

อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมแม่เหล็กต่อสมบัติของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590

EFFECT OF MAG WELDING PARAMETER ON SPH590 STEEL LAP  
JOINT PROPERTIES

อานนท์ เขียรประโคน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมแม่เหล็กต่อสมบัติของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590

อานนท์ เขียรประโคน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

|                   |  |
|-------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมแม่เหล็กต่อสมบัติของรอยต่อเกลียวเหล็กกล้า SPH590 |
| นักศึกษา          | อานนท์ เขียรประโคน   |
| สาขา              | วิศวกรรมการผลิต  |
| อาจารย์ที่ปรึกษา  | รองศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.                                |
| ปีการศึกษา        | 2566   |

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษา การประยุกต์กระบวนการเชื่อมแม่เหล็กในการเชื่อมรอยต่อเกลียวเหล็กกล้า SPH590 ซึ่งเป็นรอยต่อและเหล็กกล้าที่มีการใช้งานแพร่หลายในการประกอบรถยนต์ ซึ่งกระบวนการเชื่อมแม่เหล็กนี้สามารถทำได้งานโครงสร้างที่มีความแข็งแรง ทำให้เกิดแนวเชื่อมคุณภาพสูง มีความเร็วในการเชื่อมสูง รอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมแตกต่างถูกนำมาทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงเฉือน โครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาค เพื่อทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบในการหาค่ากระแสเชื่อมแม่เหล็กที่เหมาะสมในการเชื่อม

เหล็กกล้า SPH590 ถูกใช้ทดลองในงานวิจัยนี้ แผ่นเหล็กกล้ารีดร้อนที่มีขนาดความหนา 2.9 และ 3.2 มิลลิเมตร ถูกทำการตัดให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตร และยาว 220 มิลลิเมตร ก่อนทำการประกอบเป็นรอยต่อเกลียว กำหนดให้แผ่นความหนา 3.2 มิลลิเมตรวางเทียบบนแผ่นความหนา 2.9 มิลลิเมตร ที่ระยะ 10 มิลลิเมตร รอยต่อเกลียวที่ยึดแน่นในอุปกรณ์จับยึดถูกทำการเชื่อมแม่เหล็กอัตโนมัติด้วยตัวแปรการเชื่อมที่กำหนด คือ กระแสเชื่อม ตำแหน่งหัวเชื่อม และระยะห่างระหว่างแผ่นงาน ชิ้นงานที่ได้ถูกนำไปทำการศึกษาความแข็งแรงเฉือน ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาค

ในการศึกษานี้ การเชื่อมรอยต่อเกลียวเหล็กกล้า SPH590 ที่กระแส 200 แอมแปร์ ทำให้เกิดรอยต่อเกลียวที่มีความแข็งแรงเฉือนสูงสุด (649.38 MPa) โดยมีตำแหน่งการพังทลายส่วนใหญ่เกิดขึ้นในพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ที่ความเร็วเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที กระแสที่สูงขึ้นทำให้การหลอมลึก (Penetration) เพิ่มมากขึ้น และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดจุดบกพร่องในโลหะเชื่อม การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหัวเชื่อมแนวตั้งและแนวนอนไม่พบความแตกต่างที่สำคัญในผลการทดสอบความแข็งแรงเฉือน การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค พบว่ากระแสเชื่อมที่มีต่ำทำให้เกิดโครงสร้างเดนไดรต์ที่ละเอียดกว่า และก่อให้เกิดรอยต่อที่มีความสมบูรณ์สูง ด้วยเหตุนี้การใช้กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ ที่ความเร็ว 80 มิลลิเมตรต่อนาที จึงเป็นตัวแปรการเชื่อมที่แนะนำสำหรับการเชื่อมที่มีประสิทธิภาพด้วยจุดบกพร่องน้อยที่สุด ที่สามารถให้คำแนะนำในการใช้งานจริงสำหรับการประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

**คำสำคัญ:** การเชื่อมแม่เหล็ก เหล็กกล้า SPH590 รอยต่อเกลียว การวิเคราะห์ความแข็งแรงเฉือน

**Thesis Title** Effect of MAG Welding Parameter on SPH590 Steel Lap Joint Properties  
**Name - Surname** Arnon Cheinprakhon  
**Program** Manufacturing Engineering  
**Thesis advisor** Associate Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.  
**Academic Year** 2023

## ABSTRACT

This research aimed to investigate the application of the MAG welding process in joining lap joints of SPH590 steel; which is commonly used in automotive assembly. The MAG welding process can create robust structures and high-quality welds with rapid welding speeds. Welded lap joints using different welding currents were analyzed for shear strength, macrostructure and microstructure to determine the optimal welding current.

In the experimental procedures, hot-rolled SPH590 steel plates with the thicknesses of 2.9 and 3.2 mm were precision-cut into rectangular shapes of 25 x 220 mm, subsequently assembled into lap joints. The 3.2-mm-thick plate was positioned atop of the 2.9-mm-thick plate, maintaining a 10 mm gap. These lap joints, securely held in a specialized fixture, underwent automated MAG welding using carefully specified welding variables: welding currents, welding head positions, and workpiece spacings. The specimens then underwent analysis for shear strength, hardness, and microstructural characteristics.

The findings indicated that the welding of the SPH590 steel lap joints at a current of 200A resulted in the highest shear strength (649.38 MPa), with the most failures occurring in the heat-affected zone (HAZ) at a welding speed of 80 mm/min. The higher current resulted in deeper penetration and also elevated the risk of defects in the weld metal. No significant differences were observed in shear strength tests between the vertical and the horizontal weld torch positions. Microstructural analysis revealed that lower welding currents produced finer dendritic structures and enhanced joint integrity. Therefore, a welding parameter of 200A at a speed of 80 mm/min is recommended as an effective welding method with minimal defects, providing practical guidelines for industrial applications.

**Keywords:** MAG welding, SPH590 steel, lap joints, shear strength analysis

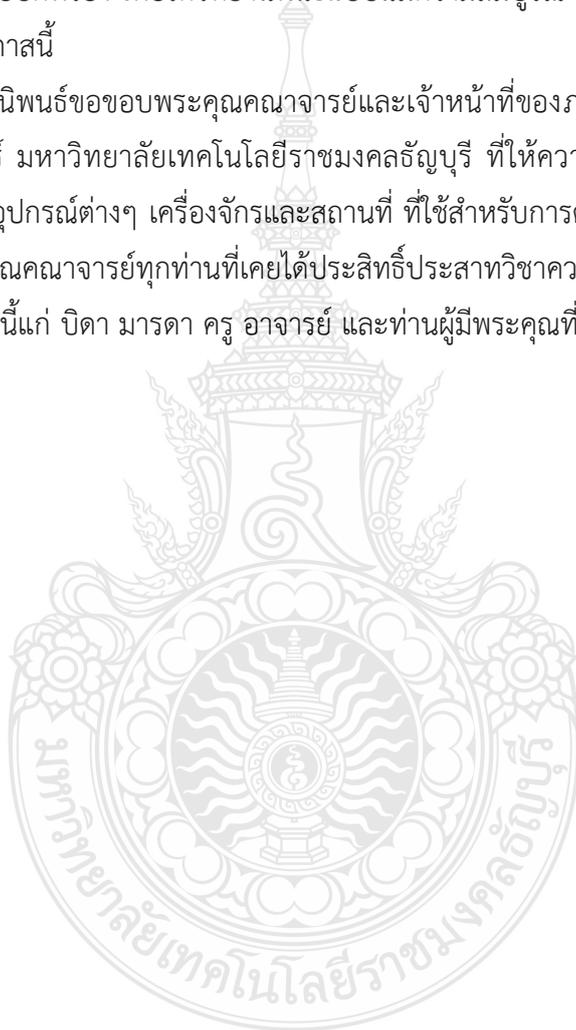
## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องอิทธิพลกระแสเชื่อมโลหะโลหะโดยใช้ก๊าซแอ็คทีฟ ( MAG ) ต่อสมบัติของรอยต่อเกลียวเหล็กกล้า SPH590 สำเร็จสำเร็จได้ด้วยความสำเร็จและความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ท่านรองศาสตราจารย์ ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่อง เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ เครื่องจักรและสถานที่ ที่ใช้สำหรับการดำเนินงานศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่เคยได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในด้านวิชาการ ผู้วิจัยจึงขอมอบความดีทั้งหมดนี้แก่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ และท่านผู้มีพระคุณที่ยังมิได้กล่าวถึงทุกท่าน

