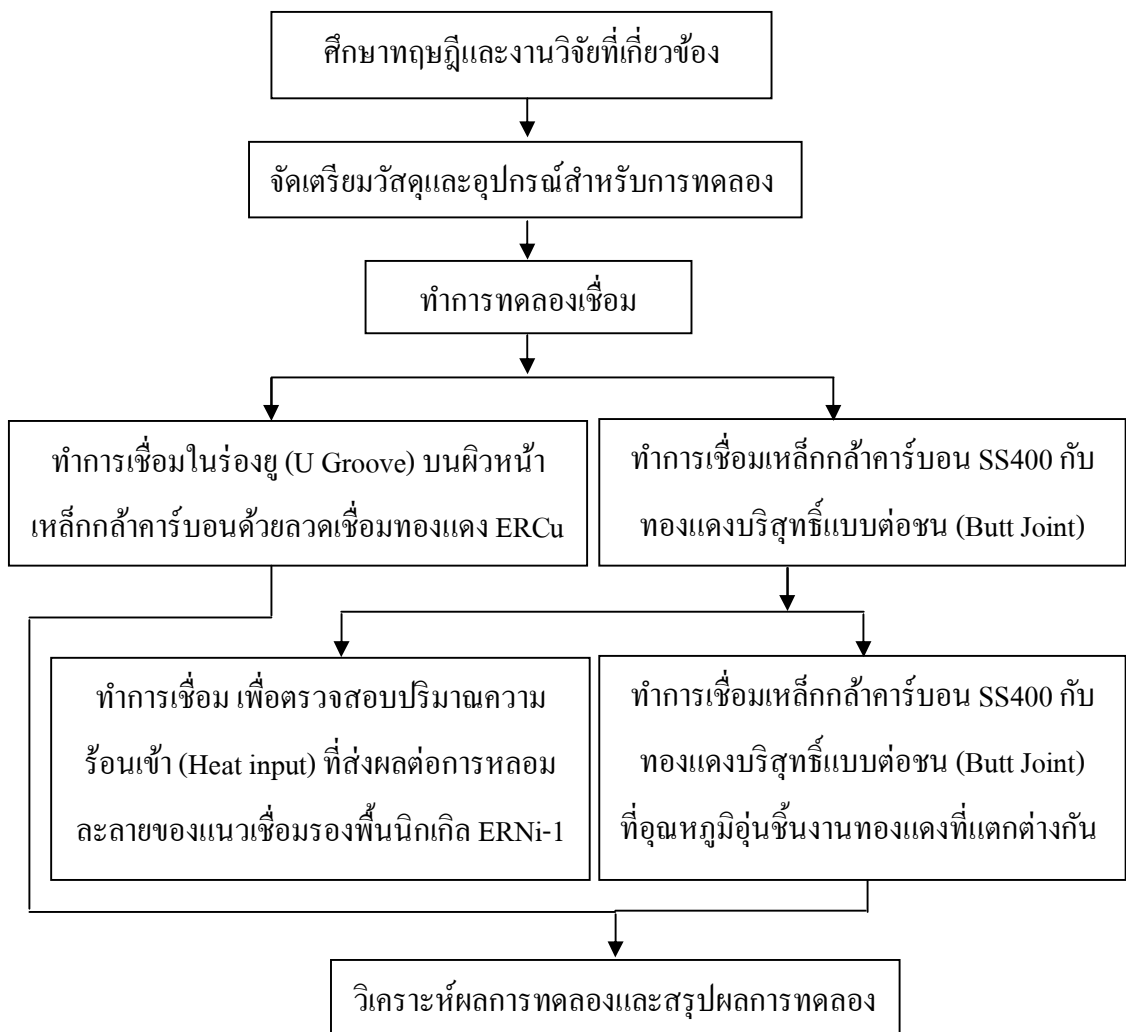


บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

สำหรับงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ชนิดของวัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และแผ่นทองแดงบริสุทธิ์ โดยส่วนผสมทางเคมีของวัสดุดังกล่าวแสดงอยู่ในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 [12]

วัสดุ	ส่วนผสมทางเคมี (%wt)						
	Fe	C	Mn	Si	S	P	Cu
เหล็กกล้าคาร์บอน SS400	98.7	0.19	0.90	0.02	0.04	0.05	0.1

ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนผสมทางเคมีของทองแดงบริสุทธิ์

วัสดุ	ส่วนผสมทางเคมี (%wt)						
	Cu	Mn	Fe	Al	Ni	Si	Bi
ทองแดงบริสุทธิ์	99.8995	0.00152	0.05589	0.021	0.015	0.00189	0.0052

* Checked by Spectrometry

3.2.2 ชนิดของลวดเชื่อม

ลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลองคือ ลวดเชื่อมนิกเกิล AWS A5.14 ERNi-1 และลวดเชื่อมทองแดง AWS A5.7 ERCu โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและส่วนผสมทางเคมีจากผู้ผลิตของลวดทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม

AWS Class.	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	ส่วนผสมทางเคมี (%wt)							
		Fe	Cu	Ni	C	Ti	Mn	Si	Al
A5.14 ERNi-1	2.4	0.005	0.003	95.90	0.017	2.99	0.396	0.439	0.063
A5.7 ERCu	2.4	-	98	-	-	-	0.5	0.5	0.21

