

การสร้างชั้นผิวเคลือบอะลูมิเนียมผสมบนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C
ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สคลุม

ALUMINUM ALLOY CLADDING ON S45C CARBON STEEL SURFACE
BY GAS TUNGSTEN ARC WELDING PROCESS

ประจักษ์ บัวอาจ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การสร้างชั้นผิวเคลือบอะลูมิเนียมผสมบนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C
ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สคลุม



ประจักษ์ บัวอาจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสร้างชั้นผิวเคลือบอะลูมิเนียมผสมบนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C
ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สคลุม
Aluminum Alloy Cladding on S45C Carbon Steel Surface by Gas
Tungsten Arc Welding Process

ชื่อ - นามสกุล

นายประจักษ์ บัวอาจ

สาขาวิชา

วิศวกรรมการผลิต

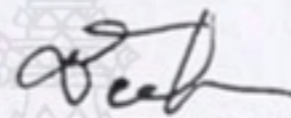
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.

ปีการศึกษา

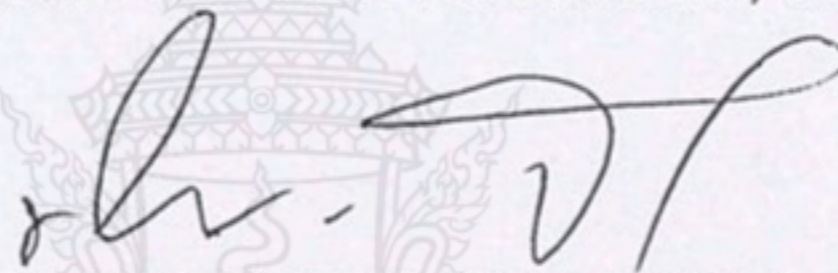
2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



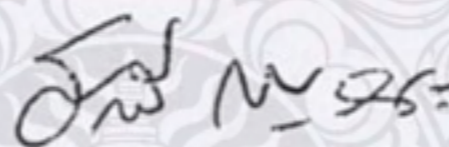
ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยยะ ปราณีตพลกรัง, D.Eng.)



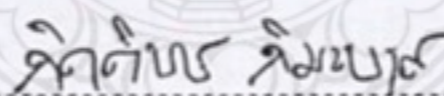
กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทน์มณี, Ph.D.)



กรรมการ

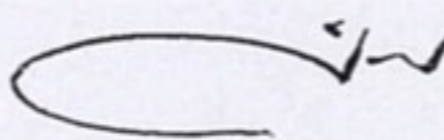
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระพี กาญจนะ, D.Eng.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 12 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2563

| | |
|-------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การสร้างชั้นผิวเคลือบอะลูมิเนียมผสมบนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม |
| ชื่อ-นามสกุล | นายประจักษ์ บัวอาจ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมการผลิต |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D. |
| ปีการศึกษา | 2562 |

บทคัดย่อ

กระบวนการเชื่อมเป็นหนึ่งในวิธีการเชื่อมที่มีประสิทธิภาพในการเติมชั้นโลหะบนพื้นผิวที่เสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเกษตรซึ่งเกิดการเสียหายขณะถูกนำไปใช้งาน ด้วยเหตุนี้การหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่มีความเหมาะสมสามารถทำให้เกิดการปรับปรุงสมบัติทางกลของพื้นผิวที่เสียหายจึงเป็นหัวข้อสำคัญที่มีการดำเนินการต่อเนื่องเพื่อยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรการสร้างชั้นผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม

วัสดุในการทดลอง คือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง JIS-S45C ทรงกระบอกกลวงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 135 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 85 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร โลหะเชื่อมพอกแข็งถูกสร้างขึ้นบนพื้นผิวภายนอกของทรงกระบอกด้วยการเชื่อมทิกและลวดเชื่อมอะลูมิเนียม ตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วยกระแสเชื่อม 170 - 200 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนว 100 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการป้อนลวด 200 - 800 มิลลิเมตรต่อนาที และจำนวนแนวเชื่อมอะลูมิเนียม 1 - 3 ชั้น ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมถูกเตรียมด้วยวิธีการทางกลเพื่อตรวจสอบความแข็ง ความต้านทานการสึกหรอ และโครงสร้างมหภาคและจุลภาค

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมให้ความแข็งสูงสุด 846.3 วิกเกอร์สเกล และเปอร์เซ็นต์การที่สูญเสียน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 1.04 เปอร์เซ็นต์ พบได้ว่าการเชื่อมทับแนว 2 ชั้น กระแสเชื่อม 190 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนว 100 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการป้อนลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที การเพิ่มกระแสเชื่อมและจำนวนชั้นในการเชื่อมทับแนวมีแนวโน้มทำให้ความแข็งของชั้นผิวสัมผัสระหว่างอะลูมิเนียมและพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้น การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของผิวสัมผัสรอยต่อแสดงการก่อตัวของสารประกอบกึ่งโลหะระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียมทำให้ความแข็งของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อมีความแข็งและต้านทานการสึกหรอสูง

คำสำคัญ : ชั้นผิวเคลือบอะลูมิเนียม เหล็กกล้าคาร์บอน S45C การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม

| | |
|-----------------------|--|
| Thesis Title | Aluminum Alloy Cladding on S45C Carbon Steel Surface by Gas Tungsten Arc Welding Process |
| Name – Surname | Mr. Prajak Buaart |
| Program | Manufacturing Engineering |
| Thesis Advisor | Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D. |
| Academic Year | 2019 |

ABSTRACT

The welding process is an effective repair process for adding a metal layer on a worn surface of an agricultural machinery part that was damaged from use. Therefore, it is important to find the optimal welding process parameters that can improve the mechanical properties of a worn surface in order to continuously prolong the service time of the machinery parts. This work aimed to study the effect of an aluminum cladding parameter on a S45C carbon steel surface properties by using gas tungsten arc welding.

The material used in this experiment was a hollowed cylindrical shape of JIS - S45C medium carbon steel which had an outer diameter of 135 mm, an inner diameter of 85 mm, and a length of 100 mm. An aluminum weld metal was produced on the outer surface of the cylinder by using gas tungsten arc welded with an aluminum wired electrode. The welding process parameters were welding currents of 170 - 200 A, a welding speed of 100 mm/min, wire feed rates of 200 - 800 mm/min, and the single, double and triple welding layers of aluminum. The welded specimens were mechanically prepared and investigated for hardness, wear resistance, and macro/micro structure.

The summarized experiment results are as follows. The welding parameter was optimized with a maximum hardness of 846.3 HV and a weight loss of 1.04 percent when testing the double welding layers at the welding current of 190 A, the welding speed of 100 mm/min, and the wire feed rate of 200 mm/min. Increasing the welding current and the number of overlapping layers tended to increase the hardness of the aluminum cladding on the carbon steel surface. A chemical composition analysis of the joint interface showed that the formation of Fe-Al intermetallic compound which tended to increase hardness and wear resistance of the joint interface.

Keywords: aluminum cladding, S45C carbon steel, gas tungsten arc welding

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยยะ ประณีตพลกรัง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระพี กาญจนะ คณะกรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทน์มณี ผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งให้คำแนะนำความรู้และข้อคิดเห็น ตลอดจนการแก้ไขข้อบกพร่องและปัญหาต่างๆ ต่อ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบุคลากร สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี แผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคอ่างทอง และแผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคชัยนาท ที่สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ และให้ความช่วยเหลือ ตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา บ่มเพาะจนสามารถนำเอาหลักการวิชาความรู้มาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ คุณค่าอันพึงมีจาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และท่านผู้มีพระคุณทุกท่าน

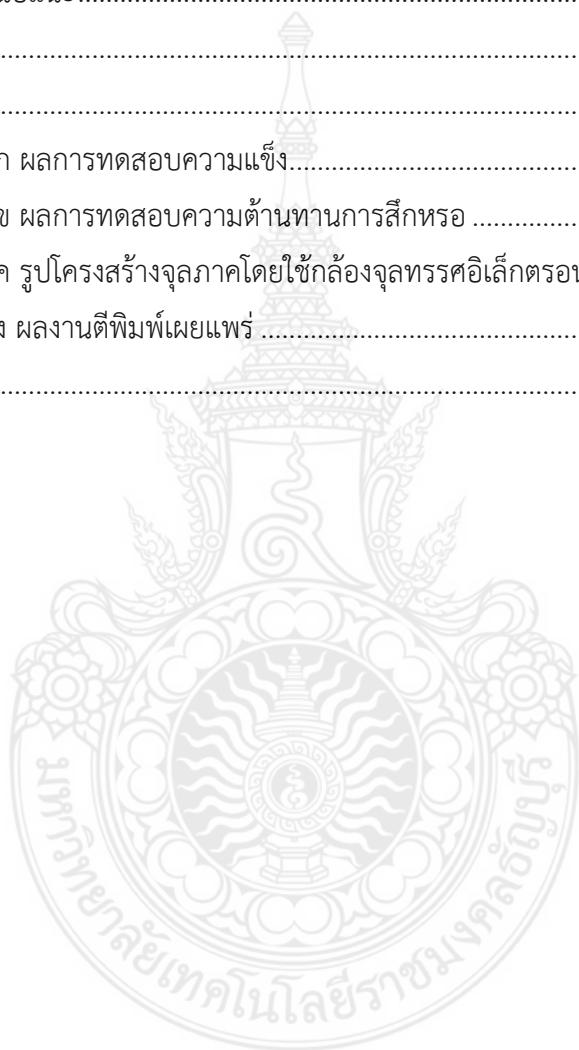
ประจักษ์ บัวอาจ

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | 3 |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | 4 |
| กิตติกรรมประกาศ..... | 5 |
| สารบัญ..... | 6 |
| สารบัญตาราง..... | 8 |
| สารบัญรูปภาพ..... | 9 |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... | 13 |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 14 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 16 |
| 1.2 จุดประสงค์การวิจัย..... | 17 |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษาการวิจัย..... | 17 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 18 |
| บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 19 |
| 2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง..... | 19 |
| 2.2 กระบวนการเชื่อม..... | 23 |
| 2.3 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน..... | 28 |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 32 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย..... | 35 |
| 3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง..... | 36 |
| 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง..... | 37 |
| 3.3 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน..... | 41 |
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 49 |
| 4.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมและอัตราการเติมลวดโดยการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสกลุ่มที่มีผลต่อสมบัติของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอน S45C..... | 49 |
| 4.2 อิทธิพลการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสกลุ่มทับแนวที่มีผลต่อคุณสมบัติของชั้นผิวสัมผัสระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอน S45C..... | 64 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 78 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 78 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 79 |
| บรรณานุกรม..... | 80 |
| ภาคผนวก..... | 86 |
| ภาคผนวก ก ผลการทดสอบความแข็ง..... | 87 |
| ภาคผนวก ข ผลการทดสอบความต้านทานการสึกหรอ | 93 |
| ภาคผนวก ค รูปโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) | 95 |
| ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ | 97 |
| ประวัติผู้เขียน | 112 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าตาม AISI และ ASME..... | 21 |
| ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์และส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้ามาตรฐาน JIS G4051..... | 22 |
| ตารางที่ 2.3 การแบ่งชนิดของลวดทังสเตนและส่วนผสมของลวดทังสเตน | 27 |
| ตารางที่ 2.4 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมอะลูมิเนียม AWS.A5.10 ER1100..... | 28 |
| ตารางที่ 2.5 น้ำยากัดผิวชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E407-99 | 32 |
| ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน S45C (%น้ำหนัก)..... | 36 |
| ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมอะลูมิเนียม AWS.A5.10 ER1100..... | 38 |
| ตารางที่ 3.3 การออกแบบตัวแปรการเชื่อม..... | 40 |



สารบัญรูป

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 1.1 รถเกี่ยวขนาดข้าว | 14 |
| รูปที่ 1.2 ตำแหน่งการสึกหรอของลูกโรเลอร์ | 15 |
| รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอน ความแข็ง และความแข็งแรง | 20 |
| รูปที่ 2.2 วิธีการเชื่อมทิก | 23 |
| รูปที่ 2.3 ลักษณะปลายลวดทั้งสแตน | 26 |
| รูปที่ 2.4 ลวดเชื่อมอะลูมิเนียม | 28 |
| รูปที่ 2.5 เครื่องทดสอบการสึกหรอที่สร้างขึ้นตาม ASTM G65 | 29 |
| รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะรอยกัดจากหัวเพชรของ Vickers Hardness Test | 29 |
| รูปที่ 2.7 การเตรียมชิ้นงานทดสอบโครงสร้างจุลภาค | 30 |
| รูปที่ 2.8 การขัดผิวชิ้นทดสอบ | 31 |
| รูปที่ 3.1 ภาพรวมการดำเนินการโครงการ | 35 |
| รูปที่ 3.2 วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน S45C | 36 |
| รูปที่ 3.3 รูปร่างของชิ้นทดสอบ (หน่วย: มิลลิเมตร) | 36 |
| รูปที่ 3.4 อุปกรณ์จับยึดและควบคุมความเร็วในการเชื่อม | 37 |
| รูปที่ 3.5 เครื่องเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สคลุม | 38 |
| รูปที่ 3.6 ลวดเชื่อมอะลูมิเนียม AWS.A5.10 ER1100 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มม. | 38 |
| รูปที่ 3.7 การเชื่อมลักษณะแบบหมุน | 39 |
| รูปที่ 3.8 รูปแบบแนวเชื่อม | 39 |
| รูปที่ 3.9 รูปแบบการเชื่อมซ้อนแนว | 40 |
| รูปที่ 3.10 การวางแผนการตัดชิ้นงานทดสอบ | 41 |
| รูปที่ 3.11 ขนาดชิ้นงานทดสอบความต้านทานการสึกหรอ | 42 |
| รูปที่ 3.12 ชิ้นงานตัดขวางที่ผ่านการขัดและกัดกรดผิวหน้าเรียบร้อยแล้ว | 43 |
| รูปที่ 3.13 กระบวนการปาดผิวชิ้นงานโดยใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี | 43 |
| รูปที่ 3.14 เครื่องการทดสอบความต้านทานการสึกหรอ | 44 |
| รูปที่ 3.15 เครื่องวัดความแข็งไมโครวิกเกอร์ส์ | 45 |
| รูปที่ 3.16 การทดสอบความแข็งแนวเชื่อมพอกแข็ง 1 แนว | 45 |
| รูปที่ 3.17 การทดสอบความแข็งแนวเชื่อมพอกแข็ง ชั้นที่ 1-3 | 45 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 3.18 แสดงการวัดขนาดแนวเชื่อมระดับมหภาค..... | 46 |
| รูปที่ 3.19 กล้องจุลทรรศน์ (Micro Capture) | 46 |
| รูปที่ 3.20 กล้องจุลทรรศน์ (Optical Micro Scope)..... | 47 |
| รูปที่ 3.21 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)..... | 48 |
| รูปที่ 4.1 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที..... | 49 |
| รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการวัดขนาดและการเปรียบเทียบส่วนต่างๆของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติม ลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้กระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์..... | 51 |
| รูปที่ 4.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติม ลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้กระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์..... | 51 |
| รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบขนาดความกว้างของผิวสัมผัสรอยต่อที่ใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้ความกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ | 38 |
| รูปที่ 4.6 ตำแหน่งการทดสอบและผลการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อมใช้อัตราการเติม ลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้ความกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ | 52 |
| รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบความแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอย ต่อของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์..... | 53 |
| รูปที่ 4.7 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที..... | 54 |
| รูปที่ 4.8 ตำแหน่งการวัดขนาดและการเปรียบเทียบส่วนต่างๆของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติม ลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และใช้กระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ | 54 |
| รูปที่ 4.9 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมบริเวณรอยต่อแนวเชื่อมที่ใช้ความเร็วการเติม ลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์..... | 55 |
| รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบขนาดความกว้างของผิวสัมผัสรอยต่อโดยใช้อัตราการเติมลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ | 55 |
| รูปที่ 4.11 ตำแหน่งการทดสอบและผลการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม ที่ใช้อัตราการเติม ลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ | 56 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์..... | 57 |
| รูปที่ 4.13 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที | 58 |
| รูปที่ 4.14 ตำแหน่งการวัดขนาดและการเปรียบเทียบส่วนต่างๆของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวดความเร็วในการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อมที่ต่างกัน | 58 |
| รูปที่ 4.15 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมบริเวณรอยต่อแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และใช้กระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์..... | 59 |
| รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบขนาดความกว้างของผิวสัมผัสรอยต่อที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ | 59 |
| รูปที่ 4.17 ตำแหน่งการทดสอบและผลการทดสอบความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อม ที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ | 60 |
| รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์..... | 61 |
| รูปที่ 4.19 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที | 62 |
| รูปที่ 4.20 ตำแหน่งการวัดขนาดและการเปรียบเทียบส่วนต่างๆของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที..... | 62 |
| รูปที่ 4.21 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมบริเวณรอยต่อแนวเชื่อม ที่ใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ | 63 |
| รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบขนาดความกว้างของผิวสัมผัสรอยต่อที่ใช้ความเร็วการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์..... | 63 |
| รูปที่ 4.23 ตำแหน่งการทดสอบและผลการทดสอบความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อม ที่ใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ | 64 |
| รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์..... | 65 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงบริเวณชั้นผิวสัมผัสรอยต่อของแนวเชื่อมที่ใช้ความเร็วในการเติมลวด 200 – 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 – 200 แอมแปร์..... | 66 |
| รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อของแนวเชื่อมที่ใช้ความเร็วอัตราการเติมลวด 200-800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 – 200 แอมแปร์ | 66 |
| รูปที่ 4.27 ความเสียหายของแท่งทังสเทนเนื่องจากการใช้กระแสสูงในการเชื่อม | 67 |
| รูปที่ 4.28 รอยแตกร้าวแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 400 และ 600 มิลลิเมตรต่อนาที..... | 68 |
| รูปที่ 4.29 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมทับแนวเคลือบผิว 1-3 ชั้น..... | 69 |
| รูปที่ 4.30 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมโดยใช้การเชื่อมทับแนว 1 ชั้น..... | 70 |
| รูปที่ 4.31 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมโดยใช้การเชื่อมทับแนว 2 ชั้น..... | 71 |
| รูปที่ 4.32 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมโดยใช้การเชื่อมทับแนว 3 ชั้น..... | 71 |
| รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งแรงของเนื้อโลหะเชื่อม และชั้นผิวสัมผัสรอยต่อ ที่จำนวนชั้นการเชื่อมทับแนวต่างกัน 1- 3 ชั้น | 72 |
| รูปที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อและเนื้อโลหะเชื่อม ที่จำนวนชั้นการเชื่อมทับแนวต่างกัน 1- 3 ชั้น | 73 |
| รูปที่ 4.35 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อที่เชื่อมทับแนว 1- 3 ชั้น..... | 73 |
| รูปที่ 4.36 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของธาตุ ที่จำนวนชั้นการเชื่อมทับแนวต่างกัน 1- 3 ชั้น | 74 |
| รูปที่ 4.37 ตำแหน่งการทดสอบและส่วนผสมทางเคมี ของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมทับแนว 1 ชั้น ... | 75 |
| รูปที่ 4.38 ตำแหน่งการทดสอบและส่วนผสมทางเคมี ของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมทับแนว 2 ชั้น ... | 76 |
| รูปที่ 4.39 ตำแหน่งการทดสอบและส่วนผสมทางเคมี ของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมทับแนว 3 ชั้น ... | 76 |
| รูปที่ 4.40 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงของผิวสัมผัสรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กและปริมาณธาตุอะลูมิเนียมที่ผสม..... | 77 |

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

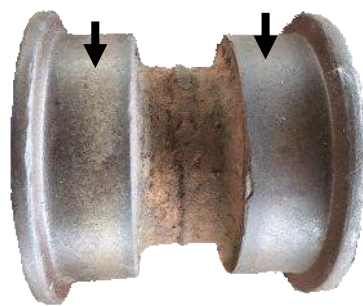
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเกษตรมีบทบาทในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก เนื่องจากพืชผลทางการเกษตรมีความต้องการอย่างต่อเนื่อง การเกษตรเป็นเสมือนกระดูกสันหลังของชาติ ที่ต้องสร้างให้เข้มแข็ง และจะเป็นหลักในการผลักดันการฟื้นฟูและเจริญเติบโตของเศรษฐกิจไทยแบบยั่งยืน และไม่กระจุกตัว ภาคเกษตรเข้มแข็งจะสนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจชนบทและลดความเหลื่อมล้ำในสังคม [1] การปลูกข้าวในประเทศไทยมีความเป็นเสถียรภาพสามารถทำการปลูกข้าวเพื่อใช้บริโภคในปริมาณมากและสามารถส่งข้าวออกขายในระดับต้นของโลก อย่างไรก็ตามในการผลิตข้าวของประเทศไทยเพื่อทำให้เกิดการวิจัยและพัฒนาช่วยส่งเสริมข้าวไทยเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์การวิจัยรายประเด็นเรื่องข้าว ยุทธศาสตร์การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของข้าวไทยในตลาดโลก [2] และสอดคล้องกับการยกระดับอุตสาหกรรมไทยสู่อุตสาหกรรม 4.0 เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมกลุ่มที่ 1 คืออุตสาหกรรมเดิมที่มีศักยภาพในการต่อยอด (First S-Curve) [3] เกษตรกรต้องมีการปรับตัวในการนำเอานวัตกรรมผลิตภัณฑ์ (Product innovation) และนวัตกรรมกระบวนการ (Process innovation) เข้ามาใช้ในการช่วยในการผลิต เช่น การใช้เครื่องจักรกลเกษตรที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีในขั้นตอนการผลิตข้าวเริ่มต้นจากการเตรียมดินจนได้เมล็ดข้าวสารพร้อมในการจำหน่าย หรือการพัฒนาขั้นตอนในการบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อให้เครื่องจักรกลเกษตรสามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้นอันจะส่งผลทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงได้ การพัฒนานวัตกรรมเพื่อใช้ในการผลิตข้าวนี้ส่งผลทำให้อุตสาหกรรมการผลิตอาหารของประเทศมีความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจและสามารถแข่งขันได้อย่างยั่งยืนในตลาดโลกได้ [4]



รูปที่ 1.1 รถเกี่ยวนวดข้าว [5]



รูปที่ 1.2 ตำแหน่งการสึกหรอของลูกโรลเลอร์

ปัญหาของเกษตรกรและผู้ประกอบการรถเกี่ยวและนวดข้าวในประเทศไทย ปัจจุบันทำให้มีการพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตรอย่างมากมายเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรเช่น การเตรียมดินในการเพาะปลูกไปจนถึงขั้นตอนการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ทันเวลาในฤดูการขายผลิตผลและผลกระทบต่อจากภัยธรรมชาติ เครื่องจักรกลทางการเกษตรเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับเกษตรกร โดยทั่วไปแล้วใช้โลหะเป็นส่วนประกอบหลัก ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทางการเกษตรบางชิ้นส่วนทำหน้าที่เป็นตัวส่งกำลังในการขับเคลื่อนซึ่งทำให้มีการเคลื่อนที่และเกิดการเสียดสีตลอดเวลา ซึ่งมีการเสียดสีกันในระหว่างการใช้งานและเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นปัญหาเบื้องต้นที่จะก่อให้เกิดการเสียหายของชิ้นส่วนต่างๆ และนำไปสู่การชำรุดเสียหายไม่สามารถใช้งานต่อได้ เครื่องเกี่ยวและนวดข้าวดังรูปที่ 1.1 เป็นเครื่องจักรกลเกษตรชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อช่วยการผลิตในพื้นที่การปลูกข้าวในประเทศไทย เนื่องจากเครื่องจักรนี้สามารถลดเวลาในการทำงานและทำให้เวลาในการผลิตเมล็ดข้าวสารนั้นสั้นลงได้ ในการสำรวจพื้นที่กรณีตัวอย่างการปลูกข้าวในจังหวัดอ่างทองและสุพรรณบุรีซึ่งเป็นพื้นที่ที่การปลูกข้าวในปริมาณสูง พบว่าพื้นที่การเพาะปลูกข้าวส่วนใหญ่นิยมใช้เครื่องเกี่ยวและนวดข้าวในการเก็บเกี่ยว และเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวทั้งหมดเป็นเครื่องจักรกลเกษตรที่มีการผลิตใช้เองในประเทศไทยไม่ได้พึ่งพาเครื่องเกี่ยวและนวดข้าวจากต่างประเทศที่มีราคาสูง อย่างไรก็ตามปัญหาการชำรุดและความต้องการการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอเป็นสิ่งที่เกษตรกรต้องมีการพัฒนาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการชำรุดของชิ้นส่วนที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลต่อการเพิ่มต้นทุนการผลิตข้าวในระยะยาว รายงานผลการสำรวจความเสียหายของชิ้นส่วนรถเกี่ยวและนวดข้าวเพื่อหาวิธีการป้องกันและการบำรุงรักษานั้น พบว่าชิ้นส่วนที่มีความเสียหายสูงในระดับต้น คือ ลูกโรลเลอร์ที่มีรูปร่างและตำแหน่งการสึกหรอของพื้นผิวโลหะดังรูปที่ 1.2 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ในการประคองดินตะขาบในการเคลื่อนที่ทำการเก็บเกี่ยวข้าว การหลุดออกไปของพื้นผิวโลหะเนื่องจากการสึกหรอนี้ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการขับเคลื่อนลดลง ที่ผ่านมามีเมื่อเกษตรกรเปลี่ยนลูกโรลเลอร์ใหม่เข้าแทนที่ลูกโรลเลอร์เก่าที่ชำรุด ลูกโรลเลอร์เก่าจะถูกทิ้งเป็นขยะและจะไม่นำกลับมาใช้ใหม่ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาลูกโรลเลอร์เก่าที่ชำรุดแล้วพบว่า นอกจากการสึกหรอ

ของโลหะที่บริเวณพื้นผิวของลูกโรลเลอร์แล้ว กลไกการทำงานอื่นๆของลูกโรลเลอร์นี้สามารถทำงานได้ต่อไป ดังนั้นหากนำลูกโรลเลอร์กลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งโดยการเพิ่มพื้นผิวโลหะเข้าไปในตำแหน่งดังกล่าวอาจสามารถทำให้เกิดการลดต้นทุนในการผลิตซ้ำได้ [6, 7]

การเชื่อมเป็นหนึ่งในวิธีการซ่อมพื้นผิวของโลหะที่เกิดการเสียหายหรือชำรุดที่มีความนิยมสูงในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากการเชื่อมสามารถประยุกต์ใช้กับตำแหน่งที่เกิดการชำรุดเฉพาะจุดที่เสียหาย ที่ผ่านมามีเทคนิคการเชื่อมซ่อม (Welding repair) ที่สามารถสร้างและปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวที่เกิดการชำรุดต่างๆ เช่น การเชื่อมอาร์กโลหะหุ้มฟลักซ์ (Shielded metal arc welding: SMAW) [8] การเชื่อมเลเซอร์ (Laser welding: LW) [9] การเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม (Gas tungsten arc welding: GTAW) [10, 11] หรือการเชื่อมอาร์กพลาสมา [12, 13] เป็นต้น นอกจากนี้การเชื่อมต่างๆ ที่ประยุกต์ในการเชื่อมโลหะเติม (Filler metal) ที่ใส่เข้าไปในขั้นตอนการอาร์กเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดสมบัติทางกลที่แตกต่างกัน โลหะเติมที่ใส่เข้าไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่เติมโลหะที่ก่อให้เกิดเฟสเสริมความแข็ง เช่น การเติมเพื่อให้เกิดคาร์ไบด์ที่มีความแข็งขนาดเล็ก ละเอียด และกระจายตัวสม่ำเสมอในโลหะเชื่อมในโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อม (Weld metal) [14 -19] หรือกลุ่มที่ทำให้เกิดโลหะไนโครด์ [20] และกลุ่มของโลหะที่เติมลงไปแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เช่นการเกิดโครงสร้างเฟสไลท์และเบนไนท์ละเอียด [21] โครงสร้างยูเทคติกขนาดเล็กกระจายตัวในโลหะเชื่อมเพื่อทำให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของโลหะเชื่อมที่ได้มีค่าความแข็ง [8, 22] เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งเฉลี่ยของเฟสสารประกอบที่ก่อตัวขึ้นในชั้นโลหะเชื่อมพอกแข็งเหล่านี้กับเฟสสารประกอบอื่นๆ ที่สามารถสร้างขึ้นด้วยบวมผิวเหล็กพบว่าเฟสสารประกอบระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็กและเฟสสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นเฟสที่มีความแข็งและยึดหยุ่นสูง ในรายงานผลการทดลองการเกิดโครงสร้างเฟสสารประกอบระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียม พบว่าสารประกอบที่เกิดการก่อตัวบนผิวสัมผัส (Interface) ระหว่างเหล็กซึ่งเป็นโลหะฐานและอะลูมิเนียมที่เป็นโลหะผิวเคลือบ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีเหล็กผสมสูง (Fe-rich alloy) ประกอบด้วย Fe_3Al และ $FeAl$ ซึ่งมีสมบัติในการต้านทานการสึกหรอสูง ความต้านทานกัดกร่อนสูง มีสมบัติความแข็งแรงจำเพาะดีเยี่ยม และกลุ่มที่มีอะลูมิเนียมสูง (Al-rich alloy) ที่ประกอบด้วย $FeAl_2$ Fe_2Al_5 และ $FeAl_3$ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความแข็งสูงมากและมีความเปราะ ความแข็งของเฟสสารประกอบทั้งสองกลุ่มนี้มีค่าความแข็งระหว่าง 600-1000 HV [23] ซึ่งเป็นค่าที่มีความแข็งสูงกว่าโลหะเชื่อมที่ทำให้เกิดเฟสคาร์ไบด์และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอในการรายงานผลการวิจัยข้างต้น ดังนั้นการประยุกต์ผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนพื้นผิวลูกโรลเลอร์จึงเป็นหัวข้อวิจัยที่มีความเป็นไปได้ในการเพิ่มสมบัติทางกลได้ ที่ผ่านมามีการสร้างผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนพื้นผิวเหล็กสามารถทำได้โดยกระบวนการต่างๆ เช่น การจุ่มชุบลงในอะลูมิเนียมหลอมเหลว (Hot dip) [24-25] การสปาร์กด้วย

ไฟฟ้า [26] การเชื่อมเลเซอร์ [27, 28] การพ่นเคลือบ (Thermal spray) [29] การเคลือบด้วยวิธีสปัตเตอร์ริง (Sputtering coating method) [30] การเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating) [31] การเคลือบผิวด้วยไอเคมี (Chemical vapour deposition: CVD) [32] การเชื่อมเสียดทาน (Friction welding) [33] หรือการหล่อ [34] เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณากระบวนการสร้างพื้นผิวและโลหะฐานที่ใช้ในการสร้างพื้นผิวเคลือบแล้ว พบว่ากระบวนการเหล่านี้เหมาะสำหรับการเคลือบบนผิวโลหะใหม่เท่านั้น หากต้องการซ่อมแซมพื้นผิวที่มีการสึกหรอผลการทดลองที่ได้อาจมีความแตกต่างได้

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ มีแนวคิดว่าการศึกษานิวเคลียร์เพื่อการพัฒนาการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลและอลูมิเนียมที่สามารถก่อให้เกิดสารประกอบต่างๆ ที่สามารถปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวลูกโรลเลอร์ เช่น ชั้นผิวเคลือบโลหะผสมที่มีความแข็งแรงสูงและต้านทานการกัดกร่อนได้ดี และสารประกอบระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียมซึ่งมีความแข็งแรงและความต้านทานการสึกหรอสูง การเชื่อมดังกล่าวสามารถส่งผลทำให้ลดต้นทุนการซ่อมบำรุงรถเกี่ยวและนวดข้าว สามารถยืดอายุการใช้งานลูกโรลเลอร์ที่เกิดการพังทลาย นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้สามารถเผยแพร่เข้าสู่กลุ่มผู้ใช้งาน กลุ่มช่างซ่อมบำรุง และผู้เกี่ยวข้องได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีจุดประสงค์ในการเชื่อมซ่อมผิวลูกโรลเลอร์ที่เสียหายด้วยการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลและใช้อลูมิเนียมบริสุทธิ์ เพื่อหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการเขียนข้อกำหนดเฉพาะการเชื่อม (Welding procedure specification) สำหรับการเชื่อมซ่อมลูกโรลเลอร์ ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นทางเลือกของเกษตรกรและช่างซ่อมบำรุงรถเกี่ยวและนวดข้าว และส่งผลการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรของประเทศต่อไป

1.2 จุดประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลที่มีผลต่อสมบัติทางกลของชั้นผิวอะลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C

1.2.2 ศึกษาและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของชั้นผิวอะลูมิเนียมบนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C

1.3 ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้าวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาค้นคว้าตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีลที่มีผลต่อสมบัติทางกลของชั้นผิวอะลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C มีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาดังนี้

1.3.1 ชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ทรงกระบอกกลวง

1.3.2 ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสตีล (Gas tungsten arc welding: GTAW)

โดยประยุกต์ให้เป็นแบบอัตโนมัติ

- 1.3.3 ลวดเชื่อมกลุ่มอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ AWS A5.10 ER1100
- 1.3.4 ตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วย
 - 1) ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที
 - 2) กระแสเชื่อม 170, 180, 190 และ 200 แอมแปร์
 - 3) อัตราการเติมลวด 200, 400, 600 และ 800 มิลลิเมตรต่อนาที
 - 4) จำนวนชั้นการเชื่อมทับแนว 1 ชั้น, 2 ชั้น และ 3 ชั้น
- 1.3.5 ศึกษาสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบความต้านทานการสึกหรอและทดสอบความแข็ง
- 1.3.6 ศึกษาโครงสร้างมหภาคโครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเคมี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในการสร้างชั้นผิวอะลูมิเนียมบนเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม
- 1.4.2 ทราบถึงโครงสร้างทางโลหวิทยาและสมบัติทางกลของชั้นผิวอะลูมิเนียมบนเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม
- 1.4.3 เป็นทางเลือกในการเชื่อมซ่อมบำรุงชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมอีกทางเลือกหนึ่ง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอน [35] เป็นเหล็กกล้าที่มีการนำมาใช้มากที่สุด อาจมีปริมาณมากกว่า 90% และเป็นเหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของคาร์บอนเป็นส่วนผสมหลัก จึงไม่มีส่วนผสมอื่นอยู่ หรือมีก็น้อยมากเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าแบบอื่น ๆ ด้วยเหตุนี้จึงมีราคาที่ถูกกว่าเหล็กกล้าชนิดอื่น ๆ เหล็กกล้าคาร์บอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

2.1.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เป็นเหล็กกล้าที่นำมาใช้งานทั่ว ๆ ไป จึงมีการนำมาใช้มากที่สุด คาร์บอนที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กมีผสมอยู่ประมาณ 0.05% - 0.35% เมื่อธาตุคาร์บอนมีผสมอยู่น้อยทำให้มันมีความแข็ง และความแข็งแรงแรงไม่มาก ตัวเหล็กกล้าสามารถนำมาแปรรูปด้วยเครื่องมือกล เช่น กลึง, กัด, ใส ได้ง่าย คุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีดังนี้

- 1) มีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.05-0.35%
- 2) มีความแข็งแรงแรงน้อยเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าอื่น ๆ
- 3) มีความแข็งน้อยเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าอื่น ๆ
- 4) แปรรูป และขึ้นรูปผ่านเครื่องมือกลได้ง่าย
- 5) ราคาถูกกว่าเหล็กกล้าอื่น ๆ
- 6) ผลิตออกมาใช้งานมากที่สุด

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นเหล็กที่มีราคาไม่แพง ทำให้เป็นที่นิยมนำมาใช้มาก ตัวอย่างการนำมาใช้งานเช่น ลวด, ส่วนประกอบยานยนต์, แผ่นเหล็กกลาไนซ์ (Galvanized sheet: เหล็กที่เคลือบสังกะสีเพื่อกันสนิม), ถังเก็บน้ำ, ท่อเหล็กขนาดใหญ่, เหล็กโครงสร้างอาคาร และชิ้นส่วนโครงสร้างภายในเรือ หรือยานพาหนะต่าง ๆ ฯลฯ

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีความแข็ง และความแข็งแรงแรงน้อย (แต่ก็มีมากพอที่จะนำมาทำงานได้) เมื่อเทียบกับเหล็กกล้าอื่น ๆ การนำมาใช้งานถ้าไม่ต้องการความแข็ง และความแข็งแรงแรงมาก เหล็กกล้าชนิดนี้สามารถนำมาใช้งานได้อย่างดี การที่ต้องการให้รับภาระได้มากขึ้น ก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบทางโครงสร้างก็จะมีส่วนช่วยได้มาก

2.1.1.2 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เป็นเหล็กกล้าที่มีความแข็ง และความแข็งแรงแรงเพิ่มขึ้นกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางมีส่วนผสมของคาร์บอนอยู่ในเนื้อเหล็กประมาณ 0.35% ถึง 0.50% เมื่อเหล็กกล้าชนิดนี้ผ่านการปรับสภาพทางความร้อน (Heat treatment) แล้ว มันค่อนข้างจะแข็ง และแรงแรง เหล็กกล้าชนิดนี้มักจะนำไปทำการการตีขึ้นรูป

(Forgings) ตัวอย่างการนำไปใช้งาน อาทิเช่น ประแจขันสลักเกลียวต่าง ๆ, แกนล้อ, แกนเพลลา, เพลลาข้อเหวี่ยง (Crankshafts) และเฟือง ฯลฯ คุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางมีดังนี้

- 1) มีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.35% ถึง 0.50%
- 2) มีความแข็ง และความแข็งแรงแรงเพิ่มขึ้นหลังจากผ่านการปรับสภาพ

