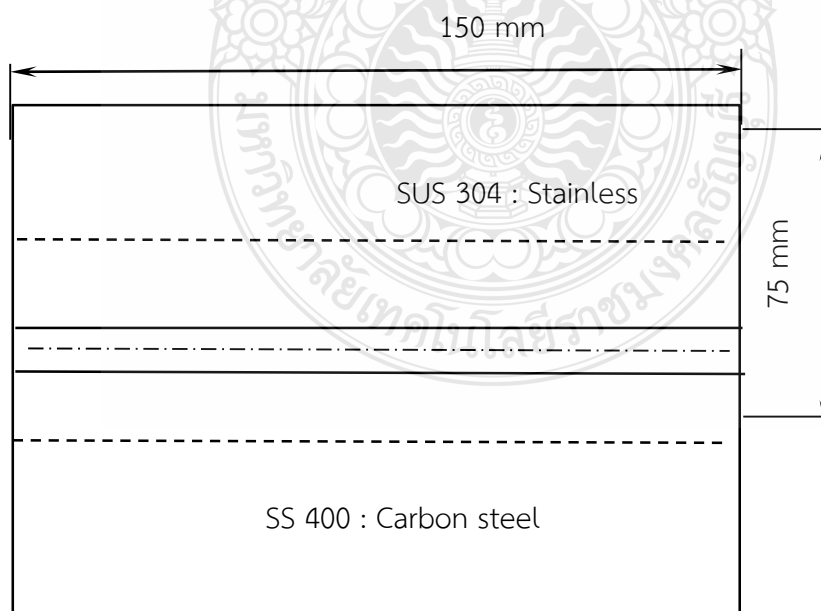
3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L มีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 792 เมกกะปาสคาล เชื่อมต่อกับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 มีความหนา 3 มิลลิเมตร ความกว้าง 75 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 510 เมกกะปาสคาล แสดงดังรูปที่ 3.2 และส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 3.1

3.2.2 การเชื่อมใช้แผ่นประกบรองหลังเพื่อเพิ่มความสามารถในการเชื่อมให้สูงขึ้นโดยการศึกษาทำการทดลองเปรียบเทียบแผ่นรองหลังสองชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L มีความหนา 3 มิลลิเมตร ความกว้าง 75 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร

3.2.3 ลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลองคือ ASW ER 308L ซึ่งเป็นลวดเติมสำหรับงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีส่วนผสมของคาร์บอนอยู่ไม่เกิน 0.03% มีความต้านทานการกัดกร่อนตามขอบเกรนได้ดีเยี่ยม เหมาะสำหรับการเชื่อมงานสแตนเลส เหล็กแผ่นบางที่ต้องการความสวยงาม

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงส่วนผสมทางเคมีของโลหะเชื่อม (wt%)

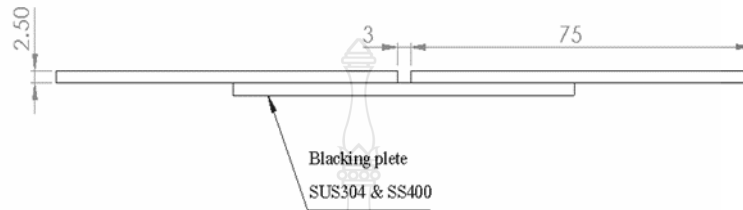
Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe
SUS 304	0.02	0.44	1.32	0.045	0.002	8.04	18.67	0.02	-	Bal.
SS400	0.06	0.01	1.40	0.045	0.045	-	-	-	-	Bal.



รูปที่ 3.2 ขนาดชิ้นงานทดลอง (หน่วย: mm)

### 3.3 การออกแบบรอยต่อ

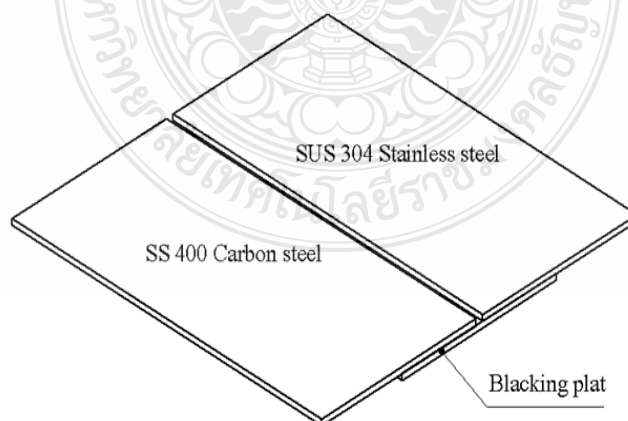
ลักษณะรอยต่อเป็นแบบรอยต่อชนทำราบมีระยะห่างระหว่างรอยต่อ 3.0 มิลลิเมตร ทำการเชื่อมยึดหัวและท้าย เพื่อเพิ่มความสามารถในการหลอมละลาย ในการเชื่อมใช้แผ่นรองหลัง แสดงดังรูปที่ 3.3



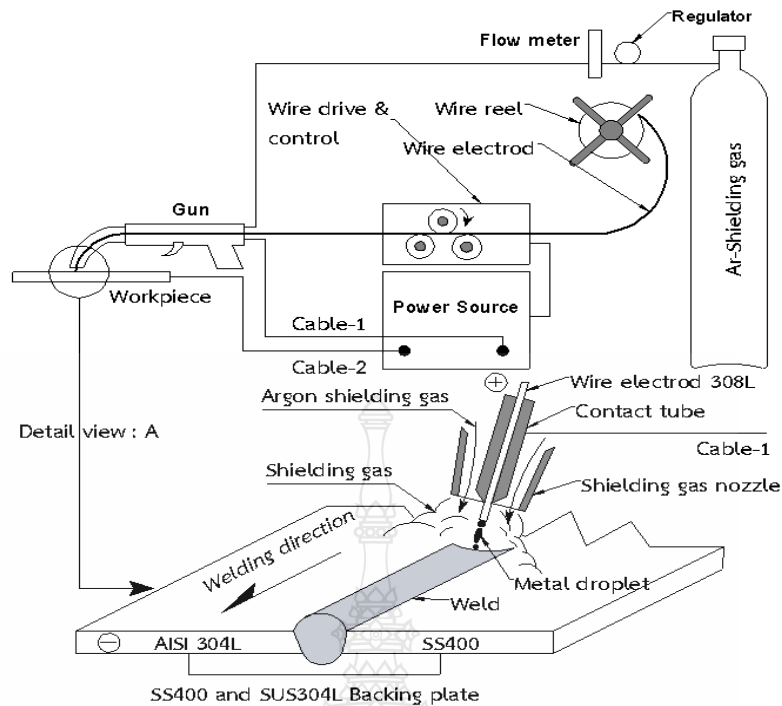
รูปที่ 3.3 การออกแบบขั้นตอนการเชื่อมรอยต่อชน (หน่วย: mm)

#### 3.3.1 กระบวนการเชื่อมทดลอง [20]

กระบวนการเชื่อมใช้การเชื่อมแบบอาร์กโลหะแก๊สคลุม เครื่องเชื่อม MIG/MAG รุ่น MIG 250X ใช้แก๊สอาร์กอน 99.9 เปอร์เซ็นต์ ในการปกคลุมแนวเชื่อมกำหนดอัตราไหลของแก๊สคงที่ 10 ลิตรต่อนาที กระบวนการเชื่อมแสดงดังรูปที่ 3.5 การทดลองการเชื่อมวัสดุต่างชนิดทำการศึกษากระแสไฟในการเชื่อมที่ 160-200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกล และโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมแบบมีแผ่นเหล็กถ่วงรองหลังโดยผู้วิจัยมุ่งหวังอย่างยิ่งว่าจะเป็นประโยชน์สำหรับการวิจัยและการศึกษาต่อไป



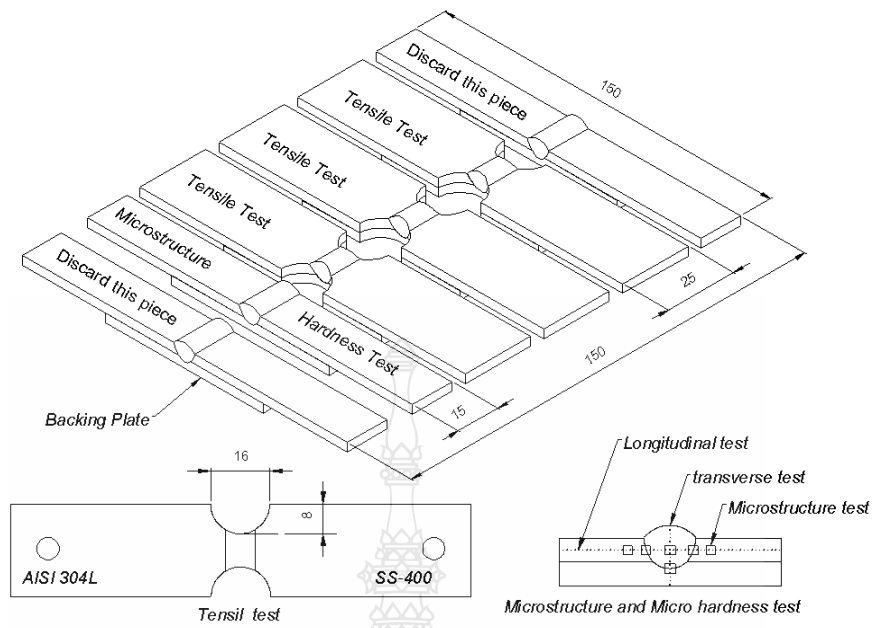
รูปที่ 3.4 วัสดุเชื่อม และการเตรียมวัสดุในการเชื่อมทดลองในการเชื่อมวัสดุต่างชนิดแบบมีวัสดุรองหลัง



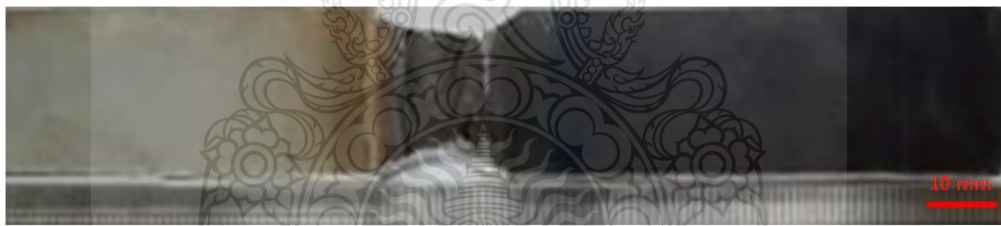
รูปที่ 3.5 กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมในการทดลองการเชื่อมวัสดุต่างชนิด

### 3.4 การทดสอบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค [21]

การตัดแบ่งชิ้นทดสอบสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูปที่ 3.6 ทำการตัดบนเครื่องตัดแบบหล่อเย็น (Micro-Cutter) การตรวจสอบสมบัติทางกลทำการทดสอบแรงดึงทั้งหมด 3 ชิ้น การเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง ทำการกัดชิ้นทดสอบด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติตามมาตรฐาน ASTM E8M-04 Type Unnotched [15 ถูกตามของเก่า] โดยกำหนดจุดขาดบริเวณแนวเชื่อมแสดงดังรูปที่ 3.6 และทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงใช้อัตราความเร็วในการดึงที่ 5 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วทำการบันทึกผลค่าแรงดึง การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคนำชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมโครงสร้างจุลภาคขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 360-1200 ตามลำดับ จากนั้นทำการขัดมันด้วยผงขัดอลูมินาขนาด 0.5 ไมโครเมตร แล้วทำการกัดกรดผสมสารละลายไฮโดรครอลิก 50 มิลลิลิตร น้ำ 25 มิลลิลิตร และกรดไนตริกความเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์ 25 มิลลิลิตร ทำการกัดผิวชิ้นงาน 10-15 วินาที จากนั้นนำไปทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) บันทึกภาพแนวเชื่อมตามตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การออกแบบ และการตัดแบ่งชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกล



(ก)



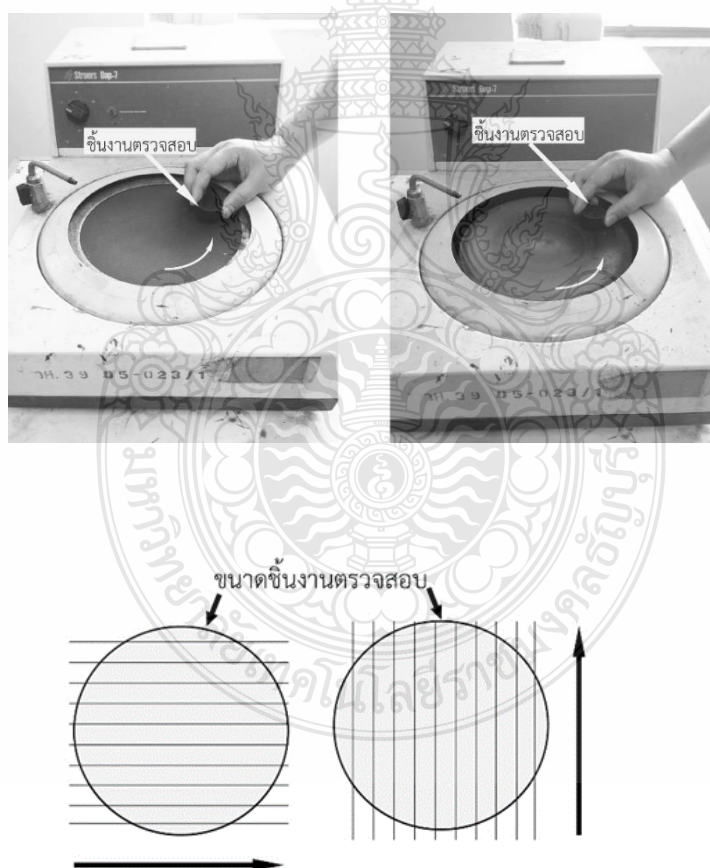
(ข)

(ค)

รูปที่ 3.7 ชิ้นทดสอบสมบัติทางกลแนวเชื่อม (ก) ชิ้นทดสอบแรงดึง (ข) ลักษณะการทดสอบความแข็ง (ค) ตำแหน่งการทดสอบโครงสร้างจุลภาค

### 3.4.1 การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส

ขั้นตอนนี้ขึ้นงานตรวจสอบถูกเตรียมเพื่อให้สามารถนำขึ้นตรวจสอบนั้นไปทำการตรวจสอบความแข็งได้โดยนำไปขัดด้วยกระดาษทรายน้ำตั้งแต่เบอร์ 360 - 1200 ตามลำดับ ทราบเพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรกออกให้หมดและทำให้ผิวรอยกดมีความมันวาวมากที่สุด โดยแสดงขั้นตอนการขัดกระดาษดังรูปที่ 3.8 และขัดจนถึงกระดาษทรายเบอร์สุดท้ายล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์เป่าแห้งด้วยลมและทำการทดสอบความแข็งของแนวเชื่อมจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E92-82 [22] โดยใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers) เครื่องหมายการค้า Controls Digital รุ่น DM 2 สามารถอ่านผลการทดสอบจากเครื่องโดยตรงเป็นตัวเลขดิจิทัลแสดงดังรูปที่ 3.9 โดยใช้เครื่องทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์สกดลากผ่านเป็นเส้นตรงขวางแนวเชื่อมทางด้านวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนSS400 ผ่านบริเวณรอยเชื่อมมาทางด้านวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมSUS304 มีระยะห่างของรอยกด 0.1 มิลลิเมตร โดยใช้แรงในการกด 100 gf และเวลาในการกดแช่ 10 วินาที



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการขัดกระดาษทราย



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers)

### 3.4.2 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหวิทยา [7]

#### 3.4..2.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม

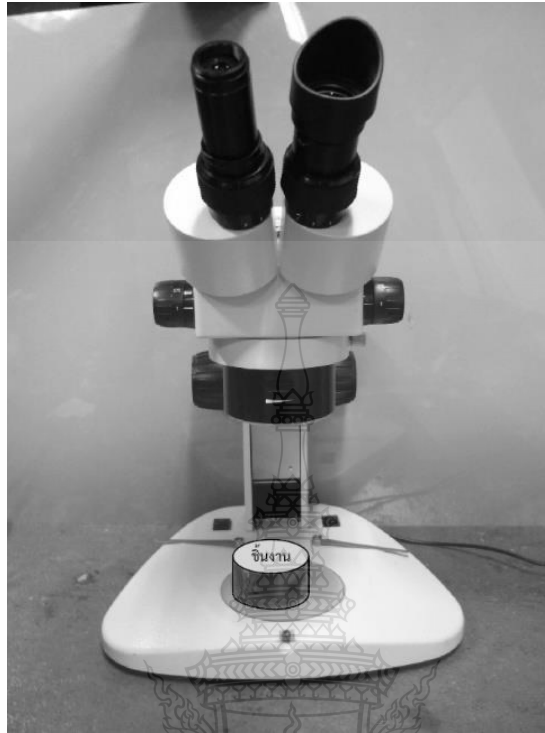
การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบซูม (Stereo -microscopes) ที่มีกำลังขยายต่ำกว่า 10 เท่า นำชิ้นงานส่วนที่ผ่านการเชื่อมมาตัดแบ่งชิ้นส่วนด้วยเครื่องตัดชิ้นงานมีระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นชิ้นงาน หลังจากนั้นนำชิ้นงานมาอัดขึ้นรูปร้อนด้วยผงแบลคคาไลท์ (Bakelite) และทำการขัดด้วยกระดาษทรายน้ำ ตั้งแต่เบอร์ 360-1200 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.8 ผิวยาบจากการขัดด้วยกระดาษทรายถูกนำไปขัดผิวด้วยผงขัดผงเพชร (Diamond) ที่มีขนาดตั้งแต่ 1-3 ไมครอน บนจานขัดผ้าสักหลาด แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์เป่าแห้งด้วยลม

การกัดกรดดูโครงสร้างมหภาคสารที่ใช้ในการกัดกรด ประกอบด้วย เอทานอล (95%) 100 มิลลิลิตร กรดไนตริก 1-5 มิลลิลิตร โดยใช้สำลีจุ่มสารกัดกรดโครงสร้างที่ผ่านการผสมแล้วทำการแช่ทดสอบกัดโครงสร้างลงบนชิ้นงานเบาๆ ประมาณ 10 วินาที ในขั้นตอนนี้ควรใช้แรงในแช่ทดสอบกัดกรดลงบนชิ้นงานให้น้อยที่สุดเพื่อป้องกันการเกิดรอยขีดขูดจากการแช่ทดสอบกัดโครงสร้างลงบนชิ้นงาน จากนั้นล้างกรดด้วยน้ำและเอทานอลและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าแห้งด้วยลมจนแห้ง แสดงดังรูปที่ 3.10 และทำการตรวจสอบจุดบกพร่องบริเวณแนวเชื่อม (Weld zone) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบซูม (Stereo Microscopes) แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการกัดกรดโครงสร้าง





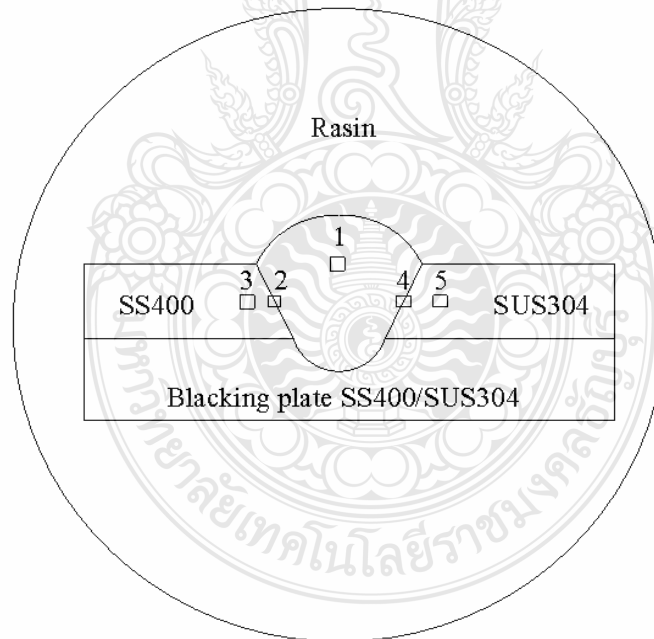
รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบซูม (Stereo Microscopes)

#### 3.4.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) เครื่องหมายการค้า Zeiss รุ่น AX10 Imager A1m ที่กำลังขยาย 50-1000 เท่าแสดงดังรูปที่ 3.12 โดยนำชิ้นงานส่วนที่ตรวจโครงสร้างมหภาคมาตรวจดูโครงสร้างจุลภาคเพื่อดูการกระจายตัวลักษณะของโครงสร้างเดนไดรต์บริเวณแนวเชื่อม (Weld zone) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (Heat affect zone) และทำการวัดขนาดระยะห่างระหว่างเดนไดรต์แสดงดังรูปที่ 3.13 การใช้กล้องจุลทรรศน์เริ่มต้นทำการเปิดกล้องแล้วนำชิ้นงานมาวางบนแท่นวางวัตถุแล้วทำการปรับวัตถุให้ได้ระยะโฟกัสที่มองเห็นแล้วทำการปรับแสงสว่างให้มองเห็นโครงสร้างและทำการปรับเลือกเลนส์ตามที่ต้องถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคแสดงส่วนประกอบดังรูปที่ 3.12 และทำการการบันทึกผลและวิเคราะห์ในบทต่อไป



รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง



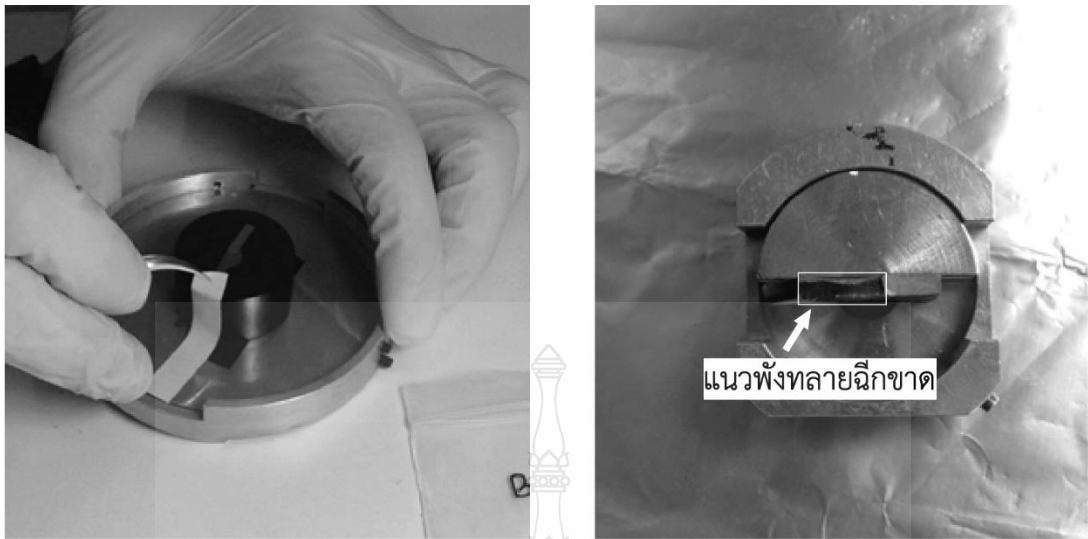
รูปที่ 3.13 ตำแหน่งตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

### 3.4.4 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope : SEM)

นำชิ้นงานทดสอบที่ผ่านทดสอบแรงดึงมาทำการตัดให้มีขนาดกว้างยาวไม่เกิน 25 x 25 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องตัดชิ้นงานที่มีระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นขณะทำการตัดเพื่อให้ได้ขนาดของชิ้นตรวจสอบตามข้อกำหนดของเครื่องตรวจสอบแล้วนำชิ้นงานที่ผ่านการตัดลดขนาดนำไปตรวจบริเวณที่พังทลายแสดงตำแหน่งตรวจสอบดังรูปที่ 3.14 บริเวณการฉีกขาดทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ SUS304L บริเวณการฉีกขาดบริเวณโลหะเชื่อมมีการเตรียมชิ้นงานถ่ายภาพรอยพังทลายแสดงดังรูปที่ 3.22 (ข) และทำการถ่ายภาพรอยพังทลายฉีกขาดด้วยกำลังขยายของตำแหน่งการตรวจสอบตั้งแต่ 15 เท่า - 200,000 เท่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดรุ่น JSM-5410LV แสดงดังรูปที่ 3.16 เพื่อดูความแตกต่างของรอยพังทลายฉีกขาด และการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อมนำชิ้นงานเชื่อมที่ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่เปรียบเทียบกับสเปกคลุ่ม 3 ชนิด โดยใช้ชิ้นงานเดียวกันกับชิ้นงานที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคมาทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan และมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตรวจสอบแสดงดังในรูปที่ 3.17 และทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่บริเวณตำแหน่งเส้นหลอมละลายทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนกับโลหะเชื่อมโดยลากเส้นทางด้านซ้ายผ่านเส้นหลอมละลายเข้ามาทางด้านโลหะเชื่อมเพื่อดูปริมาณเส้นกราฟของธาตุเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงดึงและรอยฉีกขาด โดยแสดงตำแหน่งการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.17



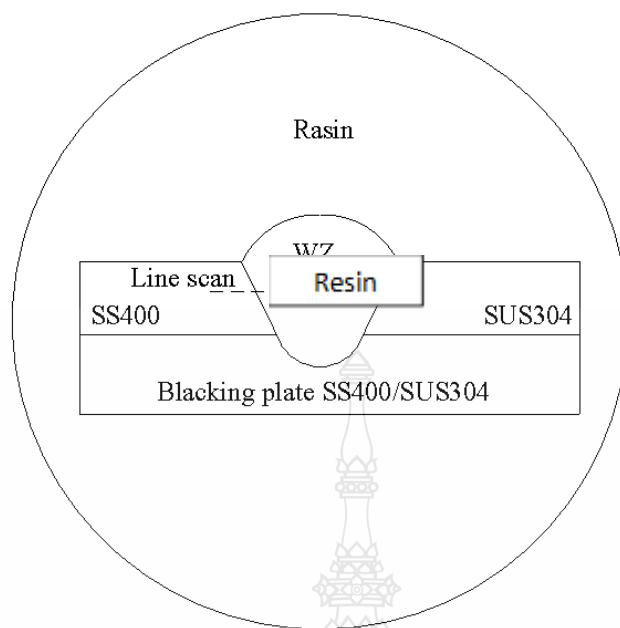
รูปที่ 3.14 ตำแหน่งตรวจสอบถ่ายภาพรอยแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด



รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด



รูปที่ 3.16 เครื่องตรวจสอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด



รูปที่ 3.17 ตำแหน่งการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อม

### 3.5 ตัวแปรในการทดลอง

การเชื่อมต่อวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 กับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยกระบวนการเชื่อมแบบรองหลัง มีตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วยความเร็วในการเดินเชื่อมและกระแสไฟในการเชื่อมที่ได้ทำการทดลองเชื่อมแสดงดังตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรการเชื่อมด้วยการใช้ SUS 304 Blacking plate

Speeds (m/min)	Current (Amp.)		
	160	180	200
200	✓	✓	✓
250	✓	✓	✓
300	✓	✓	✓

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรการเชื่อมด้วยการใช้ SS 400 Blacking plate