* From Certificate

3.2.3 ชนิดของแก๊สที่ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อม

แก๊สที่ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อม (Shielding Gas) คือ แก๊สอาร์กอนที่มีความบริสุทธิ์ 99.99%

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 เครื่องเชื่อมทิก (TIG)

เครื่องเชื่อมทิกที่ใช้ในการทดลอง มีชื่อทางการค้า คือ Fronius Magic Wave 2000 เป็นเครื่องเชื่อมแบบจ่ายกระแสคงที่ (Constant Current; CC) สามารถปรับกระแสไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ ส่วนแรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับระยะอาร์ก (Arc Length) และปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม

3.3.2 ชุดป้อนลวดเชื่อม

ชุดป้อนลวดเชื่อมสำหรับป้อนลวดเชื่อมส้อมลอมละลายสำหรับการเชื่อมทิกแบบ Machine โดยมีส่วนประกอบคือ มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) เป็นตัวขับเคลื่อนลวดเชื่อม โดยรับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (Power Supply) ชื่อทางการค้า Peak Tech 1540

3.3.3 เครื่องตัดแก๊สแบบเคลื่อนที่ (Portable Gas Cutting Machine)

สำหรับการทดลองโดยใช้กระบวนการเชื่อมทิกแบบ Machine กำหนดให้ให้หัวเชื่อม (Welding Torch) และชุดป้อนลวดอยู่กับที่ ซึ่งชิ้นงานทดลองมีการเคลื่อนที่ โดยมีการใช้เครื่องตัดแก๊สแบบเคลื่อนที่ในการขับเคลื่อนชิ้นงานทดลอง ซึ่งชื่อทางการค้าเครื่องตัดแก๊สคือ Netweld Innovation Performance model No. GCJ-200-II

3.3.4 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

ในระหว่างการเชื่อม ได้มีการใช้ Digital Clamp Meter ที่มีชื่อทางการค้า UNI-T UT203 เพื่อตรวจสอบปริมาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม

3.3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิชนิดแสงอินฟราเรด (Infrared Temperature Measurement)

ในการวัดอุณหภูมิอุณหภูมิชิ้นงานได้มีการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิชนิดแสงอินฟราเรด ซึ่งมีชื่อทางการค้าคือ TAITAN

3.4 การทดลองเชื่อม

ในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ทองแดงบริสุทธิ์ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ อันได้แก่

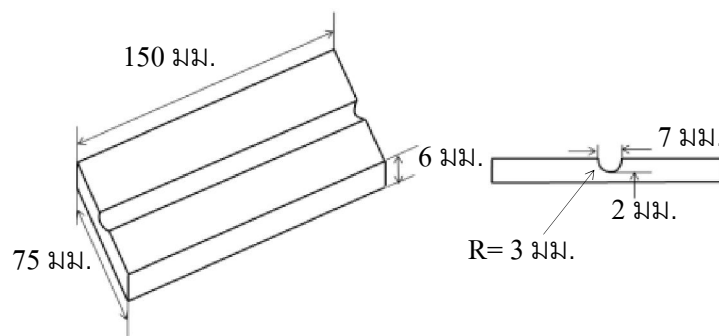
3.4.1 การเชื่อมในร่องยู (U Groove) บนผิวหน้าเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยลวดเชื่อมทองแดง ERCu (ในกรณีไม่มีการเชื่อมรองพื้น)

3.4.2. การเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์แบบต่อชน (Butt Joint) (ในกรณีมีการเชื่อมรองพื้น)

1. การเชื่อมเพื่อตรวจสอบค่าความร้อนเข้าที่สามารถลดความหนาของแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 ไว้ได้
2. การเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์แบบต่อชน ที่มีการอุ่นชิ้นงานทองแดงด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

3.4.1 การเชื่อมในร่องยูบนผิวหน้าเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยลวดเชื่อมทองแดง ERCu (ในกรณีไม่มีการเชื่อมรองพื้น)

สำหรับการทดลองในส่วนนี้ได้ทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมทองแดง ERCu ลงในร่องยูบนผิวหน้าเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยกระบวนการเชื่อมทิกด้วยมือ (Manual) ซึ่งการเชื่อมลงในร่องดังกล่าวเป็นการเชื่อมที่ง่ายต่อการควบคุมบ่อหลอมละลาย (Weld Pool) ในระหว่างการเชื่อม โดยขนาดชิ้นงานทดลองและตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมแสดงในรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.4 ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 แสดงขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการเชื่อมในร่องยูบนผิวหน้าเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยลวดเชื่อมทองแดง

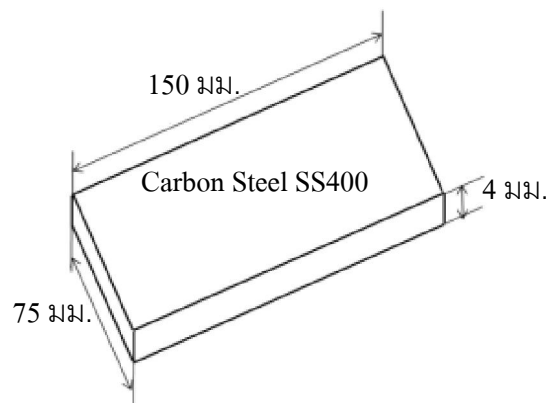
3.4.2 การเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์แบบต่อชน (ในกรณีมีการเชื่อมรองพื้น)