ทางความร้อน

- 3) มีราคาที่สูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

2.1.1.3 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง เป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนผสมอยู่สูง คือมีคาร์บอนอยู่ในเนื้อเหล็กมากกว่า 0.50% หรืออาจมีมากกว่า 1% เลยก็ได้ (แต่ไม่เกิน 2% เพราะเหล็กจะกลายเป็นเหล็กหล่อ) ถ้าเหล็กกล้าชนิดนี้ผ่านการปรับสภาพทางความร้อนจะทำให้มีความแข็ง และความแข็งแรงแรงที่สูงมาก

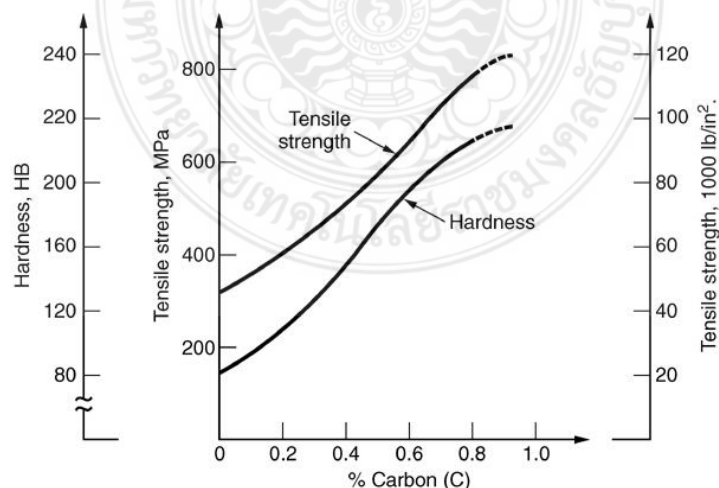
ข้อเสียของความแข็งที่มีมากในเหล็กกล้าชนิดนี้ก็คือ เมื่อเหล็กถูกแรงกระทำค่าหนึ่งจนเสียรูปไป การแตกร้าว และการพังเสียหายก็จะเกิดขึ้นในเนื้อเหล็กได้ง่าย หรือกลายเป็นวัสดุที่เปราะไปเลย เหล็กกล้าคาร์บอนสูงนี้นิยมนำมาใช้งาน เช่น นำมาทำเครื่องมือ, ทำแม่พิมพ์ (Dies), มีดตัดงานบางอย่างของเครื่องมือกล, ล้อ กับรางรถไฟ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องการความแข็งสูง

คุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางมีดังนี้

- 1) มีคาร์บอนผสมอยู่ในเนื้อเหล็ก 0.50 – 1.00+%
- 2) ให้ความแข็งและความแรงแรงสูงหลังจากผ่านการปรับสภาพทาง

ความร้อน

- 3) มีราคาที่สูงที่สุดในบรรดาเหล็กกล้าคาร์บอน



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอน ความแข็ง และความแข็งแรง [36]

อย่างไรก็ตามการแบ่งแยกชนิดของเหล็ก โดยใช้แผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์ไบด์นั้นเป็นการแบ่งแยกโดยการยึดเอาโครงสร้างจุลภาคเป็นหลัก ซึ่งเป็นวิธีการที่ค่อนข้างลำบากสำหรับวิศวกรในการนำไปใช้งานจริง ด้วยเหตุนี้สมาคมเหล็กและเหล็กกล้าแห่งอเมริกา (American Iron and Steel Institute: AISI) และสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งอเมริกา (American Society of Mechanical Engineering: ASME) จึงได้คิดค้นระบบในการแบ่งกลุ่มเหล็กกล้าในการนำไปใช้งานโดยการกำหนดตัวเลขขึ้นมาใช้ในการเรียก 4 ตัว ให้ตัวเลขสองตัวแรกหมายถึงธาตุผสมหลักในเหล็กกล้า นั้น ขณะที่ตัวเลขสองตัวสุดท้ายหมายถึง ถึงปริมาณคาร์บอนในเหล็ก เช่น ตัวอย่าง เหล็กกล้า AISI1040 คือ เหล็กกล้าคาร์บอน (ตัวเลข 10) ที่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.4% (ตัวเลข 40) เหล็กกล้า SAE10120 คือ เหล็กกล้าคาร์บอน (ตัวเลข 10) ที่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 1.2% (ตัวเลข 120) เป็นต้น ตัวอย่างของเหล็กกล้าชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าตาม AISI และ ASME [37]

| เกรด | C | Mn | Si | Ni | Cr | ธาตุอื่นๆ |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 1020 | 0.18-0.23 | 0.30-0.60 | - | - | - | - |
| 1040 | 0.37-0.44 | 0.60-0.90 | - | - | - | - |
| 1060 | 0.55-0.65 | 0.60-0.90 | - | - | - | - |
| 1080 | 0.75-0.88 | 0.60-0.90 | - | - | - | - |
| 1095 | 0.90-1.03 | 0.90-0.50 | - | - | - | - |
| 1140 | 0.37-0.44 | 0.70-1.00 | - | - | - | - |
| 4140 | 0.38-0.43 | 0.75-1.00 | 0.15-0.30 | - | 0.80-1.10 | 0.15-0.25Mo |
| 4340 | 0.38-0.43 | 0.60-0.80 | 0.15-0.30 | 1.65-2.00 | 0.70-0.90 | 0.20-0.30Mo |
| 4620 | 0.17-0.22 | 0.45-0.65 | 0.15-0.30 | 1.65-2.00 | - | 0.20-0.30Mo |

ในอุตสาหกรรมไทย การใช้งานเหล็กกล้าคาร์บอนอาจคุ้นเคยกันกับมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่นสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย [38] ได้จำแนกประเภทของเหล็กตามมาตรฐานญี่ปุ่นซึ่งจัดวางระบบโดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (Japaness Industrial Standards, JIS) แบ่งเหล็กตามลักษณะงานที่ใช้ดังนี้

ตัวอักษรชุดแรก ด้านหลังอักษร JIS มีความหมายถึงกลุ่มของเหล็กสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อักษร A สำหรับ งานวิศวกรรมก่อสร้างและงานสถาปัตยกรรม อักษร B สำหรับงานวิศวกรรมเครื่องกล อักษร C สำหรับงานวิศวกรรมไฟฟ้า อักษร D สำหรับงานวิศวกรรมรถยนต์ อักษร E สำหรับงาน

วิศวกรรมรถไฟ อักษร F สำหรับงานก่อสร้างเรือ อักษร G สำหรับโลหะประเภทเหล็กและโลหะวิทยา อักษร H สำหรับโลหะที่มีไขเหล็ก อักษร K สำหรับงานวิศวกรรมเคมี อักษร L สำหรับงานวิศวกรรม สิ่งทอ อักษร M สำหรับแร่ อักษร P สำหรับกระดาษและเยื่อกระดาษ อักษร R สำหรับเซรามิก อักษร S สำหรับสินค้าที่ใช้ภายในบ้าน อักษร T สำหรับยา และอักษร W สำหรับการบิน ถัดจากตัวอักษร แสดง ด้วยตัวเลขซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 ตัว มีความหมายดังนี้ ตัวเลขตัวแรก หมายถึง กลุ่มประเภทของเหล็ก เช่น ตัวเลข 0 สำหรับเรื่องทั่ว ๆ ไป การทดสอบและกฎต่างๆ ตัวเลข 1 สำหรับวิธีวิเคราะห์ ตัวเลข 2 สำหรับ วัสดุดิบ เหล็กดิบ ธาตุผสม ตัวเลข 3 สำหรับเหล็กคาร์บอน ตัวเลข 4 สำหรับเหล็กกล้าผสม ตัวเลขตัวที่ 2 จะเป็นตัวแยกประเภทของวัสดุในกลุ่มนั้น เช่น ถ้าเป็นในกรณีเหล็ก มีดังนี้ ตัวเลข 1 สำหรับเหล็กกล้า ผสมนิเกิลและโครเมียม ตัวเลข 2 สำหรับเหล็กกล้าผสมอะลูมิเนียมแลโครเมียม ตัวเลข 3 สำหรับเหล็ก ไร้สนิม ตัวเลข 4 สำหรับเหล็กเครื่องมือ ตัวเลข 8 สำหรับเหล็กสปริง และตัวเลข 9 สำหรับเหล็กกล้าทน การกัดกร่อนและความร้อน ตัวเลขที่เหลือ 2 หลักสุดท้ายจะเป็นตัวแยกชนิดของส่วนผสมที่มีอยู่ในวัสดุ นั้น เช่น ถ้าเป็นเหล็กตัวเลข 2 หลักสุดท้ายจะเป็นตัวแยกชนิดเหล็กตาม ส่วนผสมธาตุที่มีอยู่ในเหล็ก ชนิดนั้น ๆ เช่น ตัวเลข 01 สำหรับเหล็กเครื่องมือคาร์บอน ตัวเลข 03 สำหรับเหล็กไฮสปีด ตัวเลข 04 เหล็กเครื่องมือผสม สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนกลุ่ม JIS G4051 สามารถแบ่งแยกออกเป็นกลุ่มๆ ดัง ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์และส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้ามาตรฐาน JIS G4051 [39]

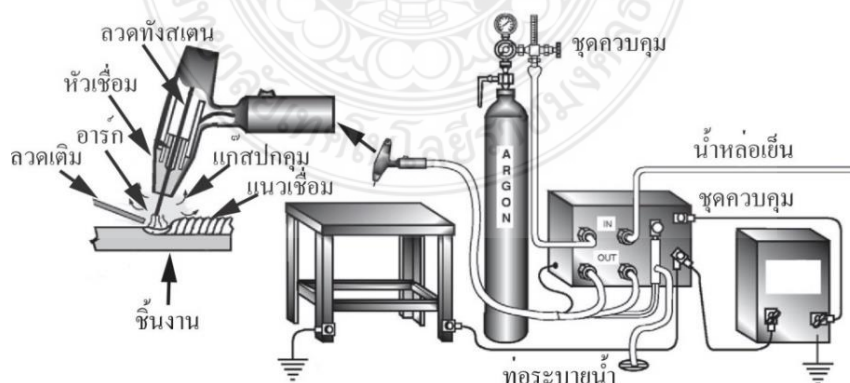
| สัญลักษณ์ | ส่วนผสมทางเคมี (% โดยน้ำหนัก) | | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| | C | Si | Mn | P | S |
| S 10C | 0.08-0.13 | 0.15-0.35 | 0.30-0.60 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 12C | 0.10-0.15 | 0.15-0.35 | 0.30-0.60 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 15C | 0.13-0.18 | 0.15-0.35 | 0.30-0.60 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 17C | 0.15-0.20 | 0.15-0.35 | 0.30-0.60 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 20C | 0.18-0.23 | 0.15-0.35 | 0.30-0.60 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 22C | 0.20-0.25 | 0.15-0.35 | 0.30-0.60 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 25C | 0.22-0.28 | 0.15-0.35 | 0.30-0.60 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 28C | 0.25-0.31 | 0.15-0.35 | 0.60-0.90 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 30C | 0.27-0.33 | 0.15-0.35 | 0.60-0.90 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 33C | 0.30-0.36 | 0.15-0.35 | 0.60-0.90 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 35C | 0.32-0.38 | 0.15-0.35 | 0.60-0.90 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 38C | 0.35-0.41 | 0.15-0.35 | 0.60-0.90 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 40C | 0.37-0.43 | 0.15-0.35 | 0.60-0.90 | 0.030 max. | 0.035 max. |

ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์และส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้ามาตรฐาน JIS G4051 [39] (ต่อ)

| สัญลักษณ์ | ส่วนผสมทางเคมี (% โดยน้ำหนัก) | | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| | C | Si | Mn | P | S |
| S 43C | 0.40-0.46 | 0.15-0.35 | 0.60-0.90 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 48C | 0.45-0.51 | 0.15-0.35 | 0.60-0.90 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 50C | 0.47-0.53 | 0.15-0.35 | 0.60-0.90 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 53C | 0.50-0.56 | 0.15-0.35 | 0.60-0.90 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 55C | 0.52-0.53 | 0.15-0.35 | 0.60-0.90 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 58C | 0.55-0.61 | 0.15-0.35 | 0.60-0.90 | 0.030 max. | 0.035 max. |
| S 09C K | 0.07-0.12 | 0.10-0.35 | 0.30-0.60 | 0.025 max. | 0.025 max. |
| S 15C K | 0.13-0.18 | 0.15-0.35 | 0.30-0.60 | 0.025 max. | 0.025 max. |

2.2 กระบวนการเชื่อม

2.2.1 การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสแก๊สคลุม (Gas tungsten arc welding: GTAW) [40] การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสแก๊สคลุม หรือการเชื่อมทิก ก็คือวิธีการเชื่อมที่ใช้ลวดทั้งสแตนเป็นตัวอาร์ก และใช้แก๊สเฉื่อยปกคลุมบริเวณอาร์ก การเชื่อมทิกเป็นกระบวนการเชื่อมโลหะแบบหลอมละลายที่ได้รับความร้อนจากการอาร์ก ระหว่างลวดทั้งสแตน (Non – consumable electrode) กับชิ้นงานเชื่อม โดยที่แก๊สเฉื่อยหรือแก๊สคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลาย เพื่อป้องกันอากาศภายนอกทำปฏิกิริยากับบริเวณดังกล่าว ในบริเวณอาร์กมีความร้อนสูงถึงประมาณ 11,000 °F(6093 °C) ใช้ในการเชื่อมทั้งสแตนทำหน้าทีอาร์กและผลิตความร้อนเท่านั้น ลักษณะและกระบวนการแสดงดังรูปที่ 2.2 ในการเชื่อมทิกนั้น ส่วนประกอบสำคัญที่ต้องใช้ประกอบการเชื่อมมีดังนี้



รูปที่ 2.2 วิธีการเชื่อมทิก [40]

2.2.1.1 แก๊สคลุม (Shielding gas) ที่ใช้สำหรับปกคลุมแนวเชื่อมและบ่อหลอมละลายเพื่อไม่ให้อากาศโดยรอบทำปฏิกิริยา ได้แก่ ออกซิเจน ไนโตรเจน เป็นต้น จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับบ่อหลอมละลายในขณะที่เชื่อม ซึ่งวิธีนี้ได้ใช้กันมานานแล้ว เช่น วิธีเชื่อมแบบออกซิอะเซทิลีนได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ของแก๊สออกซิอะเซทิลีนกับออกซิเจนจากการเผาไหม้จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ไอน้ำ ซึ่งทำหน้าที่ปกคลุมแนวเชื่อมที่กำลังหลอมละลาย ในการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้ม ฟลักซ์ แนวเชื่อมที่หลอมละลายและบริเวณอาร์กจะถูกปกคลุมด้วยแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ของ ฟลักซ์เช่นกันและยังทำให้การอาร์กสม่ำเสมอ การเชื่อมทิก นั้นไม่มีเปลวไฟและฟลักซ์ที่หุ้มลวดเชื่อมเกิดเป็นแก๊สคลุมบริเวณอาร์ก ดังนั้นจำเป็นต้องใช้แก๊สคลุมจากแหล่งภายนอก โดยทั่วไปแก๊สที่ใช้ปกคลุมในการเชื่อมทิก ได้แก่ อาร์กอนและฮีเลียม โดยจ่ายจากท่อหรือแบบท่อแยก (Manifold) ต่อไปยังจุดต่างๆภายในโรงงานก็ได้แต่แก๊สที่ใช้ขึ้นนั้นจะต้องมีความบริสุทธิ์คือประมาณ 99.99 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความชื้นปะปนอยู่ในปริมาณที่กำหนดบางครั้งอาจจะใช้แก๊สชนิดอื่นผสมกับแก๊สอาร์กอนเพื่อผลในการเชื่อม จะต้องเป็นแก๊สเกรดเชื่อมเท่านั้น แก๊สที่ใช้ในการเชื่อมทิกประกอบด้วยแก๊สต่างๆ ดังนี้

1) อาร์กอน (Ar) เป็นแก๊สเฉื่อยที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตออกซิเจน ซึ่งมีอยู่ในอากาศประมาณ 0.9 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าอาร์กอนปนอยู่ในอากาศน้อยมาก ดังนั้นการเตรียมอาร์กอนแต่ละลูกบาศก์ฟุต จะต้องใช้อากาศจำนวนมาก ราคาของแก๊สอาร์กอนจึงสูงกว่าออกซิเจนและไนโตรเจนมาก ในการเก็บแก๊สอาร์กอนอาจจะเก็บไว้ในสถานะของแก๊สหรือของเหลวก็ได้ สำหรับเก็บอาร์กอนเหลวจะต้องมีฉนวนที่ดีสามารถเก็บแก๊สอาร์กอนที่อุณหภูมิต่ำกว่า -184°C (-300°F) เล็กน้อย

2) ฮีเลียม (He) เป็นแก๊สเฉื่อยเป็นผลที่ได้จากกรรมวิธีผลิตแก๊สธรรมชาติ Ionization Potential) 24.5 โวลต์ และมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าดีเลิศ จึงเป็นเหตุให้เปลวอาร์กที่ได้จากการใช้แก๊สฮีเลียมกระจายตัวเป็นวงกว้าง แต่ความเข้มของอาร์กลดลง การกระจายตัวเป็นวงกว้างของเปลวอาร์กจะทำให้งานเชื่อมเกิดความร้อนเป็นบริเวณกว้าง ในขณะที่วงศูนย์กลางของเปลวอาร์กจะทะลุลงไปจนถึงส่วนล่างของแนวเชื่อม ให้แนวเชื่อมที่ได้จากการใช้แก๊สฮีเลียมซึมลึกกว่าการใช้แก๊สอาร์กอน แรงดันไฟฟ้าที่ใช้แก๊สฮีเลียมจะเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะอาร์ก และความร้อนที่เกิดจากการอาร์กสูง เนื่องจากแก๊สฮีเลียมนั้นต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูงจึงมีพลังงานมาก และการอาร์กที่เกิดขึ้นไม่นิ่มนวล แก๊สฮีเลียมมีน้ำหนักเบาคือประมาณ 1/7 เท่า ของอากาศแต่จะรวมตัวกับอากาศได้ช้า ดังนั้นการเชื่อมใช้แก๊สฮีเลียมปกคลุมแนวเชื่อมต้องใช้ปริมาณมากกว่าอาร์กอน 2-3 เท่า และโอกาสลอยตัวได้ง่าย การใช้แก๊สฮีเลียมจึงเหมาะกับการเชื่อมด้วยวิธีอัตโนมัติ ที่ให้ความเร็วในการเชื่อมสูง ไม่เกิดรุพุนและการกัดแกว่งขอบแนวเชื่อม รวมทั้งแนวเชื่อมที่ได้มีบริเวณผลกระทบจากความร้อน(Heat-Affected Zone) แคบ ดังนั้นการเชื่อมงานหนาหรืองานที่

ต้องการความเร็วในการเชื่อมสูง ควรใช้แก๊สผสมระหว่างฮีเลียมกับอาร์กอนในอัตราส่วน 2 : 1 เพื่อตัดปัญหาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของระยะอาร์กและยังช่วยลดรูพรุนภายในแนวเชื่อมอีกด้วย

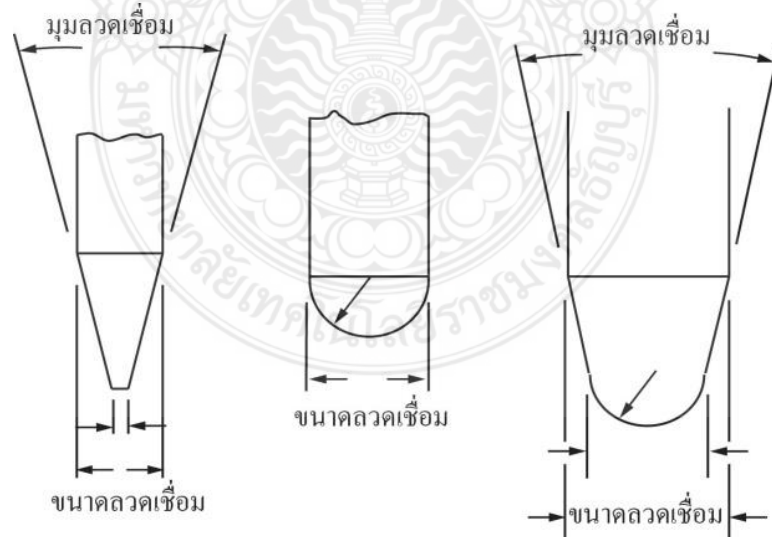
3) แก๊สผสมอาร์กอน – ฮีเลียม แก๊สผสม อาร์กอน – ฮีเลียม เหมาะสำหรับการเชื่อมที่ต้องการควบคุมการอาร์กที่ดีและซึมลึกสูง เนื่องจากแก๊สอาร์กอนจะควบคุมอาร์กได้ดี ส่วนแก๊สฮีเลียมให้ความร้อนจะทำให้ การซึมลึกและความเร็วเชื่อมสูงซึ่งอัตราส่วนผสมของแก๊สทั้งสองที่นิยมใช้ ได้แก่ 75 เปอร์เซ็นต์ ฮีเลียม 25 เปอร์เซ็นต์ อาร์กอน โดยปริมาตรหรือ 80 เปอร์เซ็นต์ ฮีเลียม 20 เปอร์เซ็นต์ อาร์กอน อัตราส่วนผสมของแก๊สทั้งสองนั้น ไม่ได้กำหนดไว้ตายตัวสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการ แก๊สผสม อาร์กอน – ฮีเลียม ได้นำไปใช้ในการเชื่อมอัตโนมัติกันอย่างกว้างขวาง

4) แก๊สผสม อาร์กอน-ไฮโดรเจน แก๊สผสม อาร์กอน-ไฮโดรเจนใช้สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม Inconel Monel และการเชื่อมที่มีปัญหาจากรูพรุน ซึ่งแก๊สคลุมชนิดอื่นไม่สามารถแก้ปัญหาได้ แก๊สผสมชนิดนี้ให้ข้อดีในการเชื่อมคือเพิ่มความร้อนในการเชื่อมช่วยควบคุมรูปร่างของแนวเชื่อมและการไหลตัวของน้ำโลหะบ่อหลอมละลายดี และแนวเชื่อมสม่ำเสมอ แก๊สผสม อาร์กอน-ไฮโดรเจน ไม่ควรนำไปเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน หรือเหล็กกล้าผสมต่ำ ใช้ได้เฉพาะการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเท่านั้น ด้วยอัตราส่วนผสม ไฮโดรเจนสูง 15 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนที่ใช้กัน 95 เปอร์เซ็นต์ และอาร์กอน 5 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน

5) ไนโตรเจน แก๊สไนโตรเจนยังใช้เป็นแก๊สคลุมแต่ไม่ใช่แก๊สเฉื่อย และไม่ค่อยนำมาใช้ในการเชื่อม เนื่องจากแก๊สไนโตรเจนต้องการแรงดันไฟฟ้าและกระแสเชื่อมสูง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแก๊สอาร์กอนและแก๊สฮีเลียม อย่างไรก็ตามแก๊สไนโตรเจนยังลดความสม่ำเสมอของอาร์ก และทำให้ลวดทั้งสแตนสกรปรกด้วย แต่แก๊สไนโตรเจนก็ให้ผลดีกับการเชื่อมทองแดงและทองแดงผสม

2.2.1.2 ลวดเชื่อมทั้งสแตน ลวดเชื่อมทั้งสแตนผลิตโดยกรรมวิธีโลหะผง ด้วยการนำผงทั้งสแตนที่มีความบริสุทธิ์ 99.95 เปอร์เซ็นต์ มาอัดขึ้นรูปและอบเป็นแท่งอินกอต (Ingot) หลังจากนั้นให้ความร้อนอินกอต เพื่อเพิ่มความเหนียวแล้วนำไปทำการดึงขึ้นรูป (Drawn) เป็นลวดทั้งสแตนขนาดต่างๆ ตามต้องการผิวของลวดทั้งสแตนที่ผ่านการดึงขึ้นรูปมาแล้วจะเกิดออกไซด์สีดำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความสะอาดผิวเอาออกไซด์ที่ดำออก ด้วยการกัดด้วยเคมีหรือการเจียรระไน ทั้งสแตนที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าดีและจุดหลอมตัวสูง จึงได้ถูกเลือกใช้เป็นลวดเชื่อมแบบไม่หลอมละลาย (Non consumable) อุณหภูมิอาร์กที่เกิดขึ้นประมาณ 10,600 °F (5871 °C) ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิการหลอมตัวของทั้งสแตนมาก อุณหภูมิของทั้งสแตน 6170 °F (3410 °C) แต่ไม่สูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดมากนัก อุณหภูมิจุดเดือดทั้งสแตน 10,600 °F (5871 °C) เนื่องจากบริเวณอาร์กมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของทั้งสแตนจึงทำให้ลวดทั้งสแตนเกิดการเซาะกร่อน และเป็นเหตุให้มีการถ่ายเทโลหะบางตัวจาก

ทั้งสแตนผ่านการอาร์กเติมลงในแนวเชื่อม การเติมทั้งสแตนลงในแนวเชื่อมจะทำให้ทั้งสแตนฝังอยู่ในแนวเชื่อม อันเป็นเหตุให้เกิดความเค้นสะสมอยู่ในแนวเชื่อม (Concentrate Strees) การป้องกันการเติมทั้งสแตนในแนวเชื่อมไม่สามารถกระทำได้สมบูรณ์ เพียงแต่ควบคุมไม่ให้เกิดค่าที่ยอมรับได้ โดยการเตรียมปลายลวดทั้งสแตน การเลือกใช้ลวดทั้งสแตนขนาดใหญ่เท่าที่จะทำได้ และใช้ลวดทั้งสแตนชนิดผสมปลายลวดทั้งสแตนดังรูปที่ 4 มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่ปลายลวดทั้งสแตน พิจารณาจากการใช้กระแสเชื่อมและชนิดขั้วไฟเชื่อมที่เหมือนกัน จะเห็นว่า (A) ปลายลวดแหลมมีพื้นที่ตั้งจุดความร้อนที่ปลายลวดน้อย จึงทำให้ปลายลวดเชื่อมมีอุณหภูมิสูง (B) ปลายลวดกลมมนมีพื้นที่ตั้งจุดความร้อนมาก ปลายลวดเชื่อมจึงมีอุณหภูมิต่ำ (C) ปลายลวดเรียวและกลมเล็กมีพื้นที่ตั้งจุดความร้อนมากกว่าชนิดปลายจุดแหลม จึงมีอุณหภูมิลดลงที่ปลายลวดทั้งสแตนน้อยกว่า ระยะห่างระหว่าง Collet กับปลายลวดทั้งสแตนมีผลต่ออุณหภูมิของลวด เมื่อระยะ Collet กับปลายลวด (จับลวดยาว) มากเกิดความต้านทานไฟฟ้าขึ้นกับลวดทั้งสแตนสูงและเกิดความร้อนสูงขึ้นแต่ถ้าระยะจับลวดสั้น ความต้านทานไฟฟ้าน้อย ความร้อนที่ลวดทั้งสแตนก็น้อยตาม กรณีความต้านทานระหว่าง Collet กับลวดทั้งสแตน เนื่องมาจากการต่อหรือการสัมผัสระหว่าง Collet กับลวดทั้งสแตนไม่ดี เป็นเหตุให้ความร้อนของลวดทั้งสแตนสูงขึ้น และการถ่ายเทความร้อนออกจากลวดทั้งสแตนไม่ดี ในทางกลับกันถ้าการสัมผัสระหว่าง Collet กับลวดทั้งสแตนดี ความต้านทานที่จุดสัมผัสจะต่ำ ความร้อนต่ำ และการระบายความร้อนดี ลวดทั้งสแตนชนิดผิวเงียรระไนจะให้คุณภาพสัมผัสที่ดีกว่าลวดทั้งสแตนชนิดผิวล้างด้วยเคมี เนื่องจากผิวลวดทั้งสแตนชนิดผิวเงียรระไนมีผิวเรียบ สัมผัสกับ Collet ได้ดี



รูปที่ 2.3 ลักษณะปลายลวดทั้งสแตน [41]

ลวดทั้งสแตนบริสุทธีมีสมบัติดีเลิศในการทำลวดเชื่อมทิก แต่สมบัติดังกล่าวสามารถปรับปรุงขึ้นให้ดีขึ้นได้ด้วยการเติมธาตุทอเรียมและเซอร์โคเนียม จะทำให้ลวดทั้งสแตนมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น การเริ่มอาร์กที่ดีขึ้นต้านทานการสกรอกของลวด และสามารถเข้ากับกระแสเชื่อมได้สูงขึ้นตามมาตรฐานการเชื่อมของสหรัฐอเมริกา AWS A5.12 ได้แบ่งลวดทั้งสแตน ไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.3 การแบ่งชนิดของลวดทั้งสแตนและส่วนผสมของลวดทั้งสแตน [42]

| การแบ่งกลุ่มตาม AWS | ธาตุผสมเคมี | รหัสสี |
|---------------------|--|--------|
| EWP | Pure Tungsten | เขียว |
| EWCe – 2 | 97.3% Tungsten, 2% Cerium Oxide | ส้ม |
| EWLa – 1 | 98.3% Tungsten, 1% Lanthanum Oxide | ดำ |
| EWTh – 1 | 98.3% Tungsten, 1% Thorium Oxide | เหลือง |
| EWTh – 2 | 97.3% Tungsten, 2% Thorium Oxide | แดง |
| EWZr - 1 | 99.1% Tungsten, 0.25% Zirconium | น้ำตาล |
| EWG | Oxide 94.5% Tungsten, Reminder not Specified | เทา |

ข้อมูลในตารางที่ 2.3 สมาคมช่างเชื่อมอเมริกาได้แบ่งกลุ่มของแท่งทั้งสแตนออกเป็นกลุ่ม และมีความหมายของตัวอักษรและตัวเลข ดังนี้

E หมายถึง Electrode หรือลวดเชื่อมไฟฟ้า

W หมายถึง ทั้งสแตน หรือ Wolfram

P หมายถึง ลวดทั้งสแตนบริสุทธี

Ce, La, Th และ Zr หมายถึง ธาตุผสมที่เป็นออกไซด์ของ Cerium, Lanthanum, Thorium หรือ Zirconium ตามลำดับส่วนหมายเลขต่อท้ายแสดงถึงความแตกต่างของส่วนผสมในแต่ละกลุ่ม

G หมายถึง ลวดทั้งสแตนกลุ่มทั่วไปและไม่ได้กำหนดส่วนผสมที่แน่นอนไว้

EWP เป็นลวดทั้งสแตนบริสุทธี มีราคาถูก ใช้สำหรับงานโลหะทั่วไป

EWCe – 2 เป็นลวดเชื่อมกลุ่มใหม่ มีส่วนผสมของ Cerium Oxide หรือ Ceria ที่ช่วยให้การเริ่มต้นอาร์กดี การอาร์กสม่ำเสมอ และลดอัตราการสึกกร่อน

EWLa – 1 เป็นลวดเชื่อมที่มีส่วนผสม Lanthanum Oxide หรือ Lanthana ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลในการเชื่อมคงายกับลวดเชื่อม EWCe – 2

EWTh – 1 และ EWTh – 2 มีส่วนผสมของ Thorium Oxide หรือ Thoria 1 เปอร์เซ็นต์ และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ Thoria เป็นธาตุกัมมันตภาพรังสีระดับต่ำ เมื่อผสมอยู่ในลวดเชื่อมไม่เป็น

อันตรายต่อร่างกายลวดเชื่อมชนิดนี้ออกแบบไว้สำหรับใช้กระแสตรง ให้การเริ่มต้นอาร์กที่ดี อาร์กสม่ำเสมอและสามารถใช้เชื่อมที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง ลวดเชื่อมชนิด 2 เปอร์เซนต์ ให้ผลการเริ่มต้นอาร์กสม่ำเสมอและใช้กระแสเชื่อมได้สูงกว่าชนิด 1 เปอร์เซนต์

2.2.2 ลวดเชื่อม ลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลองใช้ลวดเชื่อมกลุ่มอะลูมิเนียมบริสุทธิ์
AWS.A5.10 ER1100 แบบเปลือยตัน



รูปที่ 2.4 ลวดเชื่อมอะลูมิเนียม

ตารางที่ 2.4 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมอะลูมิเนียม AWS.A5.10 ER1100 (%น้ำหนัก)

| ธาตุ | Si + Fe | Cu | Mn | zinc | Al | are | Others |
|---------|---------|-----------|------|------|---------|--------|-------------|
| Al 1100 | 0.95 | 0.05-0.20 | 0.05 | 0.10 | Balance | 0.0003 | Single 0.05 |
| | | | | | | | total 0.15 |

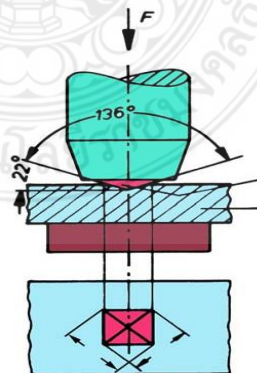
2.3 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน

2.3.1 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอ (Wear resistance testing) คือ การวัดความต้านทานการสึกหรอของแนวเชื่อมพอกชั้นแนวเชื่อมโดยชิ้นงานถูกทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานการสึกหรอที่ถูกสร้างขึ้นใหม่อ้างอิงตาม ASTM G65 [43] ดังภาพที่ 2.5 ชิ้นทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนมีขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร และหนาเท่ากับความหนาชิ้นงานแนวเชื่อมพอกผิว การทดสอบกำหนดแนวเชื่อมถูกวางในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการหมุนของล้อของเครื่องทดสอบการกัดกร่อนสภาวะการทดสอบประกอบด้วยน้ำหนักทดสอบ 130 นิวตัน ความเร็วรอบการหมุน 200 รอบต่อนาที เวลาในการทดสอบ 30 นาที ระยะทางในการทดสอบรวม 4,309 เมตร คำนวณน้ำหนักที่สูญหายจากการทดสอบถูกนำมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบต่อไป



รูปที่ 2.5 เครื่องทดสอบการสึกหรอที่สร้างขึ้นตาม ASTM G65

2.3.2 การทดสอบความแข็ง Vickers Hardness Test อ้างอิงการทดสอบตาม JIS Z3114 [39] การวัดความแข็งโดยใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา (เป็นมุมที่มีองศาใกล้เคียงกับหัวกดลักษณะกลมมากที่สุด) เป็นเวลา 10-15 วินาที ค่าความแข็งจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวเช่นเดียวกับการทดสอบแบบ Brinell แต่วิธีนี้หัวกดเป็นเพชรซึ่งมีความแข็งสูงมากๆ ดังนั้นในการใช้งานจึงสามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่นิ่มมาก (HV ประมาณ 5) จนถึงโลหะที่แข็งมากๆ (VHN ประมาณ 1500) โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด จะเปลี่ยนก็เฉพาะแรงกดเท่านั้น โดยมีตั้งแต่ 1-120 kgf ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะที่ทดสอบ ซึ่งทำให้วิธีนี้มีข้อได้เปรียบกว่า Brinell คือ ไม่ต้องคำนึงถึงอัตราส่วน P/D^2 และข้อจำกัดในด้านความหนาของชิ้นงานทดสอบเนื่องจากหัวกดเพชรมีขนาดเล็กมาก



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะรอยกดจากหัวเพชรของ Vickers Hardness Test

2.3.3 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macro Structure Examination) เป็นการตรวจสอบ ทางกายภาพหรือใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายต่ำกว่า 10 เท่า จุดประสงค์ของการตรวจสอบเพื่อดู ความสมบูรณ์ของบริเวณจุดเชื่อม ความแตกต่างรูปร่างของการเชื่อมเสียดทานแบบจุด การแบ่งเขตชั้น ของรอยเชื่อม ลักษณะการผสมรวมกันของเนื้อโลหะบริเวณพื้นที่กวนเชื่อม (Stir Zone) ความกว้างของ บริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อน (Heat Affect Zone: HAZ) ตลอดจนลักษณะ จุดบกพร่องต่างๆ ของรอยเชื่อมสำหรับน้ำยากัดผิวชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างมหภาคในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดตาม มาตรฐาน ASTM E-340

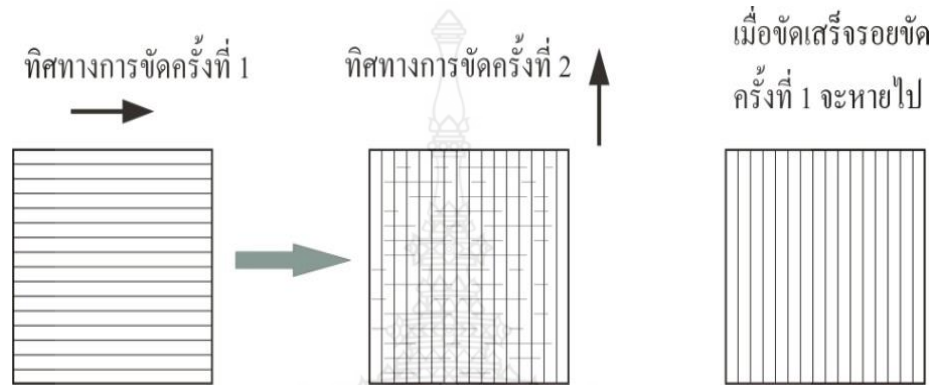
2.3.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Micro Structure Examination) เป็นการตรวจสอบ โครงสร้างของโลหะที่ใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงกว่า 10 เท่า ถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงจาก หลอดไฟจะให้กำลังขยายไม่เกิน 2,000 เท่า แต่ถ้าเป็นกล้องที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนจะสามารถให้ กำลังขยายได้สูงถึง 100,000 เท่า หรือมากกว่านี้ เป็นการตรวจสอบเพื่อดูกระจายตัวและลักษณะเกรน ของโครงสร้างบริเวณแนวเชื่อม (Weld Metal) บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (Heat Affect Zone) และบริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base Metal)