อานนท์ เขียรประโคน

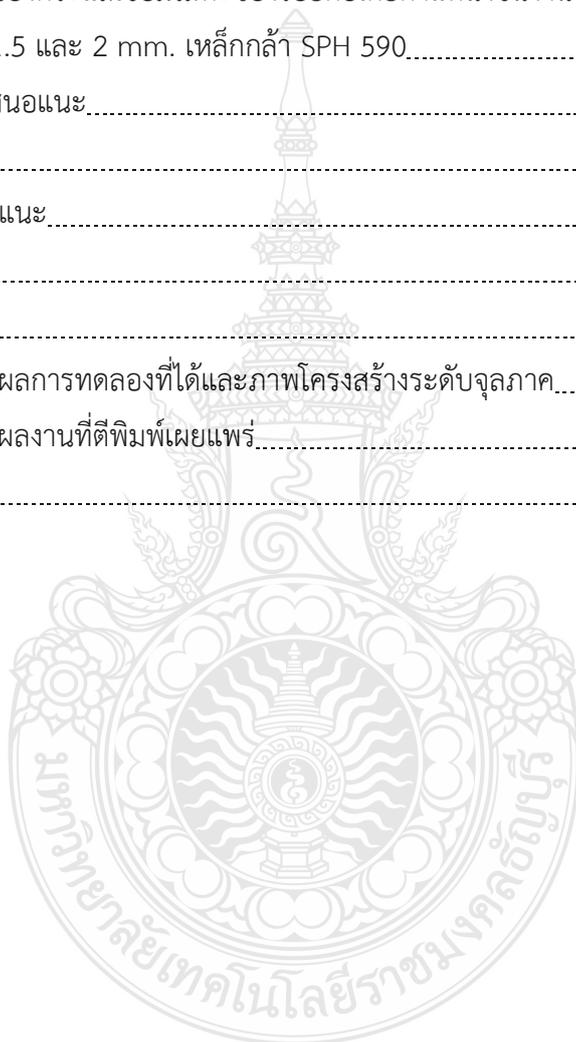


## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | (3)  |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | (4)  |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | (5)  |
| สารบัญ.....   | (6)  |
| สารบัญตาราง.....  | (8)  |
| สารบัญรูป.....  | (9)  |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....  | (14) |
| บทที่ 1 บทนำ.....   | 15   |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....   | 15   |
| 1.2 วัตถุประสงค์.....   | 16   |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....  | 16   |
| 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....  | 17   |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 18   |
| 2.1 วัสดุทดลอง.....   | 18   |
| 2.2 การเชื่อมโลหะ.....  | 19   |
| 2.3 เครื่องเชื่อม (Welding Machine).....  | 23   |
| 2.4 การทดสอบแรงดึง.....   | 31   |
| 2.5 การวิเคราะห์โครงสร้าง.....  | 32   |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 36   |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน.....  | 39   |
| 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....  | 40   |
| 3.2 วิธีเชื่อมรอยต่อเกย.....  | 42   |
| 3.3 การทดสอบสมบัติของรอยต่อเกย.....   | 43   |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....   | 47   |
| 4.1 อิทธิพลกระแสเชื่อมโลหะโดยใช้ก๊าซแอ็คทีฟ (MAG) ต่อสมบัติของรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อมศูนย์จากรอยต่อเหล็กกล้า SPH 590..... | 47   |

## สารบัญ(ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| 4.2 การเปรียบเทียบสมบัติรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวตั้งและ<br>แนวนอน 1, 1.5 และ 2 mm.....                 | 51   |
| 4.3 อิทธิพลของกระแสเชื่อมโลหะของรอยต่อเกยตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างออกจากรอยต่อ<br>เกย 1, 1.5 และ 2 mm. เหล็กกล้า SPH 590..... | 67   |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....   | 78   |
| 5.1 สรุป.....  | 78   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....  | 79   |
| บรรณานุกรม.....  | 80   |
| ภาคผนวก.....   | 84   |
| ภาคผนวก ก ผลการทดลองที่ได้และภาพโครงสร้างระดับจุลภาค.....  | 85   |
| ภาคผนวก ข ผลงานที่ตีพิมพ์เผยแพร่.....  | 94   |
| ประวัติผู้เขียน.....   | 108  |



## สารบัญตาราง

|   | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน SPH590(%Mass)..... | 18   |
| ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน SPH590.....           | 19   |
| ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของแผ่นรีดร้อน SPH590 (%Mass).....     | 40   |
| ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อม KOBE 50(%Mass) .....     | 41   |



## สารบัญรูป

|             | หน้า   |
|-------------|--|
| รูปที่ 2.1  | หลักการของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม..... 21                   |
| รูปที่ 2.2  | หัวเชื่อมแบบ Air Cooled..... 25                                      |
| รูปที่ 2.3  | หัวเชื่อมแบบ Water Cooled..... 25                                    |
| รูปที่ 2.4  | ลักษณะของการต่อเกย..... 27   |
| รูปที่ 2.5  | การเชื่อมท่าราบ..... 28  |
| รูปที่ 2.6  | การเชื่อมท่าขนานนอน..... 28  |
| รูปที่ 2.7  | การเชื่อมท่าตั้ง..... 28   |
| รูปที่ 2.8  | การเชื่อมท่าเหนือศรีษะ..... 29                                       |
| รูปที่ 2.9  | ลวดเชื่อมซีไอทู หรือลวดเชื่อมมิก..... 29                             |
| รูปที่ 2.10 | แบบของบ่อหลอมละลาย แบบหยดน้ำ และแบบรูปไข่..... 30                    |
| รูปที่ 2.11 | วิธีการทดสอบแรงดึง..... 31   |
| รูปที่ 2.12 | ลักษณะของแรงกระทำชนิดต่างๆ..... 31                                   |
| รูปที่ 2.13 | วิธีการตัดชิ้นทดสอบ..... 32  |
| รูปที่ 2.14 | วิธีการจับยึดงานแบบต่างๆ..... 33                                     |
| รูปที่ 2.15 | การสะท้อนแสงเมื่อตกกระทบฉาก..... 34                                  |
| รูปที่ 2.16 | เครื่องปรับความฉากผิว..... 35  |
| รูปที่ 2.17 | ลักษณะการทำงานของเลนส์..... 36                                       |
| รูปที่ 3.1  | รูปแบบการทดลอง..... 39   |
| รูปที่ 3.2  | ลักษณะชิ้นงานต่อเกย..... 40  |
| รูปที่ 3.3  | แสดงแก๊สปกคลุมที่ใช้ในงานเชื่อม..... 40                              |
| รูปที่ 3.4  | แสดงหุ่นยนต์เชื่อม OTC Daihen FD-B4L..... 41                         |
| รูปที่ 3.5  | แสดงลวดเชื่อม KOBE 50..... 41  |
| รูปที่ 3.6  | งการตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดเหล็กแผ่นและชิ้นงานเมื่อตัดเสร็จ..... 42 |
| รูปที่ 3.7  | รูปแบบการทดลองที่ 1..... 42  |
| รูปที่ 3.8  | รูปแบบการทดลองที่ 2..... 43  |
| รูปที่ 3.9  | เครื่องขัดแบบจานหมุนใช้กระดาษทราย..... 44                            |
| รูปที่ 3.10 | เครื่องขัดแบบจานหมุนใช้ผ้าสักหลาด..... 44                            |