Speeds (m/min)	Current (Amp.)		
	160	180	200
200	✓	✓	✓
250	✓	✓	✓
300	✓	✓	✓



## บทที่ 4

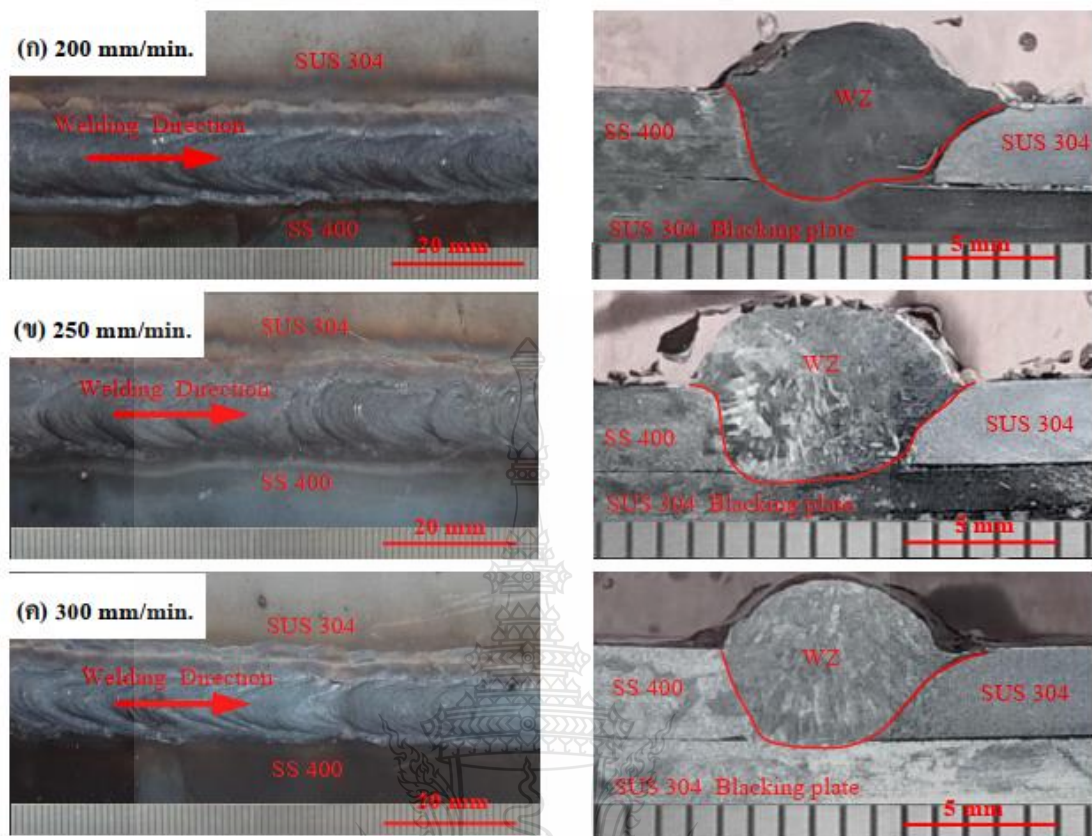
### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

การศึกษาอิทธิพลของวัสดุรองหลังระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304L กับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิม โดยกำหนดกระแสไฟและความเร็วในการเชื่อม 3 ค่า ประกอบด้วยกระแสไฟในการเชื่อมที่ 160-200แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที จากนั้นนำชิ้นงานไปทำการตรวจสอบสมบัติทางกล โครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเคมี ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

#### 4.1 อิทธิพลของกระแสไฟและความเร็วในการเชื่อมต่อลักษณะทางกายภาพแนวเชื่อม

##### 4.1.1 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่รองรับด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304

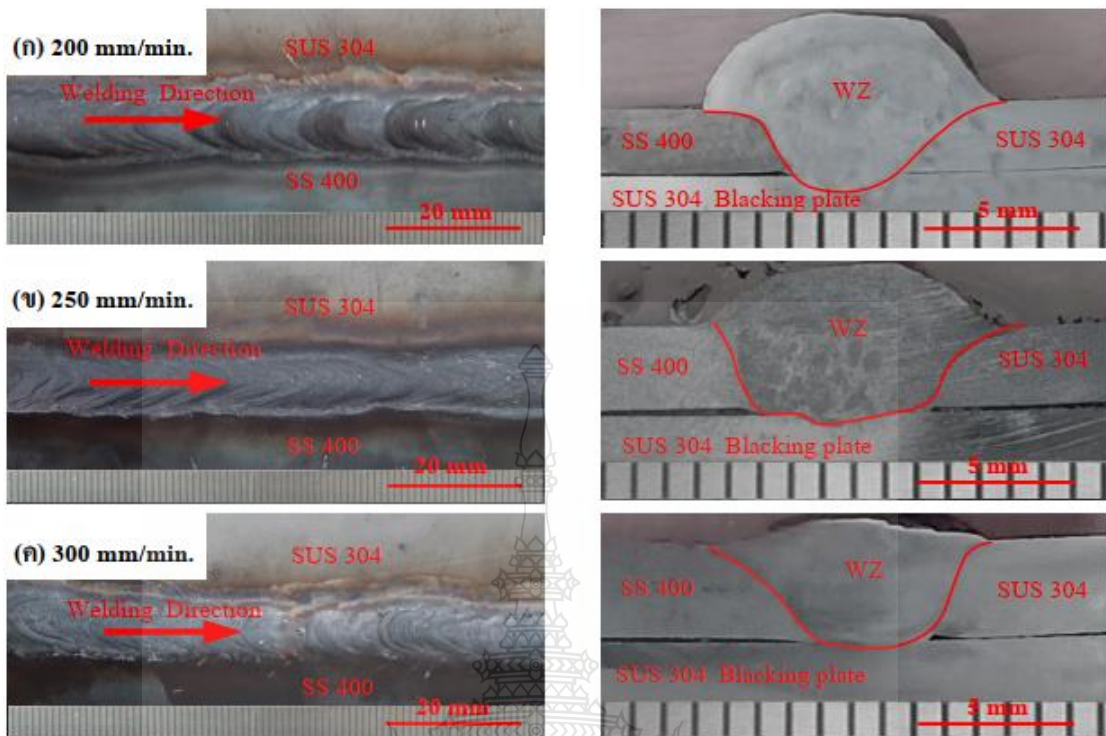
รูปที่ 4.1 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่ทำการเชื่อมด้วยกระแสไฟในการเชื่อม 3 ชนิด ประกอบด้วยกระแสไฟในการเชื่อมที่ 160 แอมแปร์ กำหนดความเร็วเดินเชื่อมที่ 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที และกำหนดอัตราไหลของแก๊สปกคลุมคงที่ 10 ลิตรต่อนาที ผลการตรวจสอบผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที ลักษณะแนวเชื่อมคล้ายกับหัวลูกศร ที่ผิวแนวเชื่อมไม่มีคราบเขม่าและพบการกระเด็นของเม็ดโลหะเพียงเล็กน้อยแสดงดังรูปที่ 4.1 (ก) และเมื่อทำการตัดขวางชิ้นงานเชื่อมเพื่อตรวจสอบจุดบกพร่องในรอยเชื่อม ปรากฏว่าไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อม และแนวเชื่อมมีการซึมลึกถึงแผ่นรองหลังแสดงดังรูปที่ 4.1 (ก) ด้านข้าง (Side view) ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมเป็น 250 มิลลิเมตรต่อนาที และ 300 มิลลิเมตรต่อนาที ดังรูปที่ 4.1 (ข-ค) ผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะคล้ายความเร็วในการเชื่อมที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที แต่ลักษณะหัวลูกศรมีปลายแหลมมากขึ้นตรวจสอบด้านข้างมีการซึมลึกถึงแผ่นรองหลัง แต่พบว่าเมื่อความเร็วในการเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น การซึมลึกถึงแผ่นรองหลังมีค่าลดลง



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผิวหน้ากับการซึมลึกของแนวเชื่อมที่รองพื้นด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304L กระแสเชื่อม 160 A ที่ความเร็วในการเชื่อมแตกต่างกัน (ก) ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที (ข) ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที (ค) ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที

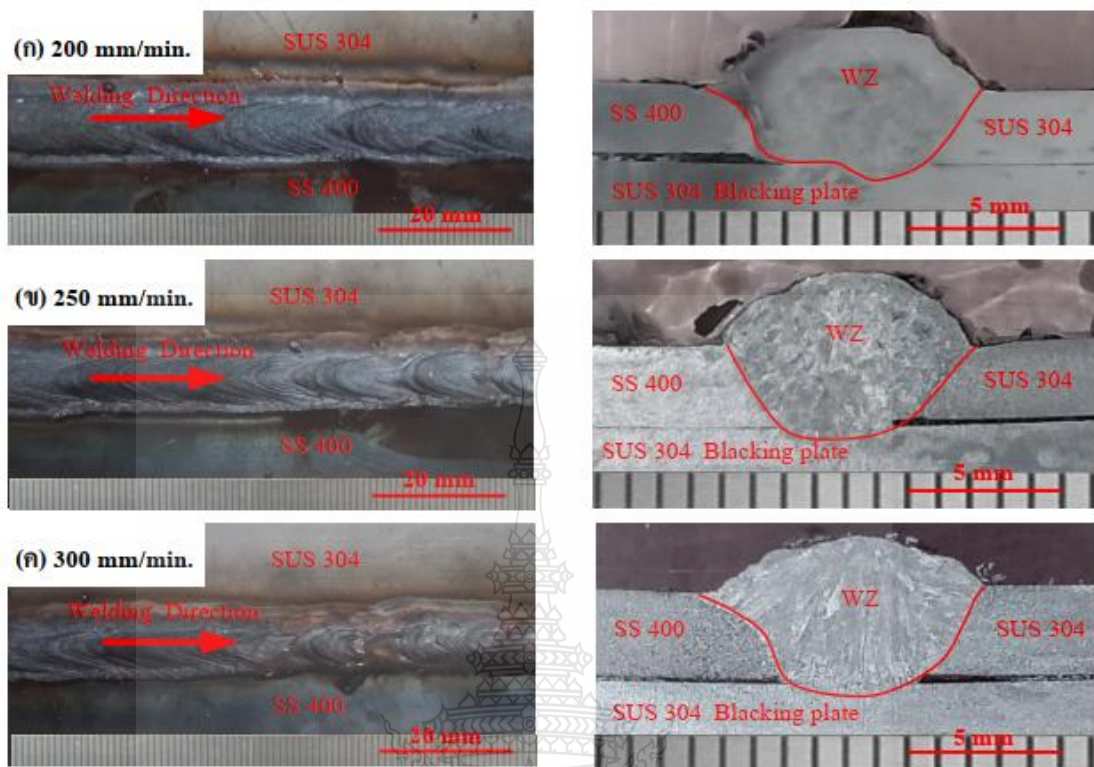
เมื่อเพิ่มกระแสเชื่อมเป็น 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก-ค) ลักษณะผิวหน้าแนวเชื่อมมีลักษณะคล้ายกับกระแสไฟในการเชื่อม 160 แอมแปร์ แต่ลักษณะแนวเชื่อมเป็นหัวลูกศรแหลมมากกว่า จากการตรวจสอบไม่พบจุดบกพร่องบนผิวหน้าแนวเชื่อม การหลอมละลายแนวเชื่อมสมบูรณ์ และเมื่อทำการตัดขวางเพื่อขจัดผิวรอยเชื่อมเพื่อดูจุดบกพร่องไม่พบจุดบกพร่องแต่แนวเชื่อมเกิดการเกย ผิงเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 สูงกว่ากระแสไฟเชื่อม 160 แอมแปร์ ที่ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมสูงขึ้นเป็น 250-300 มิลลิเมตรต่อนาที ปริมาณการเกยของแนวเชื่อมลดลง





รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบผิวหน้ากับการเชื่อมของแนวเชื่อมที่รองพื้นด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304L กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วในการเชื่อมแตกต่างกัน (ก) ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที (ข) ความเร็วในการเชื่อม มิลลิเมตรต่อนาที (ค) ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที

รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผิวหน้าแนวเชื่อมกระแสไฟในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที ลักษณะเกิดแนวเชื่อมแหลมคล้ายกับกระแสไฟในการเชื่อม 160 แอมแปร์ และ 180 แอมแปร์ ตามลำดับ ดังแสดงในรูป 4.3 (ก-ค) แต่พบว่าที่ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที ดังแสดงในรูป 4.3 (ค) แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ และเมื่อทำการตรวจสอบภาคตัดขวางแนวเชื่อมแนวเชื่อมหลอมละลายสมบูรณ์

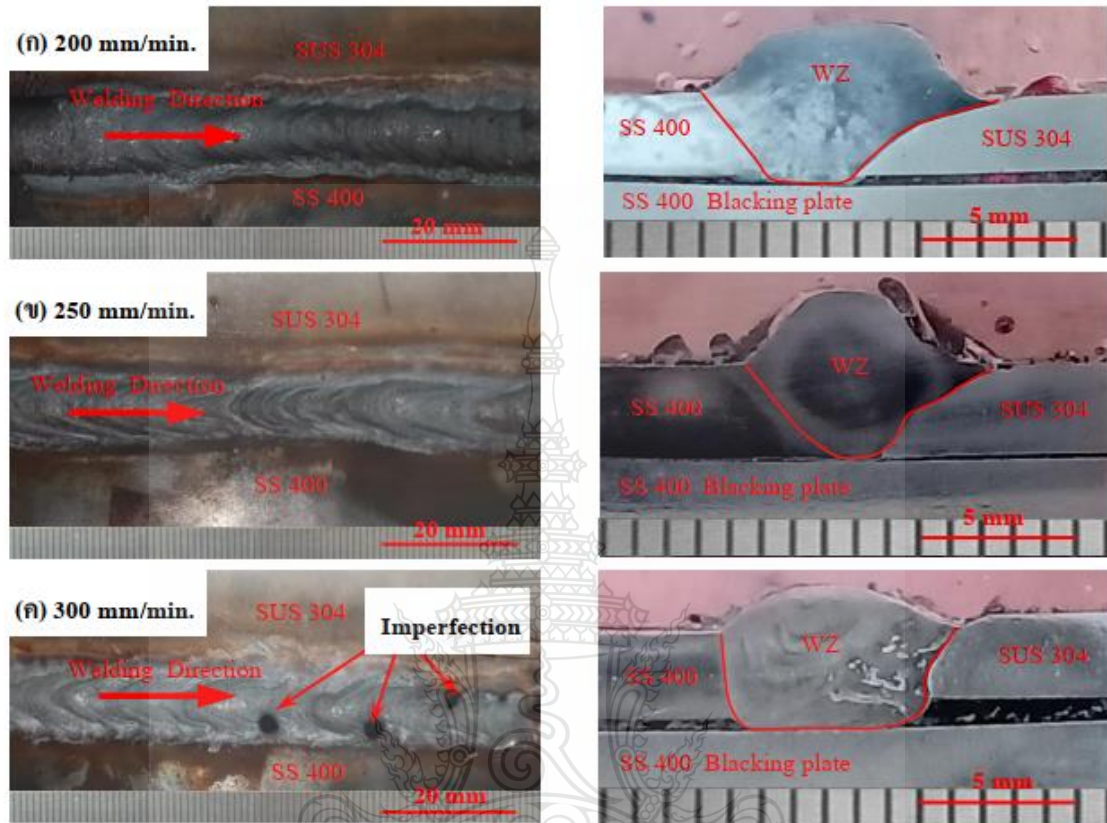


รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผิวหน้ากับการซึมลึกของแนวเชื่อมที่รองพื้นด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304L กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ ที่ความเร็วในการเชื่อมแตกต่างกัน (ก) ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที (ข) ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที (ค) ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที

#### 4.1.2 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่รองหลังด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400

รูปที่ 4.4-4.6 แสดงผิวหน้าแนวเชื่อมที่ทำกรองหลังด้วยแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ทำการเชื่อมด้วยกระแสไฟในการเชื่อม 160-200 แอมแปร์ กำหนดความเร็วเดินเชื่อมที่ 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที ผลการตรวจสอบผิวหน้าแนวเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที แสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าที่ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นลักษณะครึ่งวงกลม ไม่พบจุดบกพร่องที่ผิวหน้าแนวเชื่อม แสดงในรูปที่ 4.4 (ก) แต่เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นเป็น 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลักษณะแนวเชื่อมคล้ายกับหัว ลูกศร ที่ผิวแนวเชื่อมไม่มีคราบเขม่าและไม่พบการกระเด็นของเม็ดโลหะแสดงดังรูปที่ 4.4 (ข) จากนั้นเมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมเป็น 300 มิลลิเมตรต่อนาที พบจุดบกพร่องในแนวเชื่อมลักษณะแนวเชื่อม คล้ายหัวลูกศรแหลมดังรูปที่ 4.4 (ค) และเมื่อทำการตัดขวางชิ้นงานเชื่อมเพื่อตรวจสอบจุดบกพร่องใน

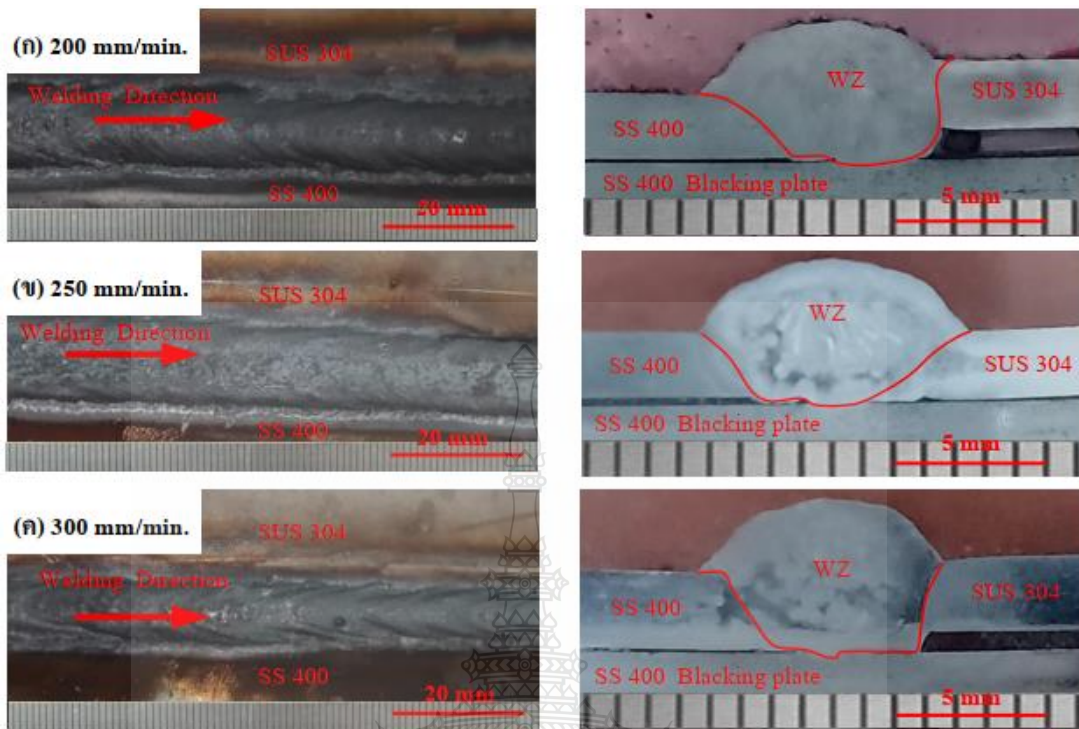
รอยเชื่อม ปรากฏว่าไม่พบจุดบกพร่องเกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อม แต่แนวเชื่อมไม่มีการซึมลึกถึงแผ่นรอง หลังทั้งสามระดับของความเร็วในการเชื่อมแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผิวหน้ากับการซึมลึกของแนวเชื่อมที่รองพื้นด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 กระแสเชื่อม 160 แอมแปร์ ที่ความเร็วในการเชื่อมแตกต่างกัน (ก) ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที (ข) ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที (ค) ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที

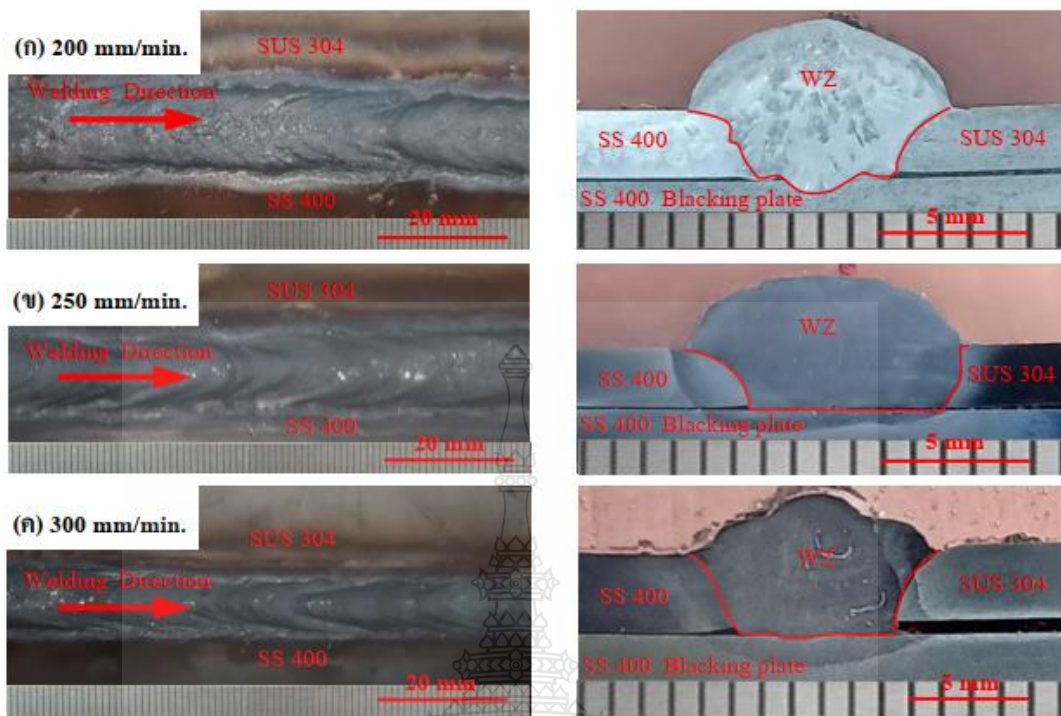
รูปที่ 4.5 ทำการเชื่อมด้วยกระแสไฟในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที จากการตรวจสอบผิวหน้าแนวเชื่อมไม่พบจุดบกพร่องที่ผิวหน้าทั้งความเร็วทั้งสามระดับแต่เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมสูงขึ้นแนวโน้มของแนวเชื่อมเป็นลักษณะหัวลูกศรแหลม เมื่อทำการตรวจสอบภาคตัดขวางแนวเชื่อมไม่พบจุดบกพร่องในแนวเชื่อม แต่กลับพบว่าการหลอมละลายของแนวเชื่อมไม่ซึมลึกถึงแผ่นรองหลังเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ทั้งสามความเร็วในการเชื่อม





รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบผิวหน้ากับการซึมลึกของแนวเชื่อมที่รองพื้นด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ที่ความเร็วในการเชื่อมแตกต่างกัน (ก) ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที (ข) ความเร็วในการเชื่อม มิลลิเมตรต่อนาที (ค) ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที

จากนั้นทำการเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมเป็น 200 แอมแปร์ ลักษณะผิวหน้าแนวเชื่อมคล้ายกับกระแสไฟในการเชื่อมที่ 160 และ 180 แอมแปร์ ตามลำดับ คือผิวหน้าแนวเชื่อมไม่พบจุดบกพร่องทั้งสามความเร็วในการเชื่อม เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมรอยเชื่อมคล้ายกับปลายลูกศรแหลม แต่เมื่อทำการตรวจสอบภาคตัดขวางของแนวเชื่อมทั้งสามความเร็วในการเชื่อมไม่พบจุดบกพร่องและมีการซึมลึกเพียงเล็กน้อยดังรูปที่ 4.6 (ก-ค)

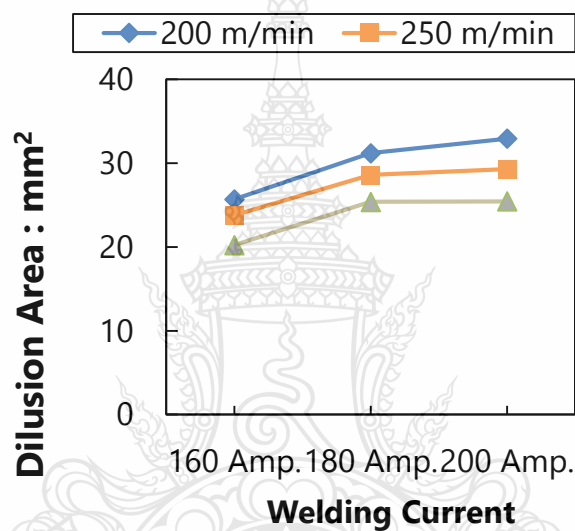


รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบผิวหน้ากับการซึมลึกของแนวเชื่อมที่รองพื้นด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ ที่ความเร็วในการเชื่อมแตกต่างกัน (ก) ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที (ข) ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที (ค) ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที

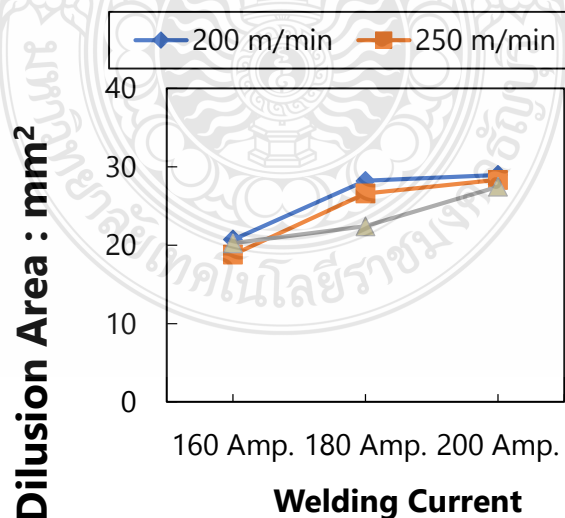
จากนั้นทำการวัดการเจือจางของแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ก-ข) เปรียบเทียบชนิดของแผ่นรองหลังระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L กับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 จากการตรวจสอบรูปที่ 4.7 (ก) ในการเชื่อมใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 รองหลังความเร็วในการเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟในการเชื่อม 160-200 แอมแปร์ จากการเปรียบเทียบความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์ แนวเชื่อมมีปริมาณการเจือจางสูงสุดที่ 32.95 ตารางมิลลิเมตร รองลงมาเป็นกระแสไฟเชื่อมที่ 180 แอมแปร์ และ 160 แอมแปร์ ตามลำดับ ปริมาณการเจือจาง 31.2 ตารางมิลลิเมตร และ 25.7 ตารางมิลลิเมตร แต่เมื่อเพิ่มความเร็วในการสูงขึ้นเป็น 250 มิลลิเมตรต่อนาที และ 300 มิลลิเมตรต่อนาที ปริมาณการเจือจางของแนวเชื่อมลดลงดังแสดงในรูปผลการทดลองที่ 4.7 (ก) ในทำนองเดียวกันเมื่อเปลี่ยนชนิดของวัสดุรองหลังเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ลักษณะปริมาณการหลอมละลายคล้ายกับใช้เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 คือที่กระแสไฟในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อมที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ปริมาณการเจือจางที่ 28.95 ตารางมิลลิเมตร และเมื่อความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้นปริมาณการเจือจางมีค่าลดลงซึ่งมี

ลักษณะคล้ายกับผลการทดลองกรณีใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L รองหลัง แต่เมื่อเปรียบเทียบ ชนิดของแผ่นรองหลังระหว่างแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L กับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ที่ส่งผลต่อ ปริมาณการเจือจางแนวเชื่อมพบว่าแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ให้ปริมาณการเจือจางสูงกว่า เนื่องจากการหลอมละลายสมบูรณ์มากกว่าการใช้แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รองหลัง และในกรณีความ แตกต่างของขนาดการเจือจางสาเหตุเกิดจากกระแสไฟและความเร็วในการเชื่อมซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Jia, Xu et al. [23] ได้ศึกษาวิธีการจำลองวิธีประมาณค่าตัวแปรความร้อนที่ป้อนเข้าใน การเชื่อมแก๊สปกคลุมที่มีผลต่ออิทธิพลความกว้างความลึกของบ่อหลอมละลาย

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบการเจือจางของแนวเชื่อม (ก) เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304L รองหลัง (ข) เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รองหลัง