1. การเชื่อมเพื่อตรวจสอบค่าความร้อนเข้าที่สามารถคงความหนาของแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 ไว้ได้

ในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์ เมื่อมีการเชื่อมรองพื้นด้วยลวดเชื่อม นิกเกิล ERNi-1 ทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน จำเป็นต้องคงความหนาของแนวเชื่อมรองพื้นไว้ โดยในเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าความร้อนเข้าที่สามารถเชื่อมวัสดุทั้ง 2 ชนิดเข้าด้วยกันได้ และพบว่าค่าความร้อนเข้าสูงสุดที่ใช้ในการเชื่อมอยู่ที่ 25.03 กิโลจูล/ซม. ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่าความร้อนเข้าดังกล่าวมาทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมทองแดง ERCu บนผิวหน้าแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล

ที่มีหนา 3 มม. เพื่อตรวจสอบว่าค่าความร้อนเข้าดังกล่าวสามารถคงแนวเชื่อมร่องพื้นไว้ได้หรือไม่ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

1. ทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล ERNi-1 ลงบนผิวหน้าของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 (Bead on Plate) โดยกระบวนการเชื่อมทิกด้วยมือ (Manual) ซึ่งรูปที่ 3.3 แสดงขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง และตัวแปร (Parameter) ที่ใช้ในการเชื่อมแสดงอยู่ในตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แสดงขนาดชิ้นงานสำหรับการทดลองเพื่อตรวจสอบค่าความร้อนเข้าที่สามารถคงความหนาของแนวเชื่อมร่องพื้นนิกเกิล ERNi-1 ไว้ได้

2. ทำการกัด (Milling) ผิวหน้าแนวเชื่อมร่องพื้นนิกเกิล ERNi-1 ให้เหลือความสูงจากผิวโลหะฐาน (Base Metal) เท่ากับ 3 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.4

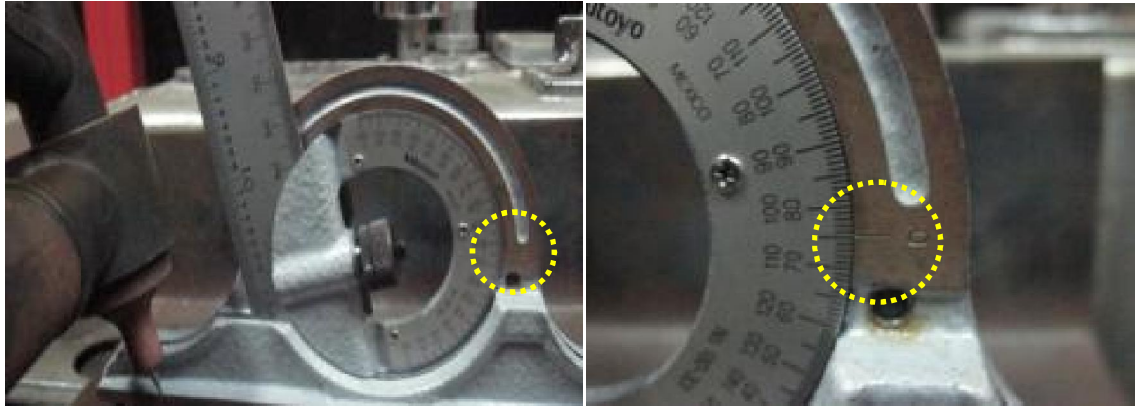


รูปที่ 3.4 แสดงความสูงของแนวเชื่อมรองพื้นจากพื้นผิวของโลหะฐาน

3. ทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมทองแดง ERCu โดยกระบวนการเชื่อมทิกแบบ Machine ลงบนผิวหน้าแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิลที่ได้ทำการกัดไว้แล้ว ซึ่งชิ้นงานทดลองมีการเคลื่อนที่ด้วยเครื่องตัดแก๊ส ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยมุมหัวเชื่อม (Torch Angle) และมุมเดิน (Travel Angle) ที่ใช้เท่ากับ 15° ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ โดยตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมแสดงอยู่ในตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมบนพื้นผิวหน้าแนวเชื่อมรองพื้นด้วยกระบวนการเชื่อมทิกแบบ Machine



รูปที่ 3.6 แสดงการกำหนดมุมหัวเชื่อม



รูปที่ 3.7 แสดงการกำหนดมุมเดิน

ตารางที่ 3.4 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมในร่องยูนบนผิวหน้าเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยลวดเชื่อมทองแดง ERCu

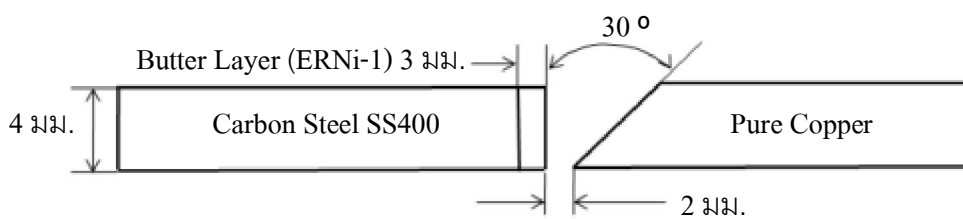
ลำดับ แนวเชื่อม	กระบวนการ การเชื่อม	ลวดเชื่อม		Polarity	กระแส เชื่อม (แอมป์)	ความต่าง ศักย์(โวลต์)	ความเร็วในการ เชื่อม (ซ.ม./นาที)	ความร้อนเข้า (กิโลจูล/ซ.ม.)	อัตราการไหลแก๊ส ปกคลุม (ลิตร/นาที)
		AWS Class.	∅ (มม.)						
1	GTAW Manual	A5.7 ERCu	2.4	DCEN	90	13	6.50	10.8	12