## สารบัญรูป (ต่อ)

|             | หน้า   |
|-------------|--|
| รูปที่ 3.11 | กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างโลหะ..... 45  |
| รูปที่ 3.12 | แบบจำลองการจับชิ้นงานเชื่อมแบบต่อเกย..... 46   |
| รูปที่ 3.13 | เครื่องทดสอบแรงดึง..... 46   |
| รูปที่ 3.14 | ตารางแสดงผลทดสอบแรงดึง..... 46   |
| รูปที่ 4.1  | ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรง การยึดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อมศูนย์จากรอยต่อ เหล็กกล้าSPH590 ..... 47                         |
| รูปที่ 4.2  | แสดงตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อมศูนย์จากรอยต่อเหล็กกล้าSPH590..... 48                                   |
| รูปที่ 4.3  | โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อมศูนย์จากรอยต่อเหล็กกล้าSPH590.... 48   |
| รูปที่ 4.4  | การหลอมลึกลงสู่โลหะฐานของรอยต่อตำแหน่งหัวเชื่อมศูนย์ เหล็กกล้าSPH590..... 49   |
| รูปที่ 4.5  | โครงสร้างพื้นฐานโลหะฐาน SPH590 ขนาด 2.9 กับ 3.2 มิลลิเมตร..... 50  |
| รูปที่ 4.6  | โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อมศูนย์จากรอยต่อเหล็กกล้า SPH 590.. 50  |
| รูปที่ 4.7  | ความแข็งแรงของข้อต่อที่เกิดจากกระแสเชื่อม 200-260 แอมแปร์..... 51  |
| รูปที่ 4.8  | ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง อัตราการยึดตัวและกระแสเชื่อมของรอยต่อเกยเหล็กกล้าSPH590..... 51  |
| รูปที่ 4.9  | ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อหัวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร..... 52 |
| รูปที่ 4.10 | โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อมแนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร..... 52                                  |
| รูปที่ 4.11 | อิทธิพลของตำแหน่งหัวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อรอยเกยเหล็กกล้า SPH 590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อ 1.0 มิลลิเมตร ..... 53                   |
| รูปที่ 4.12 | แสดงผลทดสอบความแข็งแรงดึง การยึดตัวและกระแสเชื่อมของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 ..... 54   |
| รูปที่ 4.13 | ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อ 1.0 มิลลิเมตร..... 54           |
| รูปที่ 4.14 | โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 1.0 มิลลิเมตร..... 55  |

## สารบัญรูป (ต่อ)

|             | หน้า  |
|-------------|---|
| รูปที่ 4.15 | อิทธิพลของตำแหน่งหัวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อรอยเกยเหล็กกล้า SPH 590 ตำแหน่งขยับ<br>ออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร.....56                            |
| รูปที่ 4.16 | ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงอัตราการยึดตัวและกระแสเชื่อมของรอยต่อเกย<br>เหล็กกล้า SPH590.....56  |
| รูปที่ 4.17 | ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยเหล็กกล้า<br>SPH590 ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร.....57          |
| รูปที่ 4.18 | โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออก<br>จากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร.....58                                 |
| รูปที่ 4.19 | อิทธิพลตำแหน่งหัวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อรอยเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง<br>ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร.....58                |
| รูปที่ 4.20 | แสดงผลทดสอบความแข็งแรงดึง การยึดตัวและกระแสเชื่อมของรอยต่อเกยเหล็กกล้า<br>SPH590 .....59  |
| รูปที่ 4.21 | ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยเหล็กกล้า<br>SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร.....60   |
| รูปที่ 4.22 | โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยเหล็กกล้าSPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออก<br>จากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร.....60                                   |
| รูปที่ 4.23 | อิทธิพลของตำแหน่งหัวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อรอยเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน<br>ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร.....61              |
| รูปที่ 4.24 | ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง อัตราการยึดตัวและกระแสรอยต่อเชื่อมเกย<br>เหล็กกล้าSPH590 .....62  |
| รูปที่ 4.25 | ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH<br>590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร.....62 |
| รูปที่ 4.26 | โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออก<br>จากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร.....63                                 |
| รูปที่ 4.27 | อิทธิพลตำแหน่งหัวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อรอยเกยเหล็กกล้า SPH 590 แนวตั้ง ตำแหน่ง<br>หัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร.....64              |

## สารบัญรูป (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.28 แสดงผลทดสอบความแข็งแรงดึง การยึดตัวและกระแสเชื่อมของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH 590.....  | 64   |
| รูปที่ 4.29 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร..... | 65   |
| รูปที่ 4.30 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH 590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร.....                                | 65   |
| รูปที่ 4.31 อิทธิพลตำแหน่งหัวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อรอยต่อเกยเหล็กกล้าSPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร.....             | 66   |
| รูปที่ 4.32 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงดึง การยึดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกย ตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างจากรอยต่อเกย 1 มิลลิเมตร เหล็กกล้าSPH590.....          | 67   |
| รูปที่ 4.33 ตำแหน่งการพังทลายชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกย SPH90 ตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างจากรอยต่อ 1 มิลลิเมตร.....                                 | 67   |
| รูปที่ 4.34 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 ตำแหน่งระยะห่างชิ้นงานออกจากรอยต่อแนวเชื่อมออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร.....                 | 68   |
| รูปที่ 4.35 อิทธิพลของระยะห่างชิ้นงานที่มีผลกระทบต่อรอยต่อเกยเหล็กกล้าSPH590 ตำแหน่งชิ้นงานขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร.....                    | 69   |
| รูปที่ 4.36 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงดึง การยึดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกย ตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างจากรอยต่อเกย 1.5 มิลลิเมตร เหล็กกล้าSPH590.....        | 69   |
| รูปที่ 4.37 ตำแหน่งการพังทลายชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกย SPH590 ตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างจากรอยต่อ 1.5 มิลลิเมตร.....                              | 70   |
| รูปที่ 4.38 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH 590 ตำแหน่งระยะห่างชิ้นงานออกจากรอยต่อแนวเชื่อมออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร.....                | 71   |
| รูปที่ 4.39 อิทธิพลของระยะห่างชิ้นงานที่มีผลกระทบต่อรอยต่อเกยเหล็กกล้าSPH590 ตำแหน่งชิ้นงานขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร.....                    | 71   |
| รูปที่ 4.40 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงดึง การยึดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกย ตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างจากรอยต่อเกย 1.5 มิลลิเมตร เหล็กกล้าSPH590.....        | 72   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.41 ตำแหน่งการพังทลายขึ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 ตำแหน่งขึ้นงานระยะห่างออกจากรอยต่อ 2.0 มิลลิเมตร.....  | 73   |
| รูปที่ 4.42 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยเหล็กกล้าSPH590 ตำแหน่งระยะห่างขึ้นงานออกจาก รอยต่อแนวเชื่อมออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร..... | 73   |
| รูปที่ 4.43 อิทธิพลของระยะห่างขึ้นงานที่มีผลกระทบต่อรอยเกยเหล็กกล้า SPH590 ตำแหน่งขึ้นงานขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร.....      | 74   |
| รูปที่ 4.44 โครงสร้างพื้นฐานของโลหะฐาน SPH590 ขนาด 2.9 กับ 3.2 มิลลิเมตร.....  | 75   |
| รูปที่ 4.45 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งระยะจากขึ้นงานรอยต่อ 1.0 มิลลิเมตร เหล็กกล้าSPH590.....                                      | 75   |
| รูปที่ 4.46 โครงสร้างพื้นฐานของโลหะฐาน SPH590 ขนาด 2.9 กับ 3.2 มิลลิเมตร.....  | 76   |
| รูปที่ 4.47 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งระยะจากขึ้นงานรอยต่อ 1.5 มิลลิเมตร เหล็กกล้าSPH590.....                                      | 76   |
| รูปที่ 4.48 โครงสร้างพื้นฐานของโลหะฐาน SPH590 ขนาด 2.9 กับ 3.2 มิลลิเมตร.....  | 77   |
| รูปที่ 4.49 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งระยะจากขึ้นงานรอยต่อ 2.0 มิลลิเมตร เหล็กกล้าSPH590 กระแสไฟเชื่อม 260 แอมแปร์.....            | 77   |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