## 4.2 อิทธิพลของกระแสไฟและความเร็วในการเชื่อมต่อความแข็งแรงดึง [13]

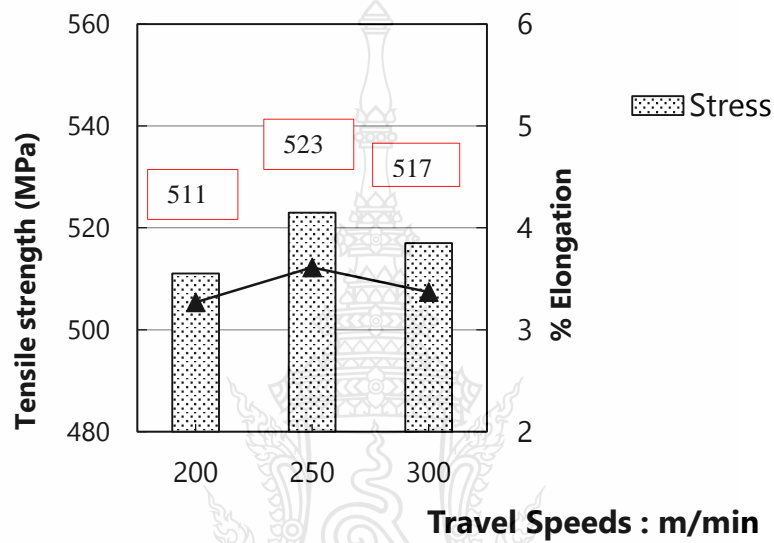
การศึกษานี้ทำการตรวจสอบอิทธิพลของแผ่นรองหลังที่ส่งผลต่อสมบัติทางกล จากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นตามหัวข้อที่ 4.1 พบว่าการใช้ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 308L ในการเชื่อมแนวเชื่อมหลอมละลายสมบูรณ์ เมื่อทำการตรวจสอบสมบัติทางกลพบว่าเกิดความเสียหายหรือการฉีกขาดฝั่งโลหะเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ทุกกระแสไฟและทุกความเร็วในการเชื่อมส่งผลให้เมื่อทำการเปรียบเทียบแผ่นรองหลังระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L กับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 มีค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งผู้วิจัยจะแสดงผลการตรวจสอบสมบัติทางกลแยกกันระหว่างชนิดของแผ่นรองหลังมีผลการตรวจสอบดังนี้

4.2.1 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัวด้วยวัสดุรองหลังชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L

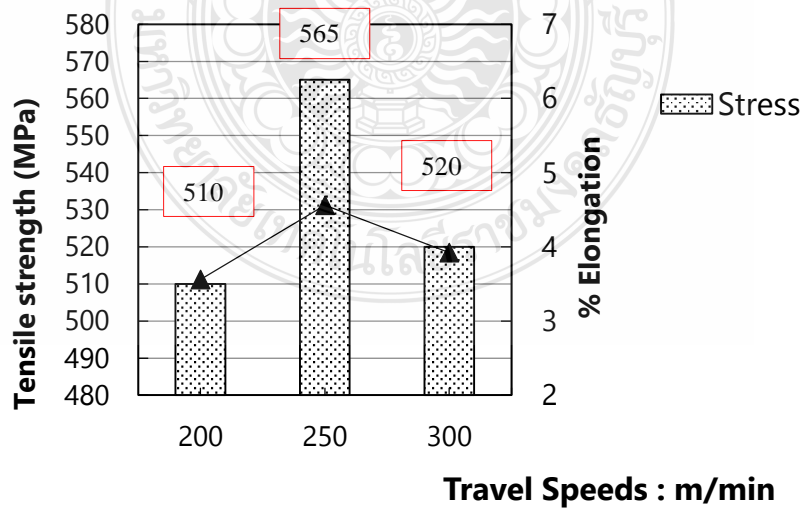
รูปที่ 4.8 (ก-ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเชื่อมกับกระแสไฟในการเชื่อมที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัว (% Elongation) ของแนวเชื่อม รูปที่ 4.8 (ก) แสดงผลของกระแสไฟในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที จากการตรวจสอบพบว่าความเร็วในการเชื่อมที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 511 เมกกะปาสคาล อัตราการยืดตัวของแนวเชื่อม 3.27 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมสูงขึ้นเป็น 250 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงขึ้นเป็น 523 เมกกะปาสคาล และ 3.61 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราการยืดตัวของแนวเชื่อม แต่เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมเป็น 300 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วในการเชื่อมสูงสุดสำหรับการวิจัยนี้พบว่าแนวโน้มความแข็งแรงดึงสูงสุดและอัตราการยืดตัวมีค่าลดลงที่ 517 เมกกะปาสคาล และ 3.37 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราการยืดตัวของแนวเชื่อม จากนั้นทำการเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมสูงขึ้นเป็น 180 แอมแปร์ ลักษณะความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัวคล้ายกับกระแสไฟในการเชื่อม 160 แอมแปร์ กล่าวคือ ความเร็วในการเชื่อมที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 510 เมกกะปาสคาล อัตราการยืดตัวของแนวเชื่อม 3.56 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมสูงขึ้นเป็น 250 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงขึ้นเป็น 565 เมกกะปาสคาล และ 4.56 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราการยืดตัวของแนวเชื่อม แต่เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมเป็น 300 มิลลิเมตรต่อนาที แนวโน้มความแข็งแรงดึงสูงสุดและอัตราการยืดตัวมีค่าลดลงที่ 520 เมกกะปาสคาล และ 3.92 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูป 4.8 (ข) ในส่วนรูปที่ 4.8 (ค) แสดงผลการทดลองการเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ซึ่งเป็นกระแสไฟในการเชื่อมสูงสุดที่ความเร็วในการเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที ความแข็งแรงดึงที่ 540 เมกกะปาสคาล และอัตราการยืดตัว 2.61 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมเป็น 250 มิลลิเมตรต่อนาที ความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นเป็น 613 เมกกะปาสคาล อัตราการยืดตัว 6.54 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งเป็นค่าสูงสุดสำหรับการทดสอบนี้ และเมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมสูงขึ้น 300 มิลลิเมตรต่อนาที ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลง

(ก) กระแสไฟ 160 แอมแปร์

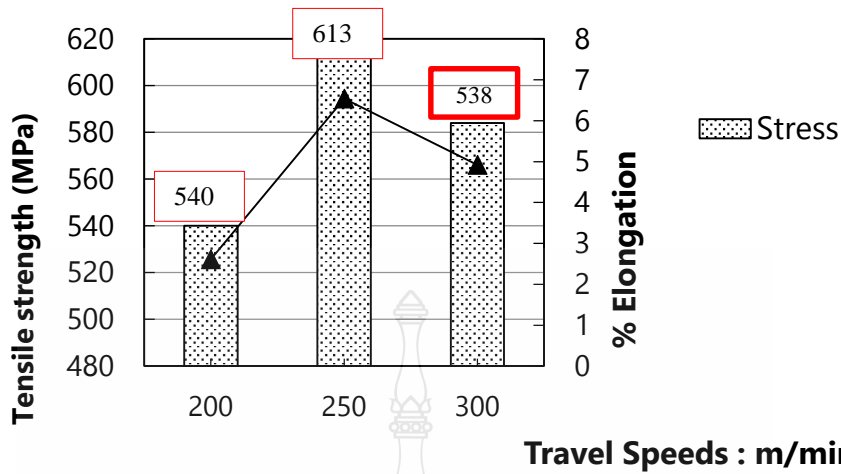


(ข) กระแสไฟ 180 แอมแปร์





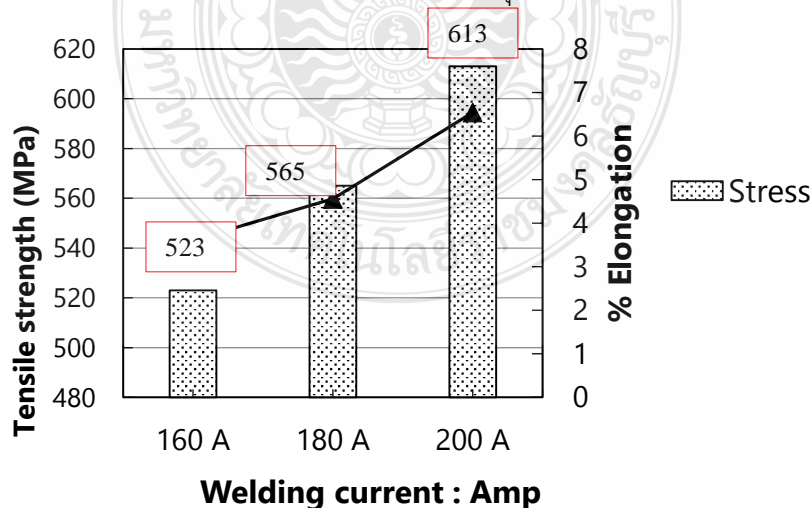
(ค) กระแสไฟ 200 แอมแปร์



รูปที่ 4.8 ความแข็งแรงดึงกับอัตราการยึดตัวของแนวเชื่อมด้วยแผ่นรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิม

SUS304L (ก) กระแสไฟเชื่อม 160 แอมแปร์ (ข) กระแสไฟเชื่อม 180 แอมแปร์ (ค) กระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์

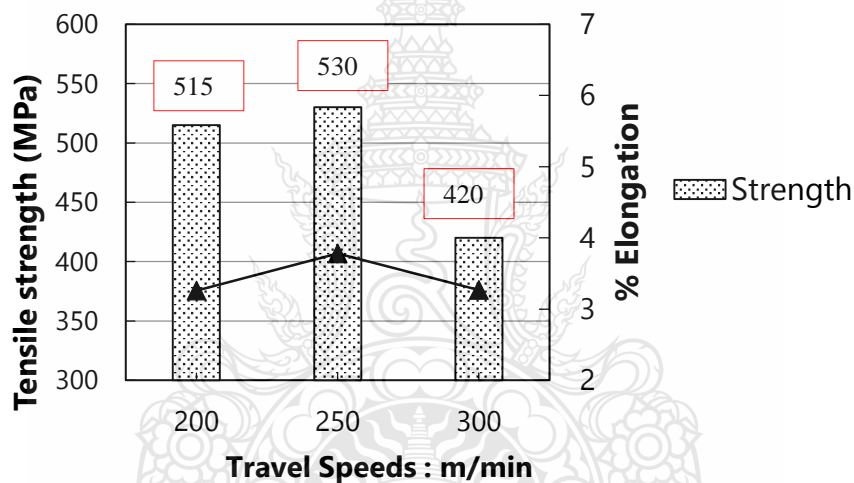
ผลการทดลองดังรูปที่ 4.8 (ก-ค) พบว่าความเร็วในการเชื่อมที่ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ให้ความแข็งแรงดึงและอัตราการยึดตัวสูงสุด ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกระแสไฟในการเชื่อม 160-200 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งผลการดำเนินงานพบว่ากระแสไฟในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 613 เมกกะปาสคาล อัตราการยึดตัว 6.54 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นกระแสไฟในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความแข็งแรงดึง 565 เมกกะปาสคาล และ 4.56 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการยึดตัว สุดท้ายกระแสไฟในการเชื่อมต่ำสุดที่ 160 แอมแปร์ ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเฉลี่ย 523 เมกกะปาสคาล และเปอร์เซ็นต์การยึดตัว 3.61 เปอร์เซ็นต์ซึ่งน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกระแสไฟเชื่อมอื่น



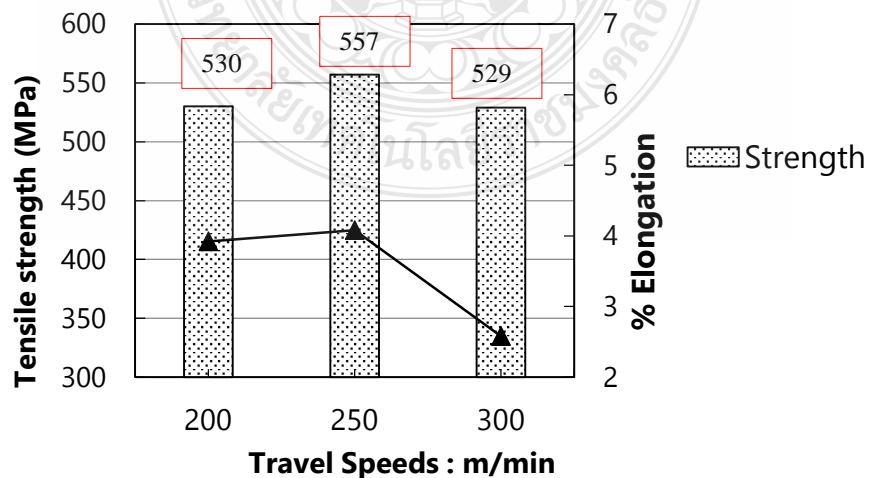
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็ว 250 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟเชื่อม 160 -200 แอมแปร์ โดยใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L รองหลัง

การเปรียบเทียบความเร็วและกระแสไฟในการเชื่อมสามารถสรุปได้ว่าความเร็วเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์ ให้ค่าความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัวของ แนวเชื่อมสูงสุดกรณีใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304L รองหลังในการเชื่อม เนื่องจากการทดลองนี้ทำ การเชื่อมโดยมีวัสดุรองหลังส่งผลให้พื้นที่ในการพาความร้อนสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้ความร้อนในการ เชื่อมสูง จะเห็นได้ว่าจากรูปผลการทดลองที่ 4.9 กระแสไฟในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ให้ค่าความ แข็งแรงดึงสูงสุดรองลงมาเป็นกระแสไฟเชื่อมที่ 180 แอมแปร์ และ 160 แอมแปร์ ตามลำดับ สังเกตได้ จากพื้นที่การหลอมละลายแนวเชื่อมดังรูปที่ 4.7 (ก) กระแสไฟในการเชื่อม 200 แอมแปร์ พื้นที่การ หลอมละลายมีค่าสูงสุด

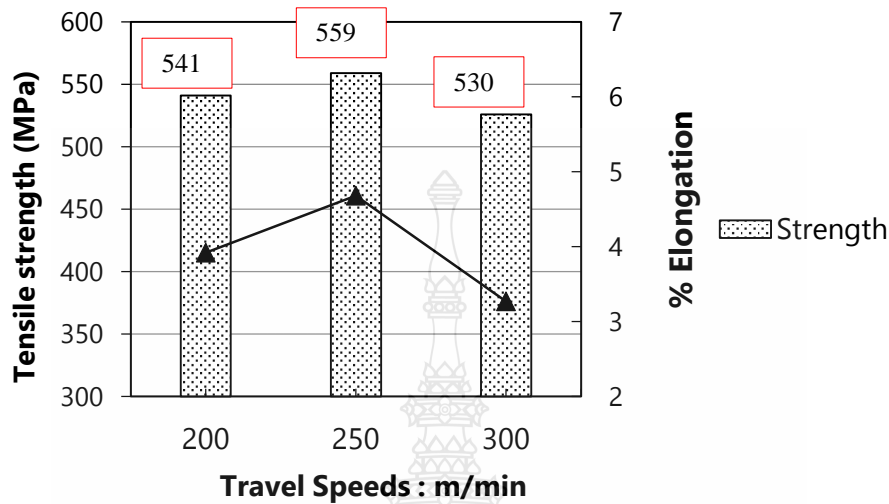
(ก) กระแสไฟ 160 แอมแปร์



(ข) กระแสไฟ 180 แอมแปร์



(ค) กระแสไฟ 200 แอมแปร์



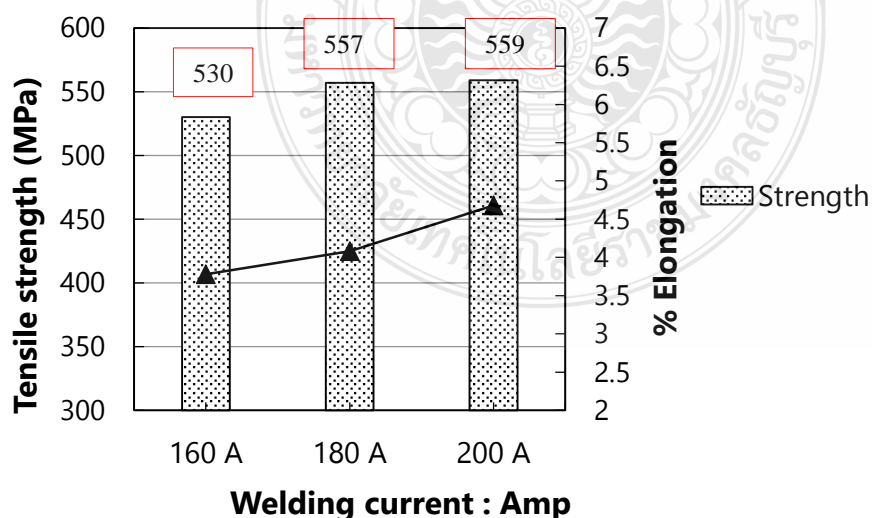
รูปที่ 4.10 ความแข็งแรงดึงกับอัตราการยืดตัวของแนวเชื่อมด้วยแผ่นรองหลังเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 (ก) กระแสไฟเชื่อม 160 แอมแปร์ (ข) กระแสไฟเชื่อม 180 แอมแปร์ (ค) กระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์

#### 4.2.2 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงและการยืดตัวด้วยวัสดุรองหลังชนิดเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

รูปที่ 4.10 (ก-ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเชื่อมกับกระแสไฟในการเชื่อมที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัว (% Elongation) ของแนวเชื่อม รูปที่ 4.8 (ก) แสดงผลของกระแสไฟในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที จากการตรวจสอบพบว่าความเร็วในการเชื่อมที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความต้านทานสูงสุดที่ 515 เมกะปาสคาล อัตราการยืดตัวของแนวเชื่อม 3.26 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมสูงขึ้นเป็น 250 มิลลิเมตรต่อนาที ค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงขึ้นเป็น 530 เมกะปาสคาล และ 3.76 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราการยืดตัวของแนวเชื่อม แต่เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมเป็น 300 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วในการเชื่อมสูงสุดสำหรับการวิจัยนี้พบว่าแนวโน้มความแข็งแรงดึงสูงสุดและอัตราการยืดตัวมีค่าลดลงที่ 420 เมกะปาสคาล และ 3.27 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราการยืดตัวของแนวเชื่อม จากนั้นทำการเพิ่มกระแสไฟในการเชื่อมสูงขึ้นเป็น 180 แอมแปร์ ลักษณะความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัวคล้ายกับกระแสไฟในการเชื่อม 160 แอมแปร์ กล่าวคือ ความเร็วในการ

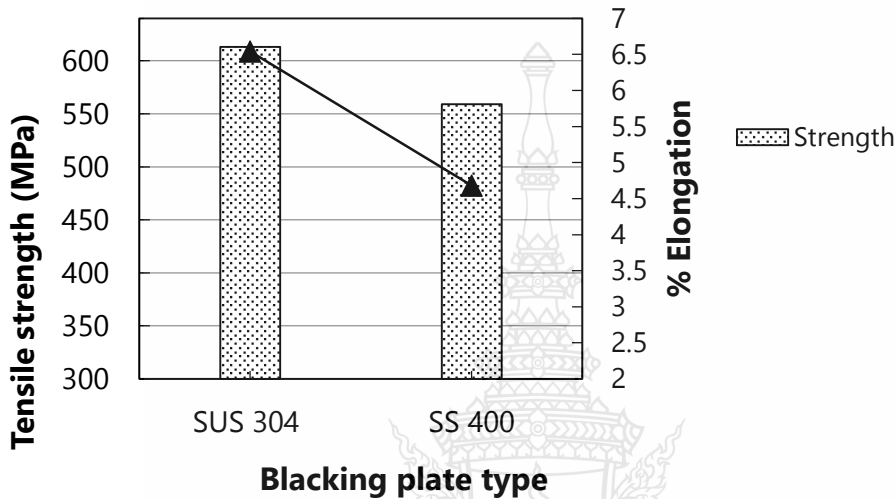
เชื่อมที่ 200 มิลลิเมตรต่อหน้าที่ ค่าความต้านทานสูงสุดที่ 530 เมกกะปาสคาล อัตราการยืดตัวของแนวเชื่อม 3.92 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมสูงขึ้นเป็น 250 มิลลิเมตรต่อหน้าที่ ค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงขึ้นเป็น 557 เมกกะปาสคาล และ 4.08 เปอร์เซ็นต์สำหรับอัตราการยืดตัวของแนวเชื่อม แต่เมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมเป็น 300 มิลลิเมตรต่อหน้าที่ แนวโน้มความแข็งแรงดึงสูงสุดและอัตราการยืดตัวมีค่าลดลงที่ 529 เมกกะปาสคาล และ 2.58 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูป 4.10 (ข) ในส่วนรูปที่ 4.10 (ค) แสดงผลการทดลองการเชื่อมที่กระแสไฟในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ซึ่งเป็นกระแสไฟในการเชื่อมสูงสุดที่ความเร็วในการเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อหน้าที่ ความแข็งแรงดึงที่ 541 เมกกะปาสคาล และอัตราการยืดตัว 3.92 เปอร์เซ็นต์และเมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมเป็น 250 มิลลิเมตรต่อหน้าที่ ความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นเป็น 559 เมกกะปาสคาล อัตราการยืดตัว 4.68 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าสูงสุดสำหรับการทดสอบนี้ และเมื่อเพิ่มความเร็วในการเชื่อมสูงขึ้น 300 มิลลิเมตรต่อหน้าที่ ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลง

ผลการทดลองดังรูปที่ 4.8 (ก-ค) พบว่าความเร็วในการเชื่อมที่ 250 มิลลิเมตรต่อหน้าที่ ให้ความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัวสูงสุด ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกระแสไฟในการเชื่อม 160-200 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งผลการดำเนินงานพบว่ากระแสไฟในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 559 เมกกะปาสคาล อัตราการยืดตัว 4.68 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นกระแสไฟในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความแข็งแรงดึง 557 เมกกะปาสคาล และ 4.08 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการยืดตัว สุดท้ายกระแสไฟในการเชื่อมต่ำสุดที่ 160 แอมแปร์ ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเฉลี่ย 530 เมกกะปาสคาล และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว 3.78 เปอร์เซ็นต์ซึ่งน้อยสุดเมื่อเทียบกับกระแสไฟเชื่อมอื่น



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็ว 250 มิลลิเมตรต่อหน้าที่ กระแสไฟในการเชื่อม 160 -200 แอมแปร์ โดยใช้แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รองหลัง

การเปรียบเทียบความเร็วและกระแสไฟในการเชื่อมสามารถสรุปได้ว่าความเร็วเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์ ให้ค่าความแข็งแรงดึงและอัตราการยึดตัวของแนวเชื่อมสูงสุดกรณีใช้แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รองหลังในการเชื่อม ซึ่งลักษณะพฤติกรรมแนวเชื่อมมีลักษณะคล้ายกับกรณีการใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L รองหลังในการเชื่อม



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบชนิดของแผ่นรองหลังต่อค่าความแข็งแรงดึงและอัตราการยึดตัวของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็ว 250 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟในการเชื่อม 200 แอมแปร์

รูปที่ 12 ทำการเปรียบเทียบชนิดของแผ่นรองหลังระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L กับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ซึ่งเป็นตัวแปรที่ให้ความแข็งแรงดึงสูงสุดสำหรับการวิจัยนี้ จากผลการทดลองพบว่าแผ่นรองหลังระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ให้ค่าความต้านทานแรงดึง 613 เมกกะปาสคาล อัตราการยึดตัว 6.54 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เดียวกันเมื่อใช้แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ให้ค่าความแข็งแรงดึง 559 เมกกะปาสคาล และ 4.68 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราการยึดตัว มีค่าต่ำกว่าการใช้เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L รองหลัง 9.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าความแตกต่างน้อยมาก สืบเนื่องมาจากลักษณะการพังทลายในรูปที่ 4.13 และ 4.14 เกิดการฉีกขาดบริเวณผลกระทบร้อนฝั่งเหล็กกล้าคาร์บอนทุกตัวแปรในการเชื่อม อาจกล่าวได้ว่าความแตกต่างของความแข็งแรงดึงไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ในกรณีการนำไปใช้งานวัสดุรองหลังชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมมีประสิทธิภาพมากกว่าเนื่องจากการหลอมละลายและการซึมลึกมีปริมาณมากกว่าการใช้เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รองหลัง เพราะลวดเชื่อมกับวัสดุรองพื้นเป็นชนิดเดียวกัน ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การหลอมละลายสูงกว่า

4.2.3 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายฉีกขาดกรณีการใช้วัสดุรองหลังชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L

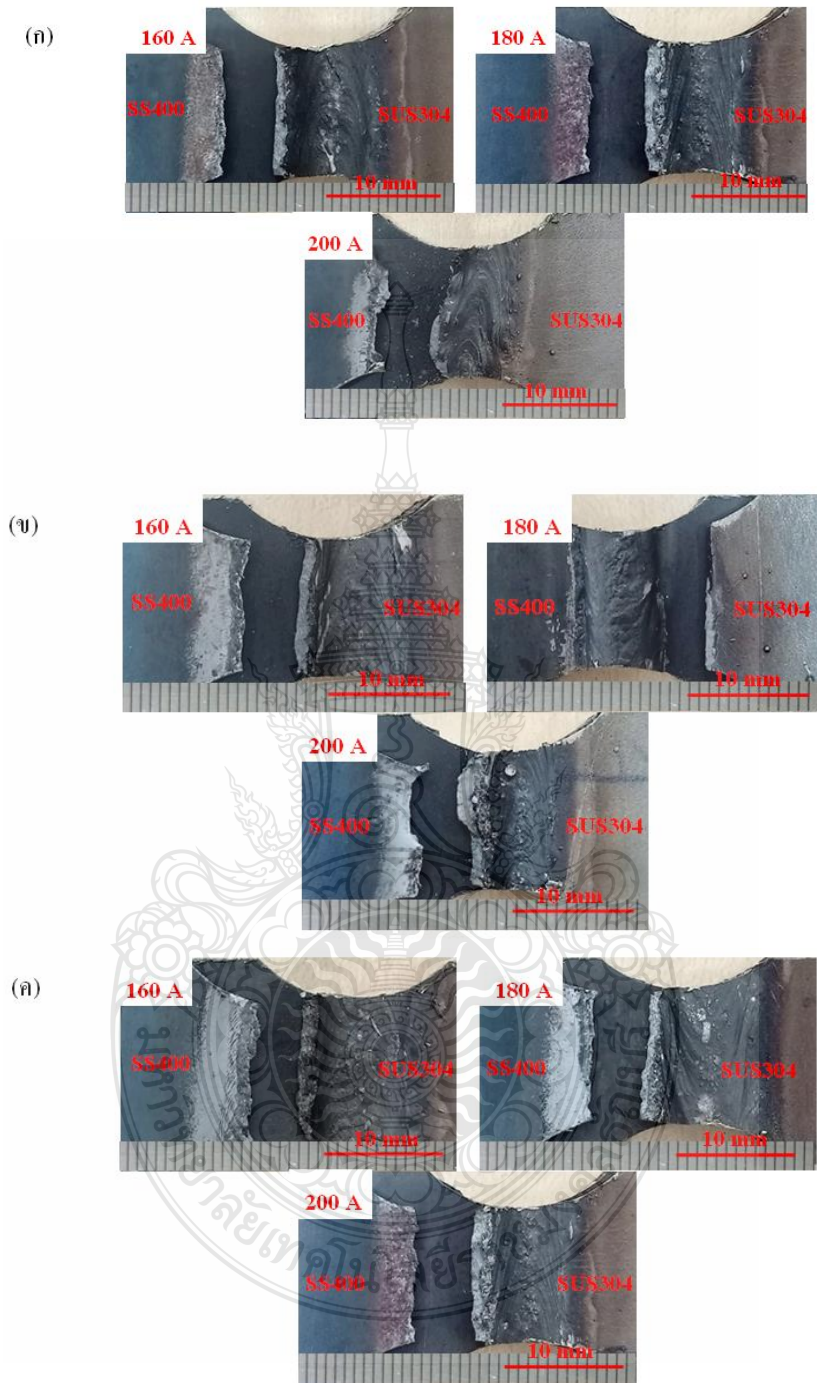
รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายฉีกขาดวัสดุรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L กระแสไฟในการเชื่อม 160-180 แอมแปร์ (ก) ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที (ข) ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที (ค) ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าเกิดการฉีกขาดฝั่งเหล็กกล้าคาร์บอนบริเวณพื้นที่กระทบร้อนของทุกชิ้นงานทดลองซึ่งลักษณะการฉีกขาดมีรูปแบบแตกต่างกันออกไป โดยภาพรวมของการฉีกขาดเกิดการฉีกขาดแบบเหนียวดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก) เป็นแนวการพังทลายของชิ้นงานเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟในการเชื่อม 160-200 แอมแปร์ ลักษณะการฉีกขาดของแนวเชื่อมไม่แตกต่างกันมากนัก โดยรวมโหมดการฉีกขาดเป็นลักษณะการฉีกขาดแบบเหนียวส่งผลให้ความแข็งแรงดิ่งมีค่าสูง และเมื่อเพิ่มความเร็วในการเดินเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นเป็น 250 มิลลิเมตรต่อนาที และ 300 มิลลิเมตรต่อนาที รูปแบบการฉีกขาดบริเวณพื้นที่กระทบร้อนไม่แตกต่างกันมากนักแต่สังเกตได้ว่าที่กระแสไฟในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ทุกความเร็วในการเชื่อมมีลักษณะการฉีกขาดแบบเหนียวกว่ากระแสไฟในการเชื่อมอื่น