การเตรียมชิ้นทดสอบเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงานต้องตัดให้เกิดพื้นที่หน้าตัดเพื่อ ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคจะต้องหลีกเลี่ยงให้เกิดความร้อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะความร้อน ดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างที่ผิวหน้าตัดนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป ซึ่งจะทำให้การ ตรวจสอบ นั้นเกิดการผิดพลาดได้ ขนาดของชิ้นทดสอบ ควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร หรือ 1 นิ้วและความสูงไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร แต่ถ้าเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าควรมีขนาด 25-25- 20 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อให้การขัดผิวกระทำได้ง่าย [44] ชิ้นทดสอบที่มีขนาดเล็กมากควรที่จะหุ้มชิ้น ทดสอบด้วยเรซิน โดยการหล่อให้หน้าตัดของชิ้นทดสอบอยู่ภายนอกเรซิน ในการเตรียม แบบหล่อเรซิน แบบหล่อนี้จะต้องได้ระดับไม่เอียงไปทางใดทางหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานที่ทำการหล่อออกมาไม่ได้ระดับ ฐานรองชิ้นงานควรมีพื้นผิวเรียบ ซึ่งจะทำให้วางชิ้นงานทดสอบได้ง่ายและได้ระนาบดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเตรียมชิ้นงานทดสอบโครงสร้างจุลภาค

การขัดผิวขั้นตรวจสอบ ควรขัดด้วยกระดาษทรายที่ทำจากผงซิลิคอนคาร์ไบด์ตั้งแต่เบอร์ 320 400 600 800 1,000 1,200 1,500 และขัดจนถึงเบอร์ 2000 ตามลำดับ ในการขัด ในขณะนั้น จะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้น้ำชำระล้างสิ่งสกปรกซึ่งได้แก่ ผงโลหะและซิลิคอนคาร์ไบด์ออกให้หมด และเมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไป ควรขัดขั้นตรวจสอบไปอีกแนวทางหนึ่งสลับกันเป็นตารางกับแนวเดิม ทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายแผ่นสุดท้าย ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การขัดผิวขั้นทดสอบ

การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) การขัดผิวในขั้นตอนนี้ เป็นการขัดผิวมันของชิ้นตรวจสอบ ด้วยผงขัดที่ทำจากผงอะลูมินา (Alumina oxide) และแมกนีเซียม (Magnesium oxide) หรืออาจจะใช้เพชรขัดผิวของชิ้นตรวจสอบที่มีความแข็งแรงสูงมาก โดยผงขัดเหล่านี้จะมีขนาดตั้งแต่ 0.05-0.3 ไมครอน และการขัดด้วยผงขัดนี้ จะต้องขัดบนจานหมุนที่ห่อหุ้มด้วยผ้าสักหลาด โดยการนำผงขัดผสมกับน้ำเทลงบนสักหลาดแล้วขัดผิวจนเป็นมัน

การกัดด้วยน้ำยา (Etching) ชิ้นตรวจสอบที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วนั้นจะต้องล้างด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นจะถูกนำไปกัดด้วยน้ำยา ซึ่งจะเป็นน้ำยาอะไรนั้นต้องขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ต้องการตรวจสอบ เช่น ถ้าเป็นเหล็กจะใช้กรดไนตริก ร้อยละ 2-4 ผสมแอลกอฮอล์

ตัวอย่างของน้ำยากัดผิวตรวจสอบของโลหะบางชนิด น้ำยาเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะชนิดต่างๆ แยกออกเป็น 2 ประเภท คือ น้ำยาที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของเหล็ก และน้ำยาที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของโลหะนอกกลุ่มเหล็ก ดังตารางที่ 2.5 นี้ จะประกอบด้วยรายละเอียดของชื่อน้ำยาชนิดต่างๆตามมาตรฐาน ASTM E407-99 [45] ตลอดจนส่วนผสมของน้ำยาเหล่านั้น นอกจากนี้ยังได้บอกเวลาในการกัดด้วยน้ำยาเหล่านั้นอีกด้วย

ตารางที่ 2.5 น้ำยากัดผิวชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E407-99 [45]

| น้ำยากัดผิวตรวจสอบ | ส่วนผสม | โลหะที่ตรวจสอบ | การใช้งาน |
|--|---|----------------------------------|--|
| กรดไนตริกและไฮโดรคลอริก (Nitric acid and hydrochloric) | กรดไนตริก (HNO ₃) 3 มิลลิลิตร, ไฮโดรคลอริก (HCl) 10 มิลลิลิตร และ เมทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร | เหล็กเครื่องมือ เหล็กกล้าคาร์บอน | จุ่มชิ้นงานตรวจสอบนาน 10 – 30 วินาที |
| โซเดียมเมตาบิสซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite) | โซเดียมเมตาบิสซัลไฟต์ (Na ₂ S ₂ O ₅) 15 มิลลิลิตร ผสมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร | เหล็กกล้าเครื่องมือ รอบสูง | กัดด้วยกรดในเวลา 10 – 15 วินาที |
| ไนตล (Nital) | ไนตริกแอซิด (HNO ₃) 1 มิลลิลิตร ผสม เอทิลแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร | เหล็กชุบแข็งผิวและ เหล็กทั่วไป | กัดด้วยกรดนาน 10 – 15 วินาที |
| กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid) | กรดไฮโดรฟลูออริก 1/2 ถึง 2 มิลลิลิตร ผสมน้ำ 100 มิลลิลิตร | อะลูมิเนียมผสม | จุ่มหรือแช่ด้วยสำลี นาน 15 – 45 วินาที |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) | โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 100 มิลลิลิตร | อะลูมิเนียมผสม | จุ่มหรือแช่ด้วยสำลี นาน 10 – 15 วินาที |

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 Shigeaki และ Takao [23] ได้ศึกษาการแข็งตัวของสารประกอบโลหะผสม Fe-Al ที่เกิดจากการชุบด้วยอะลูมิเนียม ผลการทดลองการเกิดโครงสร้างเฟสสารประกอบระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียม พบว่าสารประกอบที่เกิดการก่อตัวบนผิวสัมผัส (Interface) ระหว่างเหล็กซึ่งเป็นโลหะฐานและอะลูมิเนียมที่เป็นโลหะผิวเคลือบ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีเหล็กผสมสูง (Fe-rich alloy) ประกอบด้วย Fe₃Al และ FeAl ซึ่งมีสมบัติในการต้านทานการสึกหรอสูง ความต้านทานกัดกร่อนสูง มีสมบัติความแข็งแรงจำเพาะดีเยี่ยม และกลุ่มที่มีอะลูมิเนียมสูง (Al-rich alloy) ที่ประกอบด้วย FeAl₂

Fe_2Al_5 และ $FeAl_3$ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความแข็งสูงมากและมีความเปราะ ความแข็งของเฟสสารประกอบทั้งสองกลุ่มนี้มีค่าความแข็งระหว่าง 600-1000 HV ซึ่งเป็นค่าที่มีความแข็งสูงกว่าโลหะเชื่อมที่ทำให้เกิดเฟสคาร์ไบด์และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ

2.4.2 ปาจริย์ เกิดกุล [46] ได้ทำการศึกษา การสังเคราะห์วัสดุผสมเพื่อเคลือบผิวภายในท่อโลหะจากสารตั้งต้นในระบบอิลเมไนด์ ($FeTiO_3$) อะลูมิเนียม (Al) โบรอนออกไซด์ (B_2O_3) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ด้วยเทคนิคแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางโดยอาศัยปฏิกิริยาก้าวหน้าตัวเองที่อุณหภูมิสูงพบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับที่เป็นผลให้การแยกชั้นผิวของเหล็กอะลูมิเนียม (Fe_3Al) เสริมแรงด้วยไทเทเนียมไดโบไรด์ (TiB_2) และอะลูมินา (AlO_3) คือ (CaF_2) 5% ระดับความเร็วหมุน 2250 rpm ความต้องการปริมาณองค์ประกอบของชั้นเคลือบผิวมีการผันแปรตามอัตราส่วนผสมของสารตั้งต้นและเวลาบดของ $FeTiO_3$

2.4.3 สุริยา ประสมทอง และสุริยา น้ำแก้ว [47] ได้ศึกษาผลกระทบของการเติมลวดเชื่อมอะลูมิเนียมต่อสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และส่วนประกอบทางเคมีของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยกรรมวิธีการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสคัลม โดยทำการเปรียบเทียบความเร็วในการเติมลวดเชื่อมอะลูมิเนียมที่ 5-15 เมตร/นาที จากการทดลองพบว่าความเร็วในการเติมลวดเชื่อมอะลูมิเนียม 15 เมตร/นาที มีค่าความแข็งสูงสุดที่ 885.87 HV และลดลงตามความเร็วลวดเชื่อม เมื่อพิจารณาถึงการสึกกร่อนของแนวเชื่อมพบว่าความเร็วในการเติมลวดเชื่อมที่ 10 เมตร/นาที มีอัตราการสึกกร่อนต่ำสุดที่ 0.123 กรัม/นาที จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและส่วนประกอบทางเคมีพบว่าแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วในการเติมลวด 15 เมตร/นาที มีการกระจายตัวของอะลูมิเนียมมากกว่าเหล็กมีลักษณะโครงสร้างจุลภาคแบบยูเทคติก $FeAl$ สลับกับโครงสร้างลามัลลายูเทคติก $FeAl_2$ และมีรอยแตกร้าวในแนวเชื่อม แต่เมื่อลดความเร็วในการเติมลวดเชื่อมพบว่าแนวเชื่อมมีปริมาณเหล็กสูงกว่าอะลูมิเนียมเกิดโครงสร้างจุลภาคยูเทคติก $FeAl$ ลักษณะคล้ายเข็มจากปฏิกิริยายูเทคติกขึ้นแทรกกระจายตัวบนโครงสร้างของ $FeAl_3$ และไม่พบรอยแตกร้าวในแนวเชื่อมเมื่อลดความเร็วในการเติมลวดเชื่อมอะลูมิเนียม

2.4.4 Wen Wang, Dan Wang, Fusheng Han [48] ได้ทำการปรับปรุงความต้านทานการกัดกร่อนของ plasticity steel twinning-induced โดยอะลูมิเนียมแบบจุ่มร้อนพร้อมกับการกระจายความร้อนตามมาพบว่าชั้นเคลือบประกอบด้วยเฟส Al $FeAl_3$ และ Fe_2Al_5 ในสภาวะจุ่มร้อนในขณะที่เฟส Fe_3Al พบว่าความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้า TWIP ได้รับการปรับปรุงโดยมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ intermetallics สามารถลดอัตราการสึกกร่อนได้

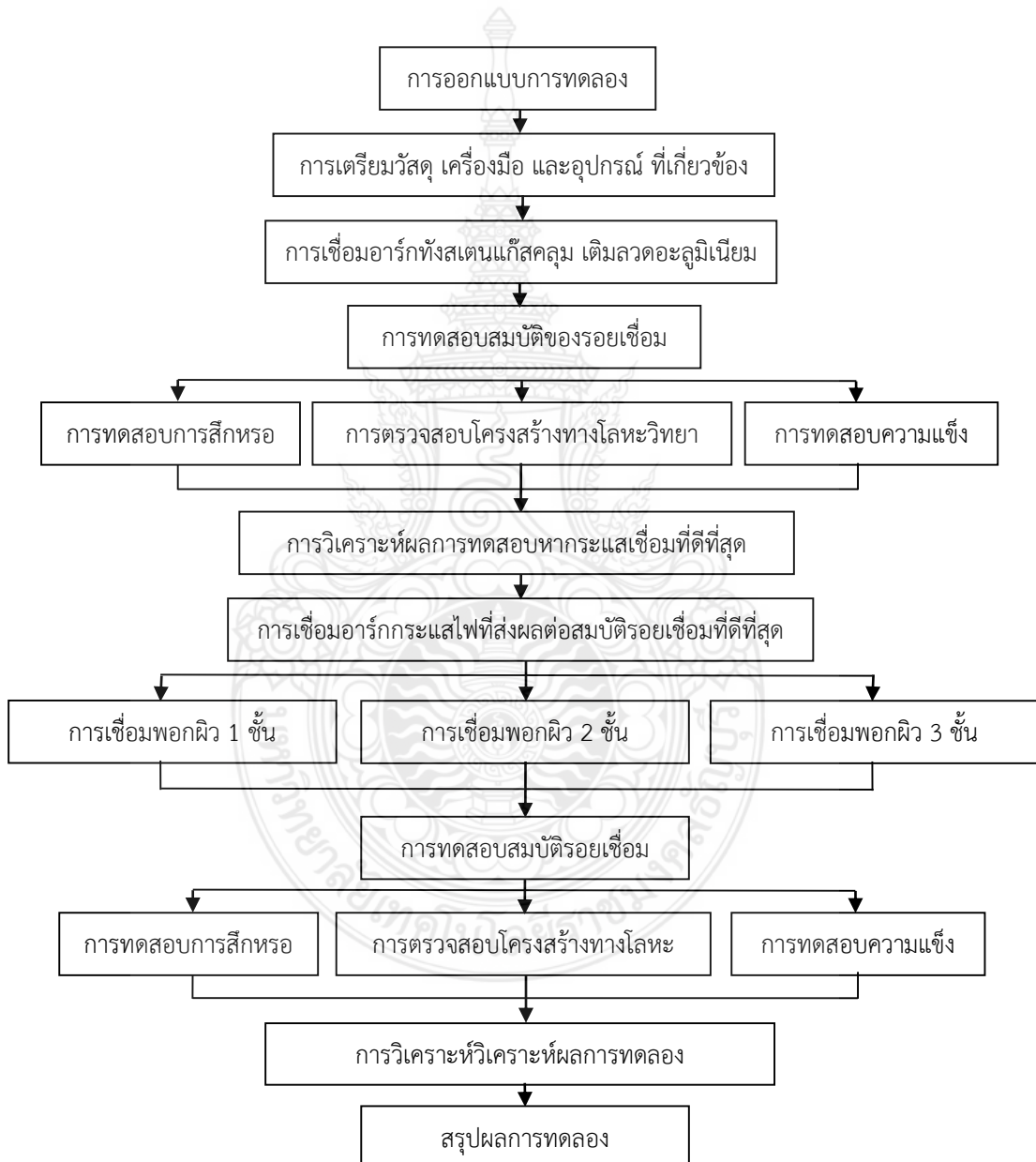
จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การสร้างชั้นผิวเคลือบอะลูมิเนียมผสมบนเหล็กกล้าคาร์บอนสามารถประยุกต์ใช้ด้วยกันได้หลายวิธี เช่น การจุ่มร้อน (hot-dipping) การสปาร์กด้วยไฟฟ้า

การเชื่อมเลเซอร์ การพ่นเคลือบ (Thermal spray) การเคลือบด้วยวิธีสปัตเตอริง (Sputtering coating method) การเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating) การเคลือบผิวด้วยไอเคมี และการเคลือบผิวด้วยเทคนิคแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แต่เมื่อพิจารณานำมาใช้แก้ปัญหาการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทางการเกษตร พบว่ากระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมมีความเหมาะสม เนื่องจากสามารถกำหนดตำแหน่งในการเชื่อมซ่อมหรือเคลือบผิวเฉพาะบริเวณที่ต้องการได้ง่ายโดยไม่ต้องเคลือบผิวทั้งหมด ทางผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาการสร้างชั้นผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม



บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสกลุ่มที่มีผลต่อสมบัติทางกลของชั้นเคลือบผิวอะลูมิเนียมบนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพรวมการดำเนินการโครงการ

3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

3.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอน S45C เป็นวัสดุที่สามารถซื้อได้ทั่วไป โดยมีส่วนผสมทางเคมี แสดงดังตารางที่ 3.1

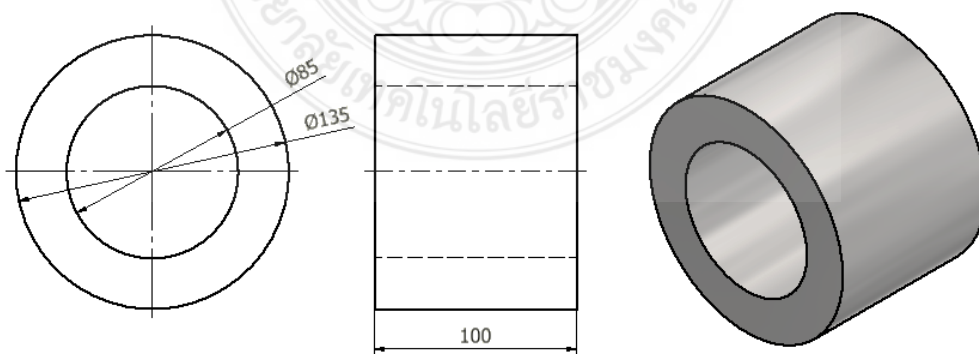
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน S45C (%น้ำหนัก)

| ธาตุ | Fe | C | Si | P | S | Ni | Cr | Cu | Al | W |
|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| S45C | Balance | 0.49 | 0.24 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.33 | 0.02 | 0.01 | 0.08 |



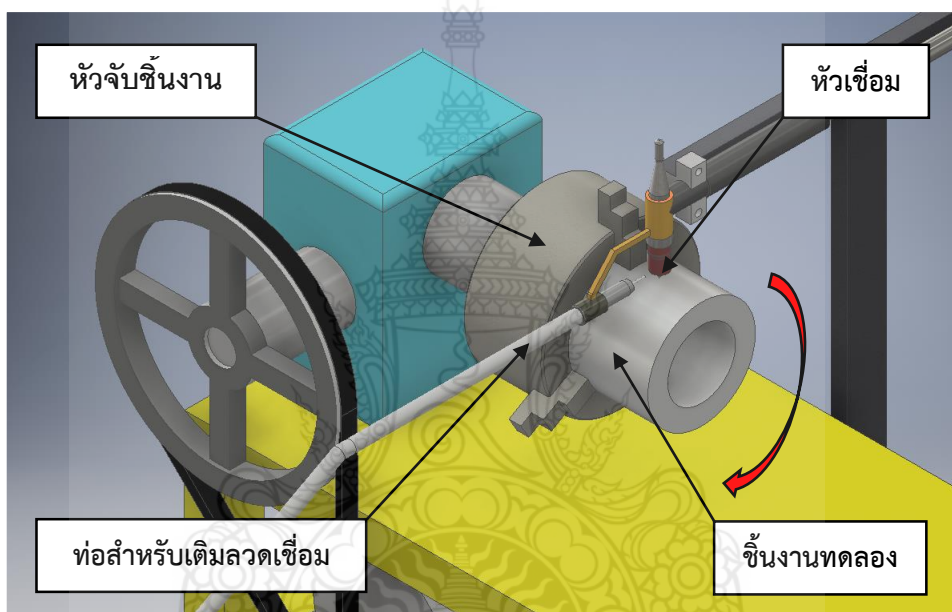
รูปที่ 3.2 วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน S45C

3.1.2 การเตรียมชิ้นงาน เสมือนลูกโรเลอร์รถเกี่ยวขนาดข้าว นำวัสดุที่จะทำการทดลองเชื่อมมาขึ้นรูปด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติให้ได้ขนาด ความยาว 100 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 135 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 85 มิลลิเมตร ตามแบบดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 รูปร่างของชิ้นทดสอบ (หน่วย: มิลลิเมตร)

3.1.3 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ถูกออกแบบเพื่อสำหรับจับยึดชิ้นงานที่เป็นท่อ หลักการทำงาน ใช้จับยึดชิ้นงาน สามารถหมุนรอบแกนและควบคุมความเร็วให้คงที่ เพื่อให้ชิ้นงานหมุนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วรอบที่คงที่และสามารถปรับความเร็วรอบในการเชื่อมได้ ในสถานีการเชื่อม ชุดหัวเชื่อมถูกยึดแน่นเข้ากับอุปกรณ์จับยึด หัวเชื่อมซึ่งยึดติดอยู่บนชุดปฏิบัติการที่ยึดแน่นนี้สามารถทำการปรับระยะได้ในแนวแกนตั้งฉากกับทิศทางการเดินแนวเชื่อมของชิ้นงาน ชิ้นงานเชื่อมถูกจับยึดในอุปกรณ์จับยึดที่ต่อเข้ากับหัวจับชิ้นงานที่ต่อผ่านเข้ากับเครื่องส่งกำลังสามารถเคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยความเร็วเดินที่สามารถกำหนดได้โดยหัวเชื่อมถูกต่อเข้ากับเครื่องเชื่อมเพื่อให้ได้วงจรเชื่อมสมบูรณ์ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์จับยึดและควบคุมความเร็วในการเชื่อม

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.2.1 เครื่องเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม (Gas tungsten arc welding) เครื่องชนิดนี้สามารถปรับตั้งความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมได้ 10-1300 เซนติเมตร/นาที ถูกออกแบบให้สามารถใส่ลวดเชื่อมแบบม้วนขนาด 300 มิลลิเมตร น้ำหนักไม่เกิน 15 กิโลกรัม ตัวเครื่องสามารถเติมลวดได้อัตโนมัติที่สามารถเชื่อมด้วยมือ และเชื่อมอัตโนมัติ คอนแทกที่ปที่ใช้ควบคุมทิศทางการไหลของลวดทำจากทองแดง ทนต่อความร้อนสูง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสกลุ่ม

3.2.2 ลวดเชื่อม ที่ใช้ในการทดลอง ใช้ลวดเชื่อมกลุ่มอะลูมิเนียมบริษัท AWS.A5.10 ER1100 แบบเปลือยตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร



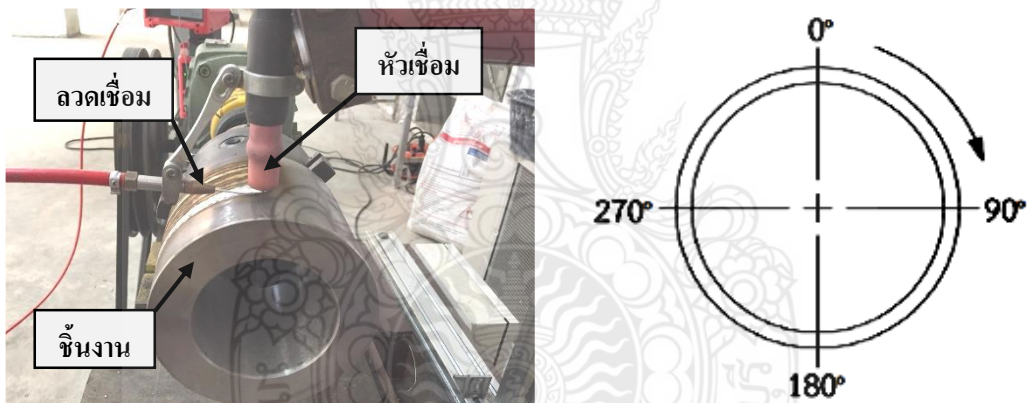
รูปที่ 3.6 ลวดเชื่อมอะลูมิเนียม AWS.A5.10 ER1100 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมอะลูมิเนียม AWS.A5.10 ER1100 (%น้ำหนัก)

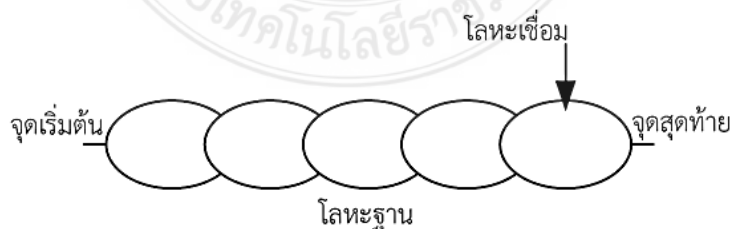
| ธาตุ | Si + Fe | Cu | Mn | zinc | Al | are | Others |
|---------|---------|-------|------|------|---------|--------|---------------------------|
| Al 1100 | 0.95 | 0.125 | 0.05 | 0.10 | Balance | 0.0003 | Single 0.05 total 0.15 |

3.2.3 ขั้นตอนการเชื่อม การเชื่อมจะแบ่งออกเป็น 2 สภาวะ คือ 1) การทดลองเชื่อมเพื่อศึกษาอิทธิพลของกระแสไฟเชื่อมและความเร็วการเติมลวดที่มีต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม เลือกกระแสไฟเชื่อมและอัตราเติมลวดที่เหมาะสมจากการทดสอบสมบัติทางกลของแนวเชื่อมมาทำการเชื่อมทับแนวในสภาวะที่ 2) การเชื่อมทับแนวเพื่อศึกษาอิทธิพลของการสร้างชั้นผิวเคลือบของแนวเชื่อมที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม

3.2.3.1 การทดลองเชื่อมเพื่อศึกษาอิทธิพลของกระแสไฟเชื่อมที่มีต่อสมบัติของแนวเชื่อม การเชื่อมชิ้นงานทดลอง นำชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ที่ผ่านการขึ้นรูปโดยการกลึง จากนั้นประกอบกับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ทำการเชื่อมชิ้นงาน โดยใช้กระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 มิลลิเมตร/นาที อัตราการเติมลวด 200 400 600 และ 800 มิลลิเมตรต่อนาที และใช้แก๊สอาร์กอนปกคลุม อัตราการไหล 15 ลิตร/นาที โดยทำการเชื่อมแบบยึดหัวเชื่อมคงที่ หัวเชื่อมทำมุมกับชิ้นงานเชื่อม 90 องศา และลวดเชื่อมทำมุมกับชิ้นงาน 15 องศา ดังตาราง 3.3 และเดินแนวเชื่อมจำนวน 1 แนวตลอดความยาวของเส้นรอบวงดังรูปที่ 3.8

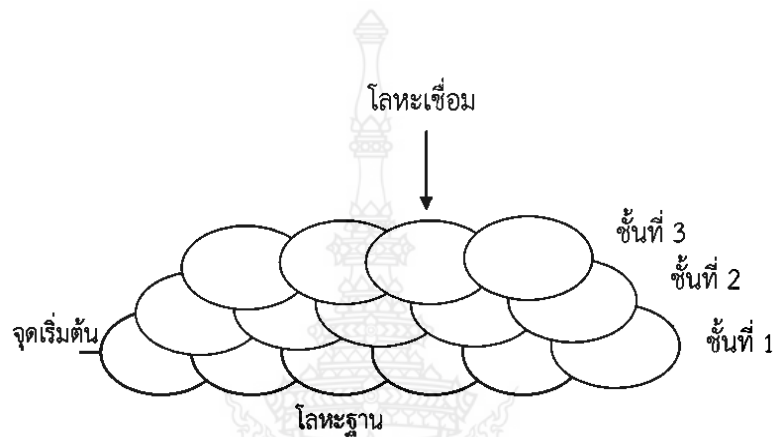


รูปที่ 3.7 การเชื่อมลักษณะแบบหมุน



รูปที่ 3.8 รูปแบบแนวเชื่อม

3.2.3.1 การเชื่อมทับแนวเพื่อศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มขึ้นผิวของแนวเชื่อมที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม หลังจากทำการทดลองเชื่อมเพื่อศึกษาอิทธิพลของกระแสไฟเชื่อมและอัตราการเติมลวดที่มีต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม และทำการทดสอบสมบัติทางกลเรียบร้อยแล้ว เลือกสภาวะการเชื่อมที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดสอบสมบัติของแนวเชื่อม นำชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ที่ผ่านการขึ้นรูปโดยด้วยการกลึงมาเชื่อมแนวเพิ่มขึ้นผิว ดังรูปที่ 3.9 โดยใช้ตัวแปรเหมือนการเชื่อมครั้งที่ 1 แต่เพิ่มจำนวนชั้นผิวแนวเชื่อม ดังหัวข้อที่ 10 ตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.9 รูปแบบการเชื่อมซ้อนแนว

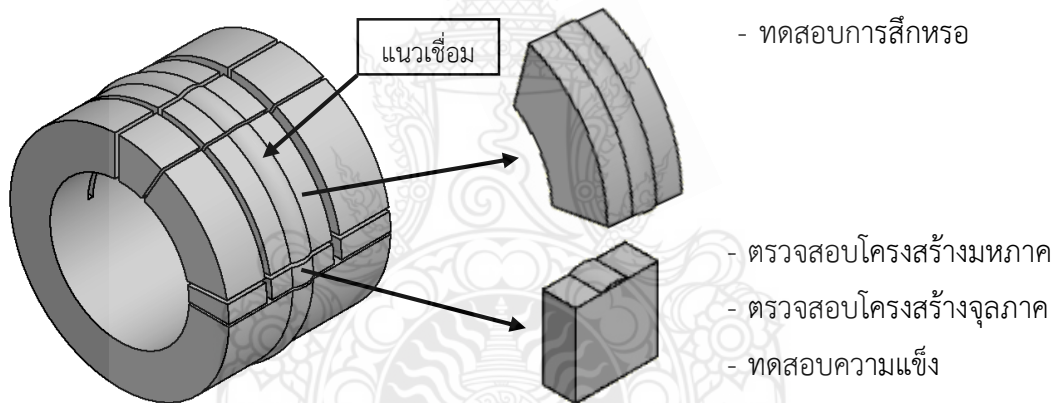
ตารางที่ 3.3 การออกแบบตัวแปรการเชื่อม

| ตัวแปรการเชื่อม | ค่ากำหนด |
|-------------------------|--|
| 1. ทำเชื่อม | ทำราบ (ชิ้นงานเคลื่อนที่) |
| 2. ลวดเชื่อม | ลวดเชื่อมอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ AWS.A5.10 ER1100 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลวด 1.2 มิลลิเมตร |
| 3. กระแสเชื่อม | 170 - 200 แอมแปร์ |
| 4. ความเร็วเดินแนว | 100 mm/min |
| 5. อัตราการป้อนลวด | 200 - 800 mm/min |
| 6. แก๊สคลุม | แก๊สอาร์กอนอัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที |
| 7. มุมหัวเชื่อม | 90 องศา |
| 8. มุมลวดเชื่อม | 15 องศา |
| 9. การเชื่อมครั้งที่ 1 | การเชื่อมเดินแนว 1 แนวบนโลหะฐานดังรูปที่ 3.8 |
| 10. การเชื่อมครั้งที่ 2 | การเชื่อมเดินแนวชั้นที่ 1 2 และ 3 บนโลหะฐานดังรูปที่ 3.9 |

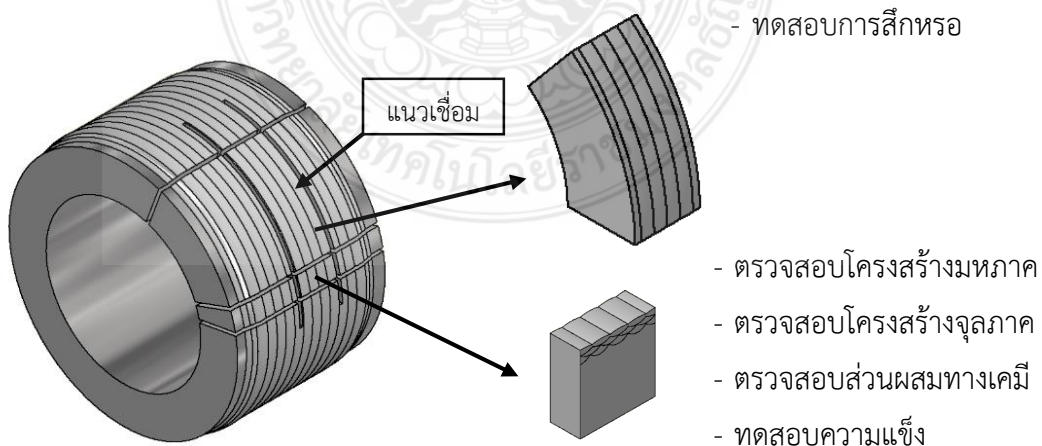
3.3 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน

3.3.1 ขั้นตอนการตัดชิ้นงานทดสอบ นำชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อม ทำการตัดแบ่งเพื่อตรวจสอบโครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาค และการทดสอบสมบัติทางกล ด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน (micro cutting machine) โดยนำชิ้นงานตัดขอบด้านซ้าย และด้านขวาของแนวเชื่อมออก 30 มิลลิเมตร และตัดชิ้นงานทดสอบทดสอบอัตราการสึกหรอ (Wear resistance) ขนาด 50 X 25 X 25 มิลลิเมตร และทำการปาดเนื้อเชื่อมออกให้ถึงชั้น (Interface) โดยทำการวัดขนาดความหนาของชั้นแนวเชื่อมจากการตัดขวางชิ้นงานแล้วจุ่มกรดไนตริกทำให้เห็นชั้นแนวเชื่อมและรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอน S45C และตัดชิ้นงานทดสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค ขนาด 25 X 25 X 10 มิลลิเมตร โดยชิ้นงานทดสอบความแข็งใช้ชิ้นงานเดียวกับชิ้นงานทดสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคและนำมาตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี แสดงดังรูป 3.10

การตัดชิ้นงานทดสอบสภาวะที่ 1 เติมนแนวเชื่อม 1 แนว

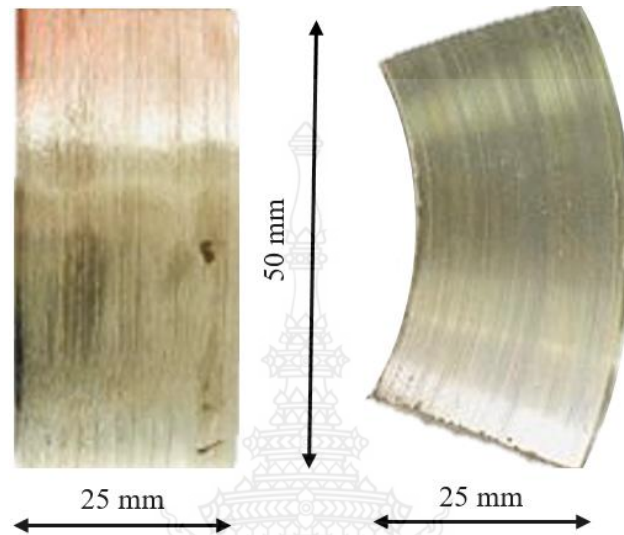


การตัดชิ้นงานทดสอบสภาวะที่ 2 เติมนแนวเชื่อมทับแนว



รูปที่ 3.10 การวางแผนการตัดชิ้นงานทดสอบ

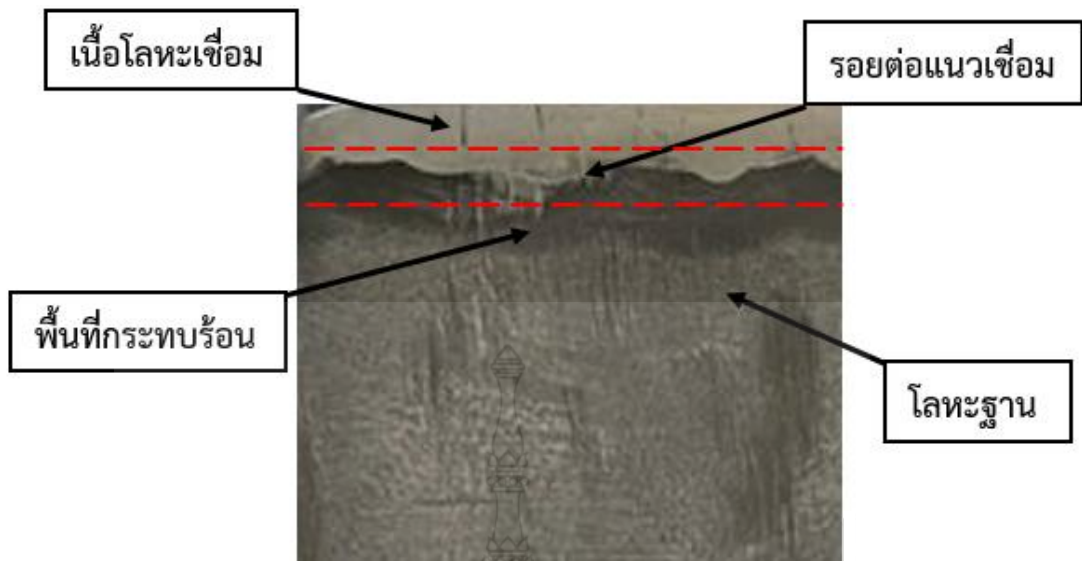
3.3.2 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอ (Wear resistance testing) ชิ้นงานเชื่อมที่ได้ ถูกนำมาทำการตัดออกเพื่อทำการตรวจสอบความต้านทานการสึกหรอ ชิ้นทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนมีขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.11



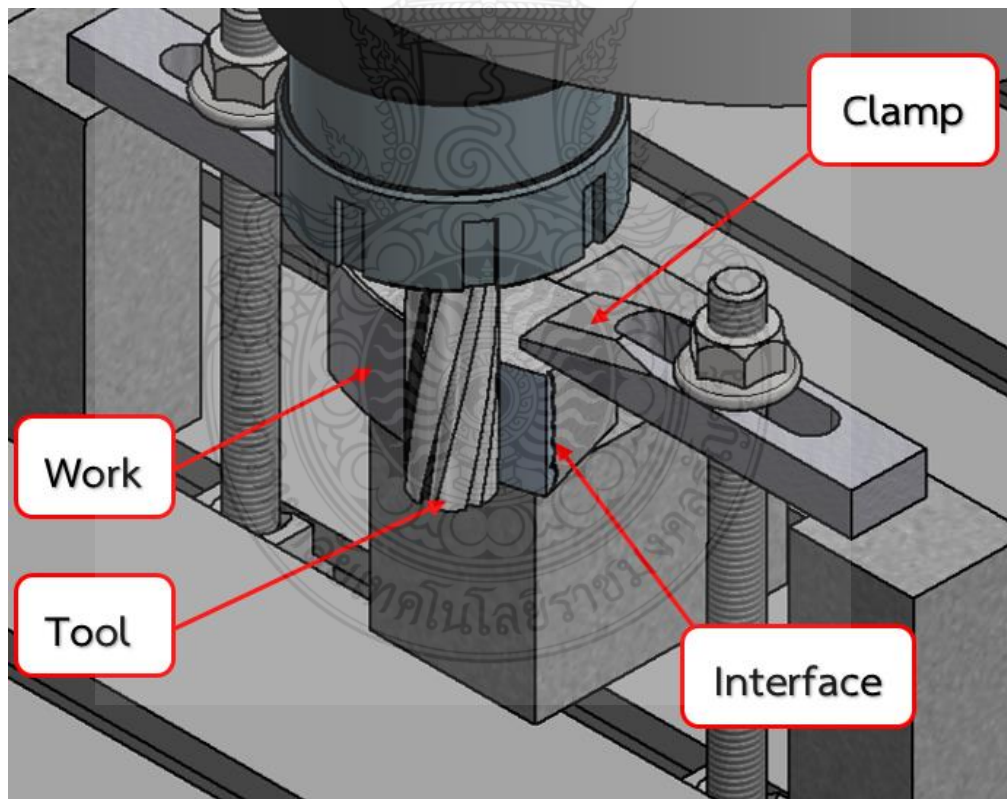
รูปที่ 3.11 ขนาดชิ้นงานทดสอบความต้านทานการสึกหรอ