|        |  |
|--------|--|
| SPH590 | เหล็กกล้าคาร์บอน SPH590                                |
| HV     | หน่วยความแข็ง (Micro Hardness Vickers)                 |
| GMAW   | การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม(Gas Tungsten Arc Welding) |
| MPa    | ค่าความทนแรงดึงสูงสุด                                  |
| A      | กระแสเชื่อม  |
| mm.    | มิลลิเมตร  |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตมีการนำโลหะหลายชนิดเข้ามาเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างเพื่อใช้ข้อดีของโลหะแต่ละชนิดมาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถรับแรงที่กระทำอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ การเชื่อมต่อโลหะสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การเชื่อมแก๊ส (Gas Welding) การเชื่อมไฟฟ้า (Arc Welding) หรือการใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding) เป็นต้น ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ กรรมวิธีการเชื่อมที่ใช้ในการผลิต ต้องประหยัดต้นทุนและเพิ่มกำไรการผลิตให้ได้มากที่สุด และความแข็งแรงของแนวเชื่อมสูง อย่างไรก็ตามในงานอุตสาหกรรมทั่วไป โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์พบว่า การเชื่อมเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมาใช้ในการเชื่อมมากที่สุด (Barnes and Pashby, 2000) หนึ่งในกระบวนการเชื่อมที่นิยมนำมาใช้ในการประกอบชิ้นส่วน คือ กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding: GMAW) ที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide: CO<sub>2</sub>) เป็นแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การเชื่อมแม็ก (Metal active gas welding: MAG welding) อย่างไรก็ตามการเชื่อมวัสดุต่างชนิดกันเกิดขึ้นได้ค่อนข้างยากเนื่องจากวัสดุทั้งสองนั้นมีสมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางเคมีที่แตกต่างกันส่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ขึ้นในเวลาทำการเชื่อม เช่น การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal expansion) จุดหลอมเหลว (Melting temperature) ที่แตกต่าง (Brandon and Kaplan, 1997) ด้วยเหตุนี้การเลือกวิธีการเชื่อมจึงต้องพิจารณาด้วยความละเอียด เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ การเชื่อมแม็กเป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม สามารถทำการเชื่อมได้รวดเร็วและต่อเนื่องประหยัดเวลาในการทาความสะอาดเพราะไม่มีแอสลปกคลุมแนวเชื่อม (สุวัฒน์ ภูเกา และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์, 2554) และเป็นกระบวนการเชื่อมที่มีคุณภาพสูง นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามการศึกษาลักษณะเกี่ยวกับตัวแปรการเชื่อมแม็กที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590

จากงานวิจัยของชาติชายและชัยยศ (2560) เป็นการวิเคราะห์ความแข็งแรงและโครงสร้างรถบรรทุก ที่มีการดัดแปลงขยายความยาวฐานล้อ ได้ทำการแก้ปัญหาโดยการดัดแปลง โครงสร้างของรถให้รถมีระยะฐานล้อให้ยาวขึ้น 515 มิลลิเมตร โดยถ้าขยายมากกว่าอาจมีปัญหาเรื่องของรัศมีวงเลี้ยว และต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกรวม (Gross Weight) เพิ่มขึ้น 3,200 กิโลกรัม ได้ เพื่อให้สามารถใช้งานบนถนนหลวง ต้องทำข้อมูลการคำนวณประกอบการยื่นขอความเห็นชอบแบบรถบรรทุกและรถโดยสารเฉพาะกิจต่อกรมขนส่งทางบก โดยใช้วิธีการคำนวณด้วยแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์จำลอง

ด้วยภาระสถิตย์แบบภาระโมเมนต์คัต ภาระแรงบิด ภาระแรงกระทำด้านข้างและแรงกระทำตามแนว ยาว แต่การใช้งานจริงโครงสร้างรถบรรทุกต้องสามารถรับภาระ ทั้งแบบสถิตย์และการสั่นสะเทือนที่มา จากของเครื่องยนต์ ระบบส่งกำลังและถนนที่ไม่เรียบได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ต้องหา ความถี่ธรรมชาติและรูปร่างการสั่นด้วย โดยเมื่อใดก็ตามที่การสั่นสะเทือนของโครงสร้างแซสซิสมีความถี่ ธรรมชาติสอดคล้องกับความถี่กระตุ้นจากภายนอกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าการสั่นพ้อง (Resonance) ซึ่งนำไปสู่การดัดหรือบิดตัวมากเกินไปและเกิดซ้ำๆ อาจทำให้เกิดความเสียหายได้มาก เช่นกัน โดยวัสดุโครงสร้างแซสซิสมารถคือเหล็ก SPH590

จากวิจัยผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดในการหากรแสเชื่อมที่เหมาะสมกับรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 ซึ่งเป็นรอยต่อและเหล็กกล้าที่มีการใช้ในการประกอบเฟรมชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งกระบวนการเชื่อมแม้กนี้ สามารถทำให้ได้งานโครงสร้างที่มีความแข็งแรงสูงทำให้เกิดแนวเชื่อมมีคุณภาพ สามารถนำไป ประยุกต์ใช้ในตำแหน่งสำคัญในการประกอบเฟรม มีความเร็วในการเชื่อมสูงเหมาะกับการทำงานบน สายผลิตที่มีรอบเวลาในการผลิตชิ้นงาน ของเสียออกมาหลังจากการเชื่อมน้อยมาก รอยต่อที่ผ่านการ เชื่อมแต่ละตัวแปรจะถูกนำมาทำการวิเคราะห์หาค่ากระแสเชื่อมที่ดีที่สุด เพื่อความแข็งแรงของรอยต่อ เกยทาง โครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาค เพื่อทำการวิเคราะห์และหาค่ากระแสที่ดีที่สุดแต่ละตัวแปร ของรอยต่อเกยแล้วนำไปประยุกต์ใช้ในการเชื่อมประกอบเหล็กกล้าSPH590

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของกระแสเชื่อมแม็กที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของรอยต่อ โครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาคและ เปรียบเทียบในการหาค่ากระแสเชื่อมแม็กที่เหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อเกย