ในกรณีใช้แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รองหลังในการเชื่อมพบลักษณะการฉีกขาดคล้ายกับการใช้วัสดุรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L กล่าวคือเกิดการขาดบริเวณพื้นที่กระทบร้อนฝั่งเหล็กกล้าคาร์บอนลักษณะการขาดโดยรวมเป็นลักษณะการขาดแบบเหนียวดังแสดงในรูปที่ 4.14



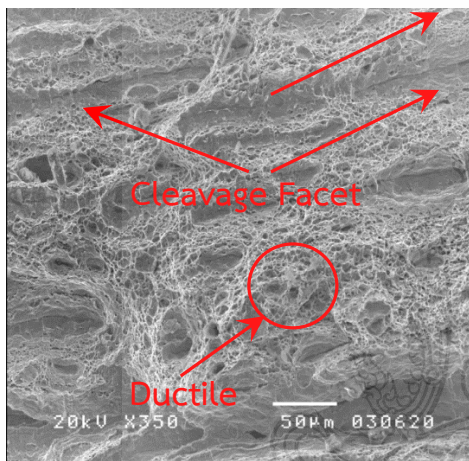
รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายฉีกขาดวัสดุรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L กระแสไฟในการเชื่อม 160-180 แอมแปร์ (ก) ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที (ข) ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที (ค) ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตร ต่อนาที



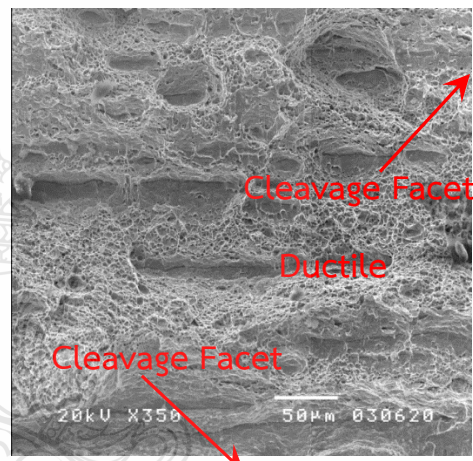


รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบลักษณะการพังทลายฉีกขาดวัสดุรองหลังเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กระแสไฟในการเชื่อม 160-180 แอมแปร์ (ก) ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที (ข) ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที (ค) ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที

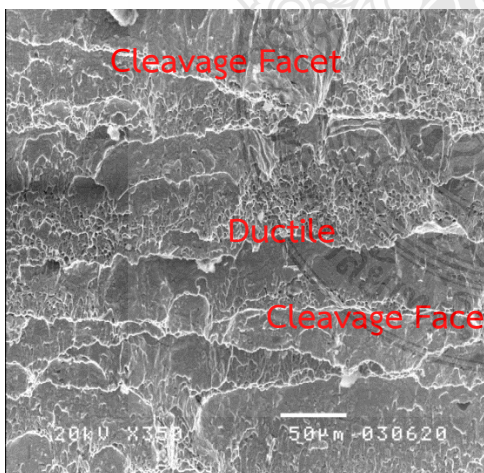
นำชิ้นงานที่เชื่อมด้วยความเร็วเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์ ที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัวของแนวเชื่อมสูงสุดกรณีใช้แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รองหลังในการเชื่อม กับกรณีการใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L รองหลังในการเชื่อมไปทำการตรวจสอบลักษณะการฉีกขาดบริเวณพื้นที่กระทบร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ลักษณะการพังทลายของแนวเชื่อมพบว่าแนวฉีกขาดโดยรวมเกิดการเสียหายสองแบบคือ แบบเหนียว (Ductile dimples) และ แบบเปราะ (Cleavage Facet) ลักษณะพื้นรอยแตกแบบราบเรียบ (Cleavage fracture) ผสมรวมทั้งวัสดุรองหลังทั้งสองชนิด



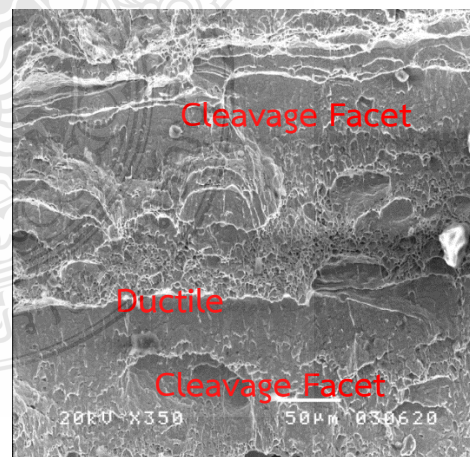
(ก) SS400 Side – SUS304 Blacking



(ข) WZ Side – SUS304 Blacking



(ค) SS400 Side – SS400 Blacking



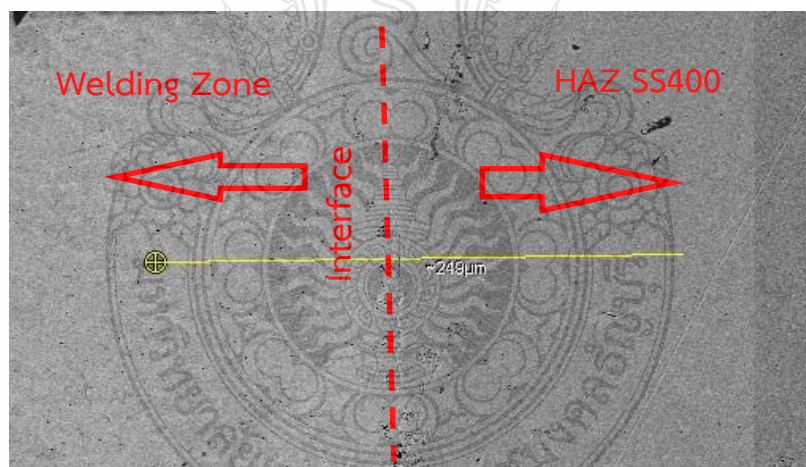
(ง) WZ Side – SS400 Blacking

รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะการพังทลายของแนวเชื่อมบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (HAZ)

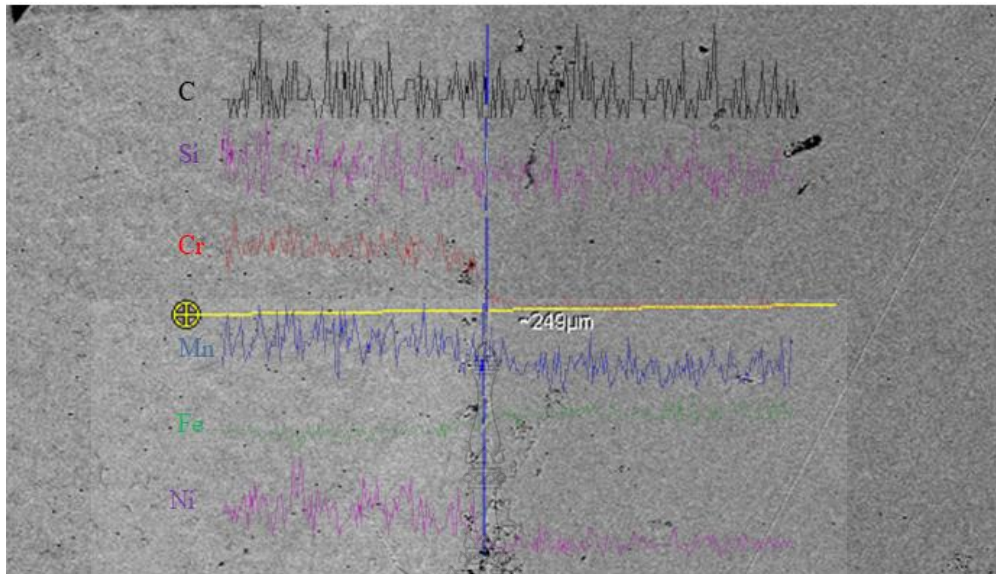


รูปที่ 4.15 (ก) แสดงรอยฉีกขาดแนวเชื่อมฝั่งเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ที่รองหลังด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L พบว่าการฉีกขาดเฉลี่ยโดยรวมเป็นแบบการพังทลายแบบเหนียวพื้นผิวของการฉีกขาดมีลักษณะเป็นช่องว่าง (Micro voids) ขนาดเล็กเกิดขึ้น ในทางตรงกันข้ามการฉีกขาดด้านแนวเชื่อมลักษณะการพังทลายคล้ายกันกับด้านฝั่งเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 คือลักษณะการฉีกขาดเป็นการพังทลายแบบเหนียวพื้นผิวของการฉีกขาดมีลักษณะเป็นช่องว่าง (Micro voids) ขนาดเล็กผสมรวมกับการพังทลายแตกแบบราบเรียบ (Cleavage fracture) แต่มีปริมาณน้อยกว่าการพังทลายแบบเหนียว จากนั้นกรณีการใช้แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รองหลังลักษณะการพังทลายโดยรวมเป็นลักษณะการพังทลายแบบเปราะมากกว่าแบบเหนียวทั้งฝั่งเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และฝั่งแนวเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (ค-ง)

เมื่อนำชิ้นงานที่เชื่อมด้วยความเร็วเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์ ที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงและอัตราการยืดตัวของแนวเชื่อมสูงสุดกรณีใช้แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 รองหลังในการเชื่อม กับกรณีการใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ไปทำการตรวจสอบสวนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan บริเวณชั้นรอยต่อระหว่างแนวเชื่อมกับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ลักษณะการตรวจสอบแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 รูปแสดงการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อมชนิดแผ่นรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L



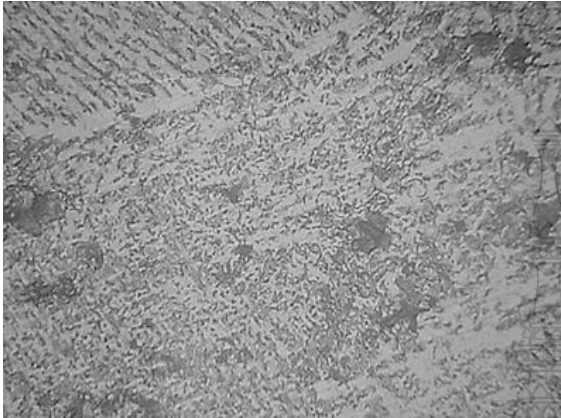
รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของรอยเชื่อมชนิดแผ่นรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L

รูปที่ 4.17 แสดงการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan ของชิ้นงานที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดกระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อมที่ 250 มิลลิเมตรต่อนาที รองหลังเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L โดยลากผ่านเป็นเส้นตรงทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนผ่านรอยต่อบริเวณเส้นหลอมละลายกับโลหะเชื่อมโดยมีความยาวประมาณ 249  $\mu\text{m}$  ผลการตรวจสอบพบว่ามีธาตุหลักประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน (C) ซิลิกอน (Si) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) และนิกเกิล (Ni) และเมื่อทำการวิเคราะห์ของเส้นกราฟของธาตุคาร์บอน แมงกานีสและซิลิกอนพบว่ามีปริมาณการกระจายตัวมีความสม่ำเสมอ เมื่อทำการวิเคราะห์ของเส้นกราฟของโครเมียมและนิกเกิลพบว่าปริมาณของโครเมียมและนิกเกิลมีแนวโน้มของเส้นกราฟต่ำบริเวณเส้นหลอมละลายและบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ขณะที่ปริมาณของเส้นกราฟของธาตุเหล็กมีแนวโน้มของปริมาณธาตุสูงเมื่อเข้าใกล้ทางด้านโลหะเชื่อม เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะการพังทลายฉีกขาดบริเวณทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุโครเมียม แมงกานีส และนิกเกิลต่ำที่ผ่านการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-Line scan แสดงดังในรูปที่ 4.17

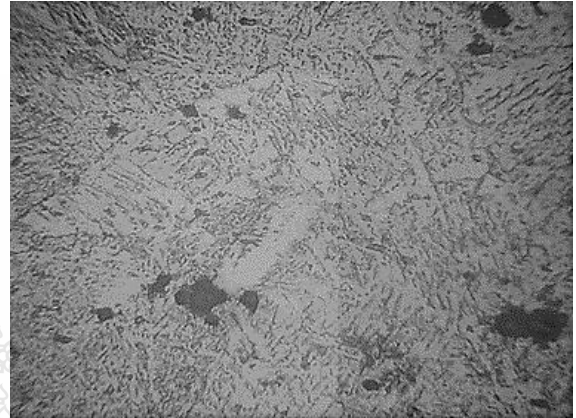
### 4.3 โครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม

การตรวจสอบโครงสร้างทำการตรวจสอบบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (heat-affect zone HAZ) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึง ดังนั้นหัวข้อนี้จึงนำเสนอเฉพาะโครงสร้างบริเวณดังกล่าว ส่วนโครงสร้างจุลภาคบริเวณอื่นจักนำเสนอในภาคผนวกต่อไป

4.3.1 โครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่กระแทกร้อนกรณีใช้วัสดุชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L รองหลัง



(ก) กระแสไฟเชื่อม 160 แอมแปร์



(ข) กระแสไฟเชื่อม 180 แอมแปร์



(ค) กระแสไฟเชื่อม 200 แอมแปร์

รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณพื้นที่กระแทกร้อนที่เชื่อมด้วยความเร็วในการเชื่อมที่ 250 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟในการเชื่อมที่ 160 – 200 แอมแปร์

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การดำเนินวิจัยการศึกษาอิทธิพลของแผ่นรองหลังที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (GMAW) ในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง โดยประยุกต์ให้เป็นการเชื่อมแบบอัตโนมัติ เชื่อมรอยต่อชนทำราบ ทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรในการเชื่อมจากนั้นนำชิ้นงานเชื่อมไปทดสอบสมบัติทางกลและตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยศึกษาสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบแรงดึงเฉือน และความแข็งไมโครวิกเกอร์ส์ และศึกษาโครงสร้างจุลภาคและโครงสร้างมหภาค ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

- 1) กระแสเชื่อมที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูง คือ กระแสเชื่อม 200 A และการเพิ่มขึ้นของความเร็วเชื่อมส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงลดลง
- 2) ความเร็วเดินเชื่อมที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูง คือ ความเร็วเดินเชื่อม 250 mm/min เมื่อความเร็วเดินเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำ
- 3) การเปรียบเทียบชนิดแผ่นรองหลังระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L กับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 พบว่าแผ่นรองหลังชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 613 MPa ซึ่งให้ค่าความแข็งแรงสูงกว่าแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 เฉลี่ย 10 เปอร์เซ็นต์
- 4) ชิ้นงานเชื่อมที่ค่าความต้านทานแรงดึงสูงลักษณะพื้นผิวการพังทลายฉีกขาดมีช่องว่าง (Micro voids) ขนาดเล็กเกิดขึ้นทั้ง 2 ด้าน ขณะที่ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความต้านแรงดึงต่ำลักษณะพื้นผิวการพังทลายฉีกขาดเป็นแบบราบเรียบ (Cleavage fracture)
- 5) การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเงาของแนวเชื่อมระหว่างแผ่นรองหลังระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L กับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 พบว่าแผ่นรองหลังชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ให้เปอร์เซ็นต์การเงาของแนวเชื่อมสูงกว่าแผ่นรองหลังชนิดเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการดำเนินวิจัยการศึกษาอิทธิพลของแผ่นรองหลังที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม

(GMAW) พบปัญหาในระหว่างการทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและศึกษาค้นคว้าต่อไป จึงได้รวบรวมปัญหาและข้อเสนอแนะต่างๆเพื่อแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติม

5.2.1 การทดลองควรรศึกษาผลการทดลองเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยไฟไนต์อิเลเมนต์เพื่อยืนยันผลการทดลองที่ชัดเจนขึ้น

5.2.2 ลองปรับเปลี่ยนวัสดุในการทดลองเช่น เหล็กกล้าไร้สนิมเกรดต่างๆ กับเหล็กกล้าคาร์บอนชนิดต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในพัฒนารอยต่อชนวัสดุต่างชนิด



## บรรณานุกรม

- [1] วรญา วัฒนจิตศิริ สุรัตน์ ตริยวนพงศ์ และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์ (2561)โครงสร้างจุลภาคและการแตกร้าวในโลหะเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมของรอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้า SS400 /SUS304. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา 29,3:28-29.
- [2] 2Di Schino et al., 2002; Prado et al., 2008; Korhonen and Manninen, 2008
- [3] Kimapong, K., Triwanapong, S. 2018. Microstructure and Bending Strength of Dissimilar SS400/SUS304 Steels T-Fillet Joint by Gas Metal Arc Welding. *Key Engineering Materials* 773: 189-195.
- [4] Lee, H.T., Jeng, S.L., Yen, C.H., Kuo, T.Y. 2004, Dissimilar welding of nickel-based Alloy 690 to SUS 304L with Ti addition. *Journal of Nuclear Materials* 335: 59-69.
- [5] Srinivasan, P.B., Muthupandi, V., Dietzel, W., Sivan, V. 2006. An assessment of impact strength and dissimilar weldments between UNS31803 and corrosion behaviour of shielded metal arc welded IS2062 steels. *Materials & Design* 27: 182-191.
- [6] Kimapong, K., Triwanapong, S. 2019. Effect of GMAW Shielding Gas on Tensile Strength of Dissimilar SS400 Carbon Steel and SUS304 Stainless Steel Butt Joint. *Materials Science Forum* 950: 70-74.
- [7] ยงยุทธ ดุลยกุล นภิสพร มีมงคล และประภาส เหมือนจันทร์บุรี, "การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระแสเชื่อมและส่วนผสมของแก๊สคลุมที่แตกต่างกันโดยกรรมวิธีการเชื่อมแม็ก," คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา, 2551.
- [8] Kimapong, K., Triwanapong, S. 2018. Influence of Gas Metal Arc Welding Parameter on Lap Joint Properties of SS400 Carbon Steel and SUS304 Stainless Steel. *Key Engineering Materials* 789: 110-114.
- [9] Das, C.R., Bhaduri, A.K., Srinivasan, G., Shankar, V., Mathew, S. 2009. Selection of filler wire for and effect of auto tempering on the mechanical properties of dissimilar metal joint between 403 and 304L(N) stainless steels. *Journal of Materials Processing Technology* 209: 1428-1435.

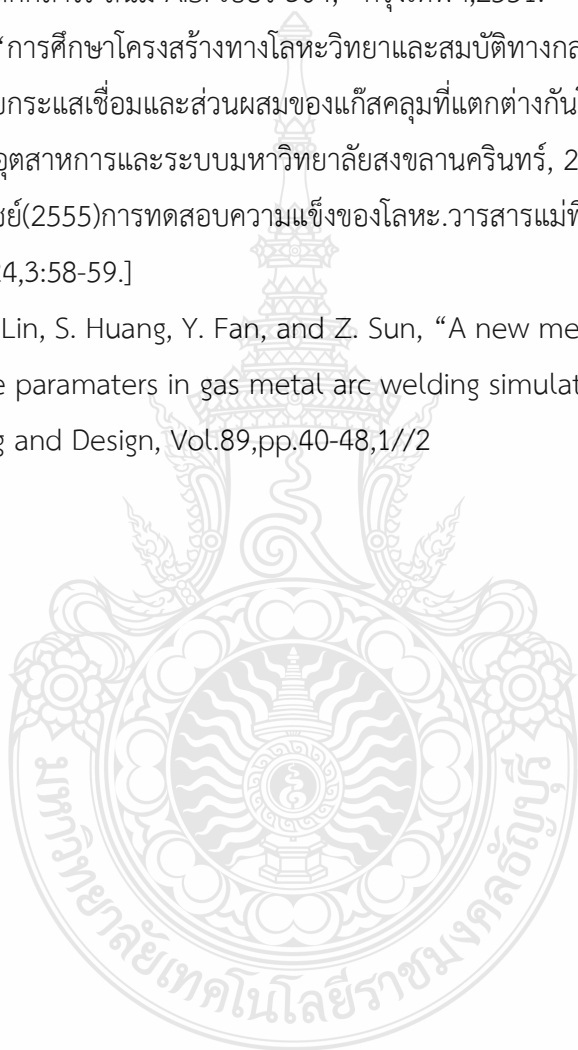
## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [10] Weman, Klas (2003). Welding processes handbook. New York, N:CRC Press LLC.ISBN 0-8493-1773-8.
- [11] วชิระ มีทอง,ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์,การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม และ คุณสมบัติของรอยต่อ,กรุงเทพฯ, (น. 1-96)
- [12] Lippold, J. C., Kotecki, D. J. 2005. **Welding metallurgy and weldability of stainless steels**. Wiley-VCH. USA. 376p.
- [13] Kimapong, K., Triwanapong, S. 2018. Microstructure and Bending Strength of Dissimilar SS400/SUS304 Steels T-Fillet Joint by Gas Metal Arc Welding. Key Engineering Materials 773: 189-195.
- [14] Lakshminarayanan, A. K., Shanmugam, K., Balasubramanian,V. 2009. Effect of welding processes on tensile, impact, hardness and microstructure of joints made of AISI 409M FSS base metal and AISI 308L ASS filler metals. Ironmaking & Steelmaking 36(1): 75-80.
- [15] ศักดิ์ชัย จันทศรี สุรัตน์ ตรียวนพงศ์ และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์.(2555).โครงสร้างจุลภาคและกแตกร้าวในโลหะเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมของรอยต่อตัวที่ระหว่างเหล็กกล้า SS400/SUS304. เพชรบุรี,การประชุมวิชาการชายางาน วิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555.(1-6).
- [16] ยอดเปรม ภูกำเนิด, “การศึกษาอิทธิพลของแก๊สคลุมการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติ รอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400,”มหาวิทยาลัยราชวมงคล ธิญบุรี,2557.
- [17] สุรัถยา ลีมนา,การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและความแข็งแรงของผิวเชื่อมพอกเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI 4340 ด้วยกรรมวิธี การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ กรรมวิธีการเชื่อมมิก/แมก และกรรมวิธีการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์, (มหาบัณฑิต,คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา,มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,2553),1-20.
- [18] ไพบุลย์ หาญมนต์, “การศึกษาอิทธิพลความร้อนในงานเชื่อมที่มีผลต่อการหลอมลึก ความกว้าง ความสูงและบริเวณกระทบร้อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม โดยกระบวนการเชื่อมมิก,” การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47, 17-20 มี.ค. 2552, กรุงเทพฯ,112-125.



## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [19] วินิต และคณะ, “ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิโดยใช้เครื่องนวดเกี่ยว,” วารสารวิจัย มข.2540(ม.ค.-มิ.ย.2540):54-63.
- [20] อรศิริ จันทรเมือง, “การศึกษาผลกระทบของก๊าซที่ใช้สำหรับกระบวนการเชื่อม MIG กรณีศึกษา : การเชื่อมเหล็กกล้าไร้ สนิม AISI เบอร์ 304,” กรุงเทพฯ,2551.
- [21] ยงยุทธ ดุลยกุล, “การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระแสเชื่อมและส่วนผสมของแก๊สคลุมที่แตกต่างกันโดยกรรมวิธีการเชื่อมแม่็ก,” วิศวกรรมอุตสาหการและระบบมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551.
- [22] อรจิรา เตียววานิชย์(2555)การทดสอบความแข็งของโลหะ.วารสารแม่พิมพ์ | MOULD & DIE JOURNAL,24,3:58-59.]
- [23] X. Jia, J. Xu, Z. Lin, S. Huang, Y. Fan, and Z. Sun, “A new method to estimate heatsource paramaters in gas metal arc welding simulation process,” Fusion Engineering and Design, Vol.89,pp.40-48,1//2







ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
ตารางการทดลอง และผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน  
ASTM E8



ตารางที่ ก.1 แสดงการบันทึกผลการทดลองในการเชื่อม MIG ของตัวแปรต่าง ๆ

ชั้นที่	กระบวนการเชื่อม	ชิ้นงาน		ตัวแปรในการเชื่อม	
		เกรด	ขนาด(MM.)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความเร็วในการเชื่อม (MM)
1	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	160	200
2	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	160	250
3	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	160	300
4	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	180	200
5	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	180	250
6	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	180	300
7	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	200	200
8	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	200	250
9	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	200	300
10	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	160	200
11	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	160	250
12	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	160	300
13	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	180	200
14	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	180	250
15	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	180	300
16	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	200	200
17	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	200	250
18	MIG	SS400,SUS304L	75x150x3	200	300

ตารางที่ ก.2 แสดงผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8

ชั้นที่	ตัวแปรในการเชื่อม		
	กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม(A)	ความเร็วในการเชื่อม (MM/MN)	ค่าความต้านทานแรงดึง (KN)
1	160	200	23
2	160	250	23.52
3	160	300	23.26
4	180	200	23.40
5	180	250	24.06
6	180	300	23.76
7	200	200	27.58
8	200	250	23.80
9	200	300	27.24

ตารางที่ ก.2 แสดงผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8(ต่อ)

ชั้นที่	ตัวแปรในการเชื่อม		
	กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม(A)	ความเร็วในการเชื่อม (MM/MN)	ค่าความต้านทานแรงดึง (KN)
10	160	200	23.18
11	160	250	25.06
12	160	300	18.86
13	180	200	23.64
14	180	250	13.30
15	180	300	23.80
16	200	200	24.34
17	200	250	23.68
18	200	300	25.18



ภาคผนวก ข

ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อม MIG ของตัวแปรต่าง ๆ



รูปที่ ข.1 แสดงชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ ข.2 แสดงชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ ข.3 แสดงชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตร/นาที





รูปที่ ข.4 แสดงชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 200มิลลิเมตร/นาที่



รูปที่ ข.5 แสดงชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250มิลลิเมตร/นาที่



รูปที่ ข.6 แสดงชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 300มิลลิเมตร/นาที่



รูปที่ ข.7 แสดงชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ ข.8 แสดงชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ ข.9 แสดงชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ ข.10 แสดงชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมป์ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ ข.11 แสดงชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมป์ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตร/นาที



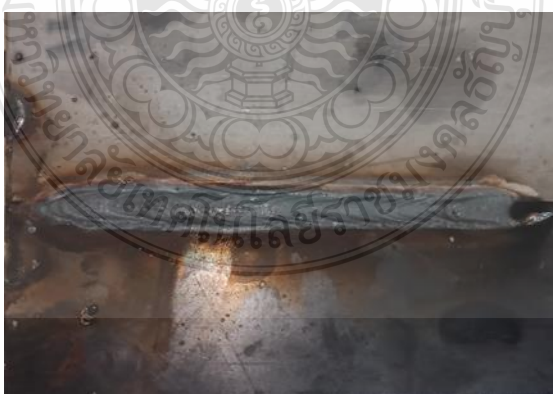
รูปที่ ข.12 แสดงชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมป์ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ ข.13 แสดงชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมป์ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ ข.14 แสดงชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมป์ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ ข.15 แสดงชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมป์ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตร/นาที

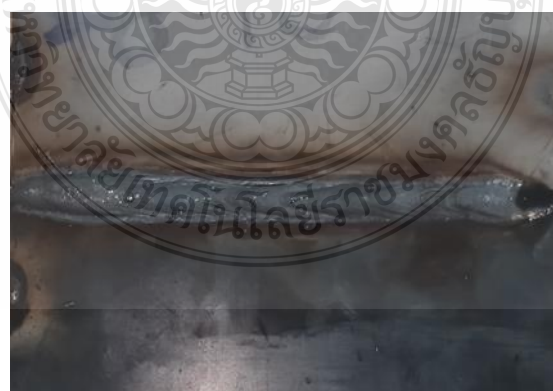




รูปที่ ข.16 แสดงชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมป์ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ ข.17 แสดงชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมป์ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ ข.18 แสดงชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมป์ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตร/นาที