3.3.2.1 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม การเตรียมชิ้นงานต้องทำการปาดผิวเนื้อโลหะเชื่อมให้เรียบด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซีเพื่อให้ชิ้นงานที่สัมผัสกับล้อยางทดสอบความต้านทานการสึกหรอทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการตั้งโปรแกรมซีเอ็นซีให้ทำงานอัตโนมัติ ตัดแผ่นผิวแนวเชื่อมตามรัศมีของชิ้นงานดังรูปที่ 3.13 และทำการทดสอบความต้านทานการสึกหรอชิ้นโลหะเชื่อม

3.3.2.2 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อม เตรียมชิ้นงานโดยการปาดผิวเนื้อโลหะเชื่อมออกจนถึงชั้นผิวสัมผัสรอยต่อโดยวัดขนาดรอยต่อผิวสัมผัสจากการขีดผิวชิ้นงานในแนวตัดขวาง ทำการขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150 - 1200 และขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินา (Alumina oxide) 1 μm บนเครื่องขัดแบบจานหมุน และล้างด้วยน้ำเซ็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ แล้วทำการกัดผิวหน้าด้วยสารละลาย 5% ไนตรัส เมื่อทำการกัดกรดเรียบร้อยแล้ว จะเห็นชั้นแนวเชื่อมและรอยต่อได้ชัดเจน ดังรูปที่ 3.12 จากนั้นทำการปาดผิวเนื้อโลหะเชื่อมออก โดยเผื่อความหนาชิ้นงานออกจากรอยต่อ 1 มิลลิเมตร เพื่อให้มีระยะเผื่อแนวเชื่อมที่มีการหลอมลึกไม่เท่ากันตลอดทั้งแนว โดยการปาดผิวต้องเดินตามรัศมีของชิ้นงานโดยใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีตั้งโปรแกรมทำงานอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.13



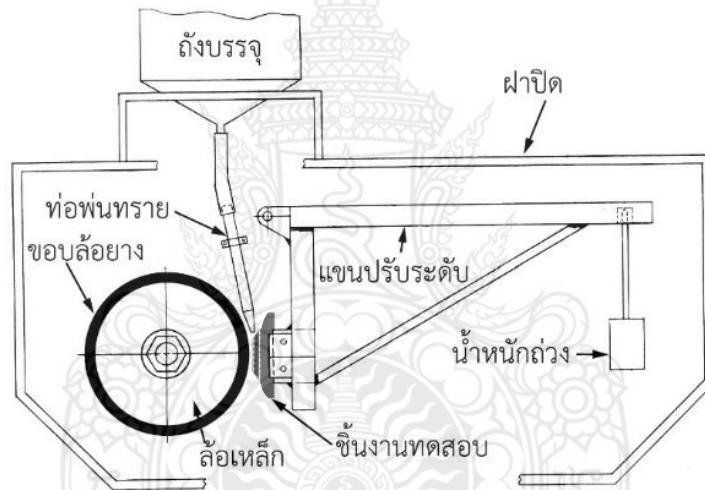
รูปที่ 3.12 ชิ้นงานตัดขวางที่ผ่านการขัดผิวและกัดกรดผิวหน้าเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 3.13 กระบวนการปาดผิวชิ้นงานโดยใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี

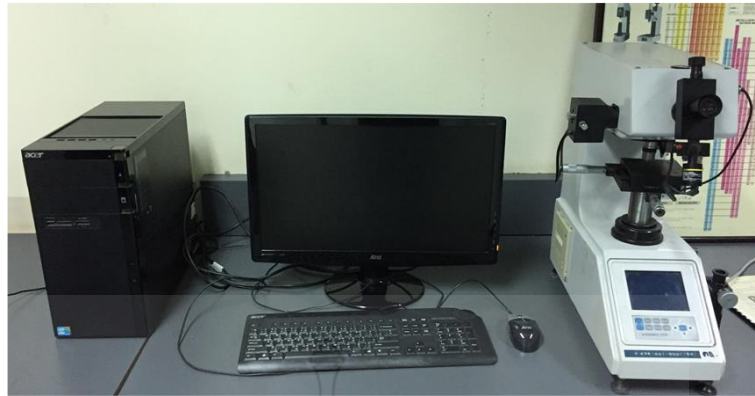
3.3.2.2 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อม โดยการเตรียมชิ้นงานซึ่งทำการปาดผิวเนื้อโลหะเชื่อมออกจนถึงชั้นผิวสัมผัสรอยต่อโดยวัดขนาดรอยต่อผิวสัมผัสจากการถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคของผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อม โดยเพื่อความหนาชิ้นงานออกจากรอยต่อ 1 มิลลิเมตร เพื่อให้มีระยะเผื่อกรณีแนวเชื่อมมีการหลอมลึกไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 3.12

การทดสอบความต้านทานการสึกหรอของแนวเชื่อมพอกแข็งถูกทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานการสึกหรออ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM G65 [43] ดังรูปที่ 3.14 การทดสอบกำหนดแนวเชื่อมลูกวางในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางหมุนของล้อของเครื่องทดสอบการกัดกร่อน สภาวะการทดสอบประกอบด้วยน้ำหนักกด 150 นิวตัน ความเร็วรอบการหมุนล้อ 200 รอบต่อนาที เวลาในการขัดขึ้น 30 นาที สารขัดทรายธรรมชาติขนาด 180 เมช คำน้ำหนักที่สูญหายจากการทดสอบถูกนำมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นและแสดงค่าน้ำหนักที่สูญหายไป [8]



รูปที่ 3.14 เครื่องการทดสอบความต้านทานการสึกหรอ

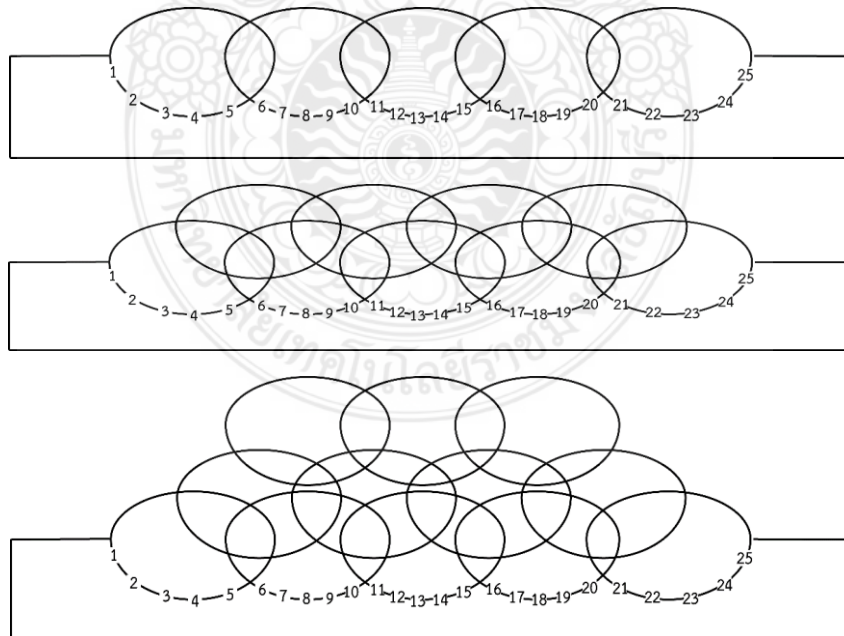
3.3.3 การทดสอบความแข็ง (Hardness testing) ชิ้นงานเชื่อมที่ได้ถูกนำมาทำการตัดออกเพื่อทำการทดสอบความแข็ง ในการทดสอบความแข็งของแนวเชื่อมทำได้โดยการใช้การทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ส์ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งดังรูปที่ 3.15 ที่ภาคตัดของชิ้นทดสอบดังรูปที่ 3.16 และทดสอบบริเวณขอบแนวเชื่อม ดังรูปที่ 3.17 อ้างอิงการทดสอบตาม JIS Z3114 [39] โดยกำหนดให้ใช้แรงกดทดสอบที่ 100 gf และเวลากดแช่ 10 วินาที ตำแหน่งระยะห่างการทดสอบในแต่ละแนวมีค่าประมาณ 0.25 mm. ดังรูปที่ 3.16 คือ ขอบเขตระหว่างโลหะเชื่อมและพื้นที่กระทบร้อน



รูปที่ 3.15 เครื่องวัดความเข้มไมโครวิกเกอร์ส์

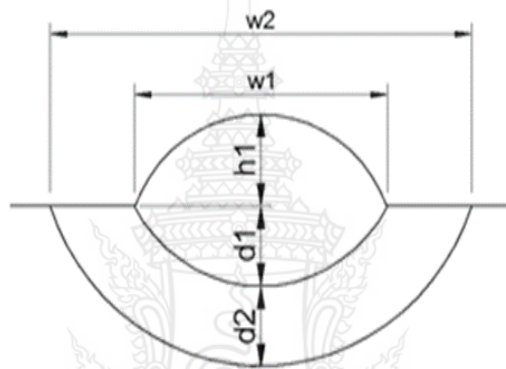


รูปที่ 3.16 การทดสอบความเข้มแนวเชื่อมพอกแข็ง 1 แนว [45]



รูปที่ 3.17 การทดสอบความเข้มแนวเชื่อมพอกแข็ง ชั้นที่ 1-3

3.3.4 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม (Macrostructure) การเตรียมการตรวจสอบเลือกทำการศึกษาที่ภาคตัดของชิ้นทดสอบที่ทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเดินแนวเชื่อม ชิ้นงานที่ได้ถูกทำการขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150 - 1200 และขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินา (Alumina oxide) $1\ \mu\text{m}$ บนเครื่องขัดแบบจานหมุน และล้างด้วยน้ำเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ แล้วทำการกัดผิวหน้าด้วยสารละลาย 5% ไนตริก ตามมาตรฐาน ASTM E407-99 [42] จุ่มแช่ 60 วินาที ล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าลมร้อนให้แห้งและทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Micro Capture) ดังรูปที่ 3.19 เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ ข้อบกพร่อง และลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อม



รูปที่ 3.18 แสดงการวัดขนาดแนวเชื่อมระดับมหภาค



รูปที่ 3.19 กล้องจุลทรรศน์ (Micro Capture)

3.3.5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชั้นแนวเชื่อม (Microstructure)

3.3.5.1 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคชั้นแนวเชื่อม ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Micro Scope) ยี่ห้อ LEICA รุ่น SDM 2500 M กำลังขยาย 50 - 500 เท่า ดังรูปที่ 3.20 นำชิ้นงานที่ตรวจสอบโครงสร้างมหภาคเรียบร้อยแล้วมาขัดด้วย กระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 400 - 2000 และขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินา (Alumina oxide) 1 μm บนเครื่องขัดแบบจานหมุน และล้างด้วยน้ำ เช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ แล้วทำการกัดผิวหน้าด้วยสารละลาย 5% ไนตรัล ตามมาตรฐาน ASTM E407 ใช้สำลีจุ่มและทาแนวเชื่อม 10 วินาที ล้างด้วยน้ำและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เป่าลมร้อนให้แห้งและทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมบริเวณตำแหน่งต่างๆ บันทึกผลและทำการวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป



รูปที่ 3.20 กล้องจุลทรรศน์ (Optical Micro Scope)

3.3.5.2 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) นำชิ้นงาน มาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ดังรูปที่. 3.21 เพื่อทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาคและตรวจสอบ บริเวณตำแหน่งต่างๆ ของแนวเชื่อม และตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยการวิเคราะห์การกระจายพลังงาน (Energy Dispersive Spectrometer : EDS) ที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม



รูปที่ 3.21 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



บทที่ 4

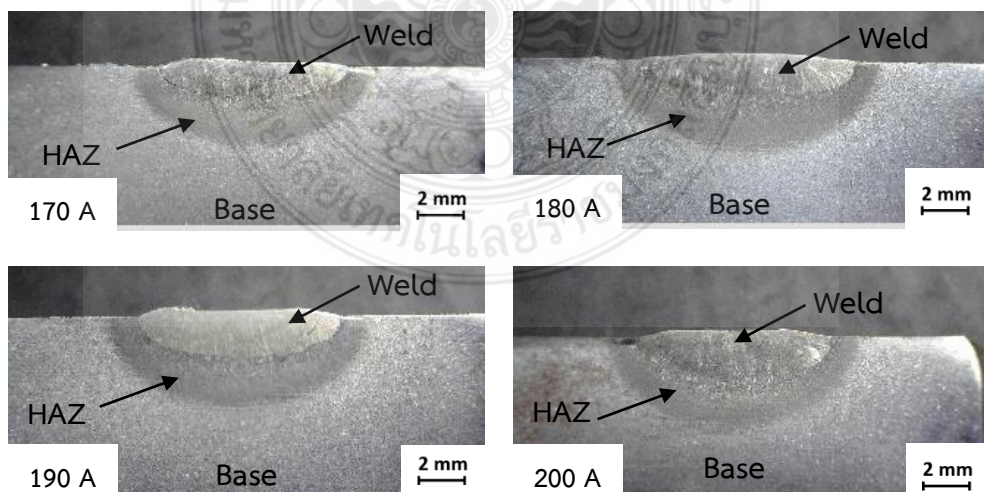
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมบนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยการเติมลวดเชื่อมอะลูมิเนียม โดยใช้อัตราการเติมลวด 200 400 600 และ 800 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ และการเชื่อมทับแนวจำนวน 1 – 3 ชั้น เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาที่มีผลต่อแนวเชื่อม และหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดในการเชื่อมพอกผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C โดยได้ผลการทดลองดังนี้

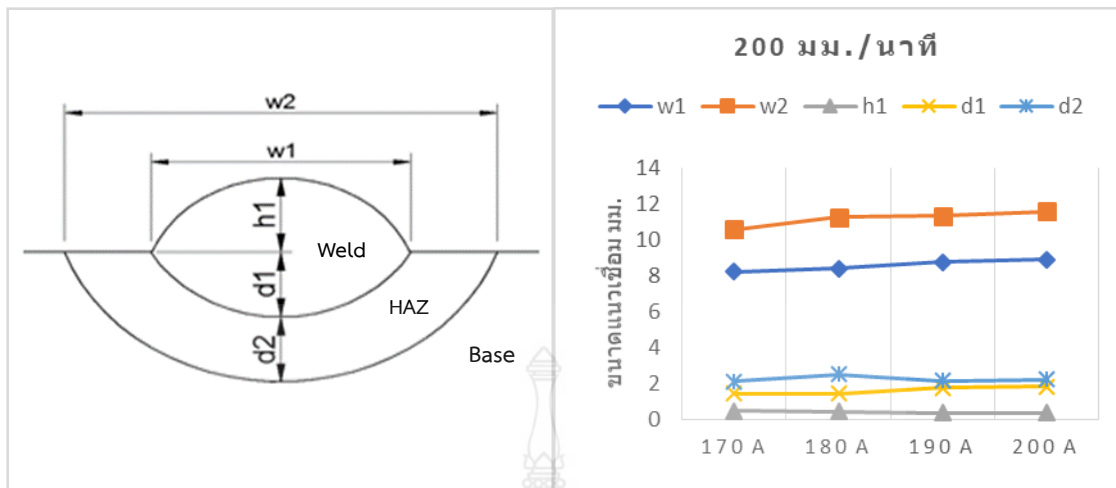
4.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมและอัตราการเติมลวดโดยการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมที่มีผลต่อสมบัติของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอน S45C

4.1.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลของแนวเชื่อมโดยใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.1.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค โดยการวัดขนาดส่วนต่างๆ ของแนวเชื่อม พบว่าเมื่อเพิ่มกระแสเชื่อมสูงขึ้น ความกว้างของแนวเชื่อม (w_1) ระยะความกว้างของพื้นที่กระทบร้อน (w_2) เพิ่มสูงขึ้น ส่วนระยะการหลอมลึกแนวเชื่อม (d_1) เพิ่มมากขึ้น ระยะความลึกของพื้นที่กระทบร้อน (d_2) เพิ่มสูงขึ้น และความนูนของแนวเชื่อมลดลงตามกระแสเชื่อมที่สูงขึ้น เนื่องด้วยการหลอมละลายของน้ำโลหะขณะเชื่อมที่กระแสสูงทำให้ความนูนแนวเชื่อมลดลงตามลำดับดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

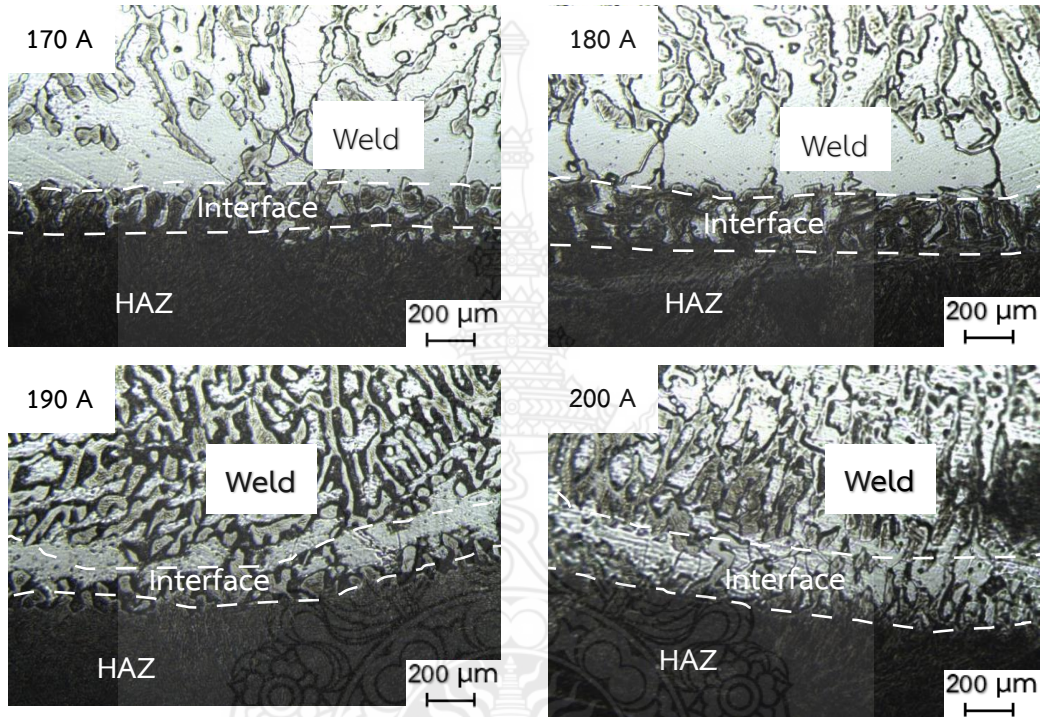
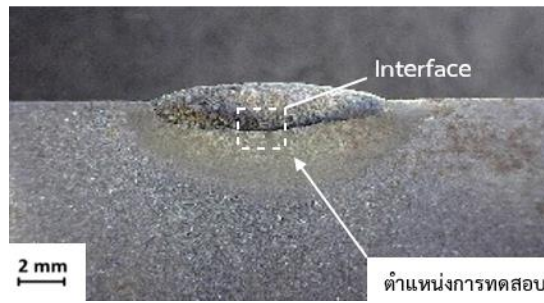


รูปที่ 4.1 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที

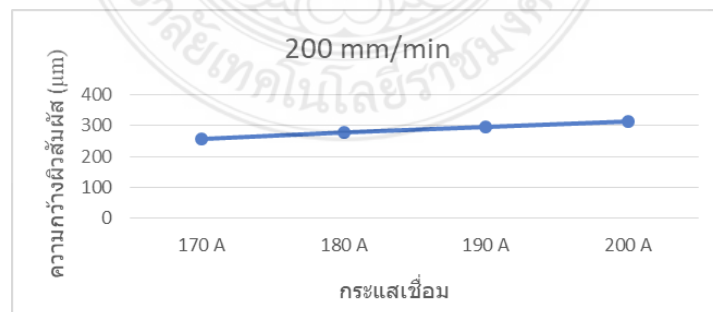


รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการวัดขนาดและการเปรียบเทียบส่วนต่างๆของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้กระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.1.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมใช้ความเร็วเดินแนว 100 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ ดังรูปที่ 4.3 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วย บริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) บริเวณผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อม (Interface) และบริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน (HAZ) พบว่าโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) ซึ่งมีลักษณะเป็นสีขาวมีลักษณะโครงสร้างเป็นโครงสร้างเดนไดท์ คล้ายโครงสร้างจุลภาคงานหล่อที่มีลักษณะการเย็นตัวของโลหะที่ถูกหลอมเหลว ถัดมาคือ บริเวณผิวสัมผัสรอยต่อของแนวเชื่อม (Interface) จากรูปจะเห็นการแบ่งเฟสซึ่งแสดงลักษณะของรอยต่อที่ชัดเจนด้านล่างเป็นมาเทนไซต์ละเอียดและด้านบนเป็นโครงสร้างแบบเดนไดท์ และบริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อนของแนวเชื่อม (HAZ) ซึ่งมีลักษณะเป็นเกรนที่ละเอียดมากขึ้นเนื่องจากได้รับความร้อนจากการเชื่อมโครงสร้างเปลี่ยนมาเป็นมาเทนไซต์ละเอียดและมีขนาดเกรนละเอียดเล็กลง สอดคล้องกับ [49] ได้กล่าวว่า ความร้อนจากการเชื่อมส่งผลให้ขนาดและรูปร่างของเฟสเฟอร์ไรต์และซีเมนไทต์ บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน (HAZ) มีขนาดเล็กละเอียด และกระจายตัวทั่วทั้งพื้นที่ที่กระทบร้อน และทำการวัดขนาดความกว้างของผิวสัมผัสรอยต่อ พบว่ากระแสเชื่อม 170 แอมแปร์ มีขนาดความกว้างของผิวสัมผัสรอยต่อแคบที่สุด มีขนาดเท่ากับ 255 μm และยังพบว่าเมื่อเพิ่มกระแสเชื่อมสูงขึ้น ผิวสัมผัสรอยต่อมีความกว้างเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ คือ กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ มีขนาดผิวสัมผัสรอยต่อเท่ากับ 279 μm กระแสเชื่อม 190 แอมแปร์ มีขนาดความกว้างเท่ากับ 294 μm และกระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ มีขนาดความกว้างที่สุด มีขนาดเท่ากับ 312 μm ดังรูปที่ 4.4

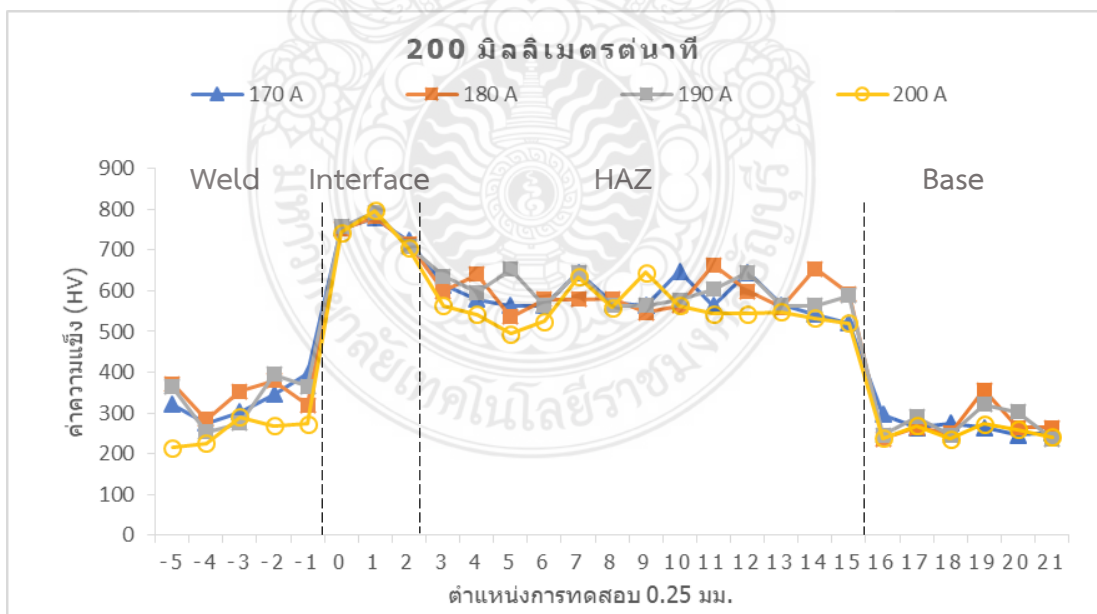
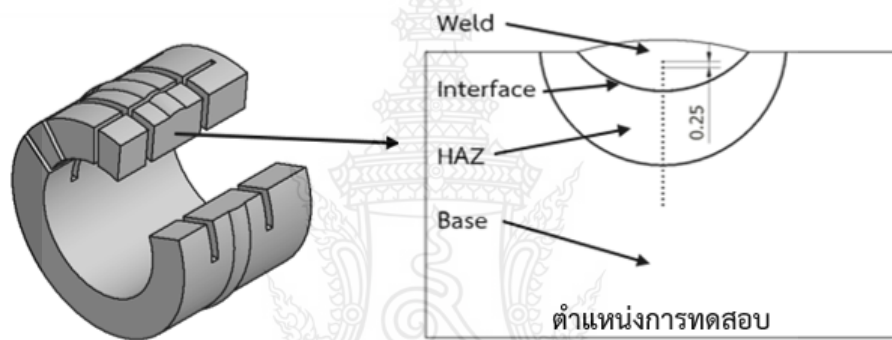


รูปที่ 4.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้กระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์



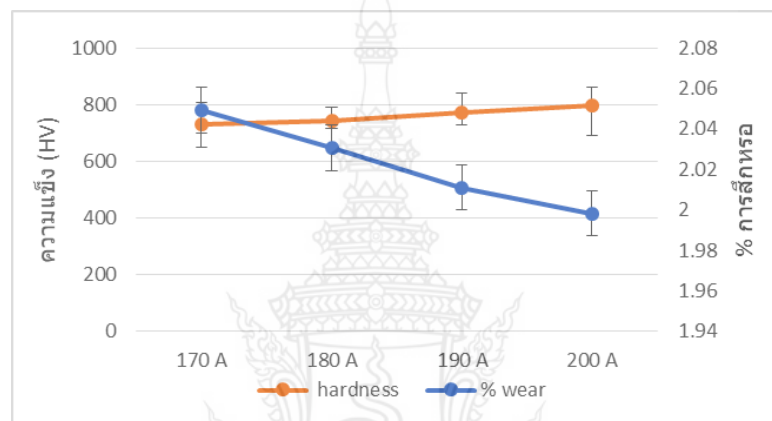
รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบขนาดความกว้างของผิวสัมผัสรอยต่อที่ใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้ความกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.1.3 การทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อมใช้ อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ ดังรูปที่ 4.5 ผลการทดสอบความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) มีความแข็ง 250 - 400 HV บริเวณผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) มีความแข็งสูงสุดที่ 700 - 900 HV บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน (HAZ) มีความแข็ง 550 - 700 HV และพื้นที่บริเวณโลหะฐาน (Base) มีความแข็ง 200 - 300 HV และยังพบว่า ชิ้นงานที่มีค่าความแข็งบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อ ต่ำสุดที่กระแส 170 แอมแปร์ เท่ากับ 779.3 HV และเมื่อเพิ่มกระแสเชื่อมสูงขึ้น ทำให้ค่าความแข็งบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) เพิ่มสูงขึ้น มีค่าความแข็งสูงสุดที่ กระแส 200 แอมแปร์ มีค่าเท่ากับ 797.5 HV ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [50] กล่าวว่าการเพิ่มกระแสเชื่อมในการเชื่อมส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งการทดสอบและผลการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อมใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที โดยใช้กระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

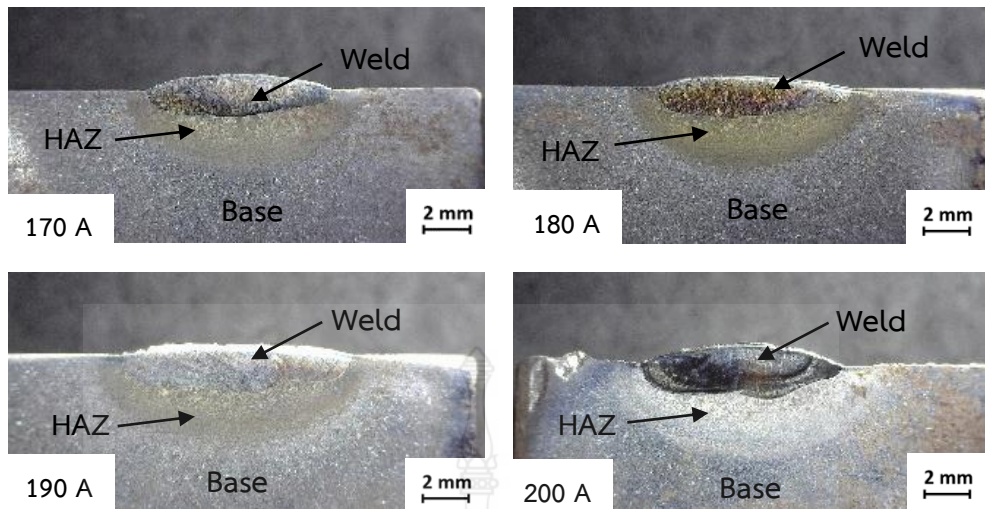
4.1.1.4 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์พบว่าใช้กระแสเชื่อมสูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักมีค่าต่ำลง และเมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักกับค่าความแข็ง พบว่ามีความสัมพันธ์กัน เมื่อค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักจะลดต่ำลง ดังรูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบความแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอน



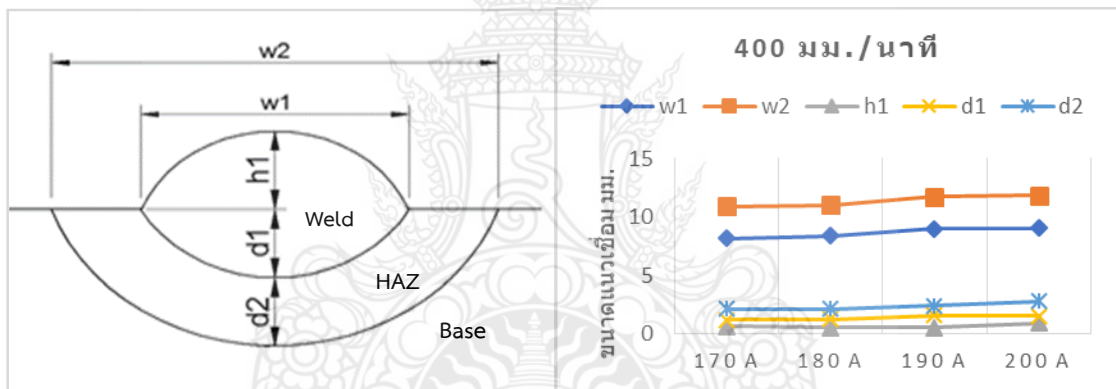
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบความแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลของแนวเชื่อมโดยใช้อัตราการเติมลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.2.1 โครงสร้างมหภาคแนวเชื่อม โดยการตรวจสอบชิ้นงานตัดขวางเพื่อดูขนาดส่วนต่างๆของแนวเชื่อม ที่ใช้อัตราการเติมลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ ซึ่งประกอบด้วย ขนาดความกว้าง การหลอมลึก ขนาดความนูน และความกว้างบริเวณพื้นที่กระทบร้อน ดังรูปที่ 4.7 จากการวัดขนาดส่วนต่างๆของแนวเชื่อมพบว่าเมื่อเพิ่มกระแสเชื่อมสูงขึ้น ความกว้างของแนวเชื่อม (w1) ระยะความกว้างของพื้นที่กระทบร้อน (w2) เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ส่วนระยะการหลอมลึกแนวเชื่อม (d1) เพิ่มมากขึ้นที่กระแสสูง ระยะการหลอมลึกของพื้นที่กระทบร้อน (d2) เพิ่มขึ้นที่กระแสสูง และความนูนของแนวเชื่อมลดลงตามกระแสเชื่อมที่สูงขึ้น เนื่องด้วยการหลอมละลายของน้ำโลหะขณะเชื่อมที่กระแสสูงทำให้ความนูนลดลง ดังรูปที่ 4.8

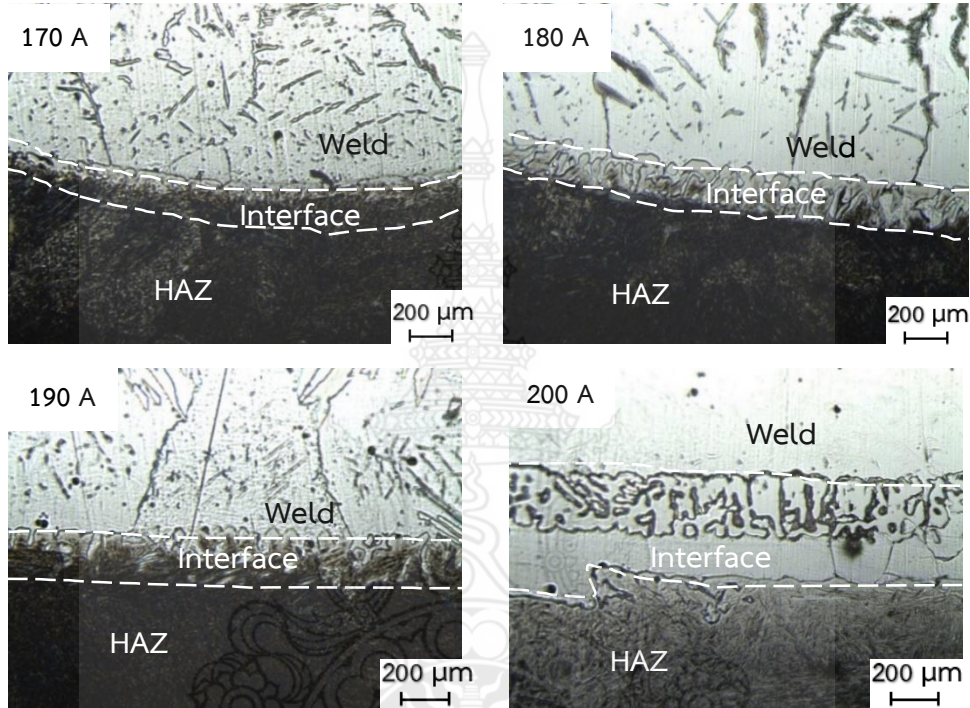
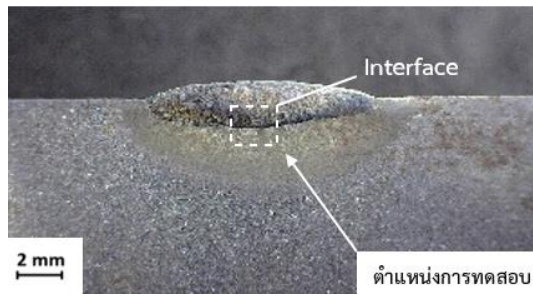


รูปที่ 4.7 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที

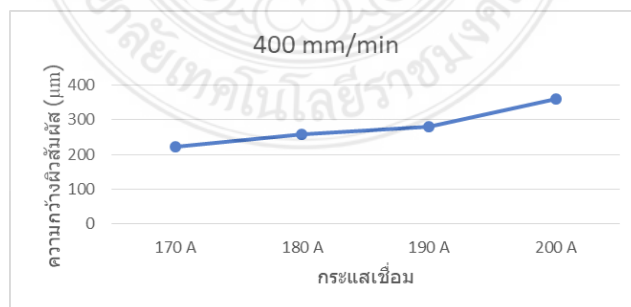


รูปที่ 4.8 ตำแหน่งการวัดขนาดและการเปรียบเทียบส่วนต่างๆของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และใช้กระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.2.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม โดยใช้อัตราการเติมลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 - 200 แอมแปร์ รูปที่ 4.9 พบว่าโครงสร้างบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) คล้ายโครงสร้างเดนไดรต์ บริเวณผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อม (Interface) มีการแบ่งเฟสที่ชัดเจน สีดำมาแทนไฮท์ละเอียดและสีขาวเป็นโครงสร้างแบบเดนไดรต์ และบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) ลักษณะเกรนที่ละเอียดเพิ่มขึ้นจากความร้อน เป็นมาแทนไฮท์ละเอียด การวัดขนาดของผิวสัมผัสรอยต่อ พบว่าความกว้างผิวสัมผัสต่ำสุด คือกระแส 170 แอมแปร์ มีค่า 223 μm และพบว่าเมื่อเพิ่มกระแสเชื่อมสูงขึ้นผิวสัมผัสรอยต่อกว้างมากขึ้น สูงสุดที่กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ มีค่า 359 μm ดังรูปที่ 4.10