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 เหล็กกล้า SPH590 แผ่นเหล็กมีความหนา 2.9 และ 3.2 มิลลิเมตร ทรงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 130 มิลลิเมตรและยาว 220 มิลลิเมตร กำหนดความหนา 3.2 มิลลิเมตรวางเกยบนแผ่นหนา 2.9 มิลลิเมตร ระยะต่อ 10 มิลลิเมตร รอยต่อถูกเชื่อมจุดหัวและท้ายก่อนทำการเชื่อมในอุปกรณ์การจับ ยึด เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแม็ก

1.3.2 ศึกษาตัวแปรการเชื่อมแม่เหล็กที่สภาวะกระแสไฟเชื่อม 200, 220, 240 และ 260 แอมป์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม Robot 80 มิลลิเมตรต่อนาที โลหะเติมรอยต่อในการเชื่อม MG-50 KOBE หัวเชื่อมถูกติดเข้าและถูกควบคุมการเคลื่อนที่ผ่านหุ่นยนต์เชื่อม ตำแหน่งหัวเชื่อมศูนย์ เหล็กกล้า SPH590 ลิตรต่อนาที มุมเชื่อม 45 องศา กับริยต่อ ตำแหน่งระยะอาร์คจากมุมรอยต่อเท่ากัน

#### 1.3.3 ตัวแปรการเชื่อม

1.3.3.1 ตำแหน่งหัวเชื่อมตรงรอยต่อเกยกระทบบนชิ้นงานศูนย์

1.3.3.2 ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวตั้งและแนวนอน 1, 1.5 และ 2 มิลลิเมตร

1.3.3.3 ระยะห่างของรอยต่อเกย 1, 1.5 และ 2 มิลลิเมตร

1.3.4 ตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกย

1.3.5 ตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของรอยต่อเกย

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบถึงตัวแปรของรอยต่อเกย ในกระบวนการเชื่อมแม่เหล็กที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็กแผ่น SPH590

1.4.2 นำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมยานยนต์

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากวิจัยผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดทำการศึกษาระบวนการเชื่อมของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 ซึ่งเป็นรอยต่อที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งกระบวนการเชื่อมแม้กึ่งขึ้นงานที่ผ่านการทดสอบแต่ละตัวแปรจะถูกทำการทดสอบตามเงื่อนไขตัวแปรที่กำหนดไว้ มาทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของรอยต่อเกยทาง โครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาค เพื่อทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบในลำดับต่อไป

#### 2.1 วัสดุทดลอง

ศึกษาสมบัติทางกลของเหล็ก SPH590 เป็นเหล็กแผ่นรีดร้อนที่ใช้สำหรับผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ถูกนำไปใช้ทำโครงสร้างสำหรับรถยนต์นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการขึ้นรูปเฟรมรถยนต์เช่น ล้อ โช๊ค และชิ้นส่วนอื่นๆของรถยนต์

##### 2.1.1. ส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าเกรด SPH590

โดยส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน SPH590 ที่ใช้ในการทดลองส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน SPH590 แสดงดังตารางที่ 2.1 และสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน SPH590 แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน SPH590 (%Mass) [17]

| C    | Mn   | Si   | P     | S     | Alt  | Ni    | Cr   | Mo    | Ti    | Nb    |
|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| 0.08 | 1.11 | 0.64 | 0.030 | 0.012 | 0.04 | 0.009 | 0.05 | 0.005 | 0.009 | 0.004 |

## ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน SPH590 [17]

| SPH590                       |      |
|------------------------------|------|
| Modulus (GPa)                | 200  |
| Poisson's Ratio              | 0.3  |
| Density (kg/m <sup>3</sup> ) | 7850 |
| Yield Stress (Mpa)           | 430  |
| Tensile Stress (Mpa)         | 590  |

### 2.1.2. สมบัติทางกลและการทดสอบวัสดุ

คุณสมบัติของวัสดุและการทดสอบในการพิจารณาเลือกวัสดุ เพื่อนำมาใช้งานในลักษณะต่างๆ จำเป็นจะต้องทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุเพื่อให้ได้วัสดุที่เหมาะสมกับสภาพงานนั้นๆ คุณสมบัติของวัสดุที่จะต้องพิจารณา ได้แก่

#### 1. สมบัติทางเคมี (Chemical Properties)

เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางเคมีของวัสดุการเลือกวัสดุเพื่อนำไปใช้ในงานช่าง จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุ ได้แก่ การกัดกร่อนส่วนผสม และลักษณะโครงสร้างทางเคมีของส่วนผสมในวัสดุ

#### 2. สมบัติทางฟิสิกส์ (Physical Properties)

เป็นคุณสมบัติของวัสดุที่ไม่เกี่ยวกับแรงที่มากระทำแต่เกี่ยวกับคุณภาพหรือคุณลักษณะของเนื้อวัสดุ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ การนำความร้อน สัมประสิทธิ์การขยายตัว ความหนาแน่น และความต้านทานไฟฟ้า เป็นต้น

#### 3. คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)

สมบัติที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปของวัสดุเมื่อถูกแรงภายนอกมากระทำในลักษณะต่างๆเช่น แรงกด แรงดึง แรงเฉือน เพื่อนำไปใช้งานทางวิศวกรรม คุณสมบัติพื้นฐานทางกลของโลหะได้แก่ ความแข็ง ความเปราะ ความเหนียว ความเค้น ความแข็งแรงทางแรงดึง ความแข็งแรงต่อการกดอัด ความต้านทานต่อแรงเฉือน ความต้านทานต่อการตัด ความต้านทานต่อการตัด ความทนทานต่อการพังทลาย และความทนทานต่อการกระแทก

## 2.2 การเชื่อมโลหะ

การเชื่อมโลหะ (Welding) หมายถึงกรรมวิธีกระบวนการเชื่อมต่อโลหะ 2 ชิ้น ด้วยการให้ความร้อนแก่โลหะจนหลอมละลายติดเป็นเนื้อเดียวกันโดยการเติมลวดเชื่อมเป็นตัวประสานกันอย่างแข็งแรง สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ วิธีในการเชื่อมโลหะที่เป็นที่นิยมใช้กันมีดังนี้

### 2.2.1. การเชื่อมแก๊ส (Gas Welding)

การเชื่อมที่ใช้การเผาไหม้ระหว่างแก๊สอะเซทิลีนซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงผสมกับแก๊สออกซิเจน จาก การเผาไหม้ที่ปลายหัวเชื่อมจะทำให้โลหะหลอมละลายแล้วป้อนลวดเชื่อมลงไปใบบ่อน้ำโลหะ เมื่อปล่อยให้เย็นตัวจะได้แนวเชื่อมตามที่ต้องการ อุณหภูมิจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ให้ความร้อนสูง 3,200 องศาเซลเซียสและจะไม่มีเขม่าหรือควัน การเชื่อมแก๊ส นิยมใช้กับงานเชื่อมโลหะที่บาง เช่น งานเชื่อมท่อแอร์ งานเชื่อมท่อไอเสียรถยนต์ ท่อในอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น

### 2.2.2. การเชื่อมไฟฟ้า (Arc Welding)

การเชื่อมไฟฟ้าหรือเรียกว่าการอาร์ค (Arc) ใช้อิเล็กโทรดโดยใช้ก้านรูปที่มีลวดหุ้มฟลักซ์อาร์ค ขึ้นที่ปลายอิเล็กโทรดกับผิวชิ้นงานเชื่อม ทำให้ชิ้นงานและอิเล็กโทรดเกิดการหลอมละลาย ที่ผิวของ ชิ้นงานเกิดบ่อหลอมและเนื้อลวดเชื่อมหลอมลงไปใบบ่อหลอม รวมกันเป็นเนื้อเชื่อม ฟลักซ์ที่หุ้ม อิเล็กโทรดอยู่เปลี่ยนสภาพเป็นแก๊สปกคลุม เพื่อป้องกันอากาศภายนอกไม่ให้เข้าไปปนเปื้อนในเนื้อเชื่อม