ตารางที่ 3.5 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมเพื่อตรวจสอบค่าความร้อนเข้าที่สามารถคงความหนาของแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 ไว้ได้

ลำดับ แนวเชื่อม	กระบวนการ การเชื่อม	ลวดเชื่อม		Polarity	กระแส เชื่อม (แอมป์)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	ความเร็วใน การเชื่อม (ซ.ม./นาที)	ความเร็วป้อน ลวดเชื่อม (ซม/นาที)	ความร้อนเข้า (กิโลจูล/ซม.)	อัตราการไหล แก๊สปกคลุม (ลิตร/นาที)
		AWS Class.	∅ (มม.)							
1	GTAW Manual	A5.14 ERNi-1	2.4	DCEN	120	11	6	N/A	13.2	12
2	GTAW Machine	A5.7 ERCu	2.4	DCEN	160	15.8	6.06	45.72	25.03	12

2. การเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์แบบต่อชน ที่มีการอุ่นชิ้นงาน ทองแดงด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์ด้วยลวดเชื่อมทองแดง ERCu เกิดการแพร่ของทองแดงในสถานะของเหลวเข้าสู่เหล็กกล้าคาร์บอน อันทำให้เสี่ยงต่อการเกิดการแตกร้าวในบริเวณดังกล่าวได้ ด้วยเหตุนี้จึงนำลวดเชื่อมนิกเกิล ERNi-1 มาทำการเชื่อมรองพื้นทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน โดยขนาดชิ้นงานทดลองแสดงอยู่ในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงขนาดชิ้นงานสำหรับการทดลองในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์แบบต่อชน

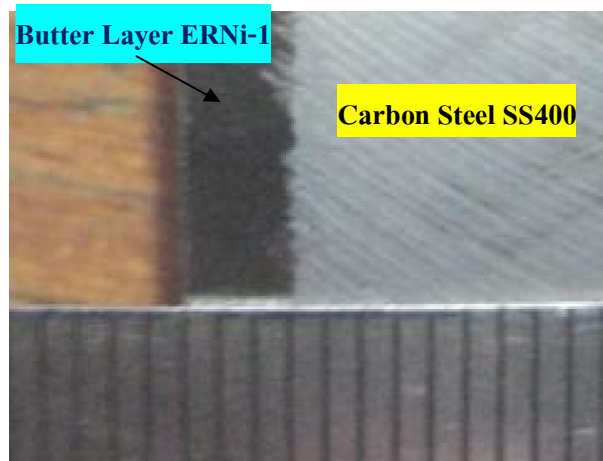
โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

1. ทำการเชื่อมรองพื้นด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล ERNi-1 ทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีความหนา 6 มม. โดยกระบวนการเชื่อมทิกแบบ Machine ที่มีการกำหนดมุมหัวเชื่อมและมุมเดิน 90° และ 15° ตามลำดับ และกำหนดระยะอาร์ก (Arc Length) ที่ 4 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.9 แสดงการเชื่อมรองพื้นด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล ERNi-1 ด้านเหล็กกล้าคาร์บอน

2. ทำการกัดผิวหน้าชิ้นงานที่ผ่านเชื่อมรองพื้นทั้งสองด้านของของชิ้นงานออกด้านละ 1 มม. เพื่อให้เห็นความหนาของแนวเชื่อมรองพื้นที่ชัดเจน ทั้งนี้ความหนาของชิ้นงานเหลือ 4 มม. หลังจากนั้นทำการกัดผิวหน้าแนวเชื่อมรองพื้นให้ได้ความหนา 3 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.10



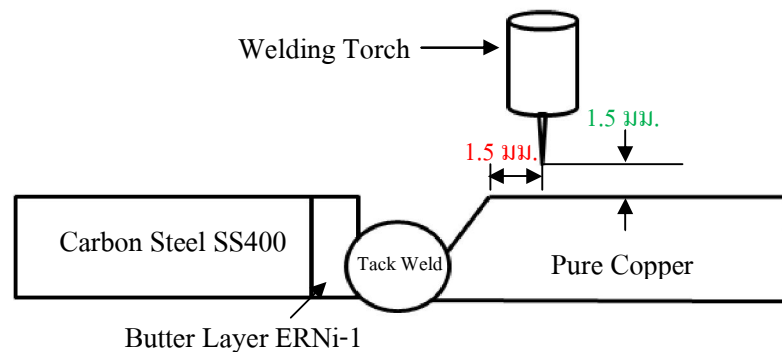
รูปที่ 3.10 แสดงความหนาแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิลทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอนที่ผ่านการกัดผิวหน้าให้ได้ความหนา 3 มม.