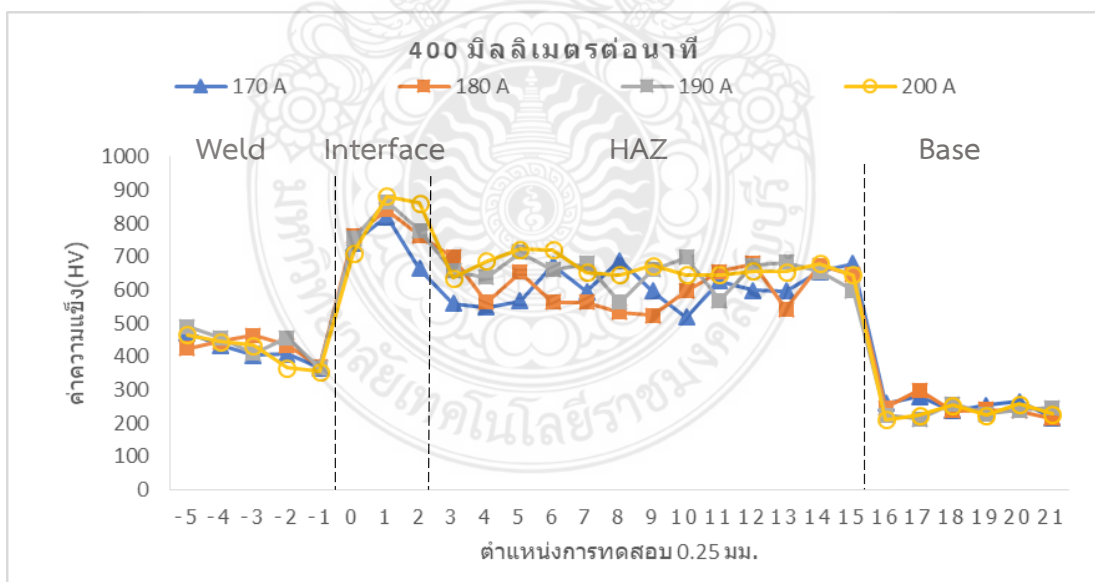
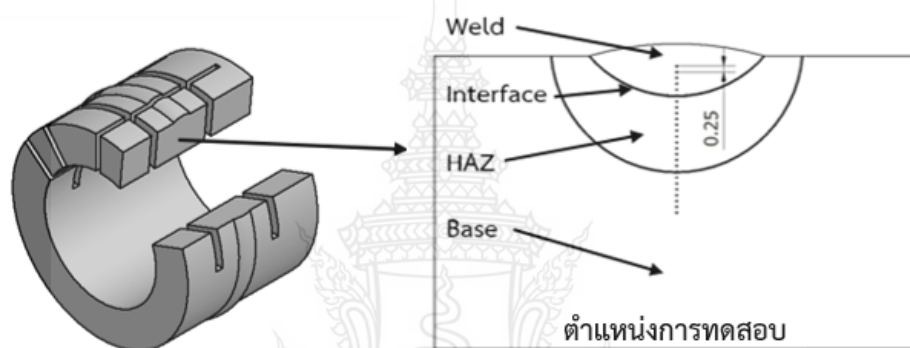


รูปที่ 4.9 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมบริเวณรอยต่อแนวเชื่อมที่ใช้ความเร็วการเติมหลอด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์



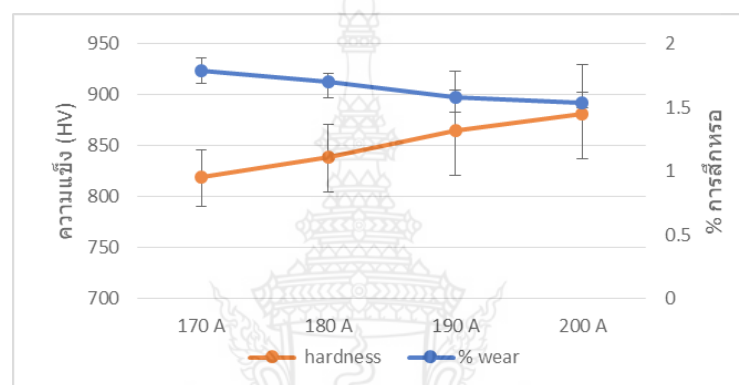
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบขนาดความกว้างของผิวสัมผัสรอยต่อโดยใช้อัตราการเติมหลอด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.2.3 การทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อมใช้อัตราการเติมลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ ผลการทดสอบความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) มีความแข็ง 200 - 400 HV บริเวณผิวสัมผัสสรอยต่อ (Interface) มีความแข็งสูงสุดที่ 700 - 800 HV บริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน (HAZ) มีความแข็ง 550 - 700 HV และพื้นที่บริเวณโลหะฐาน (Base) มีความแข็ง 200 - 300 HV ค่าความแข็งบริเวณ ผิวสัมผัสสรอยต่อ (Interface) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มกระแสเชื่อม ให้ค่าความแข็งต่ำสุดที่กระแสเชื่อม 170 แอมแปร์ มีเท่ากับ 819.4 HV และให้ค่าความแข็งสูงสุดที่กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ มีค่าเท่ากับ 881.6 HV ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ตำแหน่งการทดสอบและผลการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม ที่ใช้อัตราการเติมลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

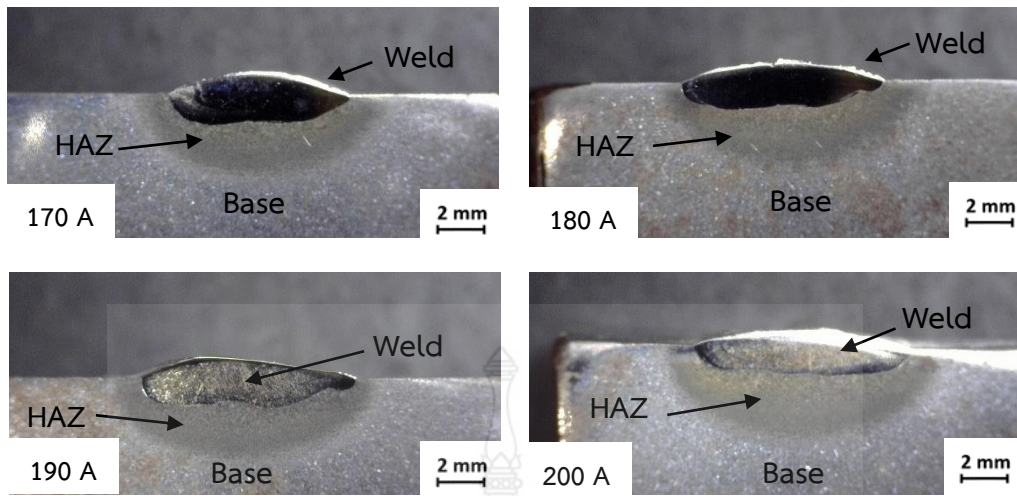
4.1.2.4 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) แนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ พบว่าใช้กระแสเชื่อมสูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญหายของ น้ำหนักที่มีแนวโน้มลดลง และเมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักกับค่าความ แข็ง พบว่ามีความสัมพันธ์กัน เมื่อค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักจะลดต่ำลง ดัง รูปที่ 4.12 เป็นการเปรียบเทียบความแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อ แนวเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอน



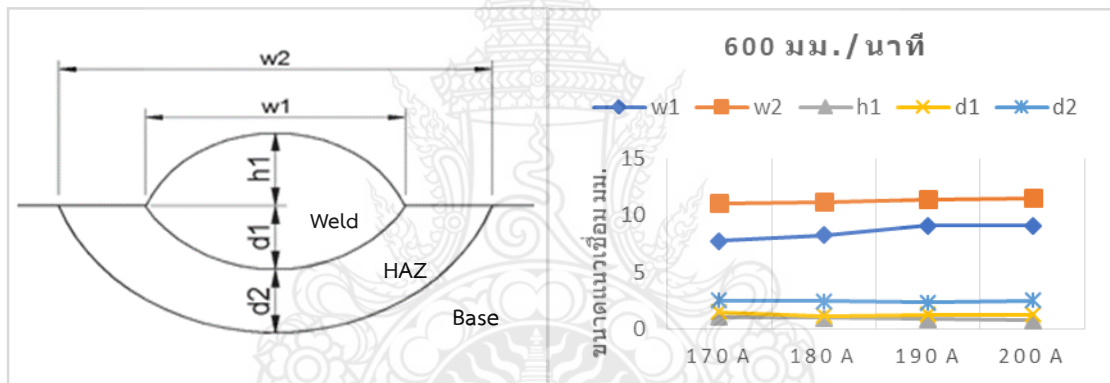
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบความแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อ ของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 400 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.3 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลของแนวเชื่อม โดยใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.3.1 โครงสร้างมหภาคแนวเชื่อม โดยการตรวจสอบชิ้นงานตัดขวางเพื่อ ตรวจสอบขนาดส่วนต่างๆของแนวเชื่อม ที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที ที่กระแสเชื่อม ต่างกัน 4 ระดับ คือ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ ซึ่งประกอบด้วย ขนาดความกว้าง การหลอมลึก ขนาดความนูน และบริเวณพื้นที่กระหนว้น ดังรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่อเพิ่มกระแสสูงขึ้น ความกว้างแนว เชื่อม (w_1) ระยะความกว้างของพื้นที่กระหนว้น (w_2) การหลอมลึกแนวเชื่อม (d_1) ความลึกของพื้นที่ กระหนว้น (d_2) เพิ่มขึ้นที่กระแสสูง แต่ความนูนของแนวเชื่อมลดลงตามกระแสเชื่อมที่สูงขึ้น ดังรูปที่ 4.14 เนื่องด้วยการหลอมละลายของน้ำโลหะขณะเชื่อมที่กระแสสูงทำให้ความนูนแนวเชื่อมลดต่ำลง ตามลำดับ

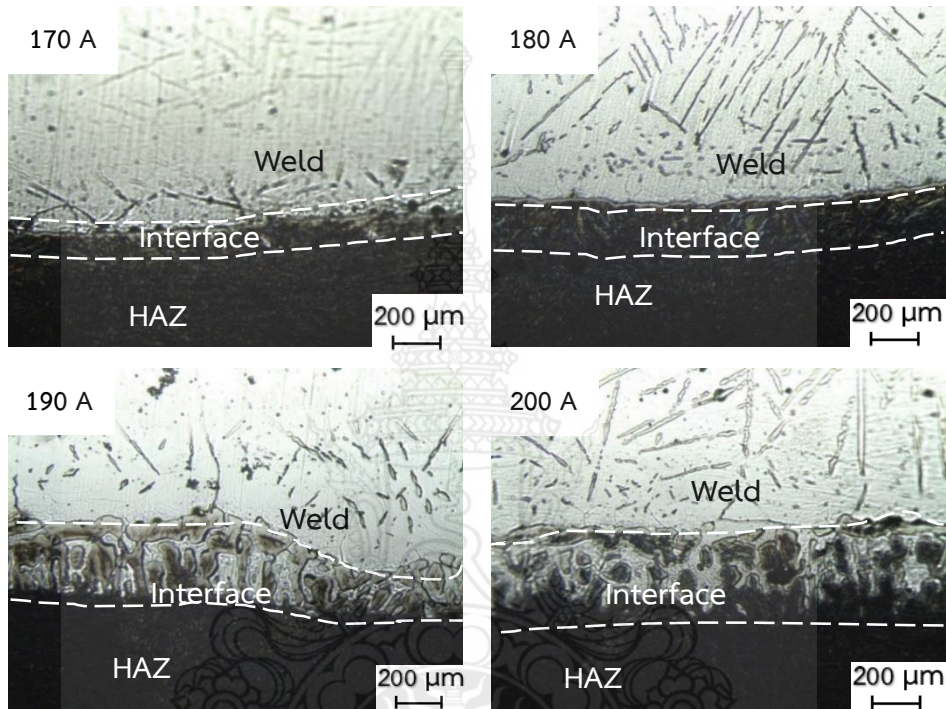
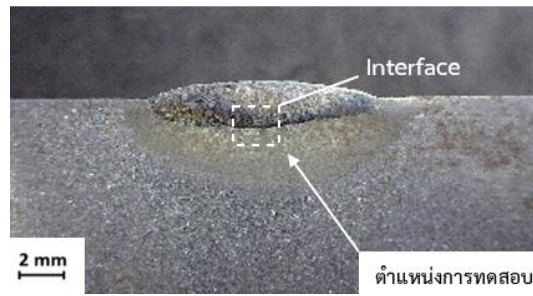


รูปที่ 4.13 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที

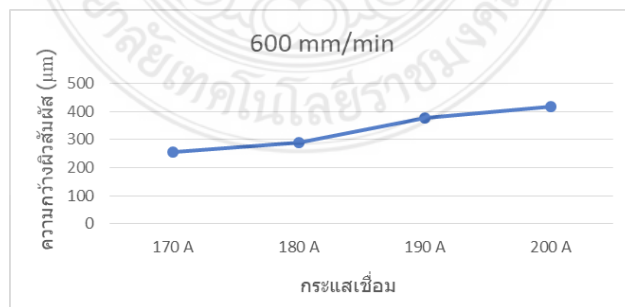


รูปที่ 4.14 ตำแหน่งการวัดขนาดและการเปรียบเทียบส่วนต่างๆของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.3.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม รูปที่ 4.15 ที่ใช้ความเร็วเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และใช้กระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ พบว่าบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) มีโครงสร้างคล้ายโครงสร้างเดนไดท์ บริเวณผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) จะเห็นการแบ่งเฟสชัดเจนด้านล่างเป็นมาเทนไซต์ละเอียดและด้านบนเป็นโครงสร้างแบบเดนไดท์ และบริเวณพื้นที่กระทบร้อนของแนวเชื่อม (HAZ) มีลักษณะเกรนละเอียด ความร้อนจากการเชื่อมทำให้โครงสร้างเปลี่ยนเป็นมาเทนไซต์ จากการวัดขนาดของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) พบว่ามีขนาดความกว้างต่ำสุด ที่กระแสเชื่อม 170 แอมแปร์ มีค่า 255 μm และยังพบว่าเมื่อเพิ่มกระแสเชื่อมสูงขึ้นความกว้างเพิ่มขึ้นสูงสุดที่กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ มีค่า 417 μm ดังรูปที่ 4.16

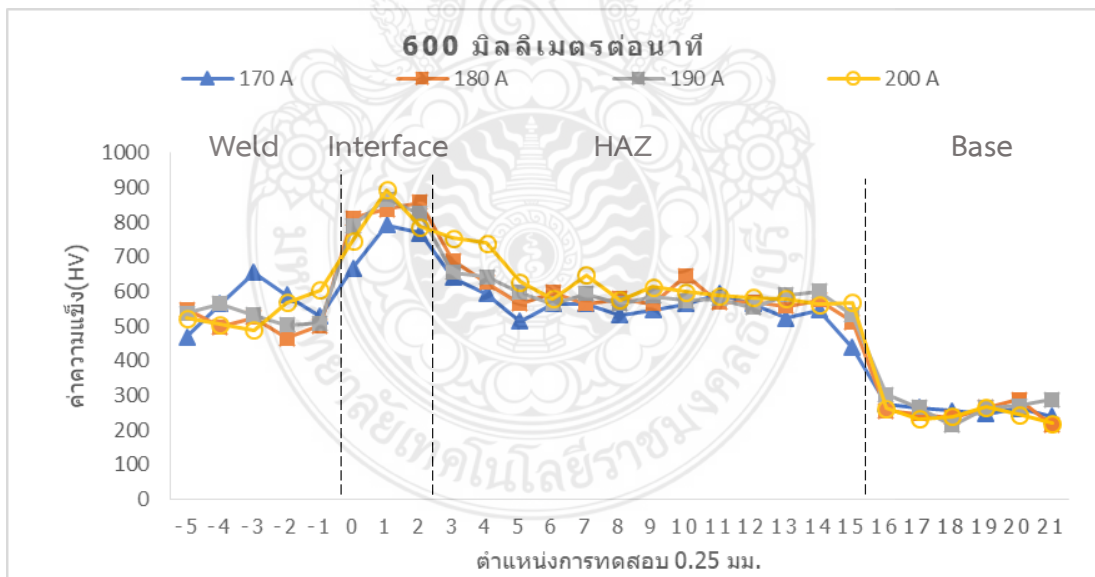
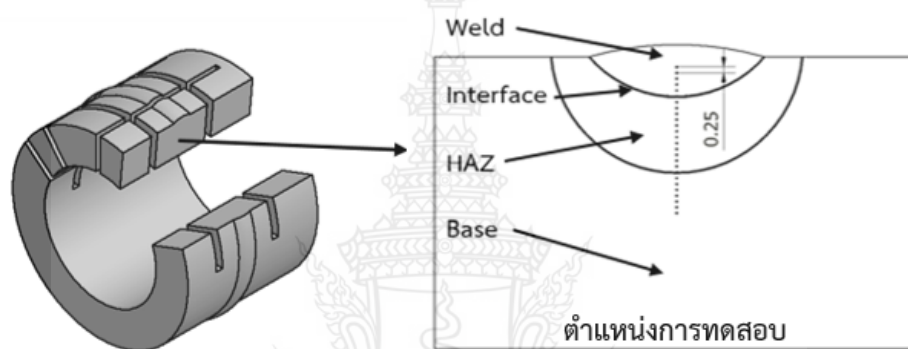


รูปที่ 4.15 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมบริเวณรอยต่อแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และใช้กระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์



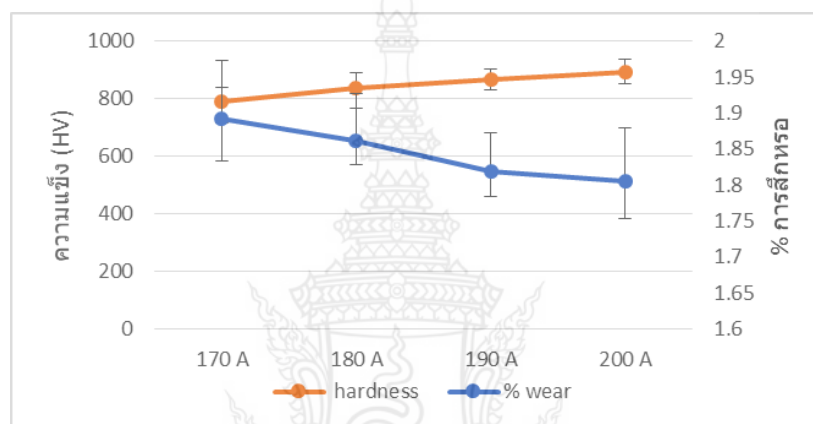
รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบขนาดความกว้างของผิวสัมผัสรอยต่อที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.3.3 การทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม ดังรูปที่ 4.17 โดยใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ ผลการทดสอบความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) มีความแข็ง 450 - 650 HV บริเวณผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) มีความแข็งสูงสุดที่ 800 - 900 HV บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) มีความแข็ง 500 - 650 HV และพื้นที่บริเวณโลหะฐาน (Base) มีความแข็ง 200 - 300 HV และยังพบว่าค่าความแข็งบริเวณชั้นผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) มีค่าต่ำสุดที่กระแสเชื่อม 170 แอมแปร์ มีค่าเท่ากับ 792 HV และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มกระแสเชื่อม ทำให้ความแข็งบริเวณชั้นผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) สูงสุดที่กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ มีค่าเท่ากับ 893.6 HV



รูปที่ 4.17 ตำแหน่งการทดสอบและผลการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม ที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

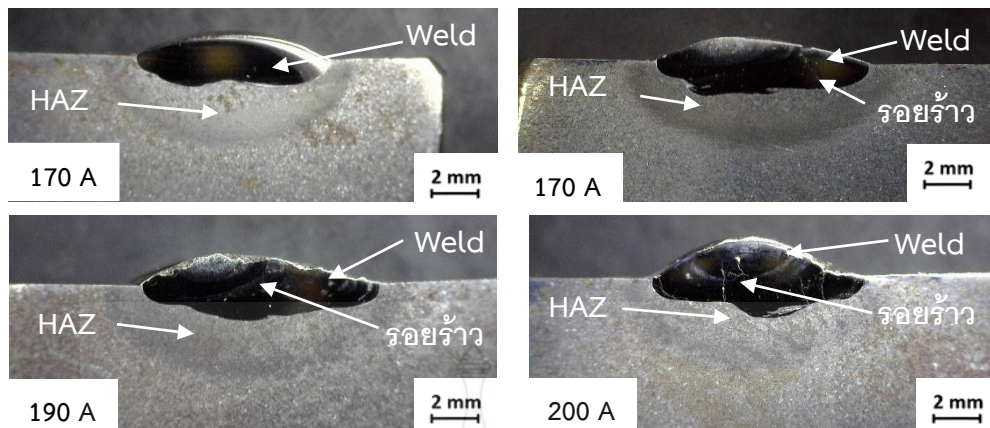
4.1.3.4 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอบริเวณชั้นผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) แนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ พบว่าใช้กระแสเชื่อมสูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญหายของ น้ำหนักมีค่าต่ำลง และเมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักกับค่าความแข็ง พบว่า มีความสัมพันธ์กัน คือ เมื่อค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักจะลดต่ำลง ดังรูปที่ 4.18 เป็นการเปรียบเทียบความแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อแนว เชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอน



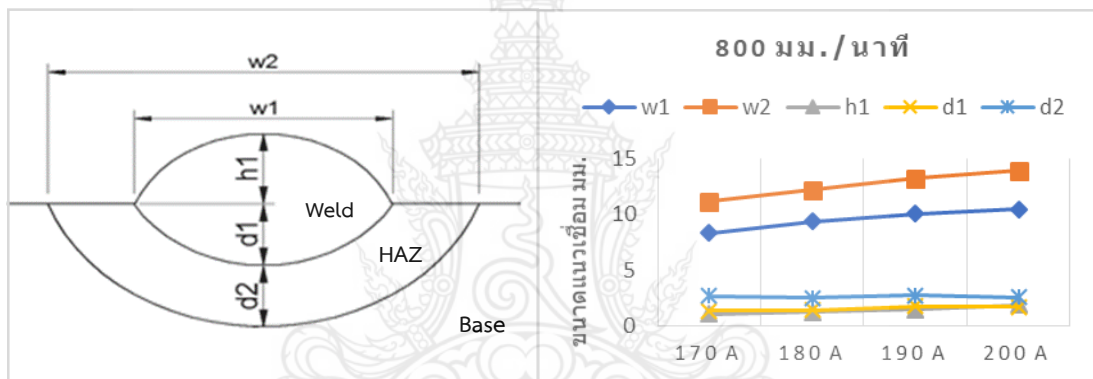
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบความแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อ ของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 600 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.4 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลของแนวเชื่อม อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.4.1 โครงสร้างมหภาคแนวเชื่อม เป็นการตรวจสอบชิ้นงานตัดขวางเพื่อดู ขนาดส่วนต่างๆของแนวเชื่อม ที่ใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที ที่กระแสเชื่อมต่างกัน 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ ซึ่งประกอบด้วย ขนาดความกว้าง การหลอมลึก ขนาดความนูน และ บริเวณพื้นที่ที่กระหน่ำร้อน ดังรูปที่ 4.19 จากการวัดขนาดส่วนต่างๆของแนวเชื่อมพบว่าเมื่อเพิ่มกระแส สูงขึ้น ความกว้างแนวเชื่อม (w_1) ระยะความกว้างของพื้นที่ที่กระหน่ำร้อน (w_2) การหลอมลึกแนวเชื่อม (d_1) ความลึกของพื้นที่ที่กระหน่ำร้อน (d_2) เพิ่มขึ้นที่กระแสเชื่อมสูง แต่ความนูนลดลงตามกระแสเชื่อมที่ สูงขึ้น ดังรูป 4.20 เนื่องด้วยการหลอมละลายของน้ำโลหะขณะเชื่อมที่กระแสสูงทำให้ความนูนแนว เชื่อมลดต่ำลงตามลำดับ และยังพบว่ามียอยแตกร้าวบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม

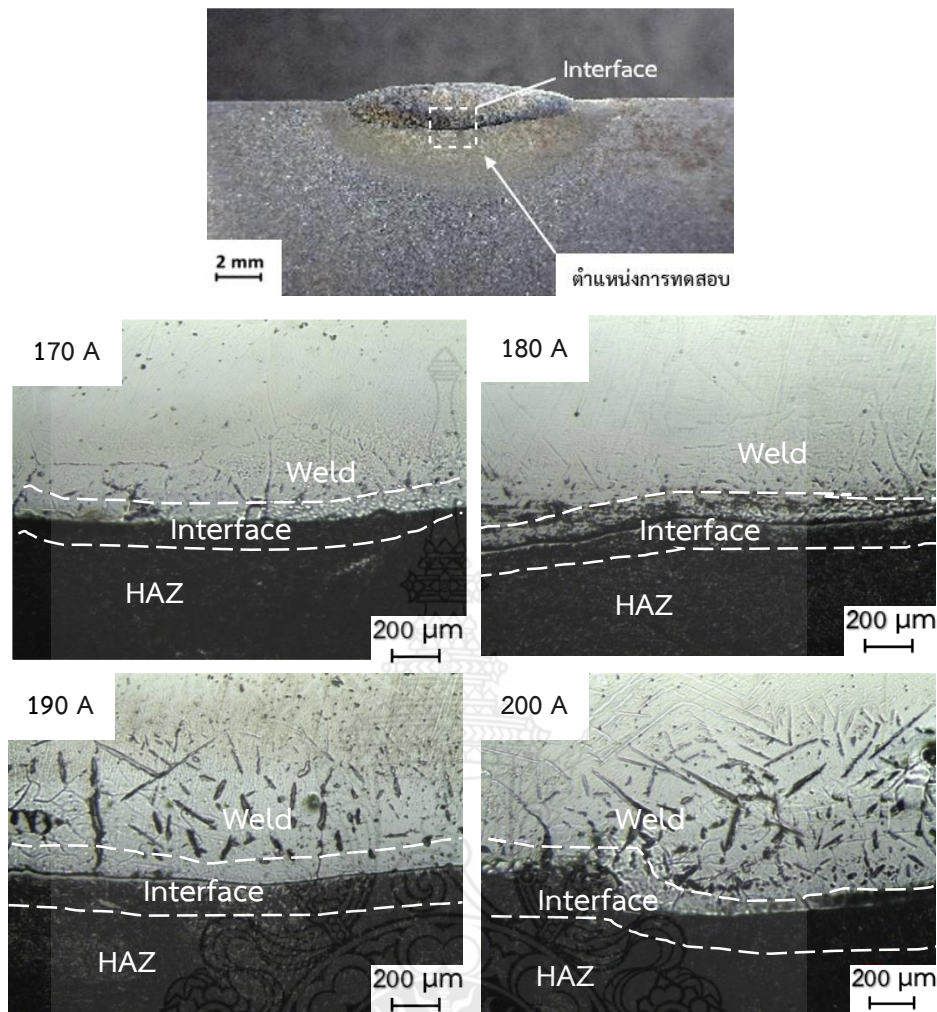


รูปที่ 4.19 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที

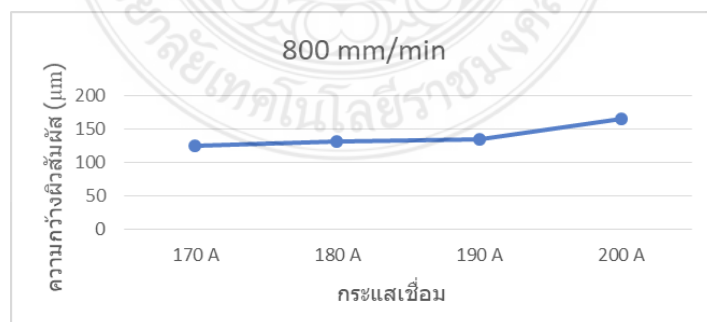


รูปที่ 4.20 ตำแหน่งการวัดขนาดและการเปรียบเทียบส่วนต่างๆของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที

4.1.4.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม ดังรูปที่ 4.21 ใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสเชื่อมต่างกัน คือ 170 - 200 แอมแปร์ พบว่า บริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) มีลักษณะคล้ายโครงสร้างเดนไดรต์ บริเวณผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) มีการแบ่งเฟส และบริเวณพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) เกรนละเอียดขึ้น จากได้รับความร้อนจากการเชื่อมโครงสร้างเปลี่ยนเป็นมาเทนไซต์ การวัดขนาดความกว้างของผิวสัมผัสรอยต่อ พบว่ามีความกว้างผิวสัมผัสรอยต่อ ขนาดต่ำสุดคือกระแส 170 แอมแปร์ ขนาดเท่ากับ 124 μm และพบว่าเมื่อกระแสเชื่อมสูงขึ้น ความกว้างจะเพิ่มขึ้นที่กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ ขนาดสูงสุดเท่ากับ 165 μm ดังรูปที่ 4.22 และพบว่าความกว้างต่ำสุดเนื่องจากการเติมลวดที่สูง ทำให้การหลอมลึกต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ [51] กล่าวว่าอัตราเร็วป้อนลวดและความเร็วในการเชื่อม มีผลต่อรูปร่างของแนวเชื่อม ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงาน

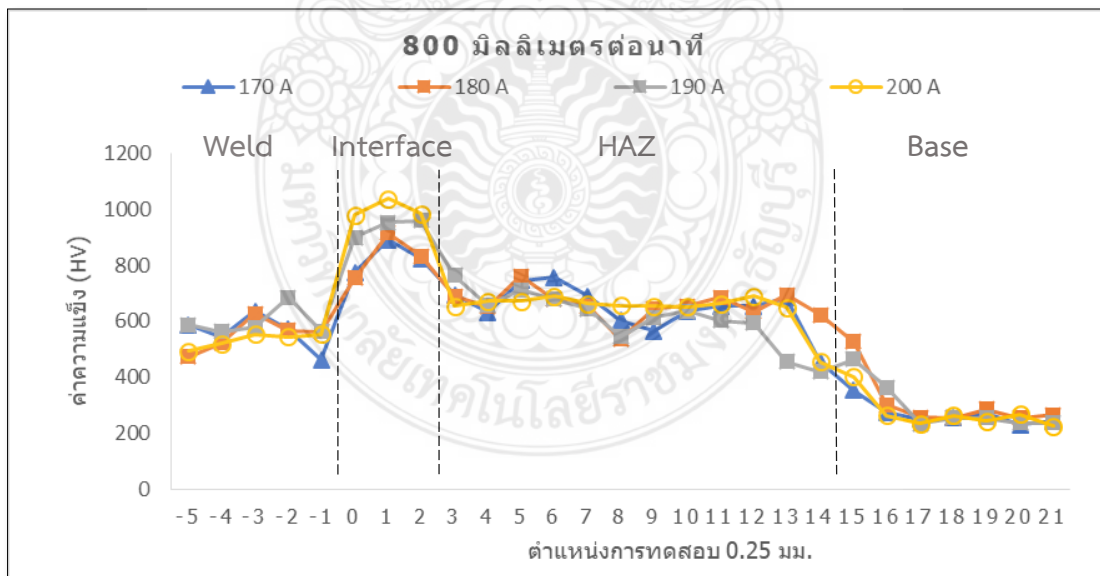
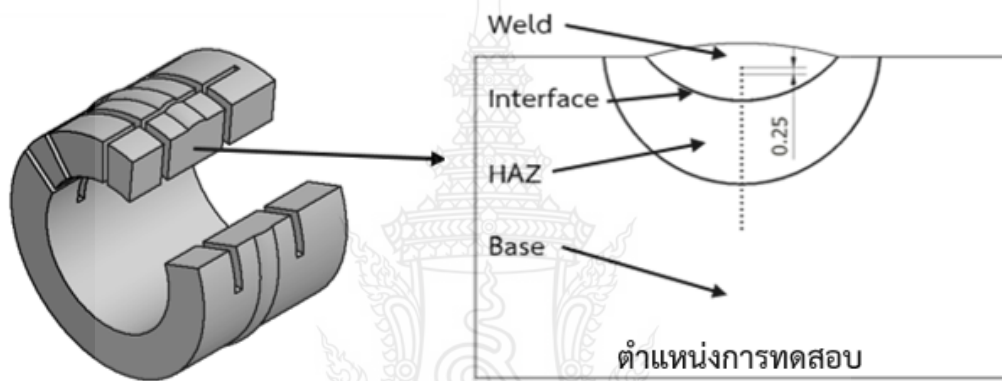


รูปที่ 4.21 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมบริเวณรอยต่อแนวเชื่อม ที่ใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์



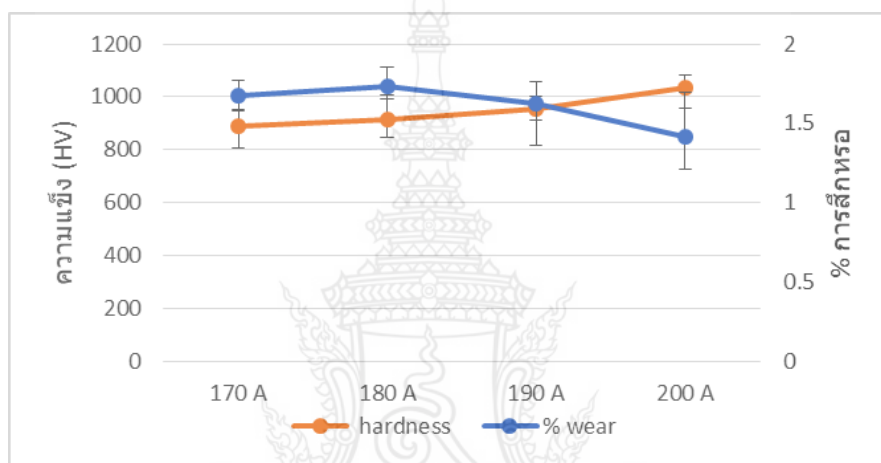
รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบขนาดความกว้างของผิวสัมผัสรอยต่อที่ใช้ความเร็วการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.4.3 การทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม ดังรูปที่ 4.23 ใช้อัตราการเติม ลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ ผล การทดสอบความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) มีความแข็ง 450 - 650 HV บริเวณผิวสัมผัสสรอยต่อ (Interface) มีความแข็งสูงสุดที่ 800 - 1000 HV บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) มีความแข็ง 500 - 700 HV และพื้นที่บริเวณโลหะฐาน (Base) มีความแข็ง 200 - 300 HV ค่า ความแข็งบริเวณชั้นผิวสัมผัสสรอยต่อ มีค่าต่ำสุดที่กระแส 170 แอมแปร์ เท่ากับ 889 HV และมีแนวโน้ม เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มกระแสเชื่อม ทำให้ความแข็งบริเวณชั้นผิวสัมผัสสรอยต่อ (Interface) สูงสุดที่กระแส เชื่อม 200 แอมแปร์ มีค่าเท่ากับ 998.7 HV



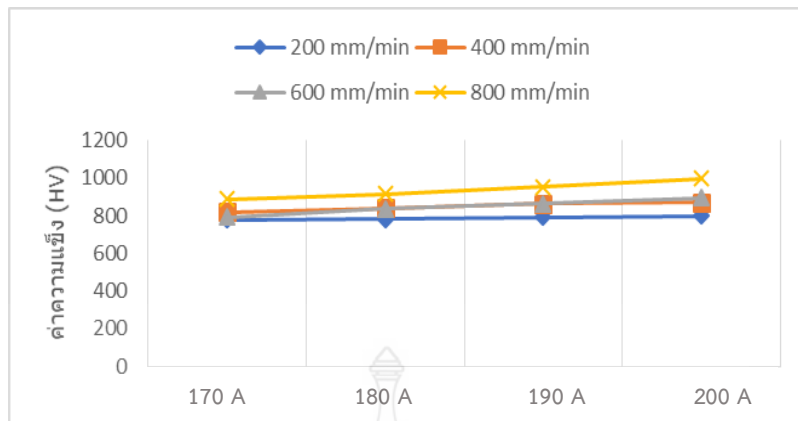
รูปที่ 4.23 ตำแหน่งการทดสอบและผลการทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม ที่ใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.4.4 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอบริเวณชั้นผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อมโดยใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 170 180 190 และ 200 พบว่าใช้กระแสเชื่อมสูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักรวมมีแนวโน้มลดลง และเมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักกับค่าความแข็ง พบว่ามีความสัมพันธ์กัน เมื่อค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักจะลดต่ำลง ดังรูปที่ 4.24 เป็นการเปรียบเทียบความแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักรวมบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอน



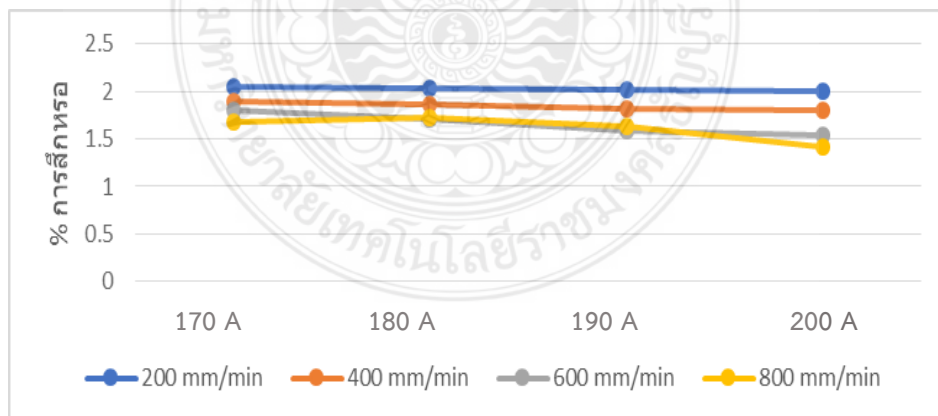
รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบความแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำหนักรวมบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อของแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 180 190 และ 200 แอมแปร์

4.1.5 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) จากรูปที่ 4.25 เป็นการเปรียบเทียบค่าความแข็งบริเวณชั้นผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) แนวเชื่อมอะลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C โดยใช้อัตราการเติมลวดที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 200 400 600 และ 800 มิลลิเมตรต่อนาที และใช้กระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ พบว่าเมื่อเพิ่มกระแสเชื่อมสูงขึ้น ค่าความแข็งของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น และการใช้อัตราการเติมลวดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแนวเชื่อมสูงขึ้น ค่าความแข็งที่สูงสุดที่กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ที่อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบค่าความแข็งบริเวณชั้นผิวสัมผัสรอยต่อของแนวเชื่อมที่ใช้ความเร็วในการเติมหลอด 200 – 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 – 200 แอมแปร์