### 2.2.3. การเชื่อมอัด (Press Welding หรือ Non Fusion Welding)

การเชื่อมอัด เป็นการประสานโลหะ 2 ชิ้นให้ติดกันโดยใช้ความร้อนกับชิ้นงานในบริเวณที่จะทำการเชื่อม จากนั้นใช้แรงอัดส่วนที่หลอมละลายจนกระทั่งชิ้นงานติดกันเป็นจุดหรือเกิดแนวความร้อนที่ใช้ได้จากความต้านทานไฟฟ้าโดยการเชื่อมจุด (Spot Welding)

### 2.2.4. การเชื่อมTIG (Tungsten Inert Gas Welding)

กรรมวิธีการเชื่อมโลหะโดยใช้ความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดทั้งสแตนกับชิ้นงาน เชื่อม โดยมีแก๊สเฉื่อยปกคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลายเพื่อไม่ให้บรรยากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยา บริเวณดังกล่าว การเชื่อมมีกระแสไฟฟ้าเป็นตัวกระตุ้นแก๊สที่ปลายลวดทั้งสแตนอิเล็กโทรดกลายเป็น ไอออน การเชื่อม TIG นิยมใช้กับชิ้นงานที่มีลักษณะบาง การเชื่อมTIG ต้องใช้ทักษะในการเชื่อมสูง

### 2.2.5. งานเชื่อม MIG (Metal Inert Gas Welding)

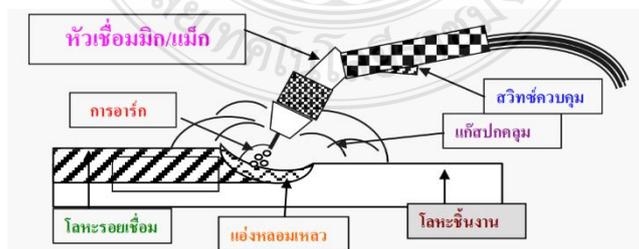
งานเชื่อม MIG เป็นขบวนการเชื่อมที่ได้รับความร้อนจากอาร์คระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงานลวดเชื่อมที่ใช้เป็นลวดเชื่อมเปลือยที่ส่งป้อนอย่างต่อเนื่อง ไปยังบริเวณอาร์คและทำหน้าที่เป็นโลหะเติมลงยังบ่อหลอมละลายบริเวณบ่อหลอมละลายปกคลุมไว้ด้วยแก๊สเฉื่อยเพื่อไม่ให้เกิดการรวมตัวกับอากาศ

### 2.2.6. งานเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding)

งานเชื่อมใต้ฟลักซ์เป็นขบวนการเชื่อมไฟฟ้าที่ได้รับความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมเปลือยกับงานเชื่อมโดยมีฟลักซ์ชนิดเม็ด (Granular Flux) ปกคลุมบริเวณอาร์คและฟลักซ์ส่วนที่อยู่ใกล้กับเนื้อเชื่อมจะหลอมละลายปกคลุมเนื้อเชื่อมเพื่อป้องกันอากาศภายนอกทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม ส่วนฟลักซ์ที่อยู่ห่างจากเนื้อเชื่อมจะไม่หลอมละลายและสามารถนำมาใช้อีกโดยในที่นี้จะกล่าวถึงกรรมวิธีการเชื่อมแก๊สและการเชื่อมอาร์คด้วยไฟฟ้าซึ่งเป็นกรรมวิธีการเชื่อมโลหะที่แพร่หลายนิยมใช้ และสามารถพบเห็นได้โดยทั่วไป

### 2.2.7 กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW) หรือการเชื่อมมิก/แม็ก (MIG/MAG Welding)

อธิบายกระบวนการในการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม ตำแหน่งที่ทำการเชื่อมจะเกิดความร้อนเกิดขึ้นตำแหน่งบ่อหลอมละลายหรือบริเวณที่มีการอาร์ค โดยมีแก๊สปกคลุมบริเวณที่ทำการเชื่อมหรือบ่อหลอมละลาย เพื่อป้องกันอากาศภายนอกไปกระทำกับตำแหน่งที่ทำการอาร์ค เช่น ออกซิเจน และไนโตรเจน เข้าไปรวมกับปฏิกิริยากับบริเวณที่ทำการเชื่อม ซึ่งจะทำให้เกิดจุดบกพร่องในการเชื่อม เช่น ฟองอากาศ ตามด ส่งผลให้แนวเชื่อมสูญเสียความแข็งแรง เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สปกคลุม ตั้งแต่ตัวแหล่งพลังงานตัวเครื่องเชื่อม เช่น เครื่องเชื่อม, หัวเชื่อมและสายเชื่อม, ชุดควบคุมการป้อนลวด, อุปกรณ์ควบคุมการไหลของแก๊สปกคลุม เป็นต้น



รูปที่ 2.1 หลักการของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม [8]

กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม สามารถเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็ก และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก หรือขนาดความหนาบางของชิ้นงานที่ทำการเชื่อม ลักษณะบ่อหลอมละลายมีอยู่หลายลักษณะ การอาร์คขึ้นอยู่กับกระแสไฟเชื่อม การถ่ายเทน้ำโลหะจึงมีลักษณะที่แตกต่างกันไป แม้แต่แก๊สปกคลุมงาน บางประเภทได้นำแก๊สมากกว่าหนึ่งชนิดมาทำการเชื่อม เพื่อให้ได้ตามจุดประสงค์ที่ต้องการ เช่น ต้องการได้งานเชื่อมที่มี spatter ต่ำเพื่อป้องกันจุดประกอบที่สำคัญต่างๆ สิ่งสำคัญกระบวนการเชื่อม อาร์คโลหะแก๊สคลุม งานเชื่อมที่ดีที่ออกมาไม่มีของเสียออกมา หรือมีของเสียออกมาให้น้อยที่สุด เช่น ทะลุ ชิ้นงานบิดงอ งานไม่หลอมละลาย เป็นต้น

#### 2.2.8. ชนิดของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมและการนำไปใช้งาน

แก๊สปกคลุมคือแก๊สเฉื่อยหรือกึ่งเฉื่อย ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมทิก (TIG หรือ GMAW) และการเชื่อมมิก (MIG หรือ GMAW) หน้าที่ของแก๊สปกคลุมในงานเชื่อมคือการป้องกันเนื้อเชื่อมจากการปนเปื้อนหรือการทำปฏิกิริยาจากอากาศและความชื้นที่อยู่รอบข้าง ซึ่งการปนเปื้อนของอากาศและความชื้นจะทำให้ได้คุณภาพของเนื้อเชื่อมต่ำกว่าปกติหรือทำให้การเชื่อมทำได้ยากขึ้น แก๊สปกคลุมมีหลายชนิด การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่เชื่อมและกระบวนการเชื่อม การเลือกแก๊สปกคลุมอย่างไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดผลเสียในด้านคุณภาพของเนื้อเชื่อม และเสียเวลาในการแก้ไขชิ้นงาน หรือเสียเวลาในการกำจัดสะเก็ดเนื้อเชื่อมได้ [9]