ภาคผนวก ค

ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงดึง



รูปที่ ค.1 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ค.2 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ค.3 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที





รูปที่ ค.4 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ค.5 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ค.6 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที



**รูปที่ ค.7** แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที



**รูปที่ ค.8** แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อม กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที



**รูปที่ ค.9** แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ค.10 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ค.11 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ค.12 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ค.13 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที



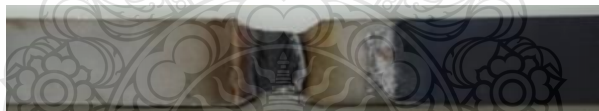
รูปที่ ค.14 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมป์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ ค.15 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ค.16 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ค.17 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ค.18 แสดงการขาดของชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที

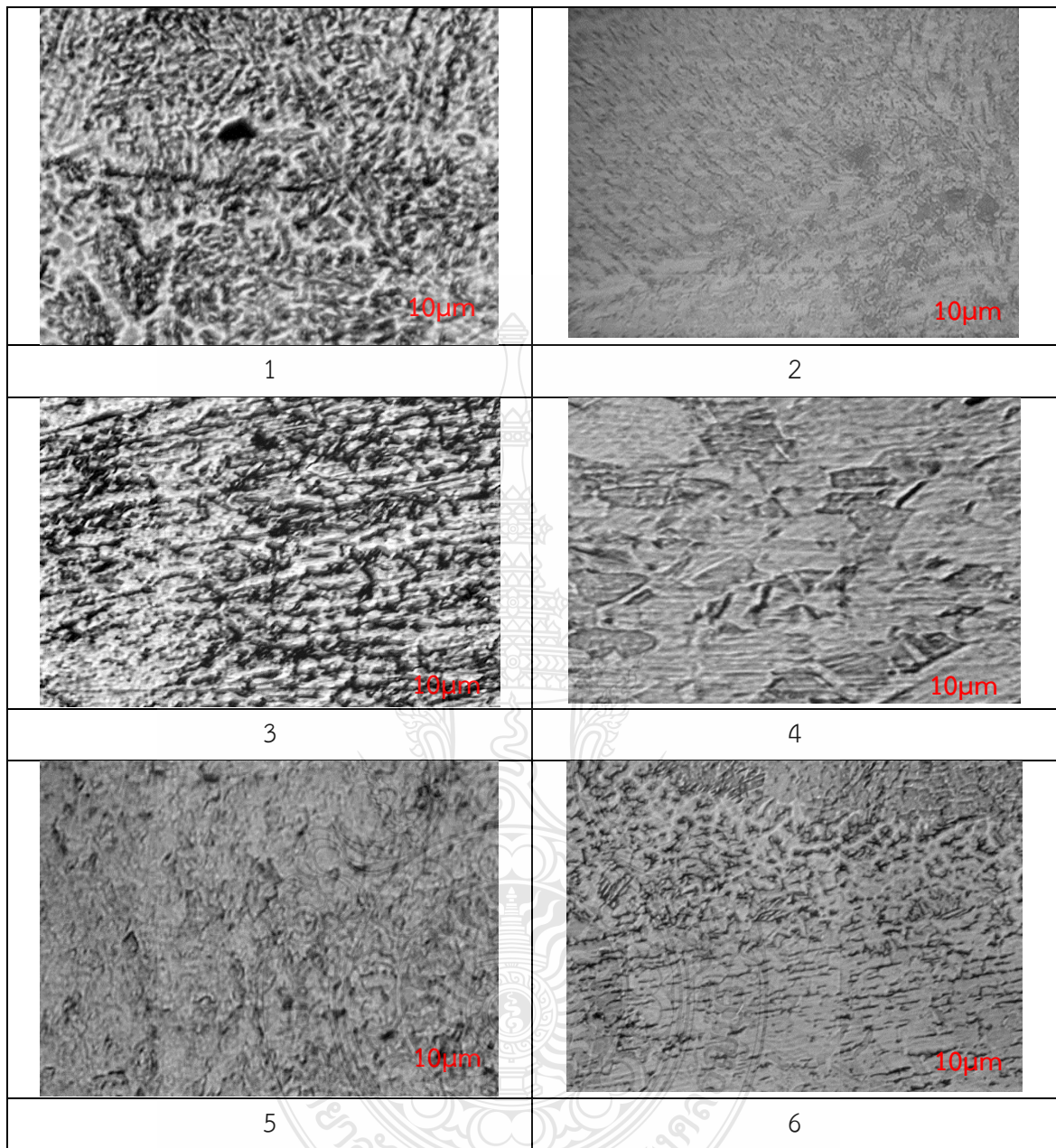




ภาคผนวก ง

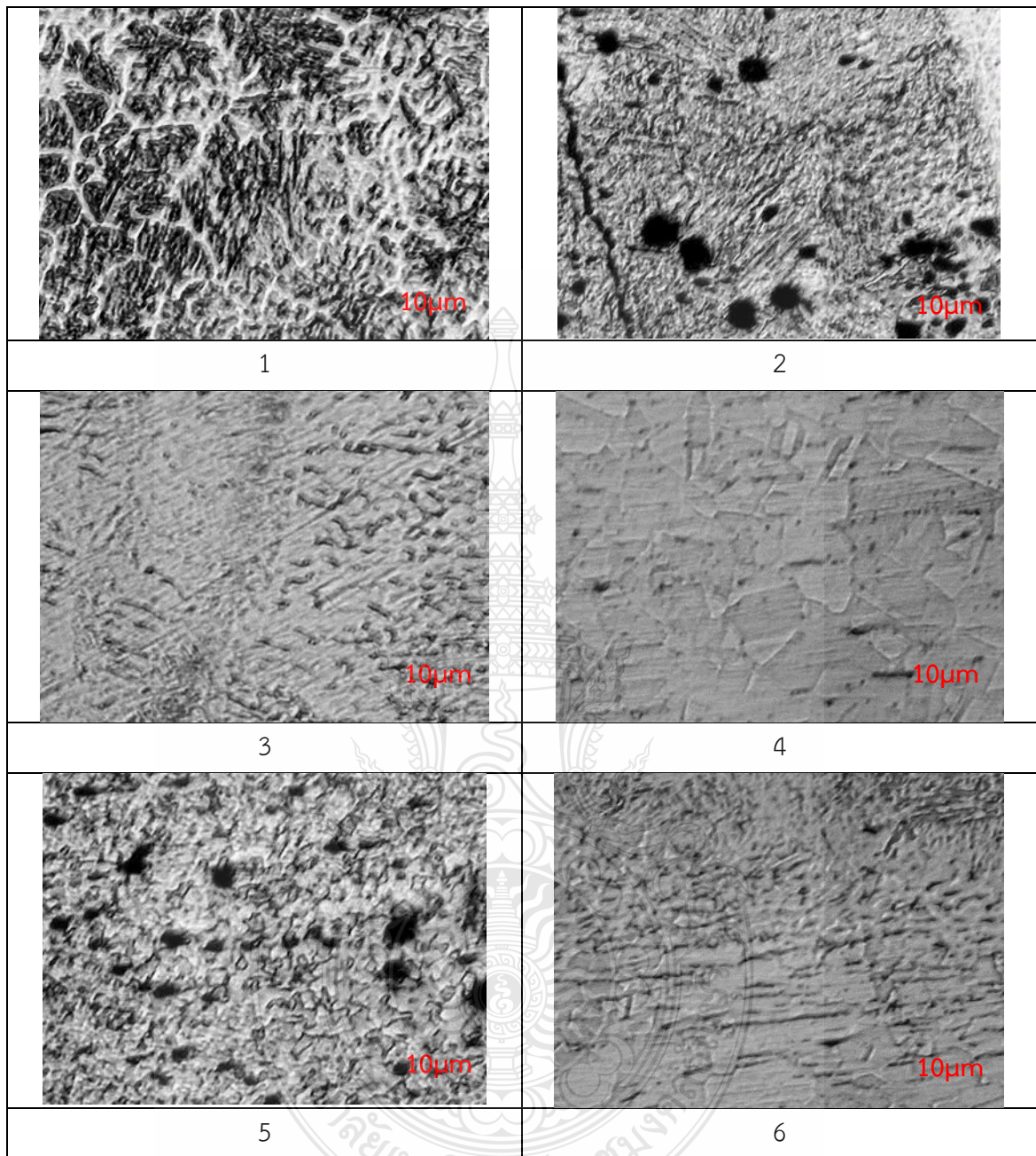
ชิ้นงานที่ผ่านการศึกษาโครงสร้างจุลภาค



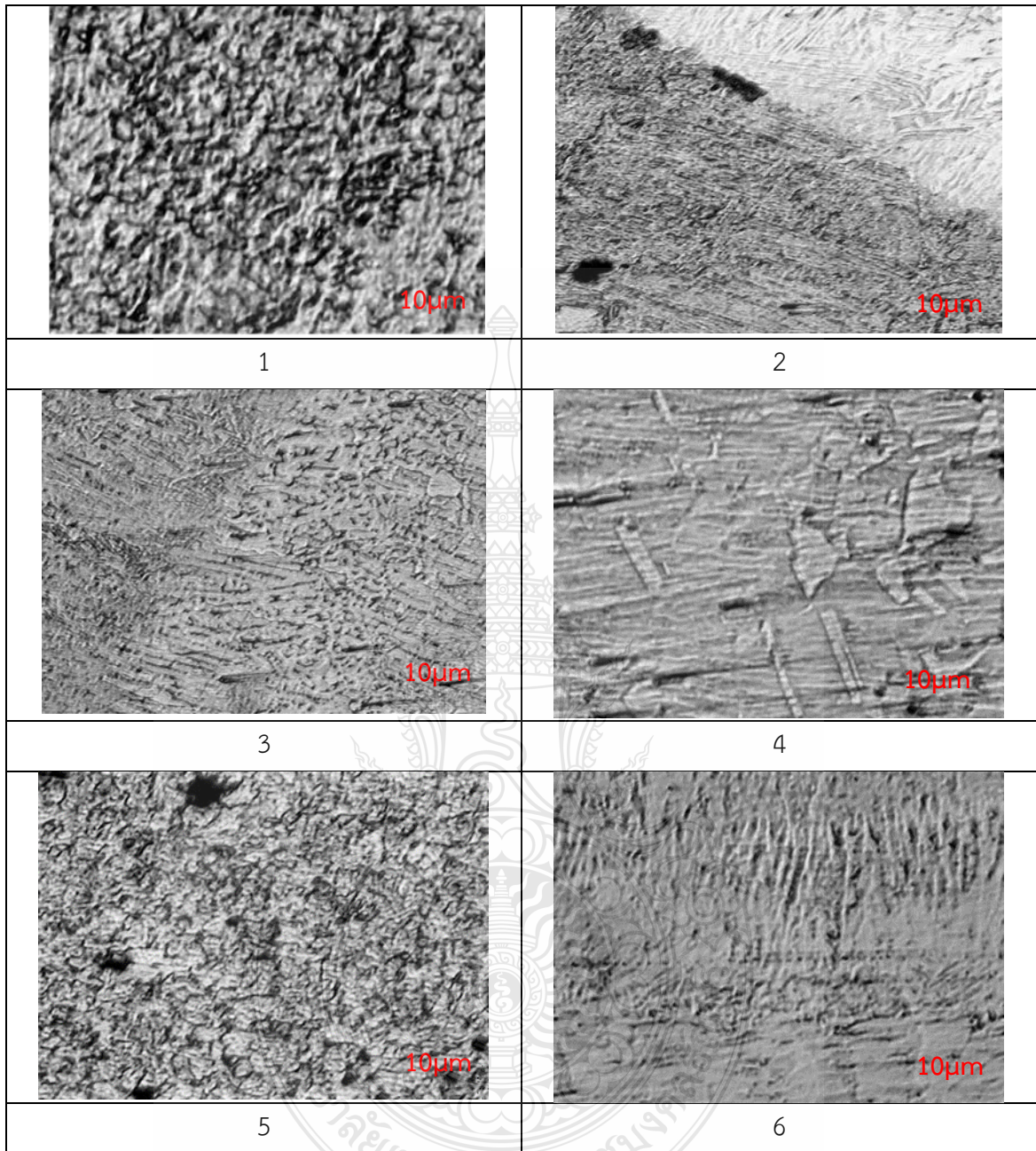


รูปที่ ง.1 แสดงโครงสร้างจุลภาคกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที



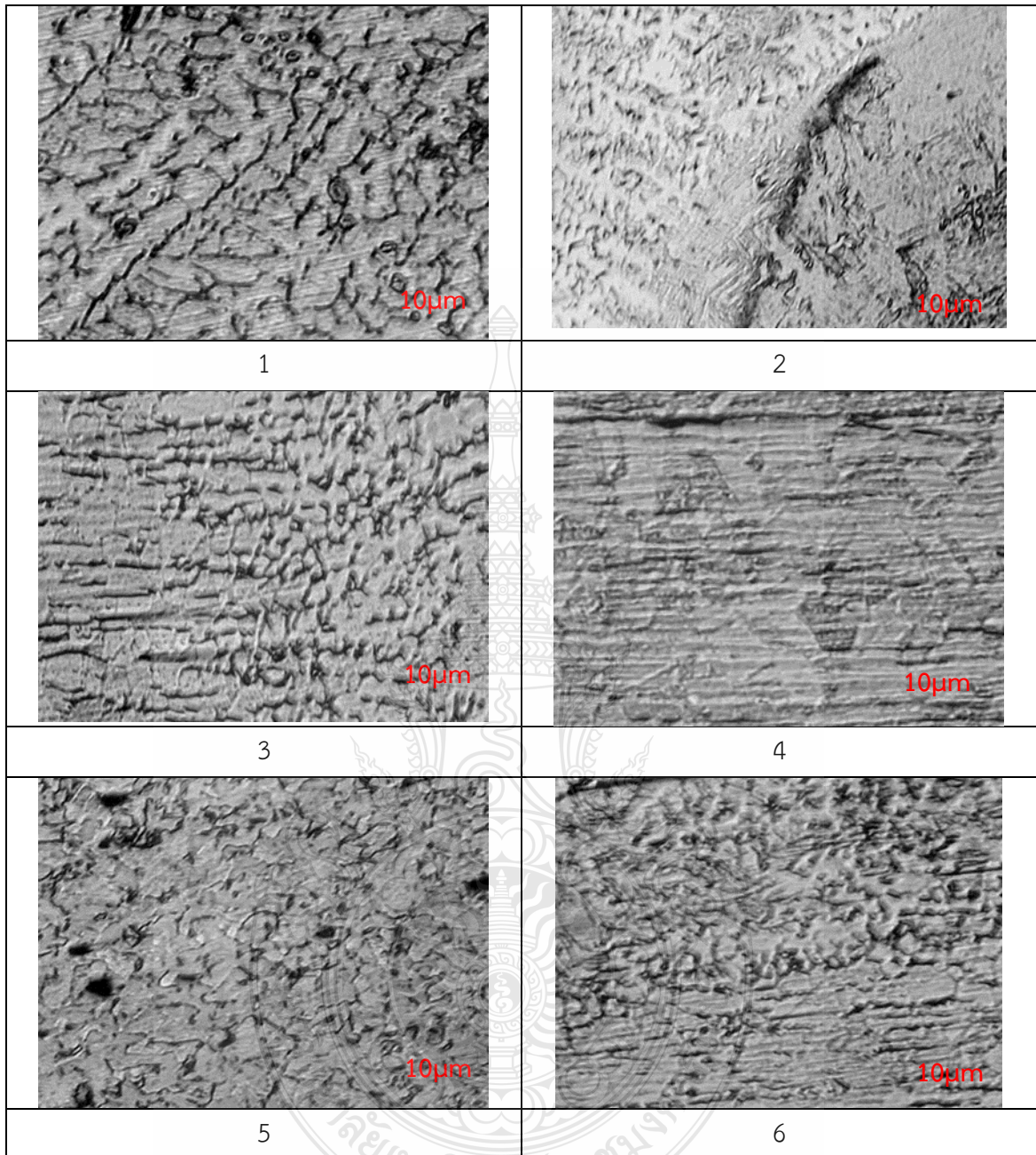


รูปที่ ง.2 แสดงโครงสร้างจุลภาคกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที

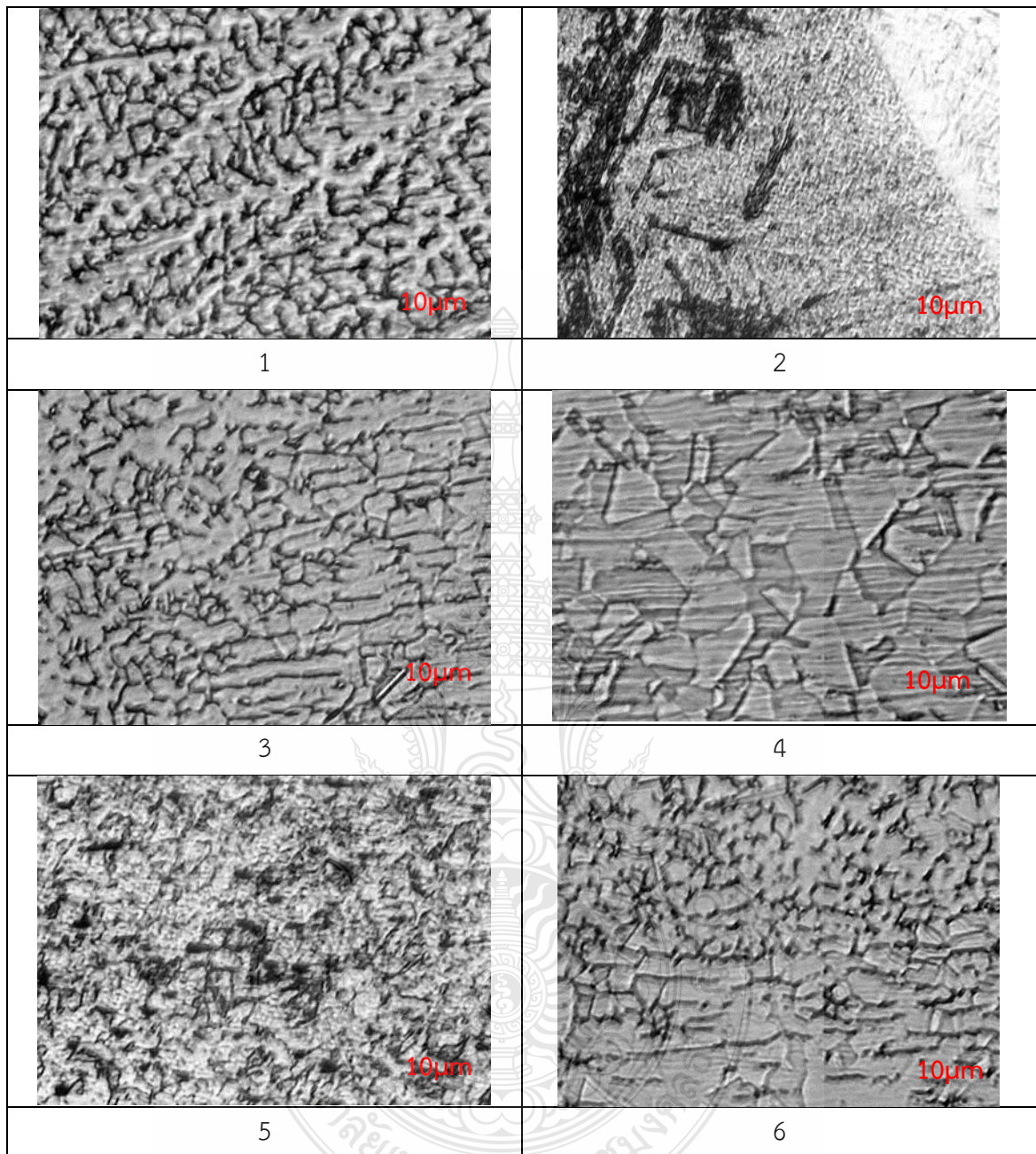


รูปที่ ง.3 แสดงโครงสร้างจุลภาคกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที



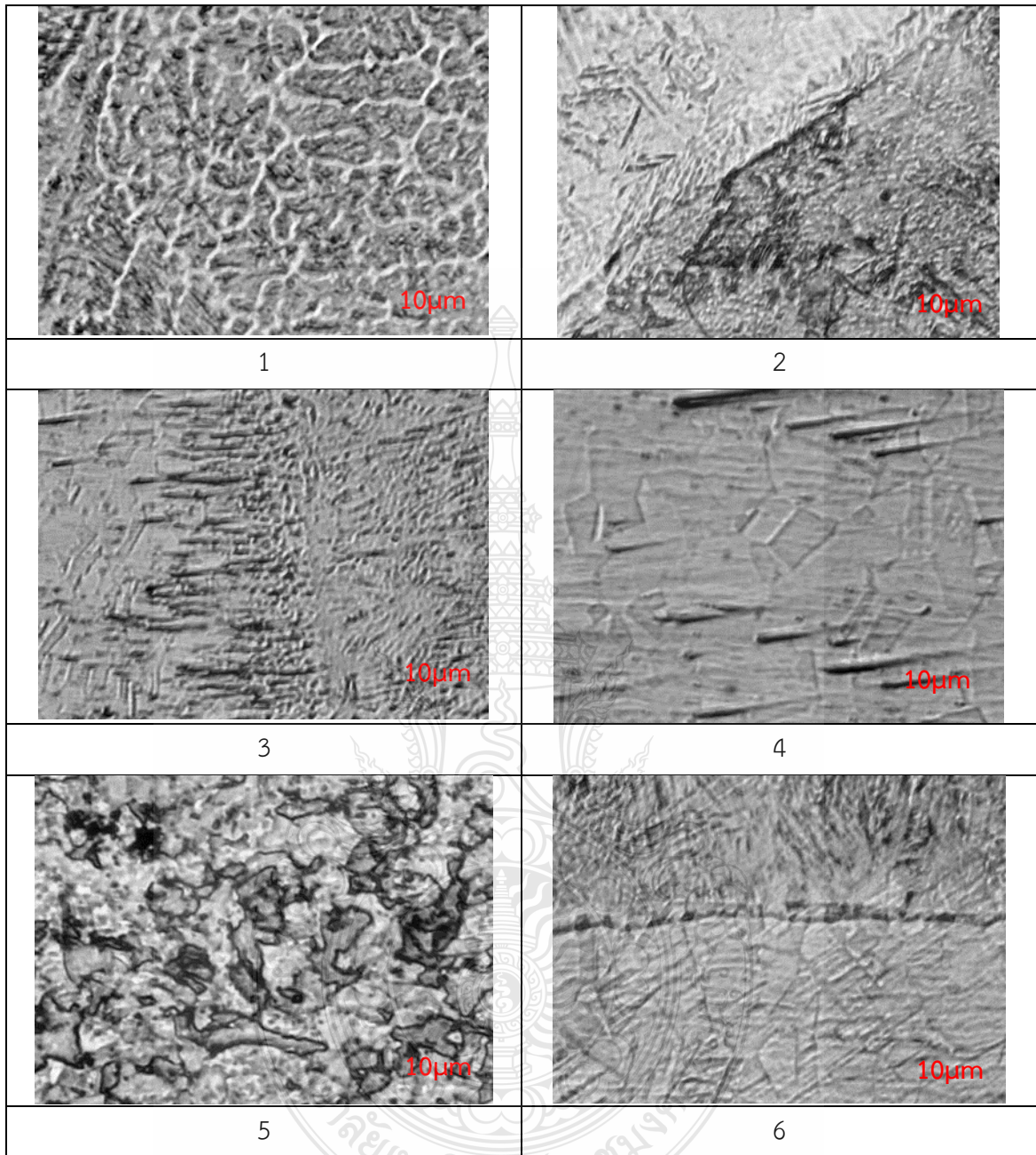


รูปที่ ง.4 แสดงโครงสร้างจุลภาคกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที

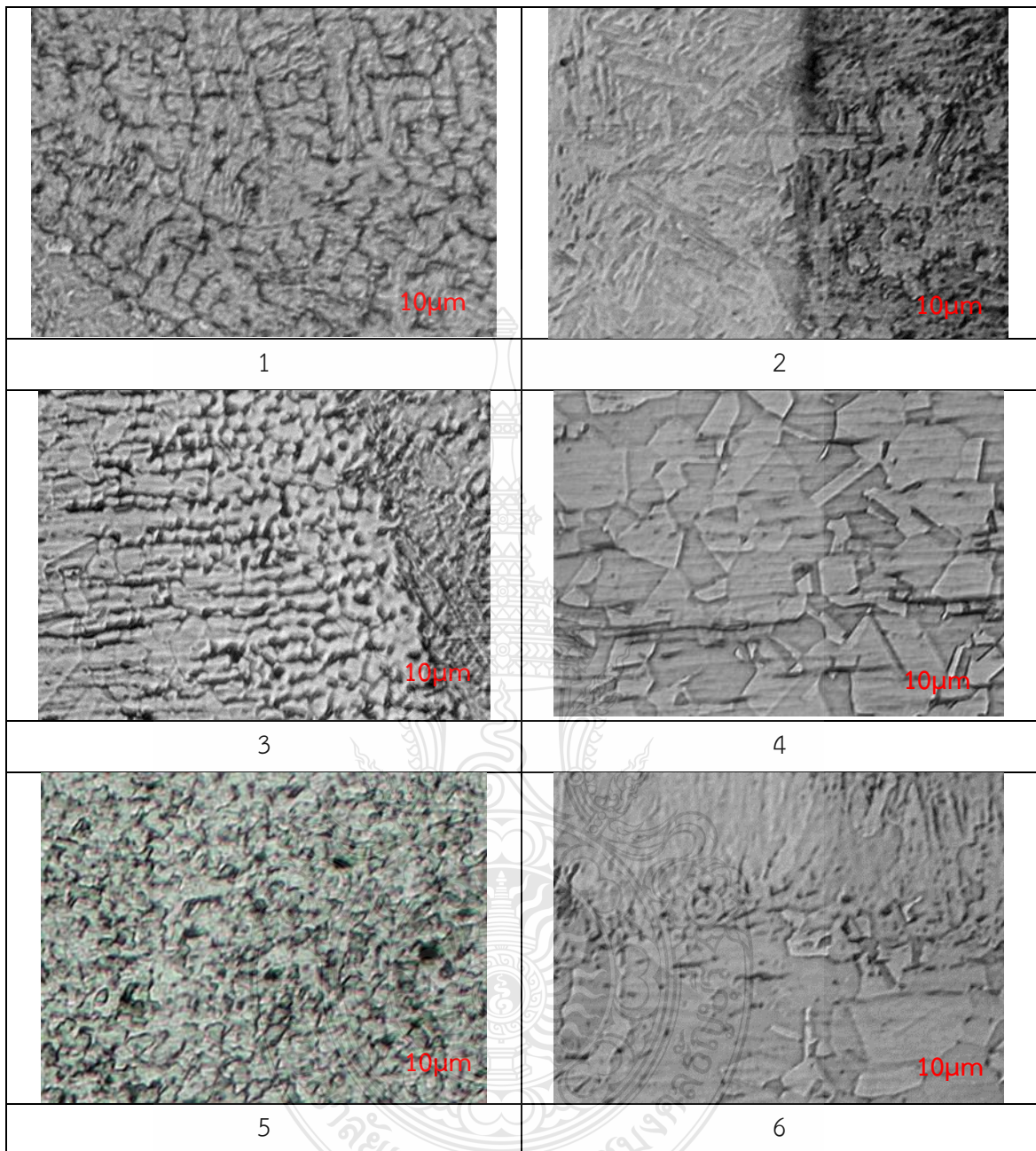


รูปที่ ง.5 แสดงโครงสร้างจุลภาคกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที



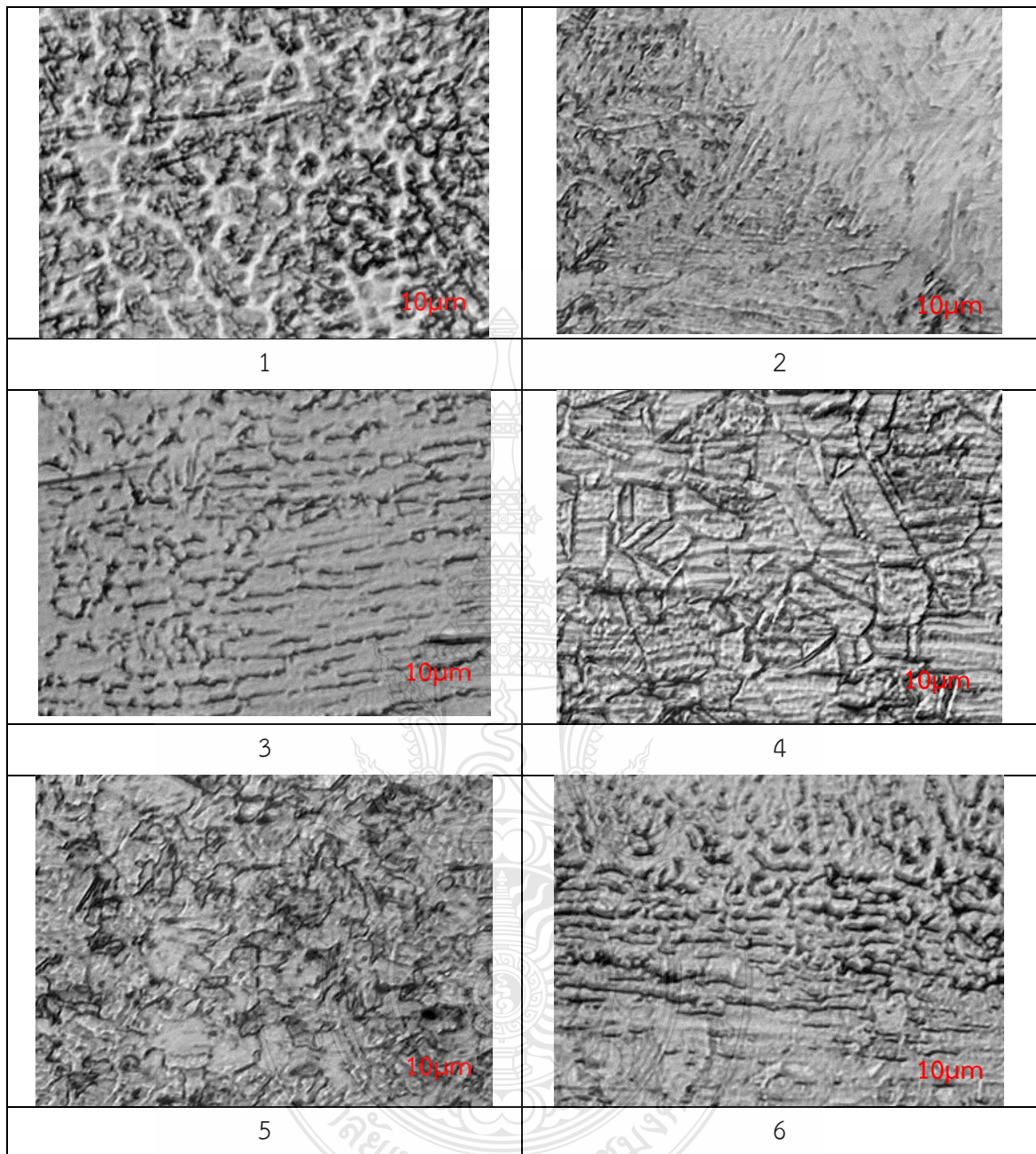


รูปที่ ง.6 แสดงโครงสร้างจุลภาคกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที

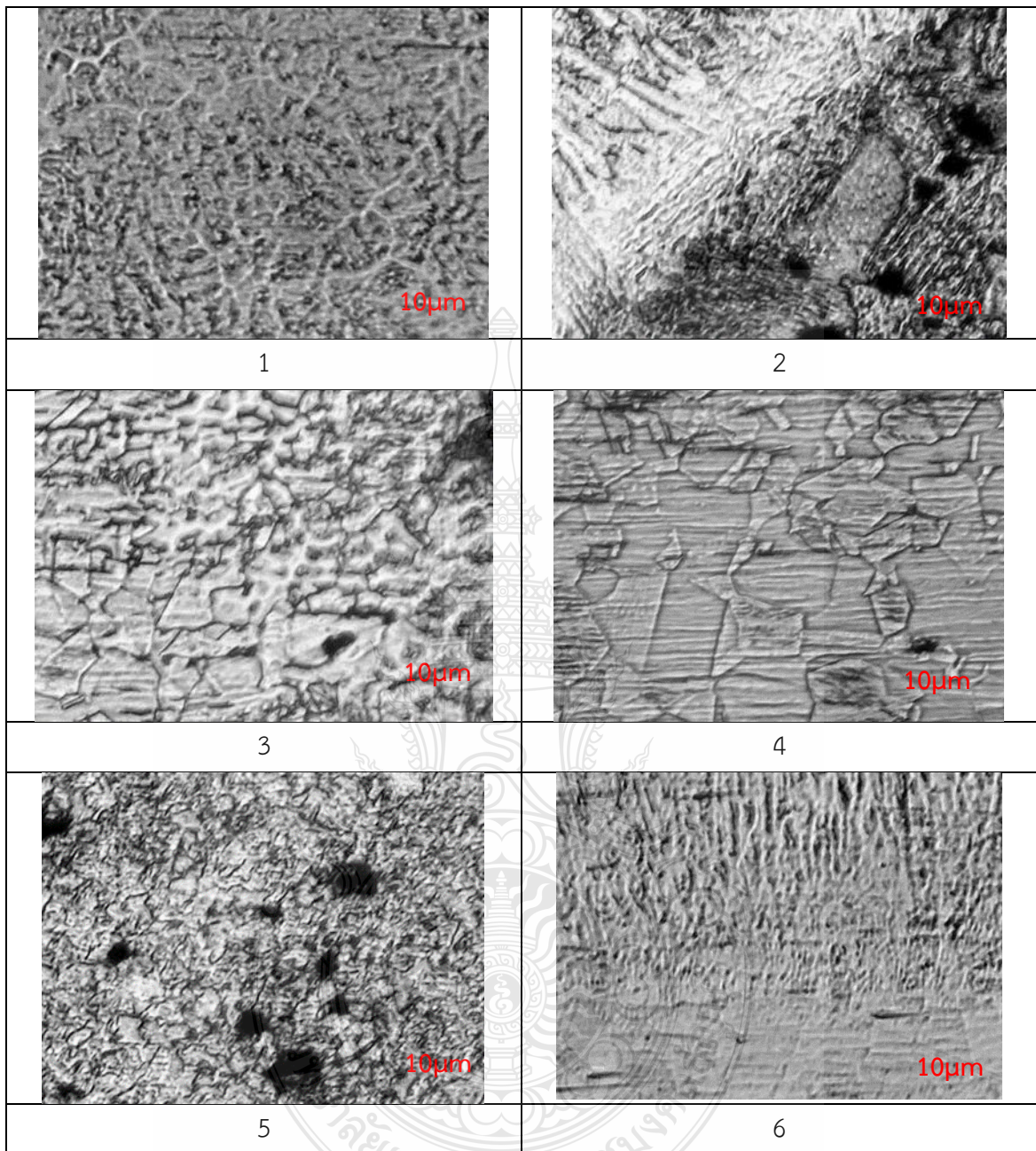


รูปที่ ง.7 แสดงโครงสร้างจุลภาคกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที



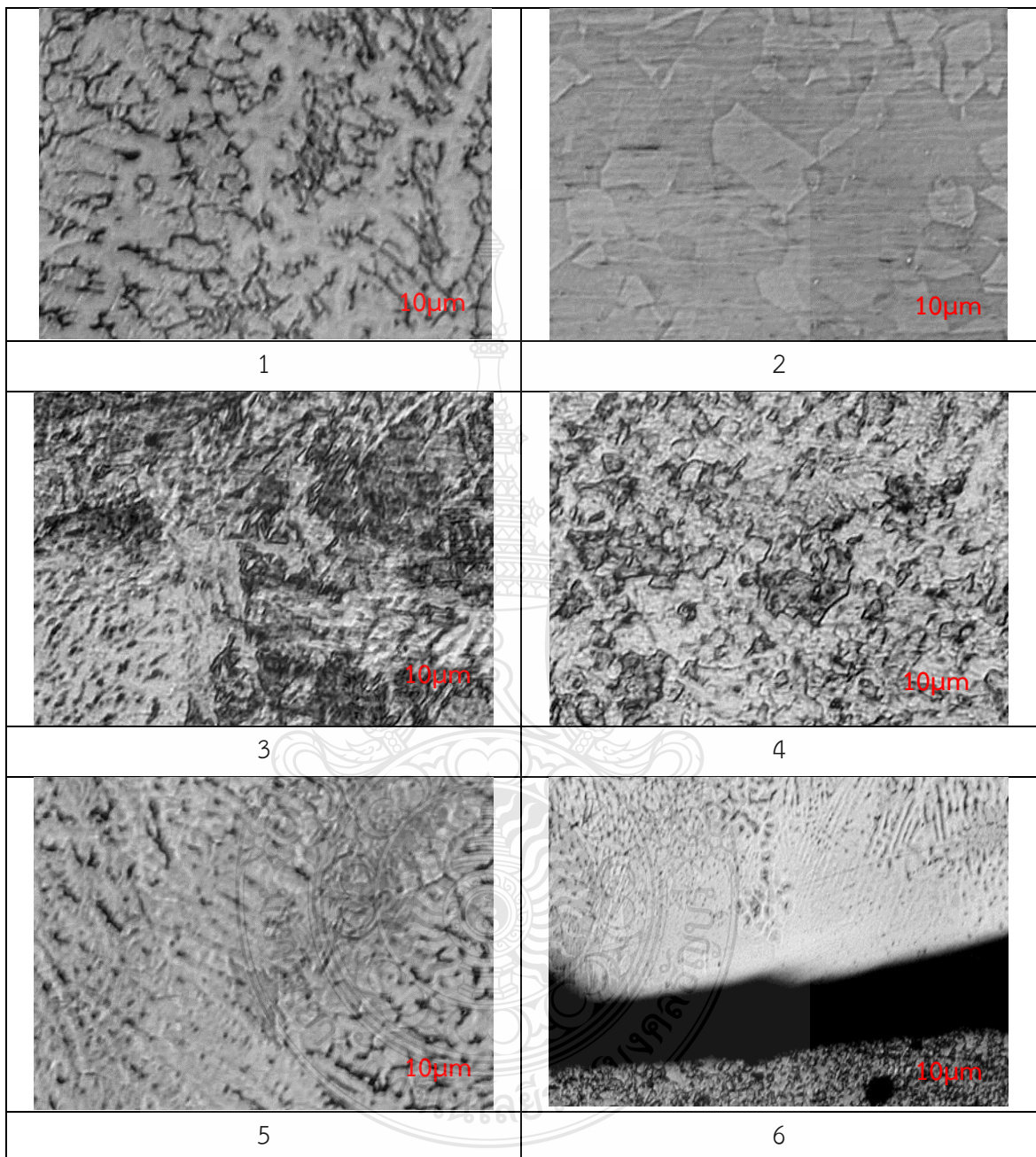


รูปที่ ง.8 แสดงโครงสร้างจุลภาคกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที

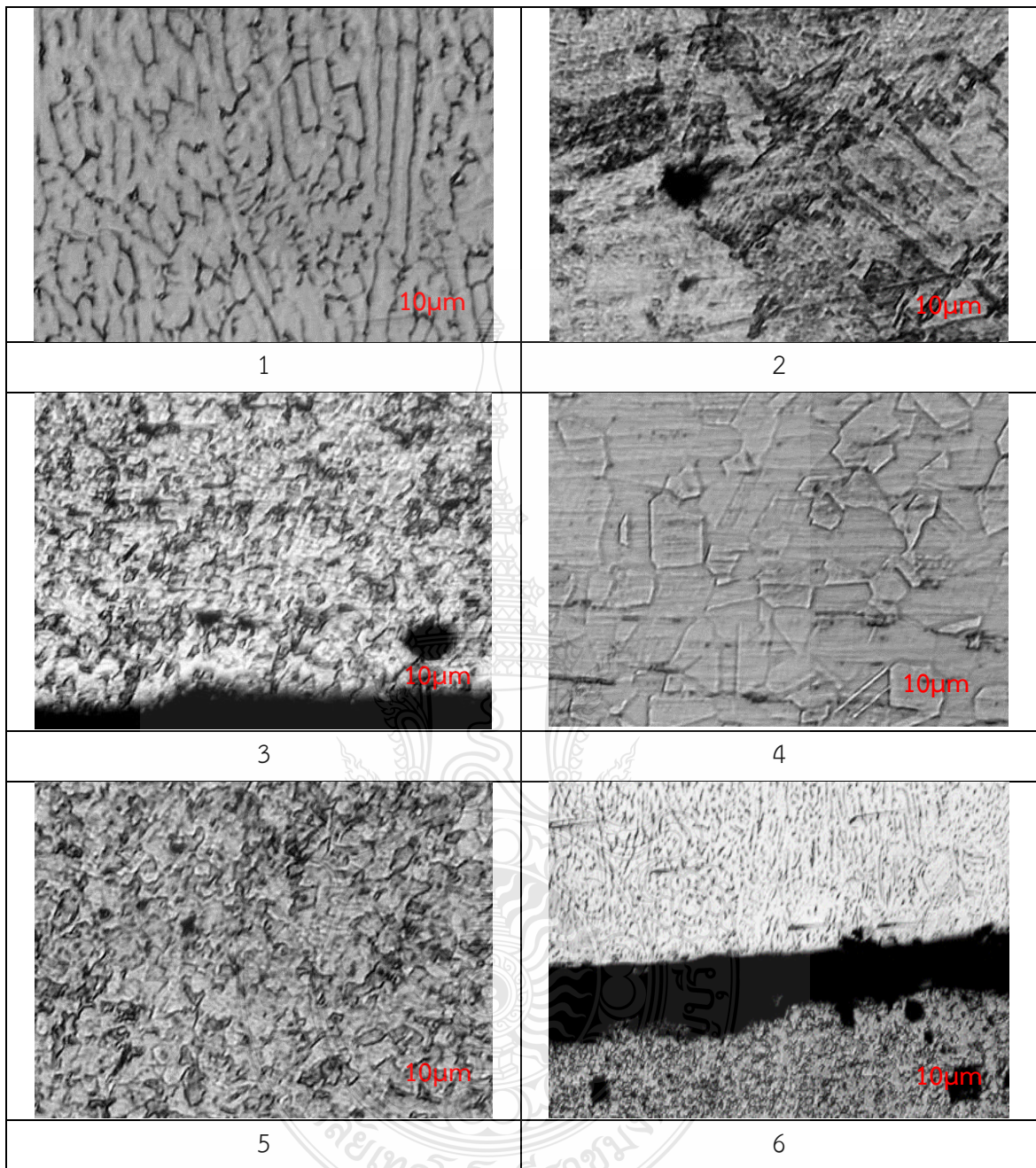


รูปที่ ง.9 แสดงโครงสร้างจุลภาคกระแสน้ำไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที



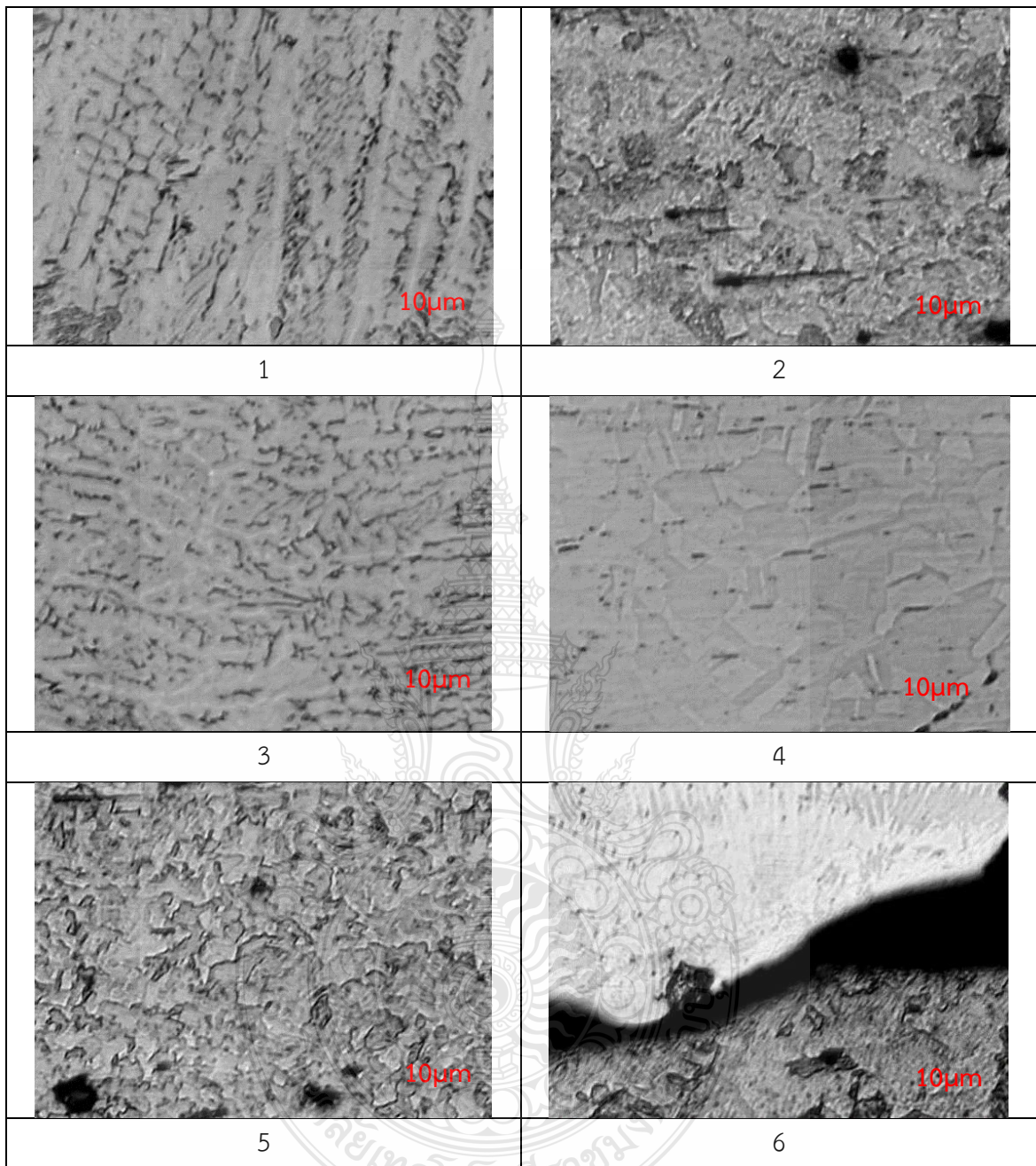


รูปที่ ง.10 แสดงโครงสร้างจุลภาค กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที

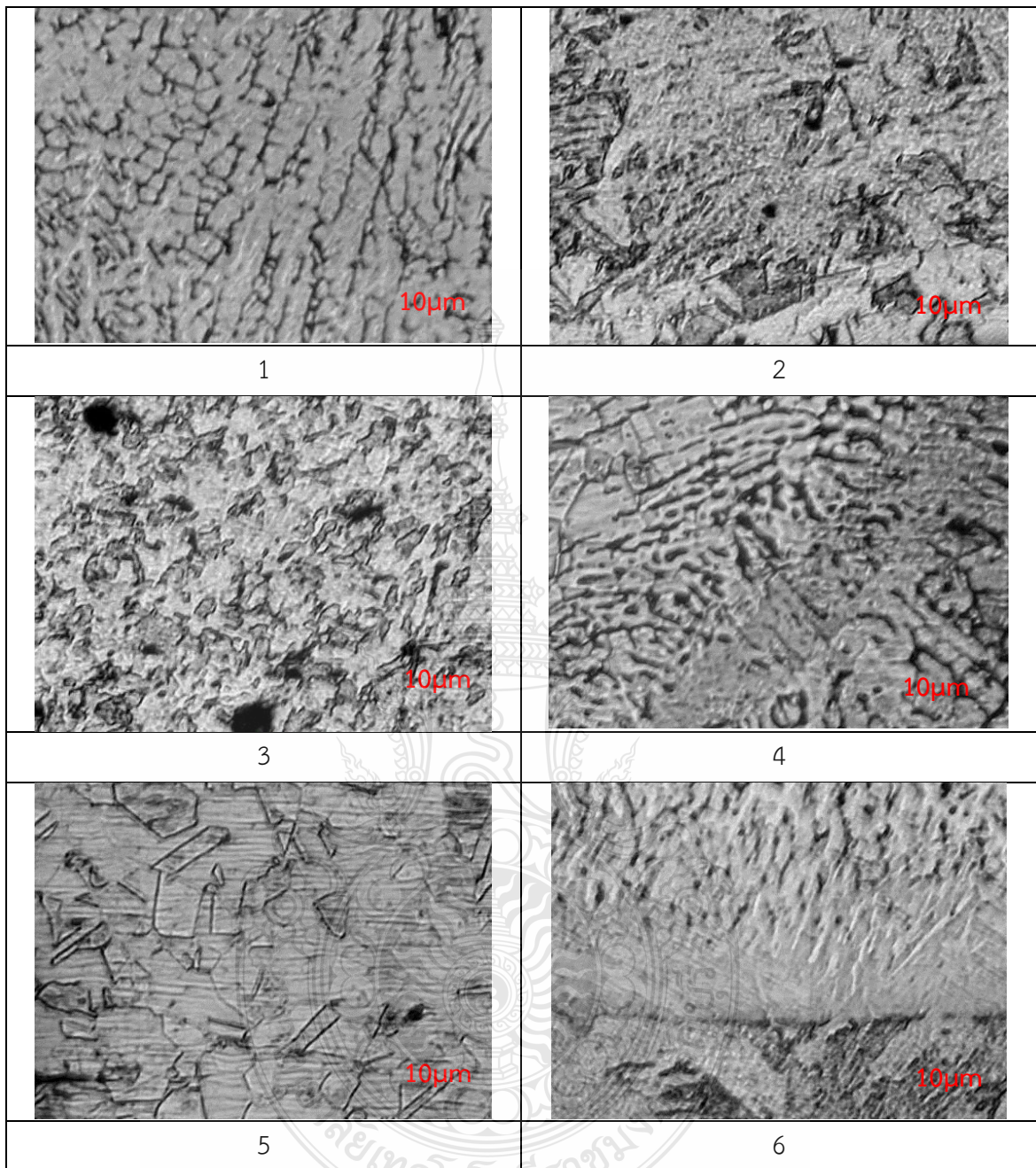


รูปที่ ง.11 แสดงโครงสร้างจุลภาค กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที



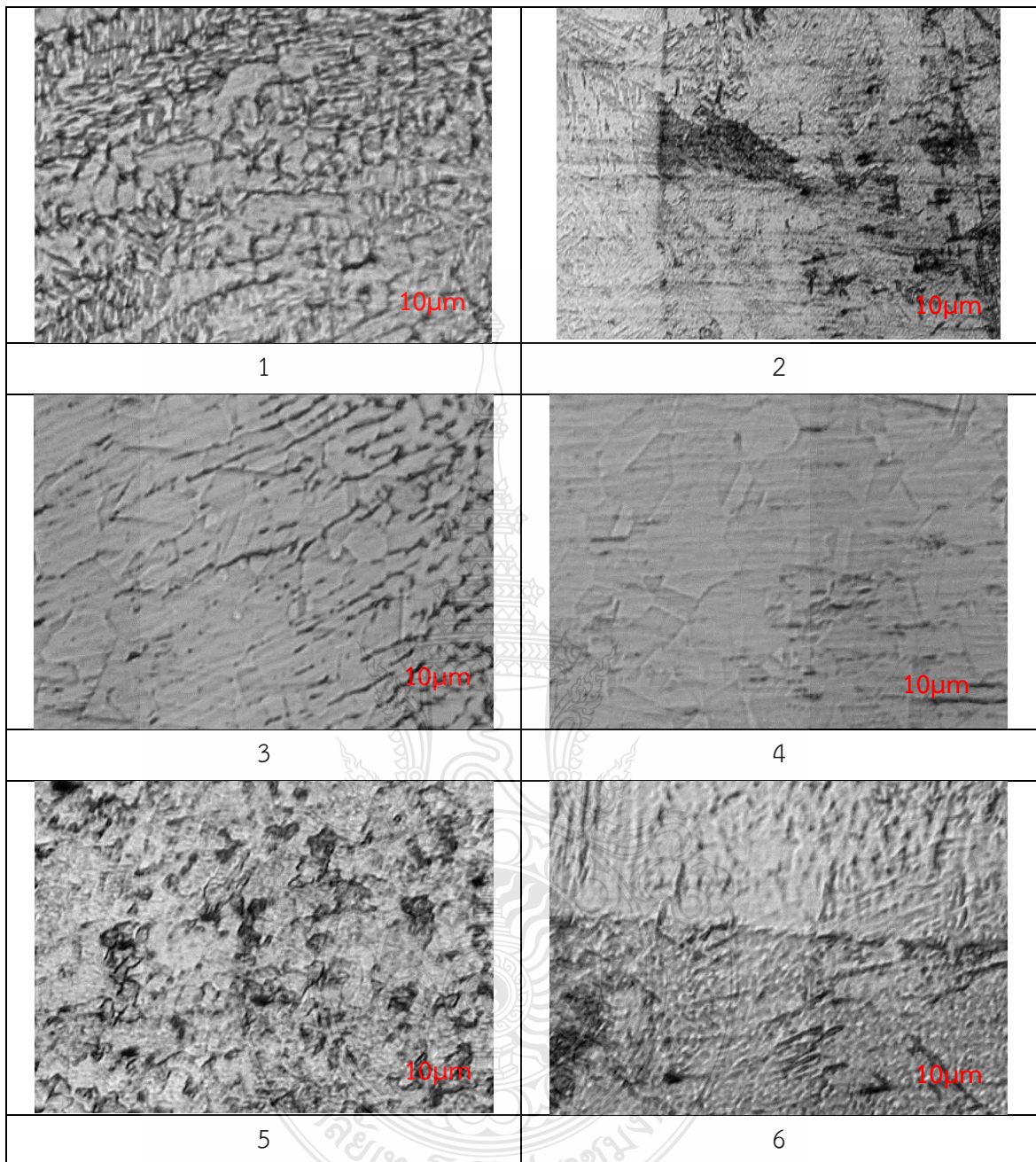


รูปที่ ง.12 แสดงโครงสร้างจุลภาค กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที

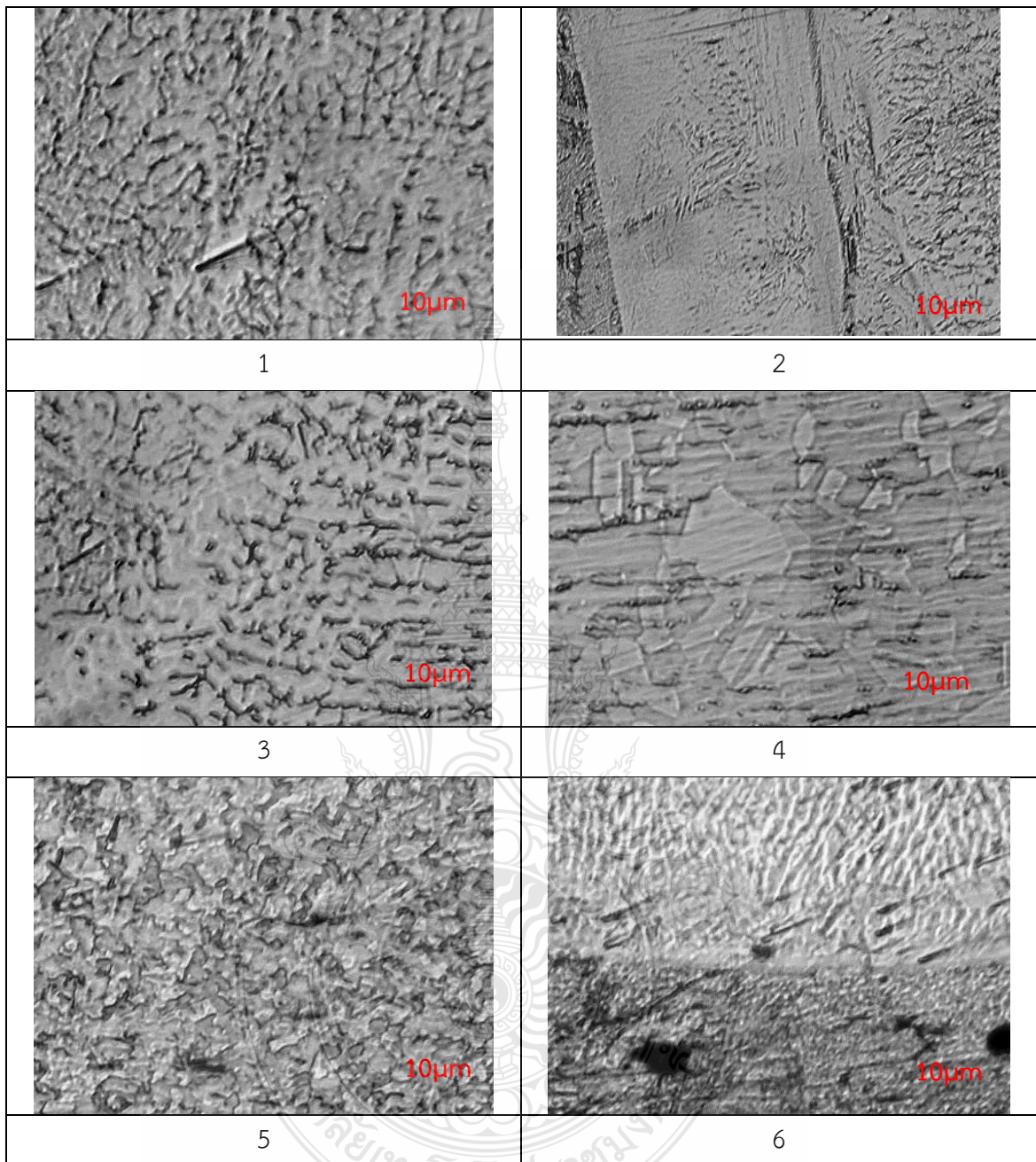


รูปที่ ง.13 แสดงโครงสร้างจุลภาค กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที



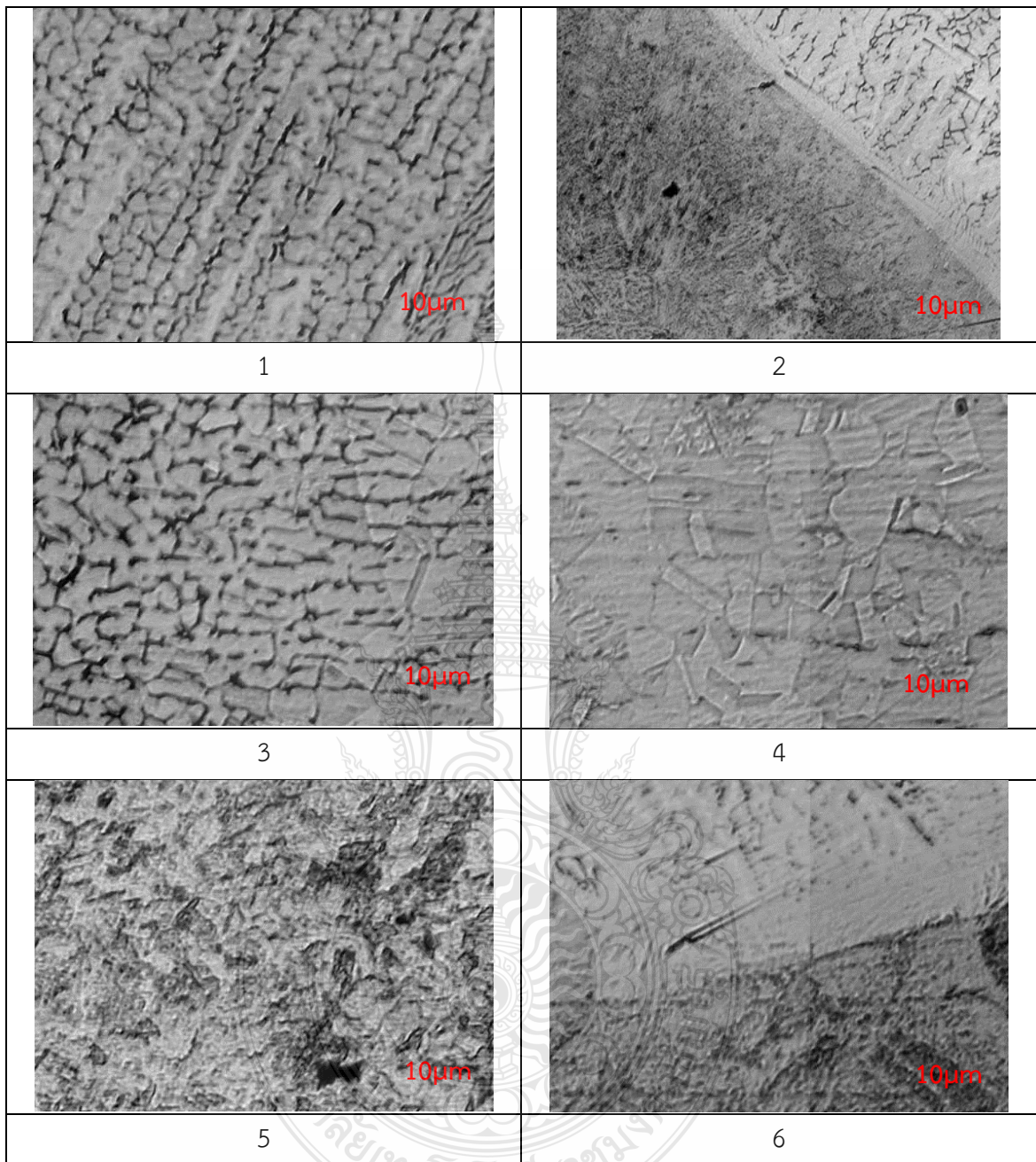


รูปที่ ง.14 แสดงโครงสร้างจุลภาค กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที

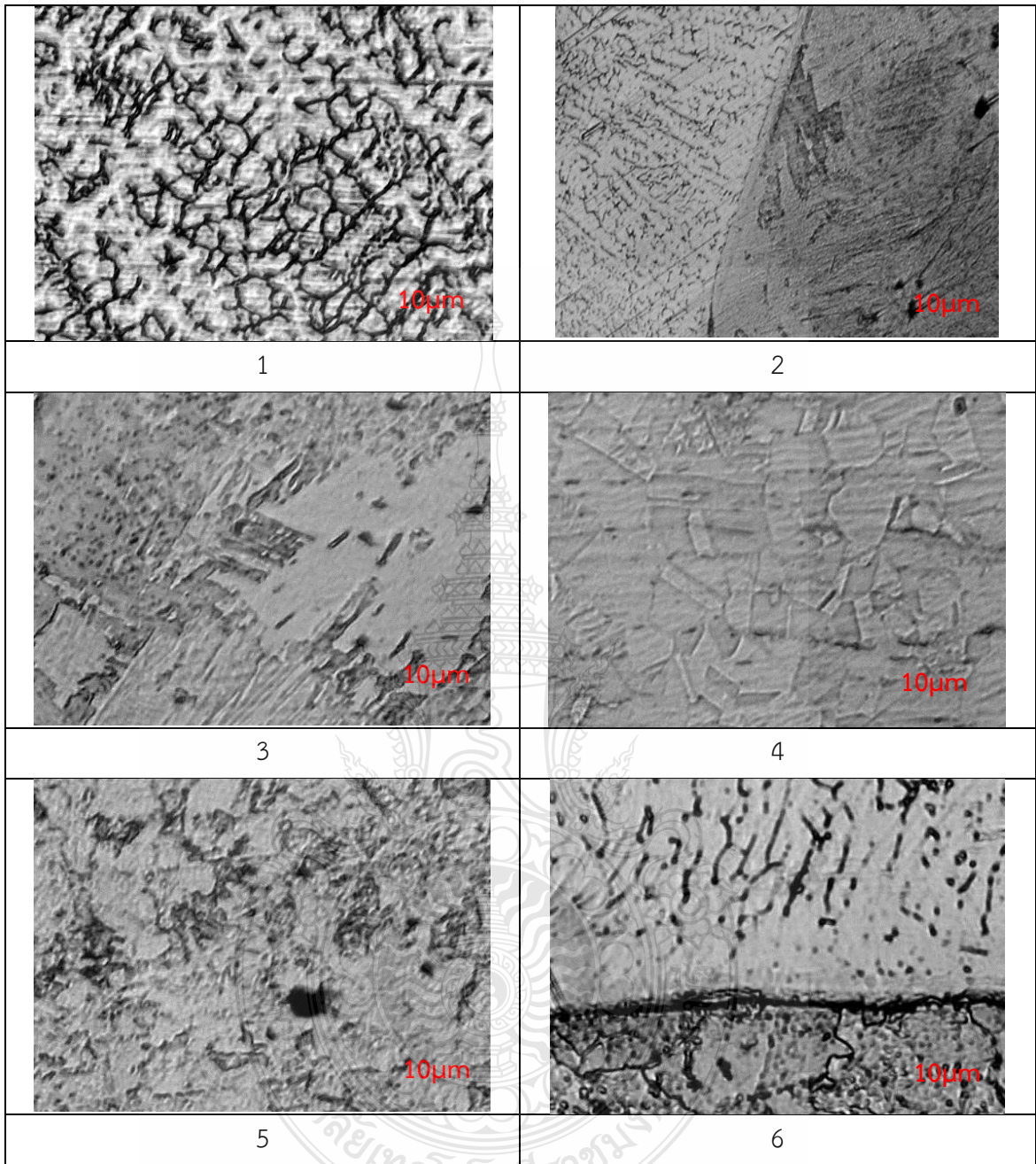


รูปที่ ง.15 แสดงโครงสร้างจุลภาค กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที



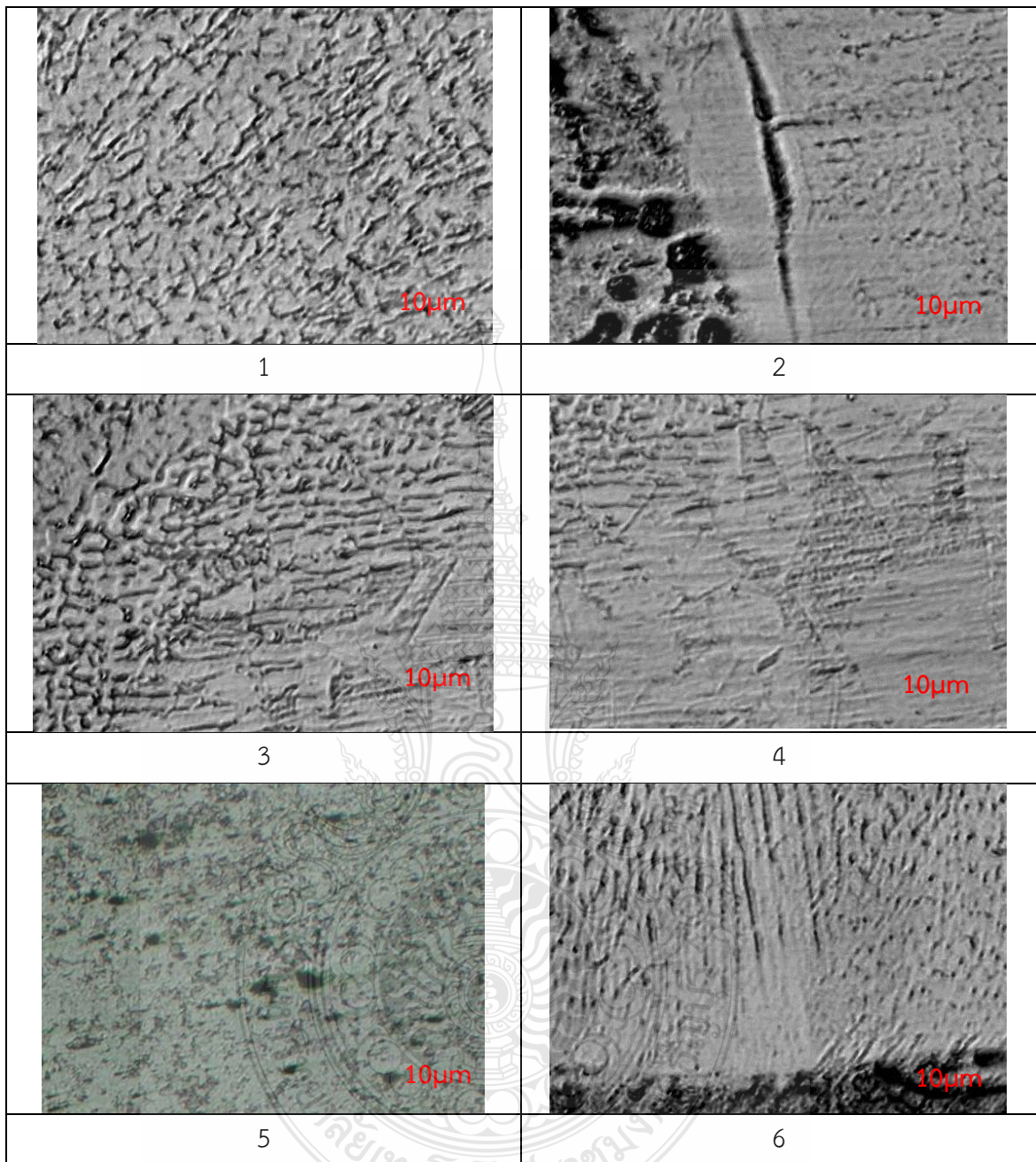


รูปที่ ง.16 แสดงโครงสร้างจุลภาค กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 160 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ง.17 แสดงโครงสร้างจุลภาค กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที





รูปที่ ง.18 แสดงโครงสร้างจุลภาค กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 200 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 300 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาคผนวก จ  
รูปภาพปฏิบัติงาน





รูปที่ จ.1 แสดงรูปการตัดแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400



รูปที่ จ.2 แสดงรูปการตัดแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L



รูปที่ จ.3 แสดงรูปการเตรียมชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L



รูปที่ จ.4 แสดงรูปการติดตั้งชิ้นงานกับอุปกรณ์จับยึดเพื่อใช้กระยะแนวเดินเชื่อม



รูปที่ จ.5 แสดงรูปการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม MIG



รูปที่ จ.6 แสดงรูปแนวเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม MIG

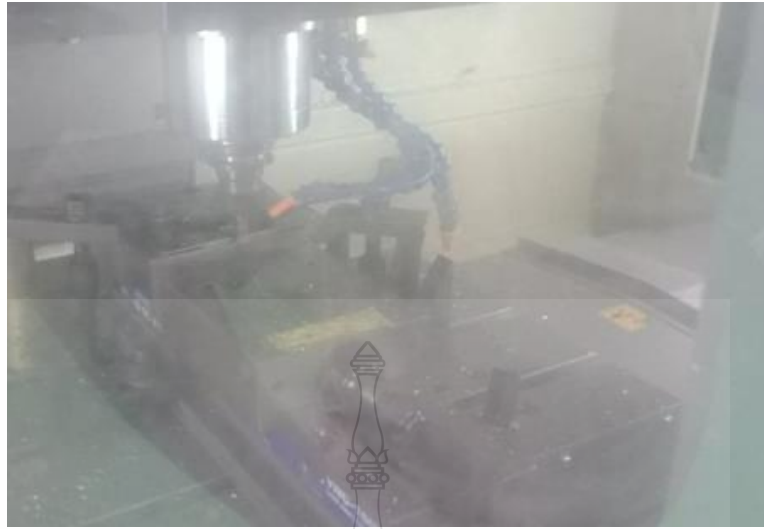




รูปที่ จ.7 แสดงรูปตัดชิ้นงานเพื่อขึ้นรูปในการทดสอบแรงดึงและศึกษาโครงสร้างจุลภาค



รูปที่ จ.8 แสดงรูปชิ้นงานที่ผ่านการตัดเพื่อขึ้นรูปในการทดสอบแรงดึง



รูปที่ จ.9 แสดงรูปการกัดชิ้นงานในการทดสอบแรงดึง



รูปที่ จ.10 แสดงรูปชิ้นงานในการทดสอบแรงดึง

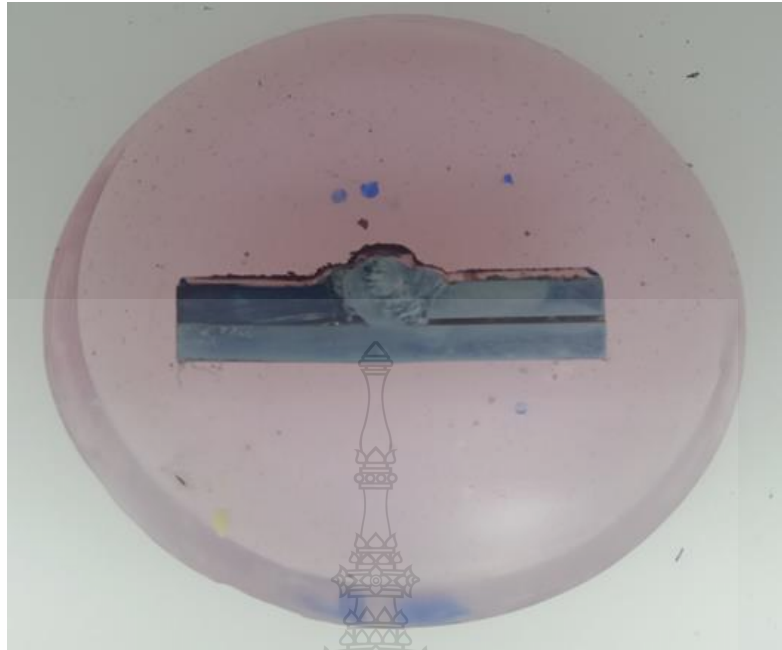


รูปที่ จ.11 แสดงรูปชิ้นงานตัดให้ได้ขนาดเตรียมเทเรซิน



รูปที่ จ.12 แสดงรูปการเทเรซิน





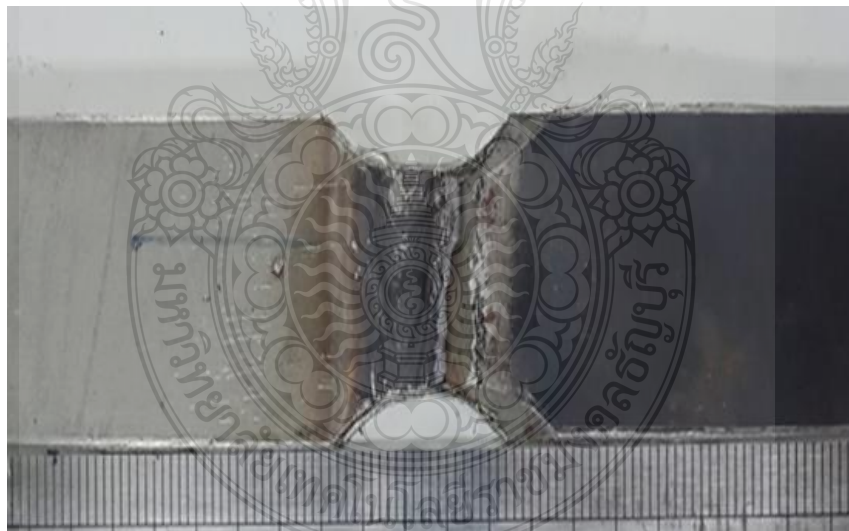
รูปที่ จ.13 แสดงรูปชิ้นงานที่ได้จากการเทเรซิน



รูปที่ จ.14 แสดงรูปการติดตั้งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแรงดึง



รูปที่ จ.15 แสดงรูปการจับยึดชิ้นงานแรงดึง



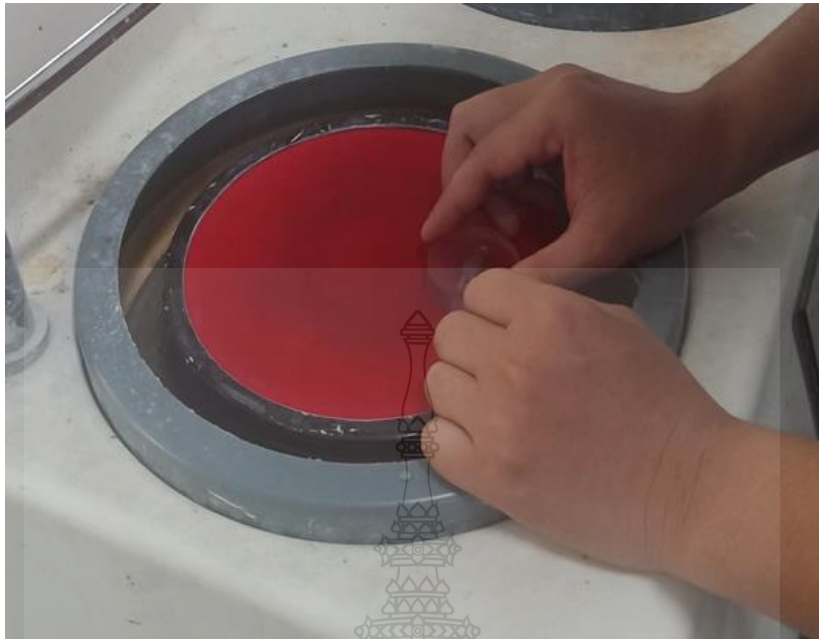
รูปที่ จ.16 แสดงรูปชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงดึง



รูปที่ จ.17 แสดงรูปการเตรียมเครื่องขัด



รูปที่ จ.18 แสดงรูปการขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 320,600 และ 1500



รูปที่ จ.19 แสดงรูปการขัดชิ้นงานด้วยผ้าสักหลาด

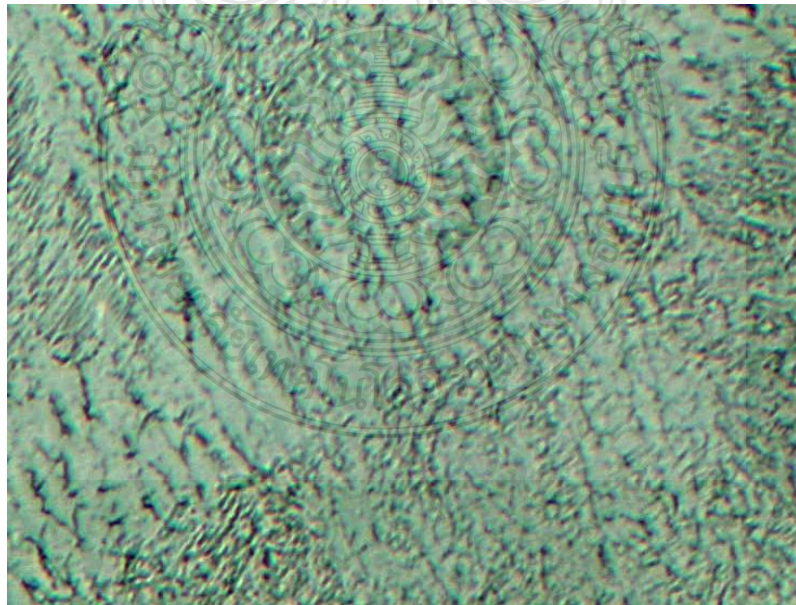


รูปที่ จ.20 แสดงรูปการกัดกรดชิ้นงาน





รูปที่ จ.21 แสดงรูปการส่องโครงสร้างจุลภาค



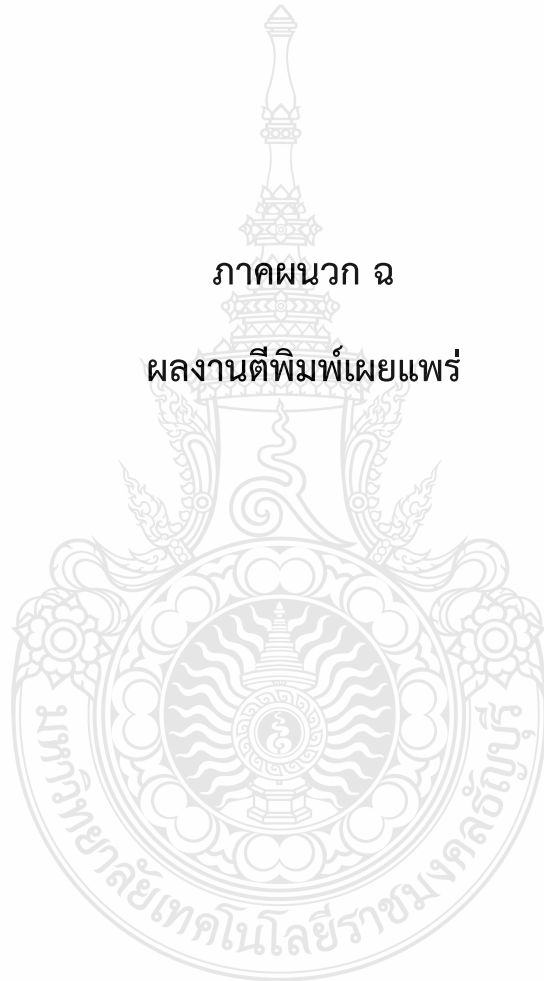
รูปที่ จ.22 แสดงรูปการฉลุโครงสร้างจุลภาค





ภาคผนวก ฉ

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



เกษตรกำแพงแสน ตามรอยพ่อ สานต่อศาสตร์แห่งแผ่นดิน

# Proceedings

## การประชุมวิชาการระดับชาติ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 17

The 17<sup>th</sup> National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference

ระหว่างวันที่ 2 - 3 ธันวาคม 2563

ณ อาคารประชุม 200

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

### ผลงานทางวิชาการ 8 สาขา

1. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร
2. สัตวศาสตร์
3. วนศาสตร์
4. ศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
5. ศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
6. วิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา
7. ศึกษาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม และความรู้ใหม่เกี่ยวกับสุขภาพ
8. สหสัมพันธ์เกษตร



13. รองศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ สุขมณี
14. รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ แพงคำ
15. รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่น จันจุฬา
16. รองศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ สมภาร
17. รองศาสตราจารย์ ดร.วนชัย สิทธิไกรพงษ์
18. รองศาสตราจารย์ ดร.วณิ ชัยวัฒน์สิน
19. รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช จั้วแหลม
20. รองศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ นิสิทธิ์
21. รองศาสตราจารย์ ดร.ชานันต์ จันทร์ประดิษฐ์กุล
22. รองศาสตราจารย์ ดร.อุทัย คัมภีร์

35. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยรัตน์ พลายผาค
36. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวันทพร สันตุณวิชัย
37. ดร.ระพีพงษ์ พานีวิวรรณ์
38. นายชยานนท์ กฤตยาเขวง
39. นายสารกิจ ภวิลประวัตติ
40. นายปรีชา อินนุรักษ์
41. รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา อีสแหะ
42. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิธรา กิจเจริญ
43. ดร.ภาคกุล ช่างผู้วิเศษ