4.1.6 การเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อมอะลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ดังรูปที่ 4.26 โดยใช้อัตราการเติมหลอดที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 200 400 600 และ 800 มิลลิเมตรต่อนาที และใช้กระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ พบว่าเมื่อเพิ่มกระแสเชื่อมสูงขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำหนักของผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) ลดลง เช่นเดียวกับการเพิ่มอัตราการเติมหลอดทำให้อัตราการสูญเสียน้ำหนักของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) ลดลง เช่นเดียวกัน โดยมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักลดลงตามลำดับ ตั้งแต่ 200 400 600 และ 800 มิลลิเมตรต่อนาที



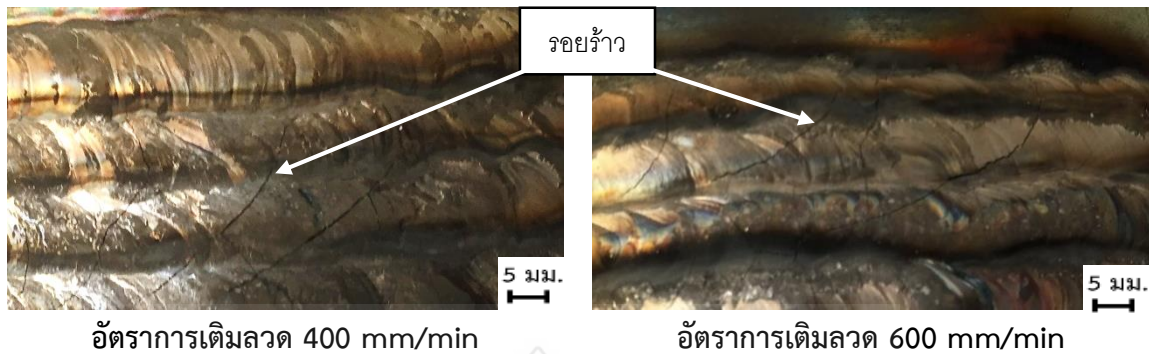
รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียน้ำหนักบริเวณผิวสัมผัสรอยต่อของแนวเชื่อมที่ใช้ความเร็วอัตราการเติมหลอด 200 - 800 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 170 – 200 แอมแปร์

4.2 อิทธิพลการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมทับแนวที่มีผลต่อคุณสมบัติของชั้นผิวสัมผัสระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอน S45C

จากการศึกษาอิทธิพลของการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมทับแนวที่มีผลต่อสมบัติของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอน โดยใช้ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการเติมลวดที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 200 400 600 และ 800 มิลลิเมตรต่อนาที และใช้กระแสเชื่อมที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 170 180 190 และ 200 แอมแปร์ พบว่าการใช้กระแสเชื่อมที่ต่างกัน มีผลต่อคุณสมบัติของแนวเชื่อม เมื่อเพิ่มกระแสเชื่อมทำให้ความแข็งสูงขึ้นและมีอัตราการต้านทานการสึกหรอที่ดีขึ้น แต่การใช้กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ ทำให้แท่งทั้งสแตนเลสเกิดความเสียหายจากการเชื่อม เพราะมีอะลูมิเนียมเกาะติดที่ปลายแท่งทั้งสแตนเลส ต้องทำการเจียรระโนอยู่บ่อยครั้ง ดังรูปที่ 4.27 จึงใช้กระแสเชื่อมต่ำลงมาที่ 190 แอมแปร์ ซึ่งสามารถทำการเชื่อมได้ และยังพบว่าใช้อัตราการเติมลวด 800 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นความเร็วที่ให้ค่าความแข็งสูงสุดและอัตราการสึกหรอต่ำ แต่เนื่องจากพบรอยแตกร้าวบริเวณแนวเชื่อม ดังรูปที่ 4.19 จึงใช้อัตราการเติมลวดต่ำลง คือ 600 และ 400 มิลลิเมตรต่อนาที แต่ยังคงพบว่าการใช้ความเร็วการเติมลวด 600 และ 400 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อทำการเชื่อมทับแนวเกิดรอยแตกร้าวหลังการเชื่อม ดังรูป 4.28 ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมลวดที่ความเร็วสูงเกินไป ทำให้มีอะลูมิเนียมผสมมาก ซึ่งสอดคล้องงานวิจัยของ [23] กล่าวว่าสารประกอบที่เกิดการก่อตัวบนผิวสัมผัส (Interface) ระหว่างเหล็กซึ่งเป็นโลหะฐานและอะลูมิเนียมที่เป็นโลหะผิวเคลือบ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีเหล็กผสมสูง (Fe-rich alloy) ประกอบด้วย Fe_3Al และ $FeAl$ ซึ่งมีสมบัติในการต้านทานการสึกหรอสูง ความต้านทานกัดกร่อนสูง มีสมบัติความแข็งแรงจำเพาะดีเยี่ยม และกลุ่มที่มีอะลูมิเนียมสูง (Al-rich alloy) ที่ประกอบด้วย $FeAl_2$ Fe_2Al_5 และ $FeAl_3$ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความแข็งสูงมากและมีความเปราะ



รูปที่ 4.27 ความเสียหายของแท่งทั้งสแตนเลสเนื่องจากการใช้กระแสสูงในการเชื่อม



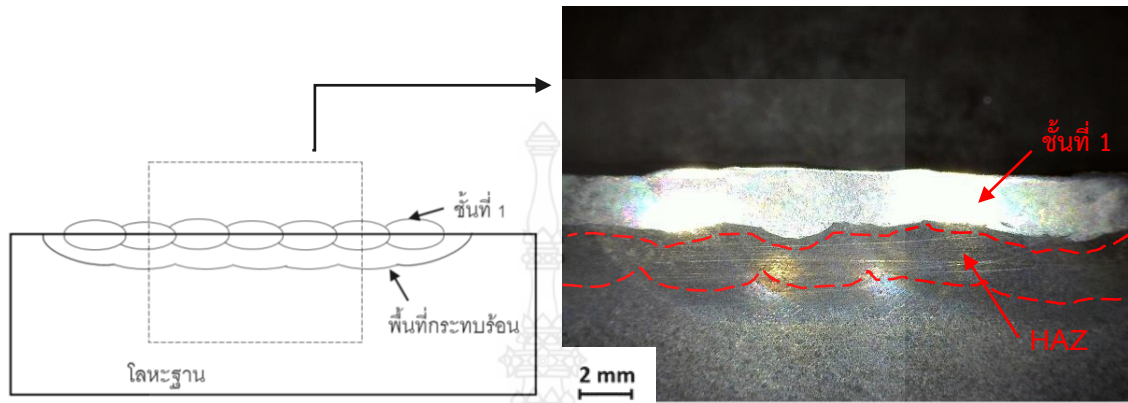
รูปที่ 4.28 รอยแตกร้าวแนวเชื่อมที่ใช้อัตราการเติมลวด 400 และ 600 มิลลิเมตรต่อนาที

การศึกษาอิทธิพลของการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสกลุ่มที่มีผลต่อสมบัติของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอน S45C สรุปได้ว่า สภาพการเชื่อมที่ประกอบด้วยตัวแปรความเร็วการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสเชื่อม 190 แอมแปร์ และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที มาทำการเชื่อมทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสกลุ่มที่บับแนว 1-3 ชั้นต่อไป เนื่องด้วยการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที ทำให้เกิดปริมาณลวดที่เติมเข้าไปในบ่อหลอมของแนวเชื่อมที่เหมาะสมทำให้เกิดแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ไม่เกิดรอยแตกร้าวหลังจากการเชื่อม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [51] กล่าวว่าอัตราเร็วป้อนลวดในการเชื่อม มีผลต่อรูปร่างของแนวเชื่อม และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ [23] กล่าวว่าสารประกอบอะลูมิเนียมสูงจะเกิด (Al-rich alloy) ที่ประกอบด้วย $FeAl_2$, Fe_2Al_5 และ $FeAl_3$ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความแข็งสูงมากและมีความเปราะ และเกิดการแตกร้าวได้ง่าย และการใช้กระแสเชื่อม 190 แอมแปร์ เนื่องด้วยปริมาณความร้อนที่สูงขึ้นจากการเพิ่มกระแสเชื่อม ทำให้การซึมลึกของเนื้อโลหะเชื่อมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [52] กล่าวว่าเมื่อใช้กระแสเชื่อมสูงขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการแทรกตัวของลวดเติมไปยังช่องว่างรอยต่อเพิ่มขึ้น โดยโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมประสานถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

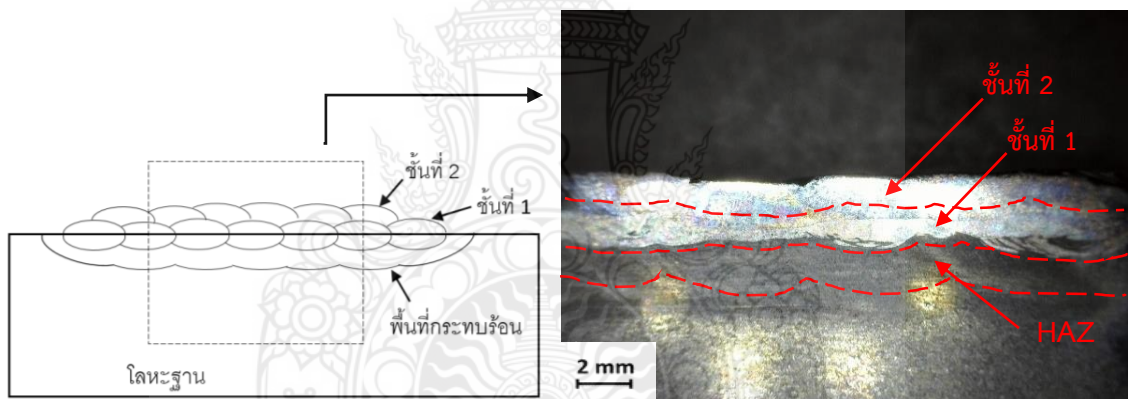
4.2.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคแนวเชื่อม ที่ใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 190 แอมแปร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบตัวแปรในการเชื่อม คือการเพิ่มชั้นผิวเคลือบ 1-3 ชั้น เพื่อให้ทราบถึงขนาดและรูปร่างของชั้นผิวเคลือบในการเชื่อมที่บับแนว พบว่าเมื่อเพิ่มชั้นเคลือบผิวในการเชื่อมที่บับแนวมากขึ้นทำให้ความหนาของชั้นผิวเคลือบเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อทำการวัดขนาดความหนาของชั้นแนวเชื่อม พบว่า การเชื่อมที่บับแนว 3 ชั้นมีขนาดความหนาสูงสุด เท่ากับ 4.009 มิลลิเมตร และบริเวณพื้นที่ที่กระแทกร้อนมีความลึก 2.813 มิลลิเมตร รองลงมาเป็นการเชื่อมที่บับแนว 2 ชั้น มีขนาดความหนา 2.522 มิลลิเมตร และบริเวณพื้นที่ที่กระแทกร้อนมีความลึก 2.780 มิลลิเมตร การ

เชื่อมทับแนวที่ขนาดความหนาต่ำสุดคือ 2.037 มิลลิเมตร ส่วนพื้นที่กระทบร้อนลึก 3.169 มิลลิเมตร และยังพบว่า การเชื่อมทับแนว 3 ชั้น เกิดรอยร้าวบนผิวแนวเชื่อม รูปที่ 4.29 (c)

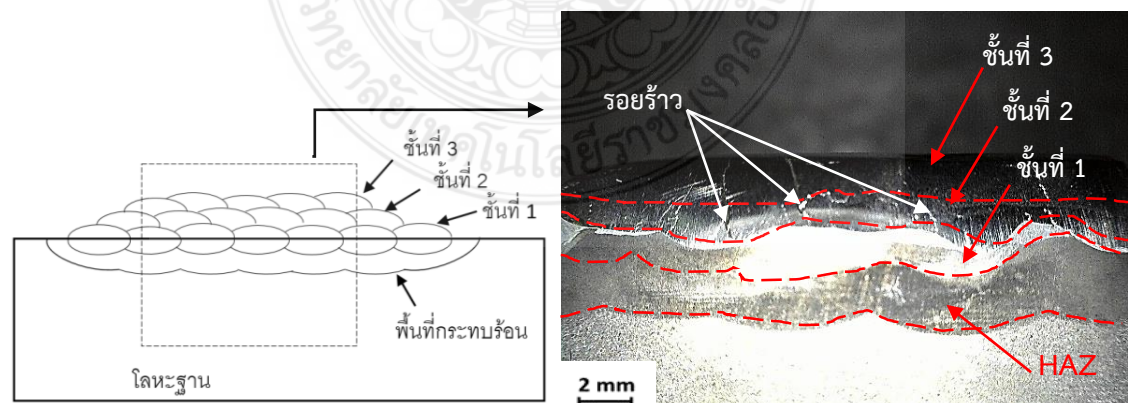
(a) จำนวนชั้นเชื่อมทับแนว 1 ชั้น



(b) จำนวนชั้นเชื่อมทับแนว 2 ชั้น

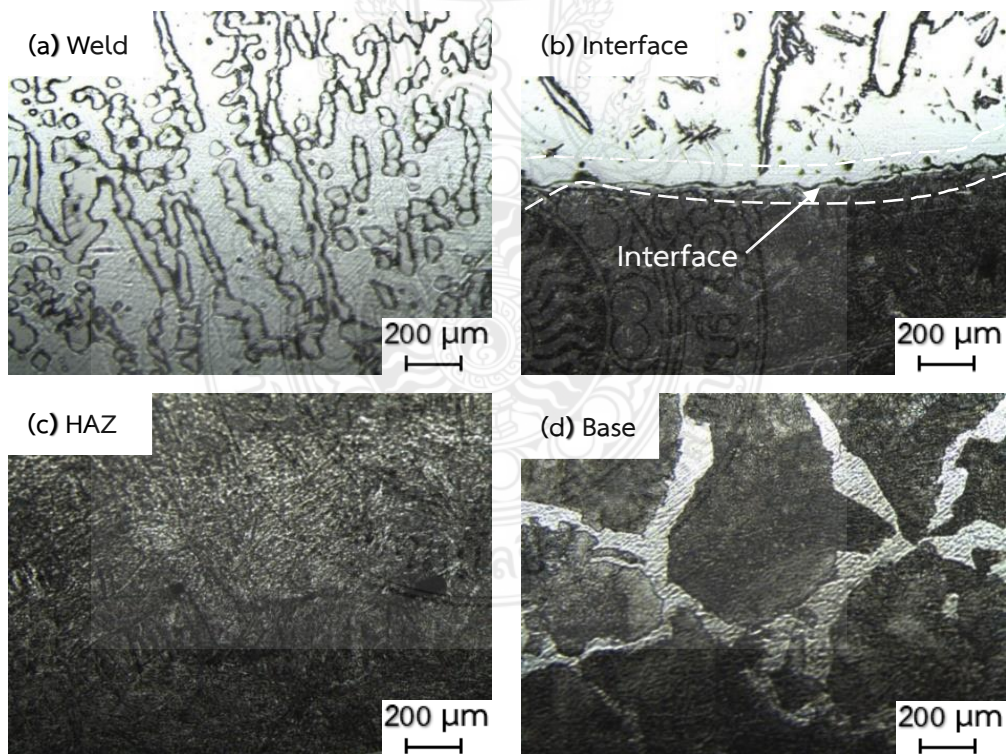


(c) จำนวนชั้นเชื่อมทับแนว 3 ชั้น

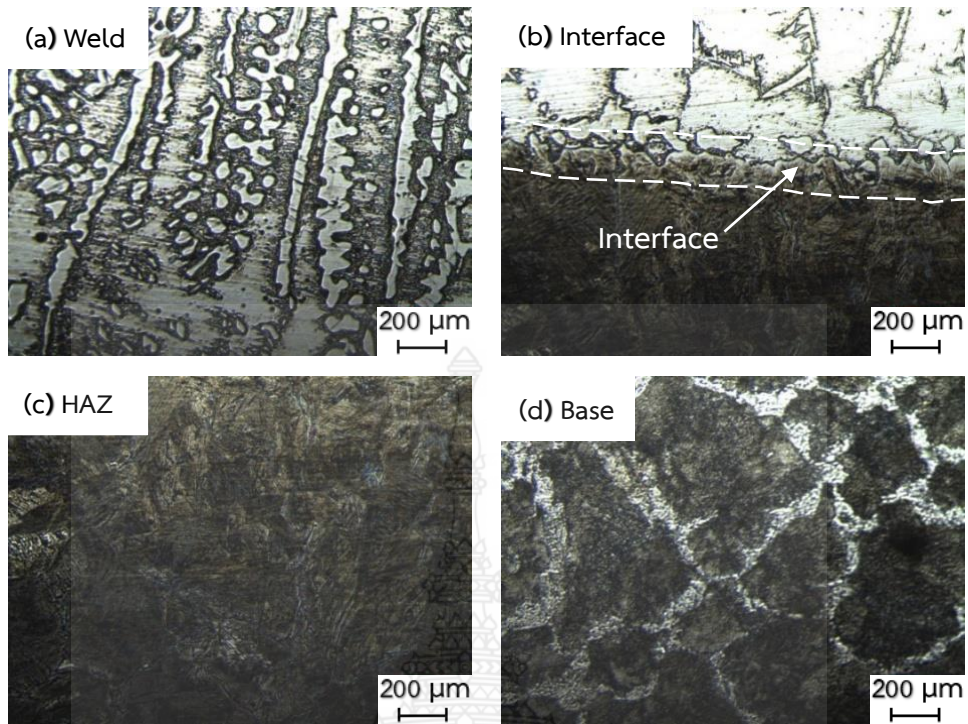


รูปที่ 4.29 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมทับแนวเคลือบผิว 1-3 ชั้น

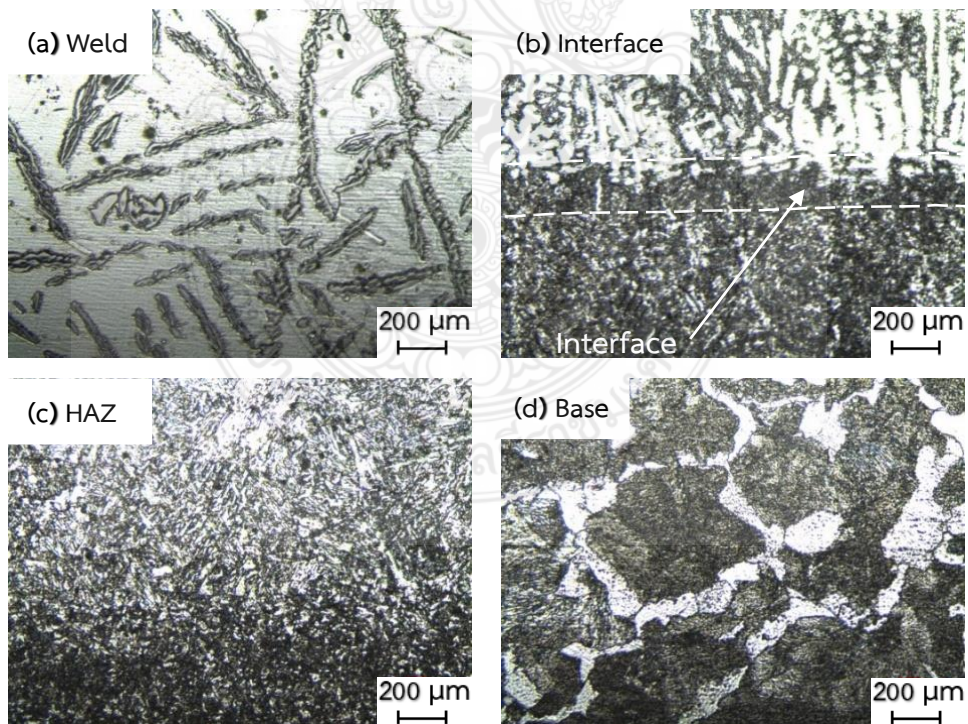
4.2.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมโดยใช้การเชื่อมทับแนว 1-3 ชั้น ใช้อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที และใช้กระแสเชื่อม 190 แอมแปร์ ดังรูปที่ 4.30 (a-d) – 4.32 (a-d) แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยภาพ บริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) บริเวณผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อม (Interface) บริเวณพื้นที่กระทบร้อน (HAZ) และบริเวณโลหะฐาน (Base) พบว่าโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อม (a) Weld เป็นพื้นที่บริเวณเนื้อโลหะเชื่อมซึ่งมีลักษณะเป็นสีขาวมีลักษณะโครงสร้างเป็นเดนไดท์ ถัดมาคือรูป (b) Interface บริเวณผิวสัมผัสรอยต่อของแนวเชื่อมจากรูปจะเห็นการแบ่งเฟสซึ่งแสดงลักษณะของรอยต่อที่ชัดเจนด้านล่างเป็นมาเทนไซต์ละเอียดและด้านบนเป็นโครงสร้างแบบเดนไดท์ ถัดมาคือรูป (c) HAZ เป็นลักษณะโครงสร้างบริเวณพื้นที่กระทบร้อน ซึ่งมีลักษณะเป็นเกรนที่ละเอียดมากขึ้นเนื่องจากได้รับความร้อนจากการเชื่อม โครงสร้างเปลี่ยนมาเป็นมาเทนไซต์ละเอียดและมีขนาดเล็กลง [49] ได้กล่าวว่า ความร้อนจากการเชื่อมส่งผลให้ขนาดและรูปร่างของเฟสเฟอร์ไรต์และซีเมนไทต์ บริเวณพื้นที่กระทบร้อนมีขนาดเล็ก ละเอียด และกระจายตัวทั่วทั้งพื้นที่กระทบร้อน ถัดมาคือรูป (d) Base ซึ่งพบว่ามีโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรต์มีลักษณะสีขาวเห็นได้ชัดเจนและเพิลไลต์จะมีลักษณะเป็นสีดำ



รูปที่ 4.30 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมโดยใช้การเชื่อมทับแนว 1 ชั้น

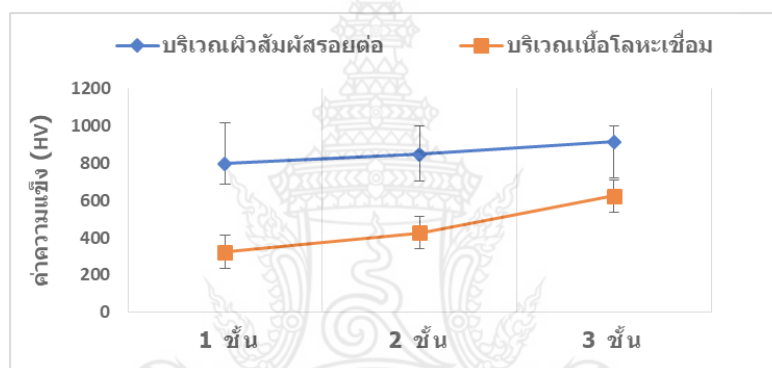


รูปที่ 4.31 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมโดยใช้การเชื่อมทับแนว 2 ชั้น



รูปที่ 4.32 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมโดยใช้การเชื่อมทับแนว 3 ชั้น

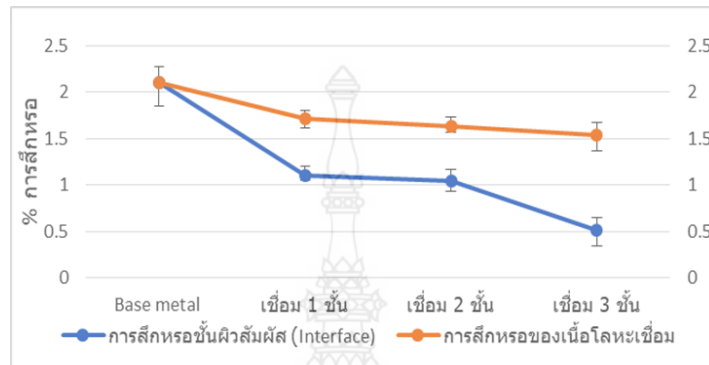
4.2.3 การทดสอบความแข็งของบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) และบริเวณชั้นผิวสัมผัสสรอยต่อ (Interface) ระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียม ดังรูปที่ 4.33 ที่เชื่อมด้วยการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสคลุม โดยใช้ความเร็วในการเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสเชื่อม 190 แอมแปร์ พบว่าค่าความแข็งเฉลี่ยบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) มีความแข็งสูงสุดที่ การเชื่อมทับแนว 3 ชั้น มีค่าเท่ากับ 623 HV ถัดมาเป็น เชื่อมทับแนว 2 ชั้น และการเชื่อมทับแนว 1 ชั้น มีค่าความแข็ง 426 HV และ 324 HV ตามลำดับ บริเวณผิวสัมผัสสรอยต่อ (Interface) ระหว่างเหล็กและ อะลูมิเนียมมีความแข็งเฉลี่ยสูงสุดที่เชื่อมทับแนว 3 ชั้น มีความแข็งเท่ากับ 912.5 HV ถัดมาเป็นการ เชื่อมทับแนว 2 ชั้น และ 1 ชั้น มีค่าความแข็งเท่ากับ 846.3 HV และ 796.3 HV ตามลำดับ และยัง พบว่าเมื่อเพิ่มชั้นแนวเชื่อม ทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งของเนื้อโลหะเชื่อม และชั้นผิวสัมผัสสรอยต่อ ที่จำนวนชั้น การเชื่อมทับแนวต่างกัน 1- 3 ชั้น

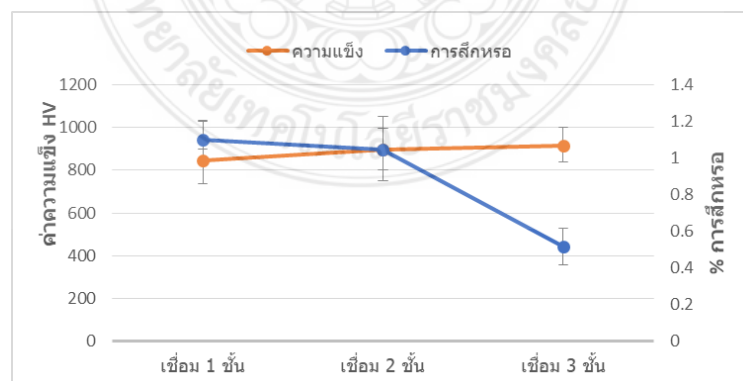
4.2.4 การทดสอบความต้านทานการสึกหรอของบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) และบริเวณ ผิวสัมผัสสรอยต่อ (Interface) ระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียม ด้วยการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสคลุม โดยใช้ ความเร็วในการเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสเชื่อม 190 แอมแปร์ พบว่าจำนวนชั้นการเชื่อมทับแนวที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้เกิดความต้านทานการสึกหรอสูง คือ มี เปอร์เซ็นต์ในการสูญเสียน้ำหนักลดต่ำลง ดังรูปที่ 4.34 เป็นการเปรียบเทียบความต้านทานการสึกหรอ ของบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) และบริเวณผิวสัมผัสสรอยต่อ (Interface) ที่เชื่อมทับแนวจำนวน 1-3 ชั้น การทดสอบความต้านทานการสึกหรอบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) พบว่า การเชื่อมทับแนว 3 ชั้น มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักต่ำสุด มีค่าเท่ากับ 1.53 เปอร์เซ็นต์ ถัดไป คือ เนื้อโลหะเชื่อมที่เชื่อม ทับแนว 2 ชั้น และ 1 ชั้น มีเปอร์เซ็นต์การสึกหรอเท่ากับ 1.62 เปอร์เซ็นต์ และ 1.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบความต้านทานการสึกหรอผิวสัมผัสสรอยต่อ พบว่า ชั้นผิวสัมผัสสรอยต่อ

มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่ต่ำกว่า บริเวณเนื้อโลหะเชื่อม มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักต่ำสุดที่เชื่อมทับแนว 3 ชั้น มีค่าเท่ากับ 0.51 เปอร์เซ็นต์ ถัดไปคือ การเชื่อมทับแนว 2 ชั้น และ 1 ชั้น มีอัตราการสึกหรอเท่ากับ 1.04 เปอร์เซ็นต์ และ 1.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับโลหะฐาน พบว่าโลหะฐานมีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 2.09 เปอร์เซ็นต์



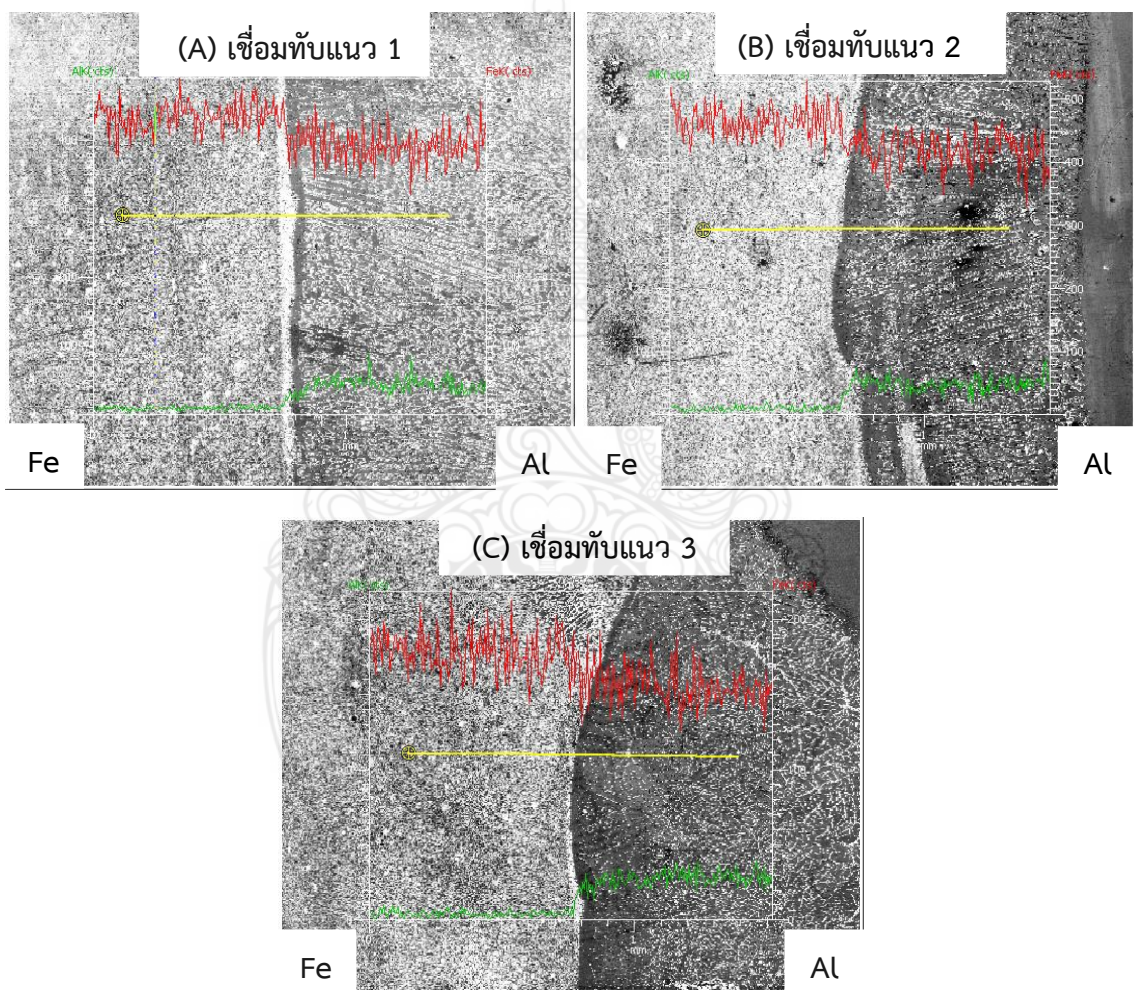
รูปที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อและเนื้อโลหะเชื่อม ที่จำนวนชั้นการเชื่อมทับแนวต่างกัน 1- 3 ชั้น

4.2.5 การเปรียบเทียบความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียม ที่เชื่อมด้วยการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสคลุม โดยใช้ความเร็วในการเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่ออนาที อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่ออนาที กระแสไฟในการเชื่อม 190 แอมแปร์ พบว่า เมื่อจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งสูงขึ้นและสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่ลดต่ำลงดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อที่เชื่อมทับแนว 1- 3 ชั้น

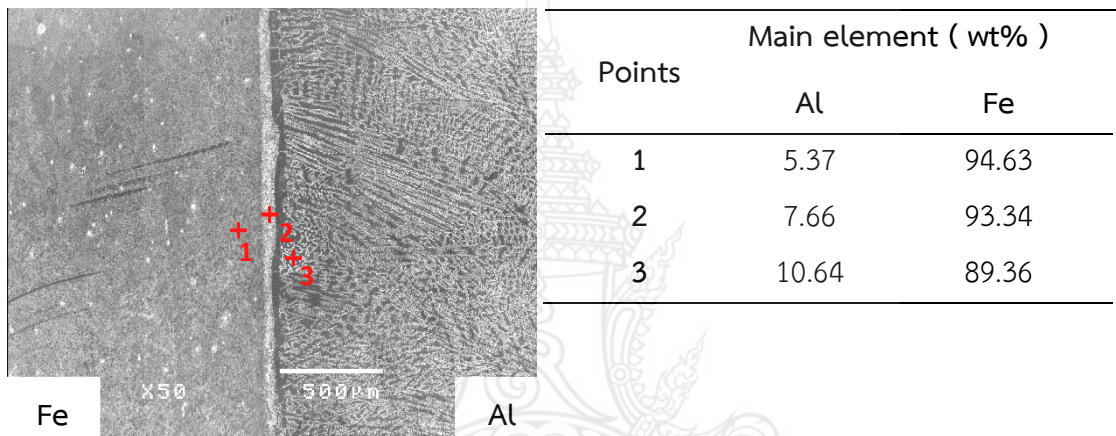
4.2.6 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS lien scan การใช้เทคนิค EDS lien scan ตรวจสอบความเข้มข้นของธาตุหลักบริเวณชั้นผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) โลหะผสม ระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียม ที่เชื่อมด้วยการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนแก๊สคลุม โดยใช้ความเร็วในการเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟในการเชื่อม 190 แอมแปร์ เมื่อลากเส้นในการทดสอบผ่านรอยต่อระหว่างโลหะทั้ง 2 ชนิด พบว่าการเพิ่มขึ้นแนวเชื่อมอะลูมิเนียมทำให้ธาตุ Al แนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และความเข้มข้นของธาตุ Fe ผ่านผิวสัมผัสรอยต่อไปทางด้านอะลูมิเนียมความเข้มข้นลดต่ำลง ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของธาตุ ที่จำนวนชั้นการเชื่อมทับแนวต่างกัน 1- 3 ชั้น

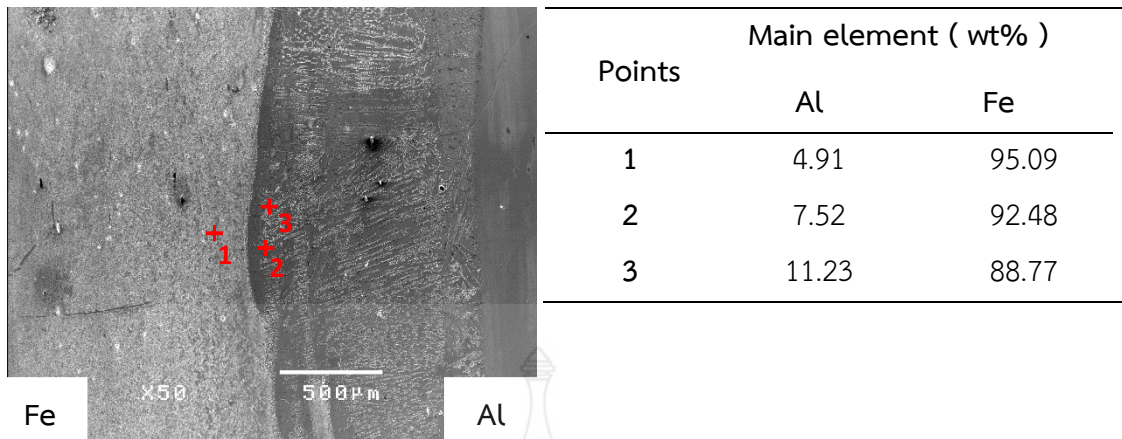
4.2.7 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีเชิงปริมาณโดยใช้เทคนิค EDS point scan

4.2.7.1 จากการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS point scan เพื่อหาส่วนผสมทางเคมีบริเวณรอยต่อแนวเชื่อมระหว่างชั้นโลหะผสม พบว่า การเชื่อมทับแนว 1 ชั้น บริเวณตำแหน่งที่ 1 บริเวณพื้นที่กระทบบร้อน มีธาตุเหล็ก (Fe) 94.63 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียม (Al) 5.37 เปอร์เซ็นต์ ถัดมาเป็นตำแหน่งที่ 2 ปริมาณธาตุหลักบริเวณชั้นโลหะผสม มีธาตุเหล็ก (Fe) 93.34 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียม (Al) 7.66 เปอร์เซ็นต์ และตำแหน่งที่ 3 คือบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม มีธาตุเหล็ก (Fe) 89.36 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียม (Al) 10.64 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.33 (a) และสอดคล้องกับการตรวจสอบความเข้มข้นของธาตุโดยใช้เทคนิค EDS lien scan