แก๊สปกคลุมที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มตามคุณสมบัติ คือ เฉื่อย (Inert) และกึ่งเฉื่อย (Semi-inert) ในกลุ่มของแก๊สเฉื่อยนั้นมีเพียงสองชนิดที่ใช้งาน คือแก๊สฮีเลียม และแก๊สอาร์กอน ซึ่งใช้ในกระบวนการเชื่อมทิก (TIG, GTAW) และมิก (MIG, GMAW) สำหรับชิ้นงานโลหะที่ไม่ใช่กลุ่มเหล็ก ส่วนแก๊สกึ่งเฉื่อย ซึ่งอาจเรียกว่าแก๊สปกคลุมแอกทีฟ (Active Shield Gas) ที่นิยมใช้กันเช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สออกซิเจน และแก๊สไฮโดรเจน เป็นต้น แก๊สเหล่านี้ถ้าเข้าสู่แนวเชื่อมในปริมาณมาก จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของเนื้อเชื่อม แต่หากเข้าสู่แนวเชื่อมในปริมาณเล็กน้อยอย่างเหมาะสม จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ได้

2.2.9. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) [6] ได้อธิบายอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม(GMAW) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

- 1) เครื่องเชื่อม (Welding Machine)
- 2) เครื่องป้อนลวดและระบบควบคุม (Feed Control And Control System)
- 3) หัวเชื่อม (Welding Gun & Torch)
- 4) แก๊สปกคลุม (Shielding Gas)
- 5) ลวดเชื่อม (Electrode Wire)

## 2.3 เครื่องเชื่อม (Welding Machine)

เครื่องเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) เป็นเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงต่อกลับขั้ว (DCRP) ชนิดแรงเคลื่อนคงที่ (Constant Voltage) เครื่องเชื่อมชนิดกระแสคงที่เป็นเครื่องที่ใช้เชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ซึ่งมีทั้งชนิดมอเตอร์ขับเคลื่อนขั้วและหม้อแปลงเรกติไฟเออร์ แต่แรงเคลื่อนวงจรเปิดสูงถึง 80 โวลต์ ในการเชื่อมแบบ Short Arc จะต้องมี Inductance เมื่อเกิดการลัดวงจรกระแสเชื่อมจะเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มอย่างทันที เครื่องเชื่อมอาจเสียหาย ดังนั้นจึงต้องมี Inductance ต่ออนุกรมเพื่อทำหน้าที่หน่วงเวลาการเพิ่มของกระแสเชื่อม ซึ่งให้ผลดีต่อการเชื่อม คือ ลดเม็ดโลหะ ให้อาร์คสม่ำเสมอและการหลอมละลายดี

### 2.3.1 เครื่องป้อนลวดและระบบควบคุม (Feed Control and Control System)

เครื่องป้อนลวดรวมอยู่ในชุดควบคุมซึ่งต่อโดยตรงกับเครื่องเชื่อม สำหรับการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) ใช้เครื่องป้อนลวดชนิดความเร็วคงที่ (Constant Speed) ซึ่งเหมาะกับเครื่องเชื่อมแบบแรงเคลื่อนคงที่ และลวดเชื่อมที่มีขนาดเล็ก เครื่องป้อนลวดจะสามารถปรับความเร็วของลวดได้ตามความเหมาะสมกับงานที่จะเชื่อม กระแสไฟที่จะหลอมละลายลวดเชื่อมจะถูกปรับออกมาโดยอัตโนมัติให้สัมพันธ์กับการป้อนของลวดเชื่อม ชุดเครื่องป้อนลวดประกอบไปด้วย 1) มอเตอร์สำหรับขับกลไกป้อนลวดจากขดลวดให้ออกสู่บริเวณหลอมละลายที่ปลายหัวเชื่อม 2) ชุดควบคุมจะมี Solenoids ควบคุมการไหลของแก๊สปกคลุมการอาร์คและ 3) น้ำระบายความร้อนที่หัวเชื่อมรวมอยู่ด้วย การป้อนลวดเชื่อม GMAW สามารถกระทำได้หลายแบบได้แก่

### 2.3.2 การป้อนลวดแบบดัน (Push-type Wire feed Systems)

การป้อนลวดเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) โดยทั่วไปจะใช้แบบดัน โดยมีชุดเฟืองซึ่งอาจเป็นแบบ 2 ตัวหรือ 4 ตัวที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ทำหน้าที่ดึงลวดออกจากล้อพร้อมทั้งดันลวด ผ่านสายเชื่อมออกไปทางหัวเชื่อมสำหรับความยาวของสายเชื่อมที่ใช้กับลวดเชื่อมเหล็กทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของลวดที่สามารถทนต่อแรงดันโดยไม่โค้งงอ ส่วนแกนสำหรับใส่ลวดเชื่อม จะประกอบไว้ด้วย Friction Brake ซึ่งทำหน้าที่เป็นเบรกล้อลวดเชื่อมไม่ให้หมุนต่อไปเมื่อหยุดมอเตอร์ป้อนลวดเชื่อม ชุดป้อนลวดสามารถใช้ได้กับการป้อนลวดเชื่อมชนิดแข็งที่มีขนาดใหญ่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.030-0.125 นิ้ว และลวดเชื่อมอ่อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.045-0.093 นิ้ว

### 2.3.3 การป้อนลวดแบบดึง (Pull-type Wire feed Systems)

การป้อนลวดแบบดึงเป็นการใช้หัวเชื่อมที่มีชุดป้อนลวดพร้อมมอเตอร์ขับเคลื่อนและลวดเชื่อมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 4 นิ้ว ประกอบอยู่พร้อมภายในหัวเชื่อมซึ่งหัวเชื่อมนี้เหมาะสำหรับลวดเชื่อมขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.045 นิ้ว โดยเฉพาะใช้เชื่อมงานบางที่มีความต้องการปริมาณลวดเชื่อมเติมน้อย และยังเหมาะกับการเชื่อมงานที่มีเนื้อที่สำหรับทำการเชื่อมจำกัด

### 2.3.4 การป้อนลวดแบบดันและดึง (Push-full Wire-feed Systems)

การป้อนลวดแบบดันและดึงเหมาะสำหรับลวดเชื่อมที่มีความแข็งแรงต่ำ ซึ่งหัวเชื่อมจะประกอบติดไว้ด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อนและกลไกป้อนลวด ที่ทำหน้าที่เหมือนหน่วยควบคุมความเร็วในการป้อนลวดพร้อมทั้งเป็นตัวป้อนลวดที่ผ่านออกมาทางท่อ (Conduit) ในลักษณะดันให้ออกจากหัวเชื่อม โดยระบบป้อนลวดแบบดันจะต่อไปควบคุมความเร็วของตัวป้อนลวดแบบดึง ที่ติดตั้งอยู่อีกด้านหนึ่งใกล้กับลวดเชื่อมแต่ความเร็วของตัวป้อนลวดทั้งสองต้องสัมพันธ์กันโดยใช้หลักการของแรงดึงในเส้นลวดสำหรับท่อส่งผ่านลวดของสายเชื่อม ภายในมีพลาสติกช่วยลดการครูดตัวระหว่างท่อกับลวดเชื่อมสำหรับท่อส่งผ่านลวดเชื่อม จะต้องมีการบำรุงรักษาและทำความสะอาด เพื่อลดการติดขัดของการป้อนลวดเชื่อม

### 2.3.5 หัวเชื่อม (Welding Gun & Torch)

หัวเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) ต้องจ่ายแก๊สเพื่อปกคลุมบริเวณอาร์คและเป็นทางผ่านของกระแสไฟพร้อมทั้งลวดเชื่อมสู่บริเวณอาร์ค หัวเชื่อมจะประกอบติดอยู่กับสายเชื่อม ซึ่งสายเชื่อมเป็นทางผ่านแก๊สปกคลุม ลวดเชื่อมและกระแสไฟโดยภายในของสายเชื่อมที่ลวดผ่านจะทำด้วยเหล็กสปริงที่มันหดเป็นท่อ และภายนอกจะหุ้มไว้ด้วยท่อพลาสติก ลักษณะของหัวเชื่อมมีทั้งชนิดหัวตรงและหัวโค้ง จากรูปที่ 2-2 เป็นหัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled) ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