3. หลังจากนั้นนำเหล็กกล้าคาร์บอนที่ผ่านการกัดผิวหน้าแนวเชื่อมรองพื้นให้มีขนาด 3 มม. มาทำการเชื่อมต่อกับทองแดงด้วยลวดเชื่อมทองแดง ERCu โดยกระบวนการเชื่อมทิกแบบ Machine โดยมีการกำหนดลวดเชื่อมตำแหน่งกึ่งกลางร่องรอยต่อ (Groove) และกำหนดมุมเดินและมุมหัวเชื่อมที่ 15°

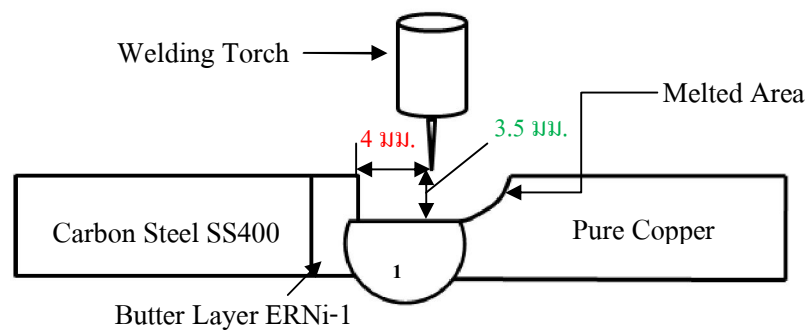
4. ทำการกำหนดตำแหน่งหัวเชื่อม

ในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนกับทองแดง เกิดปัญหาการเป็ยงเบนของเปลวอาร์คคู่เหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งส่งผลให้เกิดรอยความไม่ต่อเนื่องของแนวเชื่อม ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้กำหนดตำแหน่งหัวเชื่อมของการเชื่อมแต่ละแนวดังต่อไปนี้

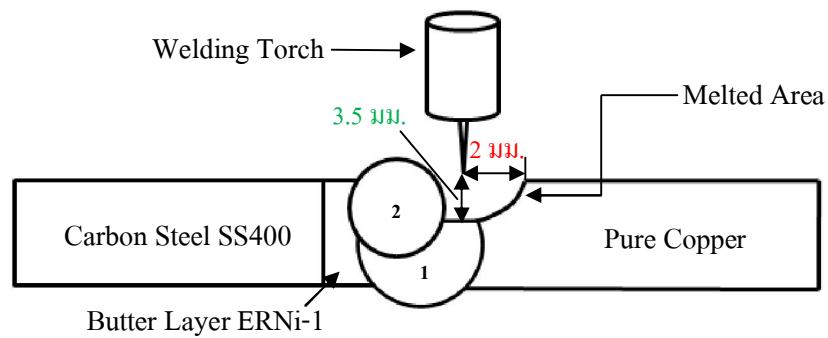
- 4.1 การเชื่อมแนวที่ 1: กำหนดให้ปลายทั้งสแตน (Tungsten) ห่างจากมุมบนร่องรอยต่อของชิ้นงานทองแดงที่ระยะ 1.5 มม. โดยปลายทั้งสแตนอยู่แนวเดียวกับแนวเชื่อมยึด (Tack Weld) และกำหนดระยะอาร์คอยู่ที่ 1.5 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ก)
- 4.2 การเชื่อมแนวที่ 2: กำหนดให้ปลายทั้งสแตนห่างจากมุมบนร่องรอยต่อของแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิลที่ระยะ 4 มม. และกำหนดระยะอาร์คอยู่ที่ 3.5 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ข)
- 4.3 การเชื่อมแนวที่ 3: กำหนดให้ปลายทั้งสแตนห่างจากมุมบนร่องรอยต่อของชิ้นงานทองแดงที่ระยะ 2 มม. และกำหนดระยะอาร์คอยู่ที่ 3.5 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะการกำหนดตำแหน่งหัวเชื่อมและระยะอาร์กของการเชื่อมในแต่ละแนวเชื่อม
(ก) การเชื่อมแนวที่ 1, (ข) การเชื่อมแนวที่ 2 และ (ค) การเชื่อมแนวที่ 3

5. ทำการอุ่นชิ้นงานทองแดงโดยใช้เปลวไฟเผาลงไปบนชิ้นงานทองแดง โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นชิ้นงานทองแดงเท่ากับ 100 °C, 200 °C, 300 °C และ 400°C และต้องอุ่นชิ้นงานทองแดงก่อนทำการเชื่อมในแต่ละแนวเชื่อมทุกครั้ง เนื่องจากทองแดงมีสมบัติการนำความร้อนสูง โดยตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.6 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมรองพื้นด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล ERNi-1 ทางด้านเหล็กกล้าคาร์บอน สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดง
บริสุทธิ์แบบต่อชน

ลำดับ แนวเชื่อม	กระบวนการ การเชื่อม	ลวดเชื่อม		Polarity	กระแส เชื่อม (แอมป์)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	ความเร็วใน การเชื่อม (ชม./นาที)	ความเร็วป้อน ลวดเชื่อม (ชม./นาที)	ความร้อนเข้า (กิโลจูล/ชม.)	อัตราการไหล แก๊สปกคลุม (ลิตร/นาที)
		AWS Class.	∅ (มม.)							
1	GTAW Machine	A5.14 ERNi-1	2.4	DCEN	100	16	8.52	34.62	11.27	12