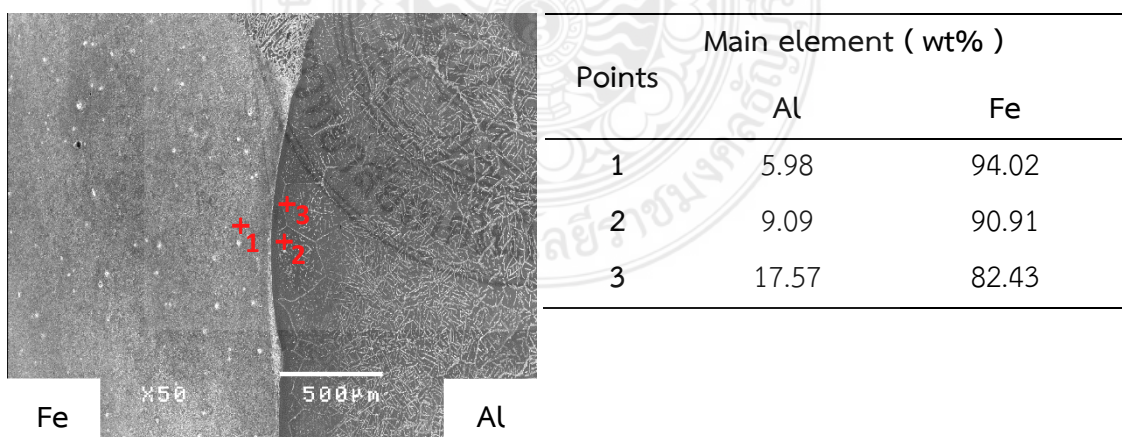
รูปที่ 4.37 ตำแหน่งการทดสอบและส่วนผสมทางเคมี ของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมทับแนว 1 ชั้น

4.2.7.2 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานที่ทำการเชื่อมทับแนว 2 ชั้น บริเวณรอยต่อแนวเชื่อมระหว่างชั้นโลหะผสม ตำแหน่งที่ 1 บริเวณแถบพื้นที่กระทบบร้อน มีธาตุเหล็ก (Fe) 95.09 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียม (Al) 4.91 เปอร์เซ็นต์ ถัดมาเป็นตำแหน่งที่ 2 ปริมาณธาตุหลักบริเวณตรงกลางรอยต่อชั้นโลหะผสม มีธาตุเหล็ก (Fe) 92.48 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียม (Al) 7.52 เปอร์เซ็นต์ และตำแหน่งที่ 3 คือบริเวณแถบเนื้อโลหะเชื่อม มีธาตุเหล็ก (Fe) 88.77 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียม (Al) 11.23 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่า ปริมาณธาตุอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้นจากการเชื่อมทับแนว 1 ชั้น ดังรูปที่ 4.38 และยังสอดคล้องกับการตรวจสอบความเข้มข้นของธาตุโดยใช้เทคนิค EDS lien scan ดังรูปที่ 4.36



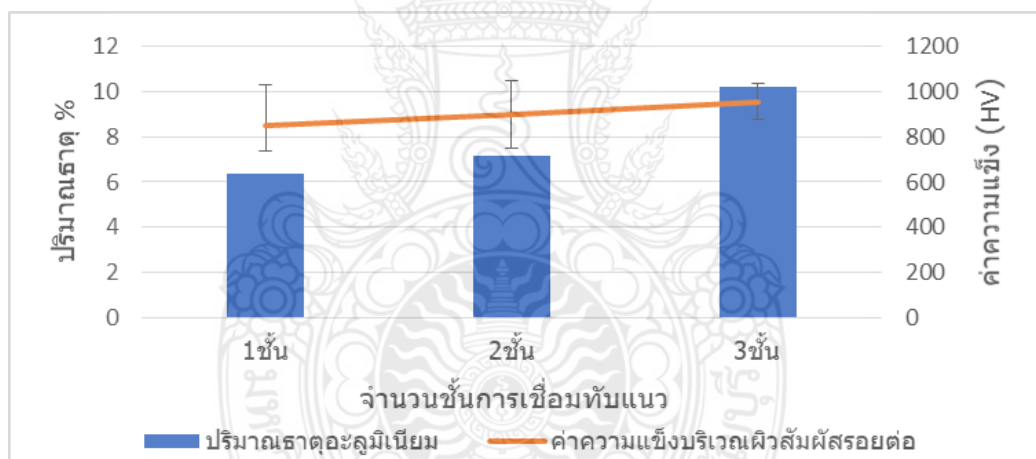
รูปที่ 4.38 ตำแหน่งการทดสอบและส่วนผสมทางเคมี ของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมทับแนว 2 ชั้น

4.2.7.3 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS point scan เพื่อหาส่วนผสมทางเคมีบริเวณชั้นผิวสัมผัสรอยต่อโลหะผสม พบว่า การเชื่อมทับแนว 3 ชั้น บริเวณตำแหน่งที่ 1 บริเวณพื้นที่กระทวร้อน มีธาตุเหล็ก (Fe) 94.02 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียม (Al) 5.98 เปอร์เซ็นต์ ถัดมาเป็นตำแหน่งที่ 2 ปริมาณธาตุหลักบริเวณชั้นผิวสัมผัสโลหะผสม มีธาตุเหล็ก (Fe) 90.91 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียม (Al) 9.09 เปอร์เซ็นต์ และตำแหน่งที่ 3 คือบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม มีธาตุเหล็ก (Fe) 82.43 เปอร์เซ็นต์ อะลูมิเนียม (Al) 17.57 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าเมื่อเพิ่มชั้นการเชื่อมทับแนวทำให้บริเวณรอยต่อชั้นโลหะผสมระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียม มีปริมาณธาตุอะลูมิเนียมสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.39 (a) และสอดคล้องกับการตรวจสอบความเข้มข้นของธาตุโดยใช้เทคนิค EDS lien scan



รูปที่ 4.39 ตำแหน่งการทดสอบและส่วนผสมทางเคมี ของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมทับแนว 3 ชั้น

รูปที่ 4.40 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของรอยต่อชั้นโลหะผสมระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียม และปริมาณธาตุอะลูมิเนียม (Al) พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นการเชื่อมทับแนว ปริมาณธาตุอะลูมิเนียมเพิ่มสูงขึ้นที่บริเวณรอยต่อชั้นโลหะผสม ส่งผลต่อสมบัติทางกล คือค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้น และพบว่าปริมาณของส่วนผสมทางเคมีของผิวสัมผัสรอยต่อ มีปริมาณธาตุอะลูมิเนียมประมาณ 10 - 30 % และธาตุเหล็ก 70-90 % ซึ่งอัตราส่วนของปริมาณของอะลูมิเนียมและเหล็กในแนวเชื่อมจากงานวิจัย [47] ส่งผลให้เกิดสารประกอบ Fe_3Al และยังสามารถคล้องกับงานวิจัยของ [23] กล่าวว่าการประกอบที่เกิดการก่อตัวบนผิวสัมผัส (Interface) ระหว่างเหล็กซึ่งเป็นโลหะฐานและอะลูมิเนียมที่เป็นโลหะผิวเคลือบ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีเหล็กผสมสูง (Fe-rich alloy) ประกอบด้วย Fe_3Al และ $FeAl$ ซึ่งมีสมบัติในการต้านทานการสึกหรอสูง ความต้านทานกัดกร่อนสูง มีสมบัติความแข็งแรงจำเพาะดีเยี่ยม และกลุ่มที่มีอะลูมิเนียมสูง (Al-rich alloy) ที่ประกอบด้วย $FeAl_2$ Fe_2Al_5 และ $FeAl_3$ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความแข็งสูงมากและมีความเปราะ ซึ่งปริมาณธาตุที่พบ สอดคล้องกับกลุ่มที่มีปริมาณเหล็กผสมสูง (Fe-rich alloy)



รูปที่ 4.40 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของผิวสัมผัสรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กและปริมาณธาตุอะลูมิเนียมที่ผสม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่องนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติทางกลของชิ้นผิวอะลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C มาทำการเชื่อมหนึ่งแนวบน เพื่อหากระแสเชื่อมและอัตราการเติมลวดอะลูมิเนียมระหว่างเชื่อมที่เหมาะสม โดยใช้ความเร็วเดินในการเดินแนวเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการเติมลวด 200 - 800 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสไฟในการเชื่อม 170 - 200 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊ส 15 ลิตรต่อนาที ต่อจากนั้นนำตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดมาทำการเชื่อมทับแนวเพื่อเพื่อเพิ่มชั้นผิว จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมแล้วมาทำการทดสอบสมบัติของแนวเชื่อม เปรียบเทียบ วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ตัวแปรที่ส่งผลให้ผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน S45C กับอะลูมิเนียม ที่มีค่าความต้านทานการสึกหรอและความแข็งที่สูงที่สุด คือ การเชื่อมทับแนว 3 ชั้น อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 190 แอมแปร์ มีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 912.5 HV และมีความต้านทานการสึกหรอสูงสุด มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 0.51 เปอร์เซ็นต์ แต่พบรอยแตกร้าว จึงทำให้การเชื่อมทับแนว 2 ชั้น อัตราการเติมลวด 200 มิลลิเมตรต่อนาที และกระแสเชื่อม 190 แอมแปร์ มีความเหมาะสมมากที่สุด เพราะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 1.04 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความแข็งเท่ากับ 846.3 HV และไม่พบรอยแตกร้าวบนชิ้นงาน

5.1.2 ความสัมพันธ์ของโครงสร้างทางโลหวิทยา ทำให้เกิดความกว้างบริเวณชั้นผิวสัมผัสรอยต่อของแนวเชื่อมระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กกล้าคาร์บอน ที่มีขนาดแตกต่างกันเนื่องจากกระแสเชื่อม อัตราการเติมลวดและจำนวนชั้นในการเชื่อมทับแนว ส่งผลต่อสมบัติทางกล และส่วนผสมทางเคมีแนวเชื่อม ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ [23] กล่าวว่าสารประกอบที่เกิดการก่อตัวบนผิวสัมผัส (Interface) ระหว่างเหล็กซึ่งเป็นโลหะฐานและอะลูมิเนียมที่เป็นโลหะผิวเคลือบ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีเหล็กผสมสูง (Fe-rich alloy) และกลุ่มที่มีอะลูมิเนียมสูง (Al-rich alloy) ซึ่งปริมาณธาตุที่พบ สอดคล้องกับกลุ่มที่มีปริมาณเหล็กผสมสูง (Fe-rich alloy) ประกอบด้วย Fe_3Al และ $FeAl$ ซึ่งมีสมบัติในการต้านทานการสึกหรอสูง ความต้านทานกัดกร่อนสูง มีสมบัติความแข็งแรงจำเพาะดีเยี่ยม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการอบชิ้นงานก่อนและหลังทำการเชื่อมเพื่อให้เกิดการหลอมลึกของเนื้อโลหะเชื่อมกับโลหะฐานประสานกันได้มากยิ่งขึ้น

5.2.2 ควรเลือกใช้ลวดเชื่อมอะลูมิเนียมเกรดต่างๆ เพิ่มเติมเพื่อทำศึกษาปริมาณธาตุและเกิดสารประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหวิทยา

5.2.3 ควรทำการศึกษาปริมาณความร้อนก่อนทำการเชื่อมและในระหว่างการเชื่อมโดยใช้เครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิควบคุมปริมาณความร้อนให้คงที่และสม่ำเสมอขณะเชื่อม



บรรณานุกรม

- [1] อาจารย์ ถาวรมาศ, พัฒนาเกษตรไทยสู่ยุคใหม่, <https://www.bangkokbiznews.com/blog/detail/639080>
- [2] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2560, 13 กรกฎาคม 2560). บทสรุปผู้บริหาร ยุทธศาสตร์การวิจัยรายประเด็นด้านข้าว, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.nrct.go.th/Portals/0/data/2557/RPP/strategyResearch_sub/22-ยุทธศาสตร์ข้าว.pdf
- [3] คณะกรรมการอุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0). (2560, 14 มิถุนายน 2560). การยกระดับอุตสาหกรรมไทยสู่อุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0). Available: <http://www.nfcrbr.or.th/site/attachments/article/81/White%20paper.pdf>
- [4] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2560, 14 มิถุนายน 2560). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบสอง พ.ศ.๒๕๖๐-๒๕๖๔. Available: <http://www.nesdb.go.th/download/plan12/แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่12.pdf>
- [5] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, ปราโมทย์ พูนนายม, และ วรญา วัฒนจิตศิริ, "รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปี 2558 เรื่อง โครงสร้างจุลภาคและความต้านทานการสึกหรอของผิวพอกแข็งเหล็กกล้า JIS S50C ในชิ้นส่วนลูกโรลเลอร์รถเกี่ยวและนวดข้าว," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี 2559.
- [6] อติศักดิ์ ไสวอมร, "การวิเคราะห์ความเสี่ยงของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความบกพร่องและผลกระทบ," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2559.
- [7] อติศักดิ์ ไสวอมร, ระพี กาญจนะ, และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, "การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวโดยประยุกต์ใช้เทคนิค Failure Mode and Effect Analysis (FEMA)," presented at the การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.พระนครศรีอยุธยา, 2559.
- [8] K. Kimapong, P. Poonayom, and V. Wattanjitsiri, "Microstructure and Wear Resistance of Hardfacing Weld Metal on JIS-S50C Carbon Steel in Agricultural Machine Parts," Materials Science Forum, vol. 872, pp. 55-61, 6/12/ 2016.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [9] I. Hemmati, V. Ocelík, and J. T. M. De Hosson, "Dilution effects in laser cladding of Ni–Cr–B–Si–C hardfacing alloys," *Materials Letters*, vol. 84, pp. 69-72, 10/1/ 2012.
- [10] C.-M. Lin, C.-M. Chang, J.-H. Chen, and W. Wu, "The effects of additive elements on the microstructure characteristics and mechanical properties of Cr–Fe–C hardfacing alloys," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 498, pp. 30-36, 5/21/ 2010.
- [11] Rodri, x, J. guez, M. P. Guerrero-Mata, and R. Colás, "Crack propagation in a hardfaced AISI type 304 stainless steel," *Materials Characterization*, vol. 51, pp. 95-99, 2003/10/01/ 2003.
- [12] I. Konyashin, B. Ries, D. Hlawatschek, Y. Zhuk, A. Mazilkin, B. Straumal, et al., "Wear-resistance and hardness: Are they directly related for nanostructured hard materials?," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 49, pp. 203-211, 2015/03/01/ 2015.
- [13] H. Hinnert, I. Konyashin, B. Ries, M. Petrzhik, E. A. Levashov, D. Park, et al., "Novel hardmetals with nano-grain reinforced binder for hard-facings," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 67, pp. 98-104, 9// 2017.
- [14] S. Chatterjee and T. K. Pal, "Weld procedural effect on the performance of iron based hardfacing deposits on cast iron substrate," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 173, pp. 61-69, 3/30/ 2006.
- [15] S. Chatterjee and T. K. Pal, "Solid particle erosion behaviour of hardfacing deposits on cast iron—Influence of deposit microstructure and erodent particles," *Wear*, vol. 261, pp. 1069-1079, 11/30/ 2006.
- [16] R. Arabi Jeshvaghani, E. Harati, and M. Shamanian, "Effects of surface alloying on microstructure and wear behavior of ductile iron surface-modified with a nickel-based alloy using shielded metal arc welding," *Materials & Design*, vol. 32, pp. 1531-1536, 3// 2011.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [17] F. Malek Ghaini, M. Ebrahimnia, and S. Gholizade, "Characteristics of cracks in heat affected zone of ductile cast iron in powder welding process," *Engineering Failure Analysis*, vol. 18, pp. 47-51, 1// 2011.
- [18] S. Selvi, S. P. Sankaran, and R. Srivatsavan, "Comparative study of hardfacing of valve seat ring using MMAW process," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 207, pp. 356-362, 10/16/ 2008.
- [19] D. Liu, R. Liu, Y. Wei, Y. Ma, and K. Zhu, "Microstructure and wear properties of Fe-15Cr-2.5Ti-2C-xB wt.% hardfacing alloys," *Applied Surface Science*, vol. 271, pp. 253-259, 4/15/ 2013.
- [20] K. Yang, S. Yu, Y. Li, and C. Li, "Effect of carbonitride precipitates on the abrasive wear behaviour of hardfacing alloy," *Applied Surface Science*, vol. 254, pp. 5023-5027, 6/15/ 2008.
- [21] H. T. Zhang, J. C. Feng, P. He, and H. Hackl, "Interfacial microstructure and mechanical properties of aluminium-zinc-coated steel joints made by a modified metal inert gas welding-brazing process," *Materials Characterization*, vol. 58, pp. 588-592, 7// 2007.
- [22] V. E. Buchanan, P. H. Shipway, and D. G. McCartney, "Microstructure and abrasive wear behaviour of shielded metal arc welding hardfacings used in the sugarcane industry," *Wear*, vol. 263, pp. 99-110, 9/10/ 2007.
- [23] S. Kobayashi and T. Yakou, "Control of intermetallic compound layers at interface between steel and aluminum by diffusion-treatment," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 338, pp. 44-53, 12/15/ 2002.
- [24] W. Jiang, Z. Fan, G. Li, and C. Li, "Effects of zinc coating on interfacial microstructures and mechanical properties of aluminum/steel bimetallic composites," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 678, pp. 249-257, 9/5/ 2016.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [25] I. De Graeve, I. Schoukens, A. Lanzutti, F. Andreatta, A. Alvarez-Pampliega, J. De Strycker, et al., "Mechanism of corrosion protection of hot-dip aluminium-silicon coatings on steel studied by electrochemical depth profiling," *Corrosion Science*, vol. 76, pp. 325-336, 2013/11/01/ 2013.
- [26] M. Salmalian, F. Malek Ghaeni, and M. Ebrahimnia, "Effect of electro spark deposition process parameters on WC-Co coating on H13 steel," *Surface and Coatings Technology*, vol. 321, pp. 81-89, 7/15/ 2017.
- [27] R. Mathew, P. R. Stoddart, D. Nolan, and Y. Durandet, "Microstructural refinement of aluminium-zinc-silicon coated steels," *Surface and Coatings Technology*, vol. 306, Part B, pp. 490-496, 11/25/ 2016.
- [28] J. P. Bergmann, M. Stambke, and S. Schmidt, "Influence of Aluminum Coating and Diffusion Affecting Additives on Dissimilar Laser Joining of Steel and Aluminum," *Physics Procedia*, vol. 41, pp. 190-198, 2013/01/01/ 2013.
- [29] F. Ahnia, Y. Khelfaoui, B. Zaid, F. J. Pérez, D. Miroud, A. Si Ahmed, et al., "Thermally sprayed Al/Mo coatings on industrial steel E335 and effects on electrochemical parameters in simulated acid rain," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 696, pp. 1282-1291, 3/5/ 2017.
- [30] R. K. Choudhary, S. C. Mishra, P. Mishra, P. K. Limaye, and K. Singh, "Mechanical and tribological properties of crystalline aluminum nitride coatings deposited on stainless steel by magnetron sputtering," *Journal of Nuclear Materials*, vol. 466, pp. 69-79, 2015/11/01/ 2015.
- [31] P. K. Tripathy, L. A. Wurth, E. J. Dufek, T. Y. Gutknecht, N. J. Gese, P. A. Hahn, et al., "Aluminum electroplating on steel from a fused bromide electrolyte," *Surface and Coatings Technology*, vol. 258, pp. 652-663, 2014/11/15/ 2014.
- [32] F. J. Pérez, M. P. Hierro, J. A. Trilleros, M. C. Carpintero, L. Sánchez, and F. J. Bolívar, "Aluminum and aluminum/silicon coatings on ferritic steels by CVD-FBR technology," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 97, pp. 50-58, 2006/05/10/ 2006.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [33] R. Kumar, S. Chattopadhyaya, and S. Kumar, "Influence of Welding Current on Bead Shape, Mechanical and Structural Property of Tungsten Inert Gas Welded Stainless Steel Plate," *Materials Today: Proceedings*, vol. 2, pp. 3342-3349, // 2015.
- [34] W. Jiang, Z. Fan, and C. Li, "Improved steel/aluminum bonding in bimetallic castings by a compound casting process," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 226, pp. 25-31, 2015/12/01/ 2015.
- [35] ASM International, *ASM Handbook, Volume 01 – Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. "vol. Volume 01, ep, 2005, pp. 337-380.
- [36] M. P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufacturing, Material, Processes and Systems," ed, 2007, pp. 112-113.
- [37] D. R. Askeland and P. P. Phule, *The Science and Engineering of Materials*. Ontario: Thomson Canada Limited, 2006.
- [38] สถาบันเหล็กและเหล็กกล้า. (2559, 3 มิถุนายน 2559). มาตรฐานเหล็กอุตสาหกรรม. Available: <http://sscc.isit.or.th/บทความสาระ/บทความก่อสร้าง/บทความมาตรฐานเหล็กอุตสาหกรรม.aspx>
- [39] Japanese Standards Association, *JIS Handbook Ferrous Materials&Metallurgy I: JIS G 4051 (1979)*. Tokyo: Japanese Standards Association, 1996.
- [40] K. G. Swift and J. D. Booker, "Chapter 11 - Joining Processes," in *Manufacturing Process Selection Handbook*, ed Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013, pp. 291-349.
- [41] R. Smith and R. K. Mobley, "Chapter 10 - Maintenance Welding*," in *Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers*, ed Burlington: Butterworth-Heinemann, 2008, pp. 135-174.
- [42] คະเนย์ วรณโฑ, การเชื่อมโลหะ 2 vol. 2555. กรุงเทพฯ: ห.จ.ก.ภาพพิมพ์,
- [43] ASTM International, *G65-94 Standard Test Methods for Measuring Abrasion using the Dry Sand/Rubber wheel Apparatus* 1996.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [44] ASTM Committees, "ASTM E92 - 82 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials," in 2rd ed. ASTM (American Society for Testing and Materials). USA, ed, 2003.
- [45] ASTM International, Standard Peactice for Microetching Metals and Alloys E407-99, Annual Book of ASTM Standard, Volume 03-01, 1996 pp.1-21
- [46] ปาจริย์ เกิดกุล, "การสังเคราะห์และศึกษาคุณลักษณะของวัสดุผสมเหล็กอะลูมิเนียม - ไทเทเนียม ไดบอไรด์ - อะลูมินา สำหรับเคลือบผิวท่อโลหะด้วยเทคนิคแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางโดยอาศัยปฏิกิริยากว้าวหน้าตัวเองที่อุณหภูมิสูง" วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา 2555.
- [47] สุริยาประสมทอง และสุริยา น้ำแก้ว, อิทธิพลการเติมลวดเชื่อมอลูมิเนียมต่อสมบัติทางกลและส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม ฉบับที่ 1 มกราคม 2562.
- [48] Wen Wang, Dan Wang, Fusheng Han "Improvement of corrosion resistance of twinning-induced plasticity steel by hot-dipping aluminum with subsequent thermal diffusion treatment" journal Materials Letters 248 (2019) 60–64
- [49] Kyle Schafer, Benjamin Ruchte. Rajiv Pithadia Faculty. Segregation, Banding, and Inclusions in AISI 1050 Carbon Steel. Materials Processing and Design MSE 430-440.
- [50] ชินราช ป้องเจริญ, อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมพอกผิวแข็งต่อสมบัติความต้านทานการสึกหรอของเหล็กหล่อสีเทา JIS-FC25 , วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี
- [51] สิทธิพงษ์ แสงอินทร์, ผลของการกระจายความร้อนต่อรูปร่างแนวเชื่อมในวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีความหนาต่างกันด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการเชื่อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [52] ธิติวัฒน์ วัฒนศรีสิน, อิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมประสานเหล็กชุบสังกะสีจากการเชื่อมประสานในกระบวนการเชื่อมมิก, ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบความแข็ง

ตารางที่ ก-1 ผลการทดสอบความแข็งสภาวะที่ 1 อัตราการเติมลวด 200 มม./นาที

| ตำแหน่ง | กระแสน้ำเชื่อม | | | |
|---------|----------------|-------|-------|-------|
| | 170 | 180 | 190 | 200 |
| -5 | 470.3 | 423.8 | 489.3 | 465.4 |
| -4 | 433.8 | 445.6 | 456.9 | 445.6 |
| -3 | 402.7 | 463.9 | 409.7 | 434.2 |
| -2 | 407.1 | 432.8 | 456.1 | 365.6 |
| -1 | 365.4 | 369.1 | 365.8 | 354 |
| 0 | 741.5 | 763.4 | 754.8 | 711.1 |
| 1 | 819.4 | 839.7 | 865.4 | 881.6 |
| 2 | 663.7 | 763.5 | 779.3 | 860.1 |
| 3 | 559.5 | 698.7 | 656.3 | 635.7 |
| 4 | 548.6 | 563.4 | 638.7 | 687.3 |
| 5 | 567.4 | 653.4 | 712.3 | 721.7 |
| 6 | 675.8 | 563.7 | 659.8 | 721.3 |
| 7 | 595.6 | 563.8 | 678.3 | 653.4 |
| 8 | 689.3 | 532.1 | 563.4 | 645.3 |
| 9 | 595.9 | 523.6 | 659.8 | 674.1 |
| 10 | 517.5 | 596.7 | 697.3 | 645.3 |
| 11 | 626.5 | 654.8 | 567.9 | 644.7 |
| 12 | 598.3 | 679.1 | 674.3 | 656.3 |
| 13 | 596.7 | 542.3 | 683.7 | 654.8 |
| 14 | 654.8 | 674.1 | 654.2 | 679.1 |
| 15 | 679.1 | 645.3 | 598.7 | 644.7 |
| 16 | 259.8 | 245.3 | 223.4 | 211.3 |
| 17 | 279.4 | 298.7 | 211.9 | 223.8 |
| 18 | 236.8 | 237.6 | 256.8 | 253.4 |
| 19 | 253.7 | 239.8 | 227.8 | 223.2 |
| 20 | 264.3 | 236.7 | 238.7 | 256.7 |
| 21 | 216.9 | 214.5 | 245.3 | 227.2 |

ตารางที่ ก-2 ผลการทดสอบความแข็งสภาวะที่ 1 อัตราการเติมลวด 400 มม./นาที

| ตำแหน่ง | กระแสน้ำเชื่อม | | | |
|---------|----------------|-------|-------|-------|
| | 170 | 180 | 190 | 200 |
| -5 | 320.8 | 372.2 | 363.8 | 215 |
| -4 | 275.6 | 283.5 | 253.4 | 225 |
| -3 | 302.8 | 353.6 | 275.1 | 291 |
| -2 | 345.6 | 378.6 | 395.4 | 268 |
| -1 | 396.8 | 320.1 | 364.8 | 274 |
| 0 | 753.9 | 751.7 | 757.3 | 743 |
| 1 | 779.3 | 782.1 | 793.2 | 797.5 |
| 2 | 723.8 | 715.6 | 709.8 | 704.7 |
| 3 | 614.5 | 599.4 | 635.2 | 563.8 |
| 4 | 578.9 | 639.9 | 596.1 | 542.3 |
| 5 | 563.9 | 536.4 | 653.2 | 494 |
| 6 | 563.4 | 578.4 | 563.4 | 525.6 |
| 7 | 645.2 | 579.2 | 645.2 | 634.5 |
| 8 | 571.2 | 580.3 | 563.4 | 559 |
| 9 | 563.7 | 546.3 | 563.4 | 645.2 |
| 10 | 647.8 | 563.4 | 578.1 | 563.4 |
| 11 | 563.7 | 663.8 | 603.2 | 543 |
| 12 | 645.3 | 598.7 | 645.3 | 543.1 |
| 13 | 565.3 | 559.8 | 563.8 | 548 |
| 14 | 542.3 | 654.3 | 563.7 | 532.4 |
| 15 | 520.4 | 592.3 | 587.9 | 520 |
| 16 | 296.7 | 235.8 | 245.6 | 238 |
| 17 | 263.4 | 263.4 | 289.8 | 268.7 |
| 18 | 274.5 | 249.8 | 245.1 | 235.8 |
| 19 | 263.8 | 356.8 | 321.4 | 274 |
| 20 | 246.2 | 264.5 | 302.1 | 259 |
| 21 | 251.3 | 263.7 | 237.1 | 241 |

ตารางที่ ก-3 ผลการทดสอบความแข็งสภาวะที่ 1 อัตราการเติมลวด 600 มม./นาที

| ตำแหน่ง | กระแสเชื่อม | | | |
|---------|-------------|-------|-------|-------|
| | 170 | 180 | 190 | 200 |
| -5 | 468 | 548.6 | 536.9 | 523.4 |
| -4 | 563.7 | 498.3 | 563.8 | 503.8 |
| -3 | 653.7 | 523.8 | 532.1 | 488.1 |
| -2 | 589.6 | 465.8 | 503.4 | 568.7 |
| -1 | 527.7 | 500.3 | 507.8 | 604.7 |
| 0 | 667.9 | 811.1 | 790.3 | 746.3 |
| 1 | 792.1 | 837.1 | 865.4 | 893.6 |
| 2 | 768.7 | 857.4 | 823.5 | 786.3 |
| 3 | 639.3 | 689.6 | 654.7 | 753.8 |
| 4 | 593.5 | 625.3 | 642.3 | 739 |
| 5 | 513.5 | 563.8 | 596.4 | 626.6 |
| 6 | 564.8 | 597.6 | 563.7 | 578.3 |
| 7 | 563.7 | 563.6 | 592.5 | 647.1 |
| 8 | 532.4 | 578.3 | 563.7 | 574.3 |
| 9 | 546.2 | 563.8 | 586.3 | 613.4 |
| 10 | 563.7 | 645.7 | 574.1 | 598.7 |
| 11 | 592.5 | 568.1 | 578.1 | 587.3 |
| 12 | 563.7 | 569.8 | 553.7 | 583.1 |
| 13 | 523.4 | 556.3 | 589.7 | 579.6 |
| 14 | 546.7 | 574.8 | 599.7 | 562.3 |
| 15 | 437.1 | 512 | 532.4 | 567.4 |
| 16 | 274.9 | 256.3 | 302.1 | 261.8 |
| 17 | 263.7 | 246.1 | 265.4 | 231.3 |
| 18 | 256.3 | 235.6 | 213.4 | 239.7 |
| 19 | 245.8 | 265.3 | 264.3 | 265.8 |
| 20 | 263.1 | 287.3 | 269.7 | 245.3 |
| 21 | 238.7 | 214.5 | 287.6 | 218.8 |

ตารางที่ ก-4 ผลการทดสอบความแข็งสภาวะที่ 1 อัตราการเติมลวด 800 มม./นาที

| ตำแหน่ง | กระแสเชื่อม | | | |
|---------|-------------|-------|-------|--------|
| | 170 | 180 | 190 | 200 |
| -5 | 587.5 | 473 | 587.3 | 494.6 |
| -4 | 546.3 | 523.8 | 563.8 | 520.5 |
| -3 | 636.9 | 628.3 | 579.6 | 554.5 |
| -2 | 572.3 | 567.6 | 685.3 | 545.5 |
| -1 | 463.8 | 562.7 | 565.4 | 553.2 |
| 0 | 775.2 | 753.7 | 898.3 | 979.8 |
| 1 | 889.4 | 913.7 | 953.2 | 1037 |
| 2 | 824.3 | 832.8 | 959.7 | 983.4 |
| 3 | 693.8 | 689.5 | 763.4 | 654 |
| 4 | 632.5 | 652.3 | 656.7 | 672.3 |
| 5 | 745.3 | 761.1 | 712.3 | 671 |
| 6 | 756.2 | 679.1 | 677.8 | 689.3 |
| 7 | 689.1 | 654.3 | 645.3 | 663.7 |
| 8 | 602.3 | 537.4 | 546.3 | 656.3 |
| 9 | 564.3 | 645.2 | 614.7 | 654.3 |
| 10 | 635.8 | 654.5 | 635.9 | 651 |
| 11 | 654.2 | 685.5 | 603.4 | 663.4 |
| 12 | 653.4 | 634.5 | 595.3 | 689.7 |
| 13 | 682.1 | 693.5 | 456.8 | 650.7 |
| 14 | 454.3 | 623.1 | 421.7 | 456.7 |
| 15 | 354.7 | 527.7 | 465.4 | 401.8 |
| 16 | 275.5 | 302.3 | 365.8 | 264.3 |
| 17 | 250.6 | 258.6 | 236.8 | 235.8 |
| 18 | 255.9 | 256.3 | 256.7 | 264.1 |
| 19 | 270.6 | 286.3 | 256.8 | 245.2 |
| 20 | 232.4 | 257.1 | 238.9 | 269.35 |
| 21 | 245.6 | 266.8 | 237.8 | 226.4 |

ตารางที่ ก-5 ผลการทดสอบความแข็งแรงเสถียรภาพที่ 2

| ตำแหน่ง | จำนวนชั้นในการเชื่อม | | |
|-----------------------------------|----------------------|--------|--------|
| | 1 ชั้น | 2 ชั้น | 3 ชั้น |
| บริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (Weld) | 324.3 | 426.7 | 623.1 |
| บริเวณผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) | 796.3 | 846.3 | 912.5 |





ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบความต้านทานการสึกหรอ

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบความต้านทานการสึกหรอเฉลี่ยในสภาวะที่ 1

| ความเร็วเดิมลวด (mm/min) | กระแสเชื่อม/อัตราการสูญเสีย % | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|
| | 170 A | 180 A | 190 A | 200 A |
| 200 | 1.7931 | 1.706 | 1.5775 | 1.5397 |
| 400 | 2.0494 | 2.0307 | 2.0110 | 1.9983 |
| 600 | 1.8928 | 1.8611 | 1.8098 | 1.8055 |
| 800 | 1.6727 | 1.7312 | 1.6242 | 1.4108 |

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบความต้านทานการสึกหรอเฉลี่ยในสภาวะที่ 2

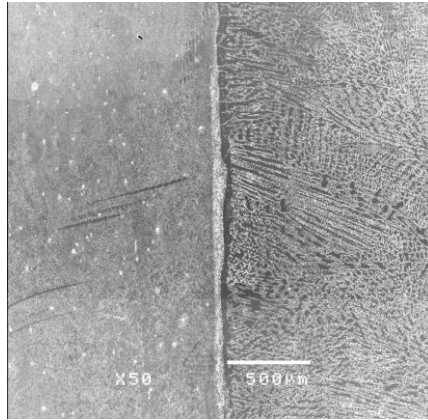
| ชิ้นงานทดสอบ จำนวนชั้นแนวเชื่อม | อัตราการสูญเสีย % | |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| | บริเวณผิวสัมผัสรอยต่อแนวเชื่อม | บริเวณเนื้อโลหะเชื่อม |
| เชื่อม 1 ชั้น | 1.100495 | 1.712353 |
| เชื่อม 2 ชั้น | 1.042668 | 1.627965 |
| เชื่อม 3 ชั้น | 0.515987 | 1.53441 |
| Base metal | 2.096545 | |



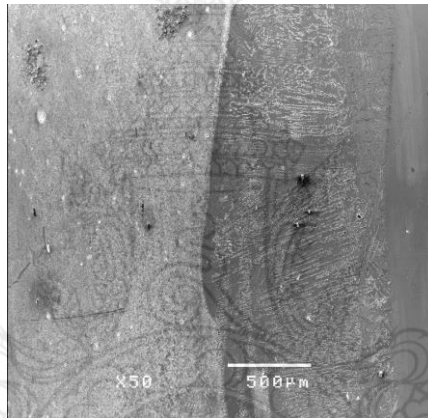
ภาคผนวก ค

รูปโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

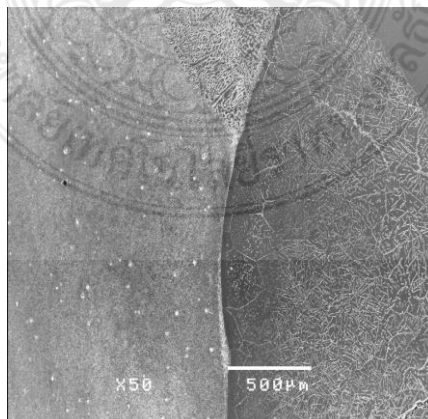




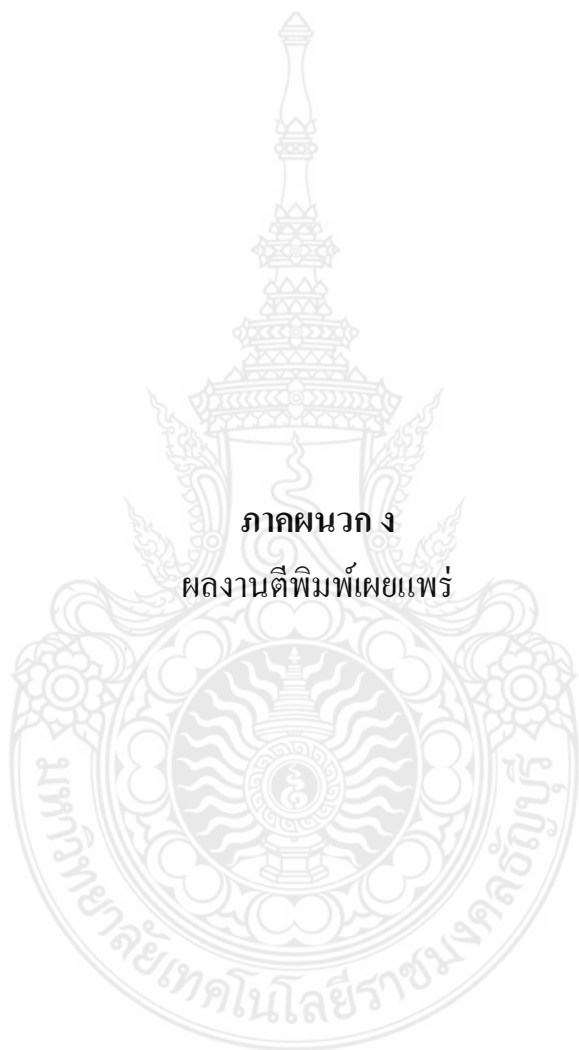
รูปที่ ค-1 โครงสร้างจุลภาคผิวสัมผัสรอยต่อเชื่อม 1 ชั้น