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

- |   |  |
|---|--|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ เทยดวงศ์วรกุล         | 31. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิภาวรรณ กุลสุวรรณ       |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.ประเทือง สุขามวิสุทธิ          | 32. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นที อธิกคุณากร           |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.ศิวลักษณ์ ปุรุวิรัตน์          | 33. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาวินี ลิ้มสวัสดิ์       |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร.วิฑรพล ขยประเสริฐ              | 34. ผู้ช่วยศาสตราจารย์บรรพต กุลสุวรรณ              |
| 5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันรัฐ อับดุลลาฮาซิม       | 35. ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษณะ จันทร์โรติ             |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์พรรณ ปรี่องาม         | 36. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐดนัย ตัณฑวิฑูห์       |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ พวงสมบัติ          | 37. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ       |
| 8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แก้วกานต์ พวงสมบัติ        | 38. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีตา ปราบัญญา           |
| 9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริมาญ น้อยพิทักษ์        | 39. ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัณฑิตภรณ์ เขาทอง            |
| 10. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญชา ขวัญอิน                 | 40. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนา ชีพสมทรง             |
| 11. รองศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ไผ่ลิลลกุลชัย       | 41. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนมน จันทนา              |
| 12. รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ตยณเจดีย์               | 42. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญญา กสานติกุล          |
| 13. รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยศรี สุขลาไวจัน             | 43. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรัช สุภาสุทธากุล       |
| 14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิฑูว์ดมภ์ แต่สมบัติ      | 44. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรรตย์ พุทธิพิพัฒน์ชวง  |
| 15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไธยาพงษ์ เทพประสิทธิ์     | 45. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนญา ลัดยากวี               |
| 16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระกานต์ ศิริวิฑูว์ไมตรี | 46. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักกวัชร พฤษการ          |
| 17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิริวัตร์ สงวนเดือน       | 47. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงเพ็ญ เจตน์พิพัฒน์พงษ์ |
| 18. รองศาสตราจารย์ ดร.รังสิณี ไสธวิฑูว์             | 48. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยมงคล ลิ้มเพ็ชรชอบ     |
| 19. รองศาสตราจารย์ ดร.รณฤทธิ์ ฤทธิรณ                | 49. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิรญญา พัฒนวงสันต์พร         |
| 20. รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ ชำของ               | 50. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชญญา ชำนาญหล่อ           |



21. รองศาสตราจารย์ ดร.เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์
22. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภัฏญา วิษณุกิจ
23. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลศักดิ์ กาญจนางค์กุล
24. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วงศ์ภกา วงศ์วิวัฒน์
25. รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช กิจวิฑูรย์
26. ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์ภักดิ์ ภัทรประภาพันธ์
27. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปนัดดา กลกิจวิวัฒน์
28. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทวัฒน์ ชมหวาน
29. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล อมรฟ้า
30. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริภุญา ทองชาติ

51. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาพรพรรณ เกษราพงศ์
52. ผู้ช่วยศาสตราจารย์จ๊กรินทร์ กลั่นเงิน
53. ผู้ช่วยศาสตราจารย์เมตตา เทืองฟู
54. ผู้ช่วยศาสตราจารย์อมรเดช พุทธิพิพัฒน์จร
55. อาจารย์ ดร.วราญา เนื่องมัจฉา
56. อาจารย์ ดร.ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล
57. อาจารย์ ดร.ภวิณฑ์ ธัญภัทรานนท์
58. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต มานะธุระ
59. อาจารย์ ดร.ภาวิณี คล้ายจำ

**ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก**

1. รองศาสตราจารย์ ดร.ปานมณี สิริธมบุรณ์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภิต ทิมขำ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชรรัตน์ ศรีอำนาจ
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ศรีอำนาจ
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภิกดิ์ สายสุนทร
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นารวณะที นาคะวัจนะ
8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน
9. รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒินิชัย
10. รองศาสตราจารย์ ดร.ชาวีชา เทพธิดา
11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ เขียวสนั่นพานิชย์
12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ ดิษฐกิจ
13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภัทรา นิชขศิริ
14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณาพร โภษา
15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลาภิตย์ดา เตียวต้อย
16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรศักดิ์ ฮาดชัย
17. รองศาสตราจารย์ ดร.จิราวัฒน์ อนันตกุล
18. รองศาสตราจารย์ ดร.พูนพัฒน์ พูนน้อย
19. รองศาสตราจารย์ ดร.สุนัน ปานสาคร
20. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนา ม่วงรัตน์
21. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐมล จินดาพรรณ

29. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัตน์ผู้ เขียวมีปวีชา
30. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชรินทร์ นมรักษ์
31. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กองกฤษ โตชัยวัฒน์
32. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรวาล ต้นสกุล
33. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเมศวร์ เหลือเทพ
34. รองศาสตราจารย์ ดร.สุพรัชช ฐาภิณกุล
35. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีดา จาตุรงค์
36. รองศาสตราจารย์ ดร.ประสาน สถิตเรืองศักดิ์
37. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศนพ กำเนิดทอง
38. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉวีพจน์ เวศพันธ์
39. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณฤบดี ศรีสังข์
40. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชพล จุ่งเจริญ
41. รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ วัฒนชัยสกุล
42. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถาพร วังชาย
43. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรินทร์ พงพิณจรรยา
44. รองศาสตราจารย์ ดร.นภาค อุทัยภักดี
45. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วังสรรค์ ชัยศรีเจริญ
46. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชามญช์ ศรีจำเริญวัฒนา
47. รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภา ทอมทรัพย์
48. รองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เทัญอักษร
49. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชรินทร์ ทิพย์วรรณกร

อิทธิพลของการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนต่อสมบัติชั้นผิวของโลหะเชื่อมอะลูมิเนียม และพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน SS400.....	1258
การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ด้วยแผ่นรองหลังแตกต่าง.....	1268
การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการในการลงทุนธุรกิจเรือลากจูง.....	1276

### สาขาศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง อัตราส่วน สัดส่วน และร้อยละ ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค ทีจีที สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1.....	1286
การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง เส้นขนานด้วยการจัดการเรียนรู้ แบบร่วมมือ เทคนิคจิ๊กซอว์ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2.....	1298
การศึกษาความต้องการจำเป็นของการบริหารจัดการด้วยระบบคุณภาพของโรงเรียนมาตรฐาน สากล สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 38 จังหวัดสุโขทัย.....	1310
ความต้องการจำเป็นของภาวะผู้นำการเรียนรู้ของผู้อำนวยการสถานศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาพิษณุโลก เขต 1.....	1322
การศึกษาความต้องการจำเป็นของการบริหารผลการปฏิบัติงานของผู้บริหาร โรงเรียนประถมศึกษา อำเภอสามโก้ จังหวัดกาฬงเพชร.....	1335
การศึกษาความต้องการจำเป็นของสมรรถนะครูผู้สอนคณิตศาสตร์ โรงเรียนมัธยมศึกษา อำเภอเมืองสุโขทัย จังหวัดสุโขทัย.....	1345
การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้สื่อแอนิเมชัน เรื่องการแพร่และออสโมซิส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1.....	1356
ผลการใช้บทเรียน E-Learning วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องความน่าจะเป็น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3.....	1368
การพัฒนาบทเรียนอิเล็กทรอนิกส์ รายวิชาวิทยาการคำนวณ เรื่องระบบคอมพิวเตอร์ ในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนบ้านรวมทรัพย์ จังหวัดเพชรบูรณ์.....	1382
กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา โดยใช้แนวคิด เรื่อง ทรงกลม ของนักศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ ชั้นปีที่ 1.....	1393
การพัฒนาสมรรถนะครูด้านการจัดการเรียนรู้โดยใช้การนิเทศแบบเครือข่าย สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษามหาสารคาม เขต 2.....	1402
ผลการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิคจิ๊กซอว์ ประกอบมัลติมีเดีย ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาภาษาจีนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5.....	1425



**การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม  
SUS304L ด้วยแผ่นรองหลังแตกต่างกัน**

**Gas Metal Arc Welding of SS400 Stainless Steel and SUS304L Stainless Steel Butt Joint using  
Different Backing Plates**

พิชاکกร ต่วนบุต<sup>1</sup> และ กิตติพงษ์ กิมะพงษ์<sup>2</sup>  
Pichakon Tuanbut<sup>1</sup>, and Kitipong Kimapong<sup>2</sup>

**บทคัดย่อ**

รอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ถูกนำมาเชื่อมด้วยความร้อนขาเข้าแตกต่างกันและแผ่นรองหลัง 2 ชนิด ผลการทดลองพบว่าความร้อนขาเข้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความกว้าง ความนูน การหลอมลึก และความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้น การใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นแผ่นรองหลังแสดงความแข็งแรงสูงกว่าแผ่นรองหลังเหล็กกล้าคาร์บอนเนื่องจากโลหะเชื่อมและแผ่นรองหลังมีการรวมตัวสูง เมื่อเปรียบเทียบผิวการหักหลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึง รอยต่อที่ใช้แผ่นรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิมแสดงการหักหลายแบบหลุมซึ่งแสดงสมบัติความเหนียวในปริมาณสูงกว่าแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน ความแข็งแรงดึงสูงสุดของรอยต่อแผ่นรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าสูงกว่ารอยต่อแผ่นรองหลังเหล็กกล้าคาร์บอน 15%

**คำสำคัญ :** การเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม ความร้อนขาเข้า แผ่นรองหลัง เหล็กกล้า

**Abstract**

Butt joint of SS400 carbon steel (CS) and SUS304L stainless steel (SS) was joined by a gas metal arc welding process with different heat inputs and 2 backing plates (BP). It was found that higher heat input affected to increase a weld width, a weld convex, a weld penetration, and a joint strength. The SS-BP joint showed higher joint strength than that of the CS-BP joint due to a better combination between a weld metal and a backing plate material. When compared the fracture surface of the tensile specimens, the SS-BP joint showed higher amount of a dimple pattern that implied higher ductile properties than that of the CS-BP joint. The maximum tensile strength of the SS-BP joint was 15% higher than that of CS-BP joint.

**Keyword :** gas metal arc welding, heat input, backing plate, steel,

**E-mail address:** pichakon\_t@mail.msu.ac.th

<sup>1,2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Tharyaburi

### คำนำ

รอยต่อวัสดุต่างชนิด เช่น รอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นรอยต่อที่ถูกนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากข้อดีของเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีสมบัติทางกล เคมี และกายภาพที่ดี สามารถใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรงและต้านทานการกัดกร่อนกับสิ่งแวดล้อมได้ดี อย่างไรก็ตามในการใช้โครงสร้างเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งหมดอาจเป็นปัญหาในการออกแบบเนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมมีน้ำหนักสูงและราคาแพง ด้วยเหตุนี้ในอุตสาหกรรมบางอย่าง เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล เหล็กกล้าไร้สนิมจึงถูกนำมาใช้กับชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงและความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อน และใช้เหล็กกล้าคาร์บอนในส่วนที่ไม่สัมผัสและไม่ต้องการความแข็งแรงและความต้านทานการกัดกร่อนเท่านั้น ด้วยเหตุนี้รอยต่อระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าคาร์บอนจึงถูกนำมาใช้งานเพิ่มมากขึ้น (Chantasri and Kimapong, 2015)

ความแตกต่างของสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมจึงทำให้รอยต่อของวัสดุทั้งสองยากต่อการเชื่อมเข้าด้วยกัน (Barnes and Pashby, 2000) ที่ผ่านมามีการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมพบได้ในการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ด้วยการเชื่อมมิก (Poopao and Kimapong, 2011) การเชื่อมรอยต่อเหล็กกล้าผสม 9Cr-1Mo เหล็กกล้าไร้สนิม 316L (Lee *et al.*, 2007) การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมเหล็กกล้าไร้สนิม 316L และเหล็กกล้าผสม 800 (Sireesha *et al.*, 2000.) หรือการเชื่อมมิกเหล็กกล้าไร้สนิม 403 และ 304 (Das *et al.*, 2009) เป็นต้น งานวิจัยเหล่านี้มักกล่าวถึงการศึกษาการเชื่อมรอยต่อชนเป็นหลัก แต่ในการเชื่อมหลอมละลายหนึ่งในปัญหาที่ทำให้ยากต่อการเชื่อม คือ การเลือกใช้ความร้อนเข้าที่ไม่เหมาะสม และเมื่อทำการเชื่อมรอยต่อที่มีความหนาตัว การเชื่อมทะลุความหนาของแผ่นงานจึงมักเกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเชื่อมรอยต่อชน แผ่นรองหลัง (Backing plate) จึงถูกพัฒนาและนำมาช่วยในการเชื่อมรอยต่อชน โดยมีจุดประสงค์ในการลดการหดตัวของแนวราก ทำให้เกิดการหลอมสมบูรณ์ที่แนวราก ช่วยให้เกิดการแพร่ของส่วนผสมทางเคมีของรอยต่อที่แนวรากสมบูรณ์ทำให้เกิดการเพิ่มความสมบูรณ์ของรอยต่อ (Kulkarni *et al.*, 2018) และช่วยให้เกิดการควบคุมอุณหภูมิของโลหะเชื่อมที่แนวรากของรอยต่อ (Imam *et al.*, 2014)

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา การศึกษาและพัฒนาเพื่อทำให้เกิดรอยต่อชนระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ที่ได้จากการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมและใช้แผ่นรองหลังในการเชื่อมประกอบรอยต่อที่สามารถทำให้เกิดรอยต่อที่มีความแข็งแรงสูงได้ ดังนั้นหากมีการศึกษาหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดสมบัติของรอยต่อที่มีประสิทธิภาพสูงสุดแล้ว คาดว่าจะทำให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตต่อไป

### อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุในการทดลอง คือ แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีดัง Table 1 แผ่นเหล็กทั้งสองที่มีความหนา 3 มิลลิเมตรถูกนำมาเตรียมให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 75 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร ก่อนการประกอบเป็นรอยต่อชนดัง Figure 1 a. โดยกำหนดให้มีช่องว่างระหว่าง



รอยต่อเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และใช้แผ่นรองหลังประกอบด้วยเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ที่มีขนาดยาว 150 มิลลิเมตร กว้าง 75 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร

กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding process: GMAW) ถูกเลือกใช้ในการเชื่อมรอยต่อชนด้วยตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วยกระแสเชื่อม 160-200 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที แก๊สปกคลุม คือ แก๊สอาร์กอน 99.9 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที ลวดเชื่อมที่ใช้เป็นลวดเชื่อมตัน AWS E308L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร ที่มีส่วนผสมทางเคมีดัง Table 1 ชิ้นงานที่ได้ถูกนำไปทำการเตรียมเพื่อทำการตรวจสอบสมบัติประกอบด้วยการทดสอบความแข็งแรงดึงขึ้นทดสอบที่มีรูปร่างดัง Figure 1 b. ด้วยความเร็วในการดึง 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ข้อมูลจากการทดสอบ เช่น ความแข็งแรงดึง การยืดตัว และตำแหน่งการจึกขาดจะถูกทำการศึกษาระบุและเปรียบเทียบ

Table 1 Chemical composition of experimental materials (in wt%).

Materials	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
SS400	0.06	0.01	0.40	0.04	0.04	-	-	-	Bal.
SUS304L	0.02	0.44	1.32	0.04	0.01	8.04	18.67	0.02	Bal.
ER308	0.08	0.03	1.75	0.03	0.03	10.0	19.95	0.75	Bal.

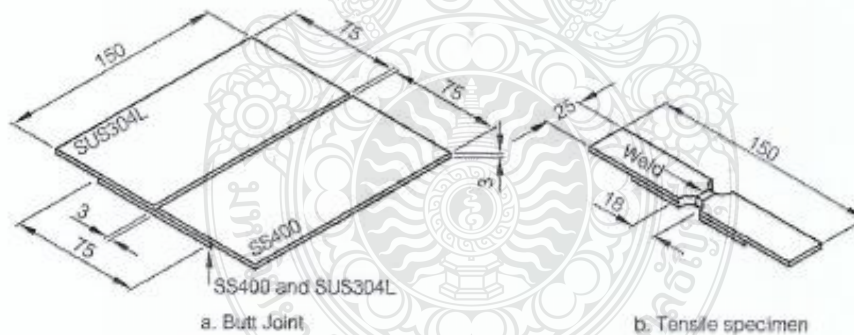


Figure 1 Schematic of SS400-SUS304L butt joint with backing plate (Unit: mm).

การตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยาประกอบด้วยการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค ในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค ตำแหน่งการทดสอบ คือ ที่นั้รอยต่อระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทาง การเดินแนวเชื่อม ชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยใบตัดเสียสลิความเร็วสูงที่มีการหล่อเย็นด้วยน้ำหล่อเย็นจะถูกนำไปทำการขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150-1000 ในน้ำไหล และการขัดมันด้วยผงอะลูมินาบนผ้าสักหลาด พื้นผิวที่มีความมันวาวคล้ายกระจกจะถูกนำไปทำการกัดผิวหน้าด้วยสารละลายที่ประกอบด้วยกรดไฮโดรคลอริก 50 มิลลิตร กรดไนตริก 25 มิลลิตร และน้ำ 25 มิลลิตร ด้วยการจุ่มที่ระยะเวลา 10 วินาที การแบ่งแยกพื้นที่การเชื่อม จุดบกพร่อง เกรน และรายละเอียดของพื้นที่การเชื่อมจะถูกนำเสนอและเปรียบเทียบกับสมบัติทางกลของ รอยต่อ ชิ้นงานการตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยาถูกนำมาทำการทดสอบความแข็งแรงด้วยการทดสอบความแข็งแรงไม่

โครวิกเกอร์ด้วยแรงกด 100 กรัมแรง และเวลากดแช่ 10 วินาที เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของโครงสร้างโลหะวิทยาแนวเชื่อม

### ผลการทดลองและวิจารณ์

รอยต่อชนด้วยตัวแปรการเชื่อมที่กำหนด คือ กระแสเชื่อม 160-200 แอมแปร์ และความเร็วเดินแนวเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าแรงดันเชื่อมมีค่าเท่ากับ 25 27 และ 30 โวลท์ สำหรับกระแสเชื่อม 160 180 และ 200 แอมแปร์ ค่ากระแสเชื่อม ความเร็วเดินแนวเชื่อม และแรงดันเชื่อมถูกนำมาคำนวณหาค่าความร้อนขาเข้าโดยมีค่าเท่ากับ (กระแสเชื่อม x แรงดันเชื่อม) / ความเร็วเดินแนวเชื่อม และมีค่าดัง Table 2.

Table 2 Welding parameters and Heat input.

Sequence	Welding current (A)	Welding voltage (V)	Welding speed (mm/min)	Heat input (kJ)
1	160	25	200	20.0
2	160	27	250	17.3
3	160	30	300	16.0
4	180	25	200	22.5
5	180	27	250	19.4
6	180	30	300	18.0
7	200	25	200	25.0
8	200	27	250	21.6
9	200	30	300	20.1

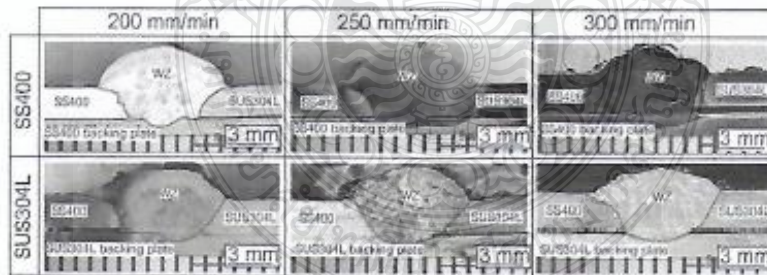


Figure 2 Macrostructure of the joint with SS400 backing plate produced by 200 A.

เมื่อนำตัวแปรการเชื่อมดัง Table 2 ไปทำการเชื่อมรอยต่อด้วยความร้อนขาเข้าแตกต่าง พบว่าตัวแปรการเชื่อมดังกล่าวสามารถทำให้เกิดรอยต่อที่มีความสมบูรณ์ไม่ปรากฏจุดบกพร่องใด ๆ เช่น ตามด (Pore) สแตก ผังโน (Slag inclusion) การกัดแหง (Undercut defect) หรือการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Lack of fusion) บนพื้นผิวแนวเชื่อมในรอยต่อ แนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ทั้งหมดถูกนำไปทำการตัดด้วยใบตัดวัดสี่เหลี่ยมสูงที่มีการ



หล่อเย็นเพื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเดินแนวเชื่อมและได้โครงสร้างมหภาคดัง Figure 2 ซึ่งถูกทำการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ และความเร็วเดินแนวเชื่อม 200-300 มิลลิเมตรต่อวินาที ผลการตรวจสอบภาพถ่ายโครงสร้างมหภาค พบการแบ่งพื้นที่ของแนวเชื่อมออกเป็น 4 พื้นที่หลัก คือ พื้นที่โลหะขึ้นงาน 2 ด้านประกอบด้วยเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L พื้นที่โลหะเชื่อม (Weld zone: WZ) และพื้นที่ร่องแผ่นรองหลังทั้งสองแบบ คือ แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L โครงสร้างจุลภาคแสดงการหลอมลึก (Penetration) ของโลหะเชื่อมจากพื้นผิวรอยต่อลงสู่แผ่นรองหลัง และโลหะเชื่อมมีขนาดเปลี่ยนแปลงเมื่อตัวแปรการเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลง

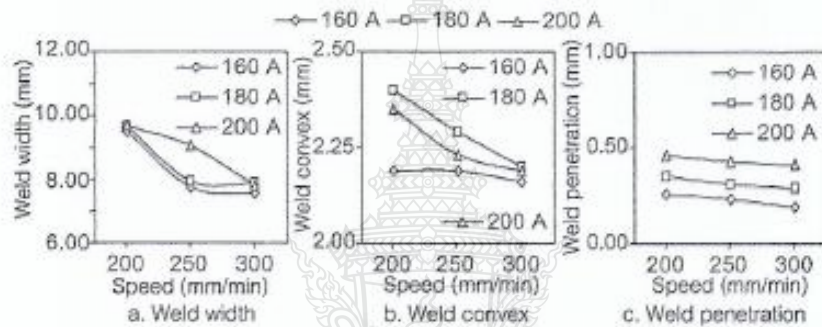


Figure 3 Weld geometries of the joint with SS400 backing plate.

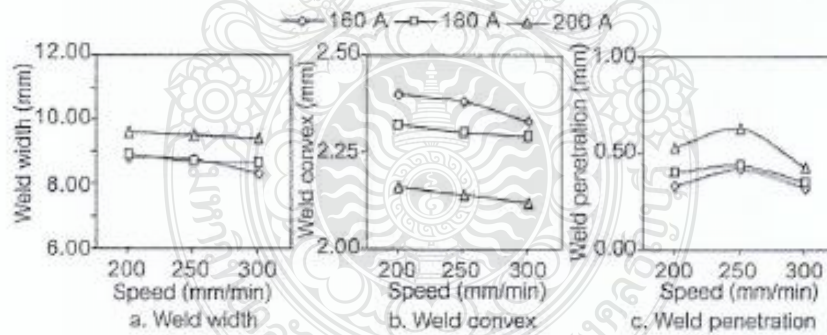


Figure 4 Weld geometries of the joint with SUS304L backing plate.

Figure 3 และ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบขนาดของโลหะเชื่อมประกอบด้วยความกว้างของแนวเชื่อม (Weld width) ความนูนแนวเชื่อม (Weld convex) และการหลอมลึกของแนวเชื่อม (Weld penetration) ลงสู่แผ่นรองหลังทั้งสองแบบ พบว่าขนาดของโลหะเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วเข้าที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ความกว้างของแนวเชื่อมและความนูนของแนวเชื่อมมีแนวโน้มที่ค่าลดลงเมื่อกระแสเชื่อมมีค่าลดลง และความเร็วในการเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น ผลการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความนูนของแนวเชื่อมนี้พบได้เมื่อทำการเชื่อมรอยต่อที่ไร้แผ่นรองหลังเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบการหลอมลึกของโลหะเชื่อมลงสู่แผ่นรองหลังของเหล็กกล้าทั้งสองชนิดเมื่อความ



ร้อนเข้าเกิดการเปลี่ยนแปลงนั้น พบว่าโลหะเชื่อมที่เกิดจากลวดเชื่อม ER308 นั้นมีความสามารถในการหลอมลึกลงไปในแผ่นรองหลังที่ทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L มากกว่าแผ่นรองหลังที่ทำจากแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ดัง Figure 3 c และ Figure 4 c การเกิดการหลอมลึกของโลหะเชื่อม ER308 เข้าไปในแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L มากขึ้นนี้ มีลักษณะคล้ายกับการเชื่อมรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1015 ที่แสดงว่า หากเหล็กที่ใช้มีส่วนผสมใกล้เคียงกัน เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304L กับลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ER309 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าผสมสูง (High alloy steel) ความสามารถในการรวมตัวของเหล็กกล้าทั้งสองจะมีค่ามากกว่าคู่ของเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1015 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าผสมต่ำกับลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม (Chantasri and Kimapong, 2015)

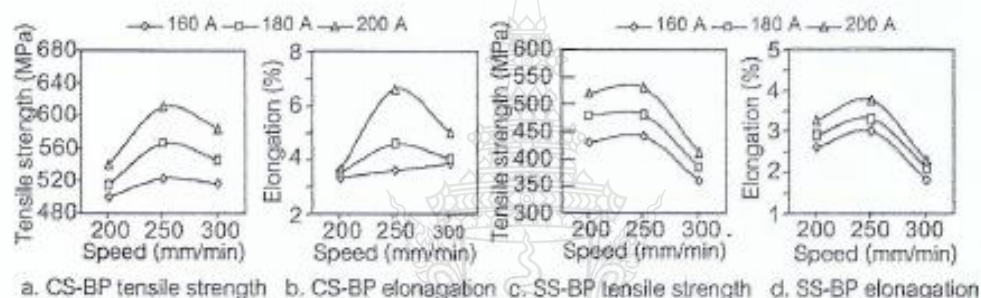


Figure 5 Tensile strength test Result of the joint with SS400 backing plate.

ความสามารถในการรวมตัวของโลหะเชื่อมกับโลหะแผ่นรองหลังนี้ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงของรอยต่อซึ่งผลการทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อ หากรอยต่อที่ทำการเชื่อมด้วยค่าความร้อนเข้าที่แตกต่างกันและใช้แผ่นรองหลังเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ซึ่งทำให้เกิดการหลอมลึกของโลหะเชื่อมลงสู่แผ่นรองหลังน้อย พบว่าความแข็งแรงดึงและการยืดตัวของรอยต่อ (Elongation) มีแนวโน้มลดลงเมื่อความร้อนเข้าของรอยต่อมีค่าลดลง หรือความเร็วเดินแนวเชื่อมลดลงดัง Figure 5 a.-b. ความแข็งแรงดึงสูงสุดของรอยต่อที่ใช้แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 นั้นมีค่าเท่ากับ 530 เมกกะปาสคาล และการยืดตัวสูงสุด 3.76 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ และความเร็วเดินแนวเชื่อม 250 มิลลิเมตรต่อนาที

เมื่อเปรียบเทียบกับรอยต่อที่ทำการเชื่อมด้วยความร้อนเข้าแตกต่างและใช้แผ่นรองหลังเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ซึ่งแสดงการหลอมลึกที่มีค่ามากกว่านั้น พบว่าความแข็งแรงดึงและการยืดตัวของรอยต่อนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก 200 เป็น 250 มิลลิเมตรต่อนาที ก่อนที่ค่าความแข็งแรงดึงและการยืดตัวของรอยต่อจะมีค่าลดลง เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่าเท่ากับ 300 มิลลิเมตรต่อนาที การใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L ในการรองหลังรอยต่อนั้นสามารถทำให้เกิดความแข็งแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 612 เมกกะปาสคาล และมีค่าสูงกว่ารอยต่อที่ใช้แผ่นรองหลังเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ดัง Figure 5 c.-d.

การศึกษารองขึ้นทดสอบแรงดึงในการทดลองนี้เกิดขึ้นระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และโลหะเชื่อมพื้นผิวของรอยเชื่อมจึงถูกนำมาทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อเปรียบเทียบ

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพิชากร ต่วนบุตร
วัน เดือน ปีเกิด	3 กรกฎาคม 2526
ที่อยู่	88 หมู่ที่ 1 ต. เขากะลา อ. พยุหะคีรี จ. นครสวรรค์ 60130
ประวัติการศึกษา	-มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนจิรประวัติวิทยาคม พ.ศ. 2549 -ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาเทคนิคอุตสาหกรรม วิทยาลัยสารพัดช่างพระนครศรีอยุธยา พ.ศ. 2551 -ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา พ.ศ. 2553
ประสบการณ์ทำงาน	พ.ศ. 2553 - 2557 พนักงานบริษัทอิตาซี คอมเพรสเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด พ.ศ. 2558 - ปัจจุบัน Sale Engineer บริษัท เจ.แอล.ที.เอ็นจิเนียริ่ง เดอะ โพรเฟสชันแนล จำกัด
อีเมล	pichakorn-jlt@hotmail.com
เบอร์โทรศัพท์	08 1290 4877