ตารางที่ 3.7 แสดงตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์แบบต่อชน ที่มีการอุ่นชิ้นงานทองแดงด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ลำดับ แนวเชื่อม	กระบวนการ การเชื่อม	ลวดเชื่อม		Polarity	กระแส เชื่อม (แอมป์)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	ความเร็วใน การเชื่อม (ชม./นาที)	ความเร็วป้อน ลวดเชื่อม (ชม./นาที)	ความร้อนเข้า (กิโลจูล/ชม.)	อัตราการไหล แก๊สปกคลุม (ลิตร/นาที)
		AWS Class.	∅ (มม.)							
1	GTAW Machine	A5.7 ERCu	2.4	DCEN	150	13.5	8.52	45.72	14.62	8
2	GTAW Machine	A5.7 ERCu	2.4	DCEN	150	15.2	8.52	45.72	16.06	8
3	GTAW Machine	A5.7 ERCu	2.4	DCEN	160	15.8	6.06	34.62	25.03	8
อุณหภูมิในการอุ่นชิ้นงาน (Preheat Temperature) เท่ากับ 100, 200, 300 และ 400°C										

3.5 การประเมินผลการทดลอง

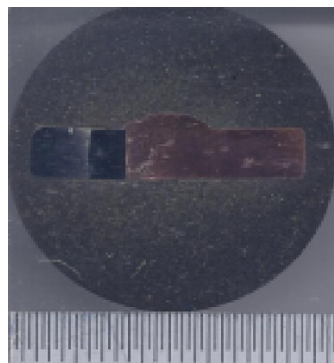
ในงานวิจัยนี้มีการตรวจสอบชิ้นงานทดลองเพื่อประเมินผลการทดลอง อันประกอบด้วย

1. การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macrostructure)
2. การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure)
3. การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีในระดับจุลภาค (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, EDS)
4. การตรวจสอบโครงสร้างผลึก (X-ray diffraction; XRD)
5. การตรวจสอบปริมาณทองแดงในเหล็กกล้าคาร์บอน (Volume Fraction)

3.5.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

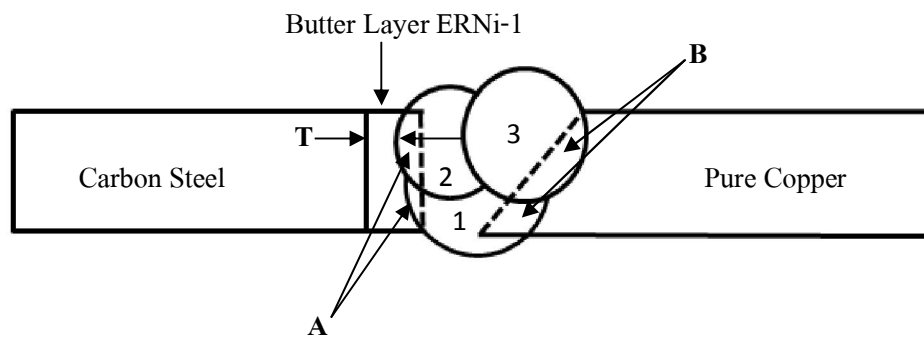
ทำการตรวจสอบเพื่อศึกษาโครงสร้างมหภาคที่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิอุ่นชิ้นงานที่แตกต่างกัน ในชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์แบบต่อชน โดยมีวิธีการเตรียมชิ้นงาน และวิธีการตรวจสอบคือ

1. ทำการตัดชิ้นงานทดลองให้มีขนาด 20 มม. เพื่อเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบ จากนั้นทำการหล่อ (Mounting) ด้วย Blackelite ดังแสดงในรูปที่ 3.12 แล้วทำการขัดด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 240, 320, 400, 500, 600, 800, และ 1200 จากนั้นทำการขัดเงา (Polishing) ด้วยผงเพชรขนาด 3 μm และทำการกัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบด้วยกรด (Etching) ที่มีส่วนผสมดังนี้ 50 ml HCl+ 25 ml HNO₃+ 25 ml H₂O



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการหล่อด้วย Blackelite

2. หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมชิ้นงานแล้วไปทำการถ่ายภาพด้วยเครื่องสแกน (Scanner) พร้อมทั้งทำการวัดพื้นที่หลอมละลาย (Melting Area) ทั้งในส่วน (A) แนวเชื่อมร่องพื้นนิกเกิล ERNi-1 และ (B) โลหะฐานทองแดงบริสุทธิ์ อีกทั้งทำการวัด (T) ความหนาคงเหลือต่ำสุด (Minimum Remaining Thickness) ของแนวเชื่อมร่องพื้นนิกเกิล ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ของชิ้นงานที่ผ่านการอุ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ด้วยซอฟต์แวร์ Scientist



รูปที่ 3.13 แสดงบริเวณที่ทำการวัดขนาดพื้นที่การหลอมละลาย (A) แนวเชื่อมร่องพื้นนิกเกิล ERNi-1 (B) โลหะฐานทองแดงบริสุทธิ์ และบริเวณที่ทำการวัด (T) ความหนาคงเหลือต่ำสุดของแนวเชื่อมร่องพื้นนิกเกิล ERNi-1