รูปที่ ค-2 โครงสร้างจุลภาคผิวสัมผัสรอยต่อเชื่อม 2 ชั้น



รูปที่ ค-3 โครงสร้างจุลภาคผิวสัมผัสรอยต่อเชื่อม 3 ชั้น



ภาคผนวก ง
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



การประชุมวิชาการระดับชาติ **16**

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ **16**

เกษตรกำแพงแสน ตามรอยพ่อ สานต่อศาสตร์แห่งแผ่นดิน

The 16th KU-KPS Conference

ระหว่างวันที่ **3 - 4 ธันวาคม 2562**

ณ อาคารศูนย์เรียนรวม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม



ผลงานทางวิชาการ **8** สาขา

1. สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ
2. สาขาสัตวและสัตวแพทย์
3. สาขาวิศวกรรมศาสตร์
4. สาขาศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
5. สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
6. สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา
7. สาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม และความหลากหลายทางชีวภาพ
8. สาขาส่งเสริมการเกษตร

รับสมัครและส่งผลงานภายใน
วันที่ 15 สิงหาคม ถึง 15 ตุลาคม 2562

กองบริหารวิชาการและนิสิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

โทร. : 034-341545-7 ต่อ 125 และ 500 โทรสาร. : 034-351395 เว็บไซต์ : <http://esd.kps.ku.ac.th/kuk-conference/>





เกษตรกำแพงแสน ตามรอยพ่อ สานต่อศาสตร์แห่งแผ่นดิน

Proceedings

การประชุมวิชาการระดับชาติ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 16

The 16th KU-KPS National Conference

ระหว่างวันที่ 3 - 4 ธันวาคม 2562

ณ อาคารศูนย์เรียนรวม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ผลงานทางวิชาการ 8 สาขา

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



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน
๑๒ พฤศจิกายน ๒๕๖๒





การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เลขมาตรฐานสากลประจำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์: 978-616-278-536-8

จัดทำโดย กองบริหารวิชาการและนิสิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เลขที่ 1 หมู่ 6 ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

พิมพ์ครั้งที่ 1 : ธันวาคม 2562

สารจากรองอธิการบดีวิทยาเขตกำแพงแสน
การจัดสัมมนาและประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 16
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ประจำปี 2562

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ได้จัดสัมมนาและประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 16 ระหว่างวันที่ 3-4 ธันวาคม 2562 ภายใต้คำขวัญ "เกษตรกำแพงแสน ตามรอยพ่อ สานต่อศาสตร์แห่งแผ่นดิน" โดยมีการนำเสนอมผลงานวิจัยในสาขาต่าง ๆ จำนวน 8 สาขา ได้แก่ สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ สาขาสัตวและสัตวแพทย์ สาขาศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์ สาขาวิศวกรรมศาสตร์ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา สาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม และความหลากหลายทางชีวภาพ และสาขาส่งเสริมการเกษตร เพื่อให้อาจารย์ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา ในระดับอุดมศึกษา ตลอดจนภาคเอกชนได้มีโอกาสเผยแพร่ผลงานทางวิชาการสู่สาธารณะ แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และประสบการณ์เชิงวิชาการที่นำไปสู่การใช้ประโยชน์ได้จริง

ทั้งนี้ คณะกรรมการจัดสัมมนาและประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการจัดสัมมนาวิชาการและจัดประชุมวิชาการในครั้งนี้ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดกิจกรรมครั้งนี้จะนำไปสู่การพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อไป

(รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.อนุชัย ภิญญภูมิมิตร)

รองอธิการบดีวิทยาเขตกำแพงแสน

ประธานคณะกรรมการอำนวยการและดำเนินการ

จัดงานเกษตรกำแพงแสน ประจำปี 2562

| | |
|---|-----|
| การศึกษาและลดผลกระทบของการปล่อยประจุไฟฟ้าสถิตในโรงงานผลิตผ้าใยสังเคราะห์..... | 147 |
| คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและความดันลดยของสารทำความเย็น R290 | |
| ภายในท่อแบบที่มีพื้นที่หน้าตัดสลับไปมา..... | 154 |
| การออกแบบและการวิเคราะห์ของโครงกรอบโซฟาพับและข้อต่อปรับระดับ..... | 163 |
| การลดอุณหภูมิห้องโดยใช้แผ่น Peltier..... | 171 |
| การลดอุณหภูมิห้องโดยใช้ Clay pot – Air cooler..... | 179 |
| การศึกษาออกแบบการระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ | |
| ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์..... | 188 |
| การศึกษาและการลดผลกระทบจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตในโรงงานเหล็กกวาดพื้นสายไฟ | |
| แบบพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ด้วยเครื่องปล่อยประจุไอออน..... | 196 |
| สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมพอลิแลกติกแอซิด/ พอลิเอสเทอร์อีลาสโตเมอร์..... | 204 |
| การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการกัดกร่อนของรอยเชื่อมทิกท่อต่อชนระหว่าง | |
| ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด AISI304 และ AISI316L..... | 213 |
| การสร้างผิวอลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สคลุม..... | 224 |
| อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติของรอยต่อชน | |
| เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยใช้แผ่นรองหลัง..... | 233 |
| การสร้างแผ่นวัดแรงกดขนาดใหญ่เพื่อประยุกต์ใช้งานงานทางการแพทย์..... | 243 |
| CFD Simulation of Downdraft Gasification..... | 251 |
| การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไอโซนปรับปรุงคุณภาพน้ำ | |
| ก่อนเข้ากระบวนการผลิตน้ำประปา..... | 259 |
| การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำจากการเปิดประตูระบายน้ำ จังหวัดสมุทรสงคราม โดยวิธีวิเคราะห์มิติ..... | 267 |
| การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก | |
| อ่างเก็บน้ำคลองตาพลาย จังหวัดจันทบุรี..... | 275 |
| การพยากรณ์น้ำของจังหวัดอุทัยธานี ในพื้นที่ลุ่มน้ำสะแกกรัง..... | 287 |
| การศึกษาพื้นที่น้ำท่วมในลุ่มน้ำยมตอนล่าง..... | 297 |
| การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน..... | 309 |
| การศึกษาผลกระทบของปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญา | |
| ที่มีผลต่อปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำยม..... | 321 |
| ฟังก์ชันย่อยส่วนเชิงเวลาสำหรับการประเมินน้ำฝนระยะสั้นกว่าหนึ่งชั่วโมงด้วยเรดาร์..... | 328 |

การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน วันที่ 3-4 ธันวาคม 2562

การสร้างผิวอลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม
Aluminum Cladding on S45C Carbon Steel Surface by Gas Tungsten Arc Welding

ประจักษ์ บัวอาจ¹ และ กิตติพงษ์ กิมะพงษ์¹

Prajak Buaart¹ and Kittipong Kimapong¹

บทคัดย่อ

กระบวนการเชื่อมเป็นหนึ่งในวิธีการซ่อมที่มีประสิทธิภาพในการเติมชั้นโลหะบนพื้นผิวที่เสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเกษตรซึ่งเกิดการเสียหายขณะถูกนำไปใช้งาน ด้วยเหตุนี้การหาค่าตัวแปรการเชื่อมที่มีความเหมาะสมสามารถทำให้เกิดการปรับปรุงสมบัติทางกลของพื้นผิวที่เสียหายจึงเป็นหัวข้อสำคัญที่มีการดำเนินการต่อเนื่องเพื่อยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรการสร้างชั้นผิวเคลือบอลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเพิ่มกระแสเชื่อมมีแนวโน้มในการเพิ่มความแข็งของชั้นผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมอะลูมิเนียมและพื้นผิวเหล็กกล้า การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของผิวสัมผัสรอยต่อแสดงการก่อตัวของสารประกอบกึ่งโลหะระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียมและแสดงการเพิ่มความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของผิวสัมผัส ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่ให้ค่าความแข็งสูงสุด 900 HV พบได้ที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที และอัตราการบ้วนลวด 170 มิลลิเมตรต่อนาที

คำสำคัญ: ชั้นผิวเคลือบอลูมิเนียม, เหล็กกล้าคาร์บอน S45C, การเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม

Abstract

Welding process is one of a succeed repair process for adding metal layer on a worn surface of an agricultural machinery part that was failure during a service time. Therefore, welding process parameters optimization that could improve mechanical properties of a worn surface was an important topic that was continuously performed for extending the service lite time of the machinery part. This article aimed to study effect of aluminum cladding parameter on S45C carbon steel surface properties using a gas tungsten arc welding. The summarized results were as follows. Increase of welding current tended to increase hardness of the joint interface between aluminum weld metal and steel surface. Chemical composition analysis at the joint interface showed the formation of Fe-Al intermetallic compound and tended to increase hardness and wear resistance of the interface. Optimized welding parameter that produced maximum hardness of 900 HV was the welding current of 180 A, the welding speed of 100 mm/min, and the wire feed rate of 170 mm/min.

Keyword: Aluminum Cladding, S45C Carbon Steel, Gas Tungsten Arc Welding

E-mail address: prajak_b@mail.mutt.ac.th

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

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

คำนำ

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตรอย่างมากเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรเช่น การเตรียมดินในการเพาะปลูกไปจนถึงขั้นตอนการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ทันเวลาฤดูกาลขายผลผลิต และภัยทางธรรมชาติ เครื่องจักรกลทางการเกษตรเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับเกษตรกร โดยทั่วไปแล้วใช้โลหะเป็นส่วนประกอบหลัก ชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนทำหน้าที่เป็นตัวส่งกำลังในการขับเคลื่อน ซึ่งมีการเคลื่อนที่และเกิดการเสียดสีตลอดเวลาในระหว่างการใช้งาน ซึ่งเป็นปัญหาเบื้องต้นที่จะก่อให้เกิดการเสียหายของชิ้นส่วนต่างๆ และนำไปสู่การชำรุดเสียหายไม่สามารถใช้งานได้ เครื่องเกี่ยวและนวดข้าวดัง Figure 1 เป็นเครื่องจักรกลเกษตรชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อช่วยการเก็บเกี่ยวข้าวในประเทศไทย การสำรวจความเสียหายของชิ้นส่วนรถเกี่ยวและนวดข้าวเพื่อหาวิธีการป้องกันและการบำรุงรักษานั้น พบว่า ลูกโรลเลอร์ เป็นชิ้นส่วนที่มีการสึกหรอของพื้นผิวโลหะสูง ซึ่งทำหน้าที่ในการประคองดินตะขานในการเคลื่อนที่ไปทำการเกี่ยวข้าว ทำให้เกิดการหลุดออกไปของพื้นผิวโลหะเนื่องจากการสึกหรอนั้นส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการขับเคลื่อนลดลง ที่ผ่านมามีเกษตรกรเปลี่ยนลูกโรลเลอร์ใหม่เข้าแทนที่ลูกโรลเลอร์เก่า ก็สามารถใช้งานได้ปกติ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณา ลูกโรลเลอร์เก่าที่ชำรุดแล้วพบว่า นอกจากการสึกหรอของโลหะที่บริเวณพื้นผิวแล้ว กลไกการทำงานอื่นนั้นสามารถทำงานได้ต่อไป ดังนั้นหากนำลูกโรลเลอร์กลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งโดยการเพิ่มพื้นผิวโลหะเข้าไปในตำแหน่งดังกล่าวอาจสามารถทำให้เกิดการลดต้นทุนในการผลิตข้าวได้ (อดิศักดิ์, 2559)



Figure 1 Combine harvesters And the wear position of the Roller (กิตติพงษ์, 2559)

การเชื่อมเป็นหนึ่งในวิธีการซ่อมพื้นผิวของโลหะที่เกิดการเสียหายหรือชำรุดที่มีความนิยมสูงในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากการเชื่อมสามารถประยุกต์ใช้กับตำแหน่งที่เกิดการชำรุดเฉพาะจุดที่เสียหาย ที่ผ่านมามีเทคนิคการเชื่อมซ่อม (Welding repair) ที่สามารถสร้างและปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวที่เกิดการชำรุดต่างๆ นอกจากการเชื่อม ที่ประยุกต์ในการเชื่อมโลหะเติม (Filler metal) ที่ใส่เข้าไปในขั้นตอนการอาร์กเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดสมบัติทางกลที่แตกต่างกัน เฟสสารประกอบระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็กและเฟสสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นเฟสที่มีความแข็งและยึดหยุ่นสูง ในรายงานผลการทดลองการเกิดโครงสร้างเฟสสารประกอบระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียม พบว่าสารประกอบที่เกิดการก่อตัวบนผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) ระหว่างเหล็กซึ่งเป็นโลหะฐานและอะลูมิเนียมที่เป็นโลหะชั้นผิวเคลือบ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีเหล็กผสมสูง (Fe-rich alloy) ประกอบด้วย Fe_3Al และ $FeAl$ ซึ่งมีสมบัติในการต้านทานการสึกหรอสูง ความต้านทานกัดกร่อนสูง และกลุ่มที่มีอะลูมิเนียมสูง (Al-rich alloy) ที่ประกอบด้วย $FeAl_2$, Fe_2Al_3 และ $FeAl$, ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความแข็งแรงสูงมาก

การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน วันที่ 3-4 ธันวาคม 2562

และมีความเปราะ ความแข็งของเฟสสารประกอบทั้งสองกลุ่มนี้มีค่าความแข็งระหว่าง 600 -1000 HV (Shigeaki, 2002) ซึ่งเป็นค่าที่มีความแข็งสูงกว่าโลหะเชื่อมที่ทำให้เกิดเฟสคาร์ไบด์และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค เพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ ดังนั้นการประยุกต์ผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนพื้นผิวลูกโรลเลอร์จึงเป็นหัวข้อวิจัยที่มีความเป็นไปได้ในการเพิ่มสมบัติทางกลได้

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ ผู้วิจัยมีกรอบแนวคิดการศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุมที่สามารถก่อเกิดสารประกอบต่างๆ ที่สามารถปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวลูกโรลเลอร์ เช่น ชั้นผิวเคลือบโลหะผสมที่มีความแข็งสูงและต้านทานการกัดกร่อนได้ดี และสารประกอบระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียมซึ่งมีความแข็งและความต้านทานการสึกหรอสูง ทางผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาการสร้างผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ เหล็กกล้าคาร์บอน S45C โดยมีส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงใน Table 1 ซึ่งรูปด้วยเครื่องึงอัตโนมัติให้ได้ขนาด ความยาว 100 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางโดนอก 135 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 85 มิลลิเมตร ดังแสดงใน Figure 2 นำมาประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึดดัง Figure 3 ที่ถูกออกแบบมาเพื่อจับชิ้นงานและสามารถหมุนเคลื่อนที่เชิงมุมใช้ความเร็วในการเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที หัวเชื่อมทำมุมกับชิ้นงาน 90 องศา โดยใช้กระแสเชื่อม 150-180 แอมแปร์ เติมลวดเชื่อมกลุ่มอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ AWS.A5.10 ER1100 แบบเปลือยตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร โดยมีส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงใน Table 2 ความเร็วในการป้อนลวด 170 มิลลิเมตรต่อนาที หลังจากเชื่อมชิ้นงานเสร็จ นำชิ้นงานตัดขวางทำการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา การวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS-Line scan และทดสอบสมบัติทางกล โดยการทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์

Table 1 Chemical composition of carbon steel S45C (% weight)

| element | Fe | C | Si | P | S | Ni | Cr | Cu | Al | W |
|---------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| S45C | 98.03 | 0.49 | 0.24 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.33 | 0.02 | 0.01 | 0.08 |

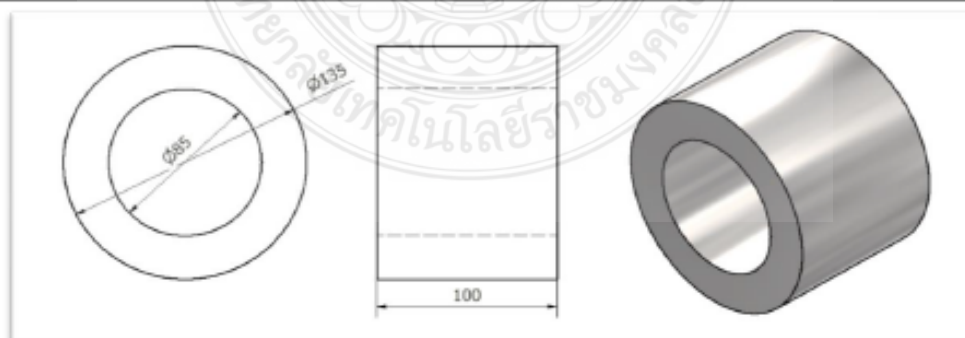


Figure 2 The Dimension of specimen (unit: millimeter)

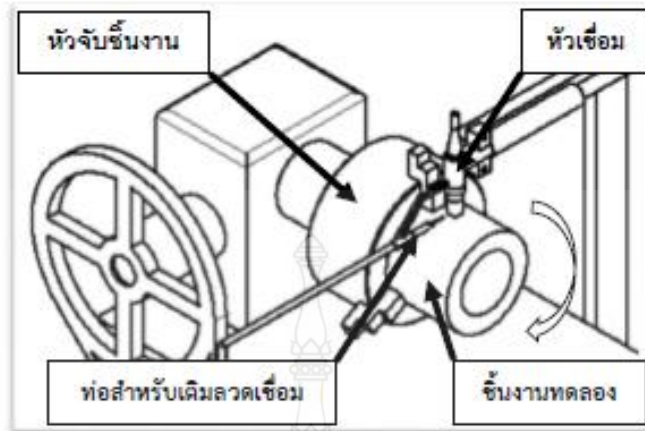


Figure 3 the welding methods

Table 2 Chemical composition of aluminum welding wire AWS.A5.10 ER1100 (% weight)

| ธาตุ | Si + Fe | Cu | Mn | zinc | Al | are | Others |
|---------|---------|-----------|------|------|----------|--------|--------|
| Al 1100 | 0.95 | 0.05-0.20 | 0.05 | 0.10 | Balanced | 0.0003 | 0.15 |

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

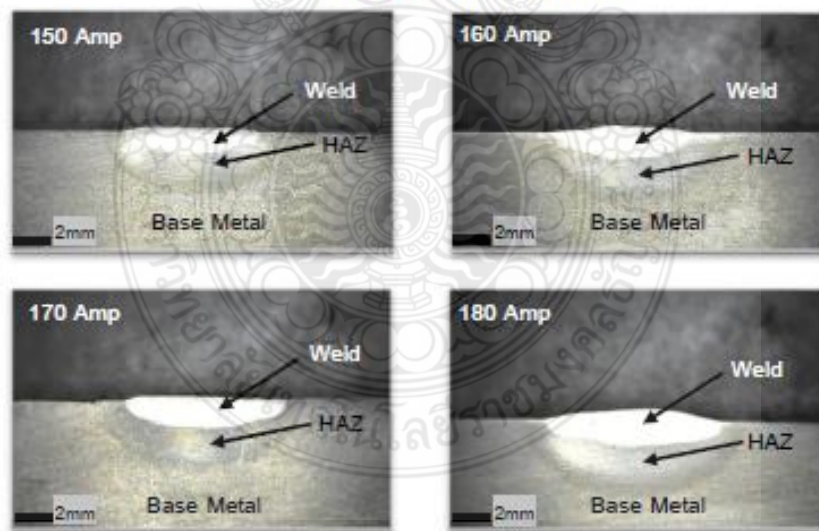


Figure 4 macrostructure of the cross section of the weld

การศึกษารั้วผิวเคลือบอลูมิเนียมบนเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ได้ทำตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค เพื่อทำการเปรียบเทียบตัวแปรในการเชื่อมเพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างทางกายภาพของการเชื่อมของแนวเชื่อม ดัง Figure 4 แสดงแนวเชื่อมทั้ง 4 กระแสเชื่อมพบว่ากระแสไฟในการเชื่อมที่ 180 แอมแปร์เชื่อมลึกสูงสุด และพบว่าเมื่อเพิ่มกระแสสูงขึ้น ทำให้การหลอมลึกของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น เกิดจากความร้อนที่

การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน วันที่ 3-4 ธันวาคม 2562

เพิ่มขึ้น จากการที่กระแสไฟเชื่อมที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการหลอมละลายและเจือจางเนื้อโลหะเชื่อมกับโลหะฐานซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Shuwan, 2017) กล่าวหาว่า เมื่อกระแสไฟเพิ่มมากขึ้นทำให้ความร้อนขาเข้า (Heat input) เพิ่มขึ้นไปด้วยซึ่งส่งผลทำให้ความกว้างของรอยเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นไปถึงพื้นที่ที่กระทบร้อนก็มีบริเวณกว้างมากขึ้นตามไปด้วย

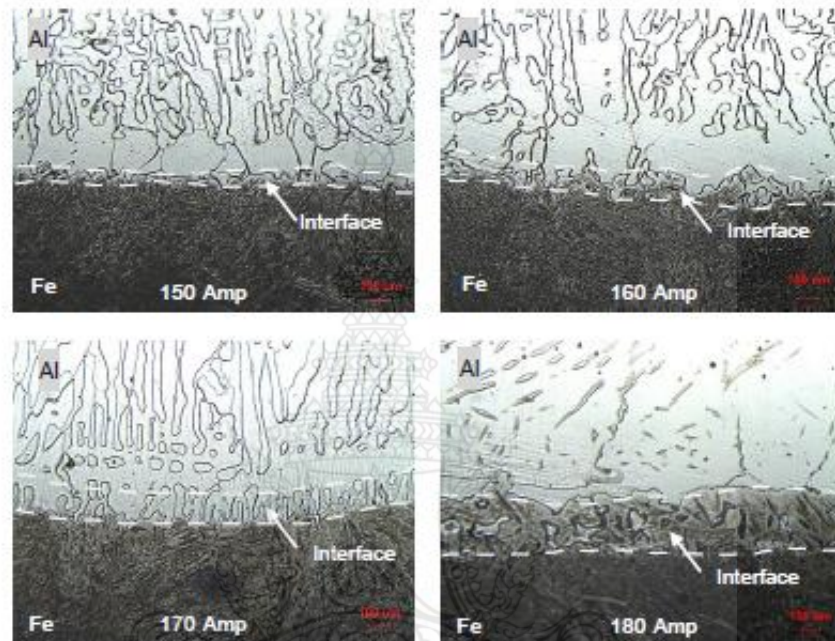


Figure 5 microstructure of the cross section of the weld

การตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมโดยใช้กระแสเชื่อม 150-180 แอมแปร์ ดัง Figure 5 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยภาพ บริเวณเนื้อโลหะเชื่อม, รอยต่อแนวเชื่อม (Interface), และพื้นที่กระทบร้อน พบว่าโครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อโลหะเชื่อมซึ่งมีลักษณะเป็นสีขาวมีลักษณะโครงสร้างเป็นเดนไดรต์คล้ายโครงสร้างงานหล่อที่มีลักษณะการเย็นตัวของโลหะที่ถูกหลอมเหลว ถัดมาคือ บริเวณรอยต่อของแนวเชื่อมจากรูปจะเห็นการแบ่งเฟสซึ่งแสดงลักษณะของรอยต่อที่ชัดเจนด้านข้างเป็นมาแทนไซท์ละเอียดและด้านบนเป็นโครงสร้างแบบเดนไดรต์ และบริเวณพื้นที่กระทบร้อนของแนวเชื่อม ซึ่งมีลักษณะเป็นเกรนที่ละเอียดมากขึ้นเนื่องจากได้รับความร้อนจากการเชื่อมโครงสร้างเปลี่ยนมาเป็นมาแทนไซท์ละเอียดและมีขนาดเกรนละเอียดเล็กลง สอดคล้องกับ (Schafer et al, 2010) ได้กล่าวหาว่า ความร้อนจากการเชื่อมส่งผลให้ขนาดและรูปร่างของเฟลเฟอร์ไรต์และซีเมนไทต์ บริเวณพื้นที่กระทบร้อนมีขนาดเล็ก ละเอียดและกระจายตัวทั่วทั้งพื้นที่กระทบร้อน

การทดสอบความแข็งบริเวณแนวเชื่อม ที่เชื่อมด้วยกระแส 150 - 180 แอมแปร์ ผลการทดสอบค่าความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานบริเวณเนื้อโลหะเชื่อมมีความแข็งประมาณ 250-450 HV บริเวณรอยต่อ(Interface)มีความแข็งสูงสุดที่ประมาณ 600-900 HV บริเวณพื้นที่กระทบร้อนมีความแข็งประมาณ 500-700 HV และพื้นที่บริเวณโลหะฐาน มีความแข็งประมาณ 200-300 HV และยังพบว่าชิ้นงานเชื่อมกระแสไฟ 180 แอมแปร์ มีค่าความแข็ง

การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน วันที่ 3-4 ธันวาคม 2562

บริเวณรอยต่อแนวเชื่อมสูงสุด โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 700-900 HV ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (ชินราช, 2560) กล่าวว่าการเพิ่มกระแสเชื่อมในการเชื่อมส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอบริเวณแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น ส่วนกระแสเชื่อม 150 แอมแปร์มีค่าความแข็งต่ำสุดดัง Figure 6

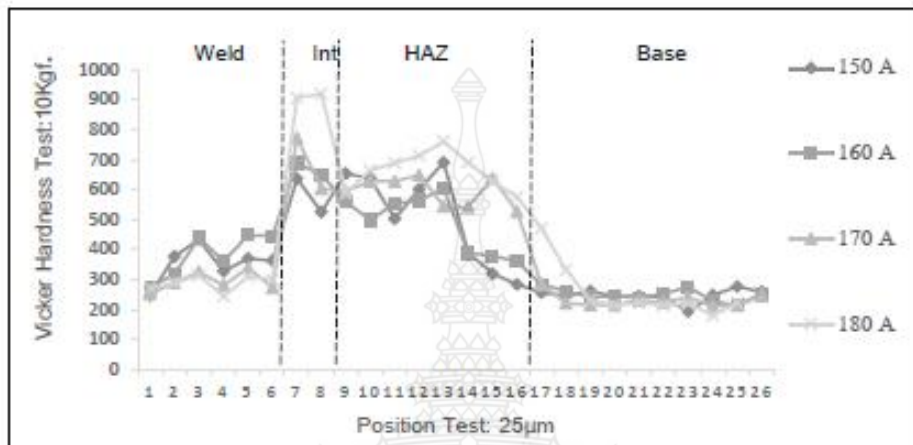


Figure 6 Comparison of the hardness of the welding

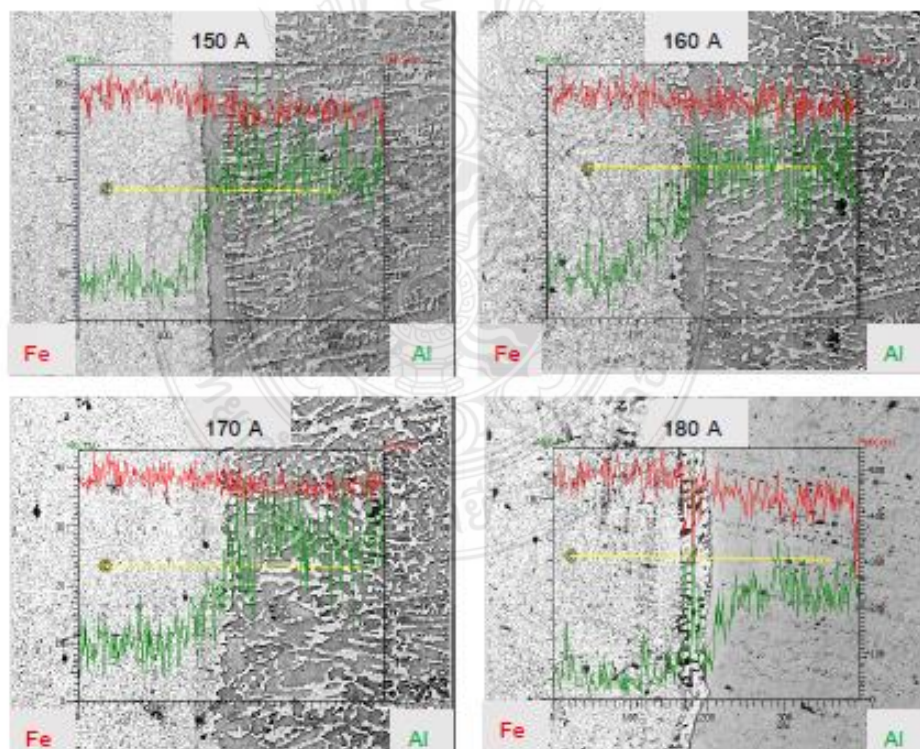


Figure 7 Results of line scanning at the interfacial layer

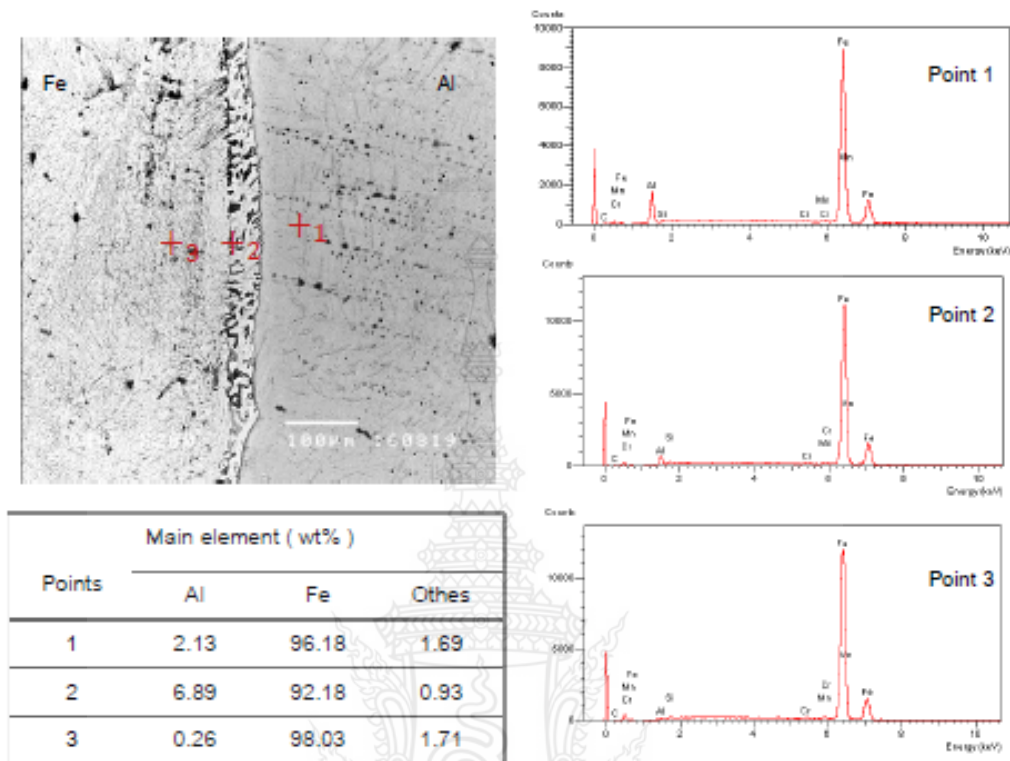


Figure 8 Microstructure of welding, spectral position and chemical ingredients

การวิเคราะห์ธาตุด้วย EDS-Line scan ของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 150-180 แอมแปร์ พบว่าความเข้มข้นของเหล็ก Fe ลดลงจนถึงชั้นผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) แนวเชื่อมและลดต่ำลง และธาตุอลูมิเนียม Al มีความเข้มข้นต่ำดัง Figure 7 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Shigeaki, 2002) ชั้นสารประกอบกลุ่มที่มีเหล็กผสมสูง (Fe-rich alloy) ประกอบด้วย Fe_3Al และ $FeAl$ ซึ่งมีสมบัติในการต้านทานการสึกหรอสูง ความต้านทานกัดกร่อนสูง และกลุ่มที่มีอะลูมิเนียมสูง

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟในการเชื่อม ความแข็งและขนาดความกว้างของชั้นผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) แนวเชื่อม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของกระแสไฟในการเชื่อมให้สูงขึ้น ทำให้ชั้นผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) แนวเชื่อม มีขนาดความกว้างมากขึ้น และยังสัมพันธ์กับค่าความแข็งของแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ มีค่าความแข็งสูงสุด ขนาดความกว้างสูงสุดดัง Figure 9 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Shigeaki, 2002) กล่าวได้ว่า ความหนาของชั้นผิวเคลือบมีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดโครงสร้างเฟสสารประกอบระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียมที่เกิดการก่อตัวบนผิวสัมผัสรอยต่อ (Interface) ระหว่างเหล็กซึ่งเป็นโลหะฐานและอะลูมิเนียมที่เป็นโลหะชั้นผิวเคลือบซึ่งมีสมบัติในการต้านทานการสึกหรอสูง ความต้านทานกัดกร่อนสูง แล้วเมื่อทำการเทียบความเข้มข้นของปริมาณธาตุโดยใช้เทคนิค EDS-Line scan พบว่า มีธาตุเหล็ก (Fe) มีความเข้มข้นสูง สอดคล้องกับผลการทดสอบส่วนผสมทางเคมี ดัง Figure 8 ได้ทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมด้วยเทคนิคสเปกตรัมของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (EDS – SEM)

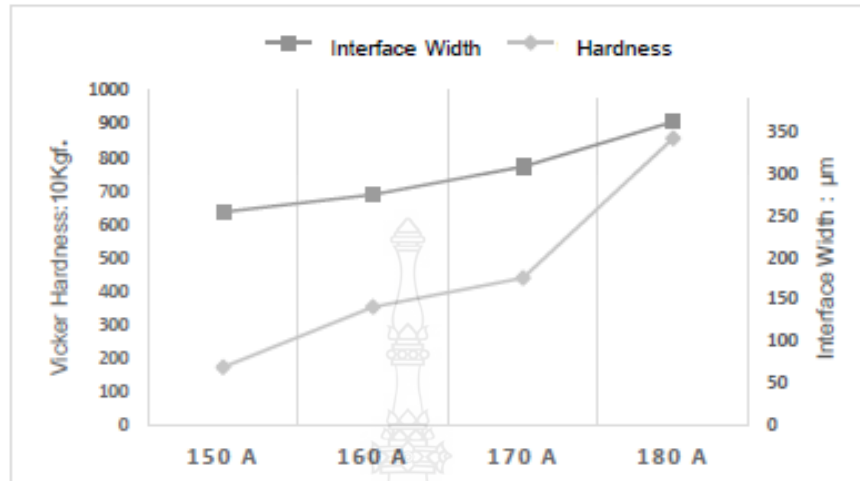


Figure 9 The relationship of welding current, hardness and width of the interface layer

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าของกระแสเชื่อมที่ส่งผลต่อค่าความแข็งและส่วนผสมทางเคมีของการสร้างผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สคลุม โดยมีผลการทดลองดังนี้

1. กระแสไฟในการเชื่อมที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลทำให้เกิดการเพิ่มความหนาของผิวสัมผัส การรวมตัวของอะลูมิเนียมกับเหล็ก และความแข็งของโลหะเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้น
2. สภาวะการเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งสูงสุดประมาณ 700-900 HV ที่ กระแสเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการป้อนลวด 170 มิลลิเมตรต่อนาที
3. การสร้างผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สคลุม สามารถสร้างชั้นผิวโลหะผสมที่มีเหล็กผสมสูง ซึ่งมีสมบัติในการต้านทานการสึกหรอสูง ความต้านทานกัดกร่อนสูง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ แผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคอ่างทอง สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สุพรรณบุรี และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, ปราโมทย์ พูนนายม, และวรวุษา วัฒนจิตศิริ, 2559. โครงสร้างจุลภาคและความต้านทานการสึกหรอของผิวพอกแข็งเหล็กกล้า JIS S50C ในชิ้นส่วนลูกโรดเลอร์รถเกี่ยวและนวดข้าว, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี

การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 16 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน วันที่ 3-4 ธันวาคม 2562

อดิศักดิ์ ไสวอมร, 2559. การวิเคราะห์ความเสี่ยงของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความบกพร่องและผลกระทบ, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี

อดิศักดิ์ ไสวอมร, ระพี กาญจนะ, และ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, 2559. การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวโดยประยุกต์ใช้เทคนิค Failure Mode and Effect Analysis (FEMA) presented at the การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จ.พระนครศรีอยุธยา

Kyle Schafer, Benjamin Ruchte. 2010. Rajiv Pithadia Faculty. Segregation, Banding, and Inclusions in AISI 1050 Carbon Steel. Materials Processing and Design MSE 430-440.

Shigeaki Kobayashi, Takao Yakou, 2002. Control of intermetallic compound layers at interface between steel and aluminum by diffusion-treatment, Materials Science and Engineering: A, vol. 338, pp. 44-53, 12/15

Shuwan, C., Yong, H. S, Sun, K., Gu, S.Y. 2017. Microstructure evolution and mechanical properties of keyhole deep penetration TIG welds of S32101 duplex stainless steel

ชินราช บึงเจริญ, 2560. อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมพอกผิวแข็งต่อสมบัติความต้านทานการลึกรของเหล็กหล่อสีเทา JIS-FC25, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี



ประวัติผู้เขียน

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อ-นามสกุล | นายประจักษ์ บัวอาจ |
| วัน เดือน ปีเกิด | 11 มกราคม 2533 |
| ที่อยู่ | 193 หมู่ที่ 8 ต. องครักษ์ อ. โพธิ์ทอง จ. อ่างทอง 14120 |
| ประวัติการศึกษา | ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาเครื่องมือกลและซ่อมบำรุง วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี พ.ศ. 2551 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาเทคนิคอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี พ.ศ. 2553 ปริญญาตรี ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พ.ศ. 2558 |
| ประสบการณ์ทำงาน | |
| พ.ศ. 2558 - 2561 | ครูจ้างสอน แผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคชยันนาท |
| พ.ศ. 2561 - ปัจจุบัน | ครูผู้ช่วย แผนกวิชาช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคอ่างทอง |
| เบอร์โทรศัพท์ | 09 6887 9750 |
| อีเมล | jakprajak1990@gmail.com |