3.5.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ทำการตรวจสอบเพื่อศึกษาการแพร่ของทองแดงในเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และศึกษาผลกระทบทางโครงสร้างจุลภาค เมื่อมีการอุ่นชิ้นงานทองแดงด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยมีวิธีการเตรียมชิ้นงานและวิธีการตรวจสอบคือ เตรียมชิ้นงานเช่นเดียวกับในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค และทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงชื่อทางการค้า ZEISS รุ่น Axiovert 40 MAT ในบริเวณโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน บริเวณกระพุ้งร้อนเหล็กกล้าคาร์บอน บริเวณแนวเชื่อมร่องพื้นนิกเกิล ERNi-1 และบริเวณแนวเชื่อมทองแดง

3.5.3 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีในระดับจุลภาค

ทำการตรวจสอบเพื่อหาส่วนผสมทางเคมีของสารประกอบโลหะ (Intermetallic Compound) ที่เกิดการตกผลึก (Precipitate) ทั้งในส่วนของแนวเชื่อมทองแดง และแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 และทำการตรวจสอบเพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1 โดยมีขั้นตอนการตรวจสอบคือ นำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคมาทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบกวาด (Scanning Electron Microscope; SEM) ซึ่งมีชื่อทางการค้าคือ JEOL รุ่น JSM6380LV พร้อมทั้งทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยพลังงานรังสีเอ็กซ์ โดยใช้เทคนิคแบบเส้น (Line Scan) และแบบจุด (Point Scan)

3.5.4 การตรวจสอบโครงสร้างผลึก

ทำการตรวจสอบเพื่อระบุประเภทโครงสร้างผลึกของสารประกอบโลหะ ทั้งนี้มีวิธีการเตรียมชิ้นงานและวิธีการตรวจสอบคือ เตรียมชิ้นงานตรวจสอบขนาดเท่ากับชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ทำการกัดด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 240, 320, 400, 500, 600, 800, และ 1200 จากนั้นทำการตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยรังสีเอ็กซ์มีความยาวคลื่นเท่ากับ 1.54060 \AA (0.15406 nm) ซึ่งชื่อทางการค้าของเครื่องที่ใช้ในการตรวจสอบ คือ Bruker รุ่น D8 Discover จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับแบบแผนมาตรฐาน (Standard Pattern) ที่ได้ทำการเก็บรวบรวมไว้

3.5.5 การตรวจสอบปริมาณทองแดงในโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน

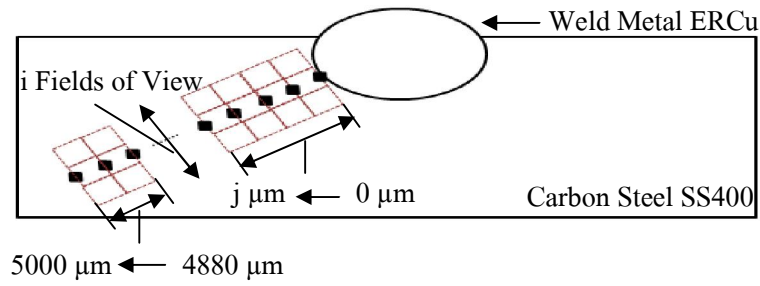
ทำการตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบปริมาณทองแดงที่แพร่เข้าสู่โลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ของการเชื่อมในร่องยู และการเชื่อมแบบต่อชน โดยมีวิธีการตรวจสอบดังนี้

1. นำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ทั้งชิ้นงานที่เชื่อมในร่องยูและชิ้นงานที่เชื่อมแบบต่อชน ณ อุณหภูมิการอุ่นชิ้นงานต่างๆ มาทำการกำหนดระยะการตรวจสอบบนผิวหน้าเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vicker) ในทิศทางตั้งฉากกับขอบแนวเชื่อม (Fusion Line) โดยชิ้นงานที่ทำการเชื่อมในร่องยู ทำการกำหนดระยะตั้งแต่ขอบแนวเชื่อมทองแดง และสำหรับชิ้นงานที่ทำการเชื่อมแบบต่อชน ทำการกำหนดระยะตั้งแต่ขอบแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิล ERNi-1

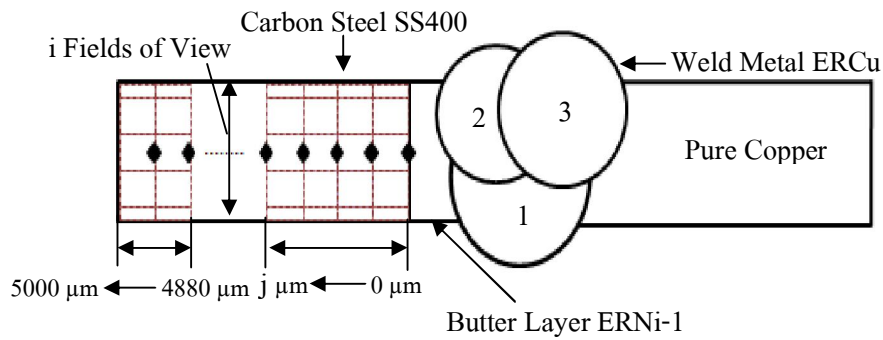
ทางด้านที่ติดกับเหล็กกล้าคาร์บอน และกำหนดให้ระยะห่างของแต่ละจุดเท่ากับ 120 ไมครอน ซึ่งระยะดังกล่าวมีขนาดเท่ากับความยาวของภาพ (Fields of View) ที่ถ่ายด้วยกำลังขยาย 50X

2. ทำการถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอน สำหรับชิ้นงานที่ทำการเชื่อมในร่องยูและสำหรับชิ้นงานที่ทำการเชื่อมแบบต่อชน โดยทำการถ่ายภาพในแต่ละระยะการตรวจสอบตามแนวความหนาเหล็กกล้าคาร์บอน ดังแสดงในรูปที่ 3.14 (ก) และ 3.14 (ข) ตามลำดับ ซึ่งภาพที่ใช้ในการตรวจสอบในชิ้นงานเชื่อมทั้งสองรูปแบบมีจำนวนเท่ากันคือ จำนวน i ภาพ (i Fields of View)

โดยตำแหน่งที่เริ่มทำการตรวจสอบ เริ่มจากบริเวณขอบแนวเชื่อมจนถึงระยะ j ไมครอน และเว้นระยะการตรวจสอบช่วงหนึ่ง จากนั้นทำการตรวจสอบอีกครั้งที่ระยะ 4880 ไมครอน และ 5000 ไมครอน (บริเวณขอบชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน สำหรับชิ้นงานที่ทำการเชื่อมแบบต่อชน) ทั้งนี้การเว้นระยะการตรวจสอบในช่วงระยะ j ถึง 4880 ไมครอน อันเนื่องมาจากปริมาณทองแดงที่ตรวจพบ ณ ระยะ j ไมครอน แทบไม่มีความแตกต่างกันเลย เมื่อเทียบกับที่ระยะ 4880 ไมครอนและ 5000 ไมครอน อันแสดงให้เห็นว่าปริมาณทองแดงในช่วงที่มีการเว้นระยะการตรวจสอบมีค่าใกล้เคียงกับที่ระยะการตรวจสอบ j , 4880, และ 5000 ไมครอน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องตรวจสอบในระยะที่เว้นไว้ โดยรูปที่ 3.14 แสดงรูปแบบการตรวจสอบปริมาณทองแดงในเหล็กกล้าคาร์บอน



(ก)



(ข)

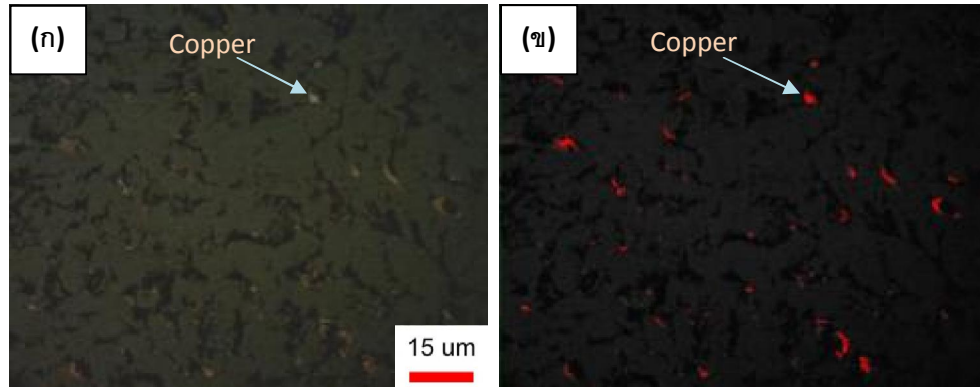
รูปที่ 3.14 แสดงรูปแบบการตรวจสอบปริมาณทองแดงในเหล็กกล้าคาร์บอน

(ก) ชิ้นงานเชื่อมในร่องยูบนผิวหน้าเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยลวดเชื่อมทองแดง

(ข) ชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับทองแดงบริสุทธิ์แบบต่อชน

3. หลังจากนั้นนำภาพถ่ายที่ได้เข้าซอฟต์แวร์ Scientis เพื่อวัดปริมาณทองแดงในเหล็กกล้าคาร์บอนที่ระยะต่างๆ ด้วยโมดูล Percent Area โดยใช้หลักการแยกความแตกต่างของความเข้มของสีในแต่ละเฟส (Phase) ในภาพถ่ายโครงสร้าง ซึ่งจากตัวอย่างภาพถ่ายในงานวิจัยนี้เห็นว่าเฟสของทองแดงมีความเข้มสีต่ำกว่าเฟสของเหล็กกล้าคาร์บอน ดังแสดงในรูปที่ 3.15 (ก) ผู้วิจัยจึงทำการ Threshold บริเวณเฟสทองแดง ดังแสดงในรูปที่ 3.15 (ข) เพื่อให้ซอฟต์แวร์ Scientis ทำการวัดปริมาณเฟสทองแดงที่ทำการ Threshold ไว้ต่อไป ทั้งนี้ เปรอเซ็นความถูกต้องสัมพัทธ์ (%Relative Accuracy) ในแต่ละ

ระยะเวลาตรวจสอบต้องมีค่าน้อยกว่า 10 อันหมายถึงข้อมูลที่ได้ในแต่ละการตรวจสอบมีความน่าเชื่อถือได้



รูปที่ 3.15 แสดง (ก) แสดงภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคบริเวณโลหะฐานเหล็กกล้าคาร์บอนจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสง
 (ข) แสดงภาพการ Threshold เฟสทองแดงด้วยโมดูล Percent Area ในซอฟต์แวร์ Scientis