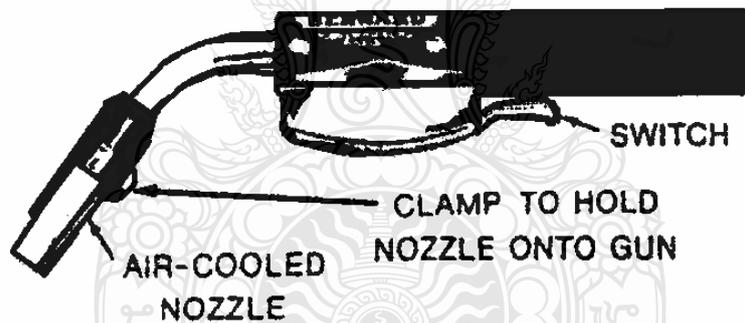
1) Nozzle ทำด้วยทองแดงหรือทองแดงเบริลเลียม (Beryllium Copper) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในระหว่าง 3/8-7/8 นิ้ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของหัวเชื่อม ทำหน้าที่ควบคุมให้แก๊สปกคลุมไหลออกเป็นลำเพื่อปกคลุมบริเวณอาร์ค

2) Contact Tube หรือ Contact Tip ทำด้วยทองแดงผสมเป็นทางผ่านของลวดเชื่อมออกไปยัง Nozzle และยังเป็นตัวจ่ายกระแสไฟเชื่อมให้กับลวดเชื่อม

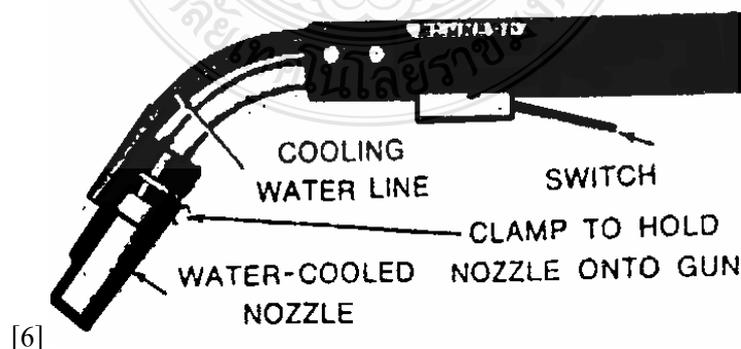
3) Wire Feed Conduit ทำด้วยเหล็กสปริงหดเป็นท่อ เพื่อเป็นทางผ่านของลวดเชื่อมจากมันไปยังหัวเชื่อม

4) Gas Duct เป็นท่อส่งแก๊สปกคลุมจากแหล่งจ่ายไปยังหัวเชื่อม

หัวเชื่อมจะมีปุ่มสำหรับบังคับการเริ่มต้นและหยุดทำงานของการเชื่อม สำหรับหัวเชื่อมแบบหัวโค้งเหมาะแก่การเชื่อมทุกท่าเชื่อม หัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยน้ำคล้ายกับหัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ เพียงแต่เพิ่มน้ำเพื่อระบายความร้อนโดยรอบ Contact Tube และ Nozzle การระบายความร้อนยังช่วยลดการเกิดเม็ดโลหะที่ Nozzle จากรูปที่ 2-3 แสดงให้เห็นส่วนประกอบภายในหัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยน้ำชนิดหัวโค้ง การเลือกใช้หัวเชื่อมทำเชื่อมที่ใช้กันอยู่มีแบบระบายความร้อนด้วยน้ำกับแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งในการเลือกให้หัวเชื่อมทั้งสองแบบต้องคำนึงถึงชนิดของแก๊สปกคลุมกระแสเชื่อมแรงเคลื่อนและลักษณะของรอยต่อ หัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถเชื่อมแบบต่อเนื่องโดยใช้กระแสสูงๆ เมื่อได้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สปกคลุมจะช่วยไม่ให้หัวเชื่อมร้อนเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์มีอุณหภูมิต่ำจึงช่วยระบายความร้อนไปในตัว และสำหรับรอยต่อแบบตัวที่เป็นรอยต่อที่ทำให้ความร้อนสะท้อนกลับจากชิ้นงานสู่หัวเชื่อม ดังนั้นการเชื่อมรอยต่อตัวที่จึงทำให้หัวเชื่อมร้อนมาก หัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจะใช้กับกระแสไม่เกิน 500 แอมแปร์ ส่วนหัวเชื่อมแบบระบายความร้อนด้วยน้ำใช้กับกระแสระหว่าง 200-750 แอมแปร์



รูปที่ 2.2 หัวเชื่อมแบบ Air Cooled [6]



รูปที่ 2.3 หัวเชื่อมแบบ Water cooled[6]

2.3.6. แก๊สปกคลุม (Shielding Gas) แก๊สปกคลุมเป็นแก๊สที่ใช้ปกคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลายไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือสกปรกเนื่องจากวัสดุรบตัวกับออกซิเจนไนโตรเจน และไอน้ำในอากาศ ไนโตรเจนที่ฝังตัวอยู่ในแนวเชื่อม จะทำให้แนวเชื่อมมี Ductility และ Impact Strength ลดลงและแตกง่ายแต่ถ้าไนโตรเจนมีปริมาณมากจะทำให้แนวเชื่อมเป็นรูพรุนออกซิเจนที่มีอยู่มากในเหล็กจะรวมตัวกับคาร์บอนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ซึ่งแก๊สนี้จะฝังตัวอยู่ในโลหะเกิดเป็นรูพรุนและออกซิเจนผสมกับแก๊สเฉื่อยสำหรับแก๊สอาร์กอน ฮีเลียมและ  $\text{CO}_2$  สามารถใช้ได้โดยไม่ต้องผสมกับแก๊สอื่นใดหรืออาจจะผสมกับแก๊สอื่นเพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ ออกซิเจนที่อยู่ในเหล็กสามารถรวมตัวกับธาตุอื่นๆ ที่อยู่ในเหล็ก ซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบฝังตัวอยู่ในแนวเชื่อมส่วนไฮโดรเจนที่อยู่ภายในไอน้ำเมื่อแยกตัวออกมารวมตัวกับเหล็กหรืออะลูมิเนียมทำให้เกิดรูพรุนและแตกได้แนวเชื่อมการหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวนั้นกระทำได้โดยการใช้แก๊สปกคลุมซึ่งเดิมที่ใช้แก๊สเฉื่อยจำพวกอาร์กอนและฮีเลียมแต่ปัจจุบันใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์( $\text{CO}_2$ ) และออกซิเจนผสมกับแก๊สเฉื่อยสำหรับแก๊สอาร์กอน ฮีเลียมและ  $\text{CO}_2$  สามารถใช้ได้โดยไม่ต้องผสมกับแก๊สอื่นใดหรืออาจจะผสมกับแก๊สอื่นเพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ก็ได้

#### แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ )

การใช้  $\text{CO}_2$  เป็นแก๊สปกคลุมมักจะเกิดเม็ดโลหะและการอาร์คไม่สม่ำเสมอ แต่เมื่อผสมกับอาร์กอนจะทำให้ปัญหาดังกล่าวลดลง ลักษณะของเปลวอาร์คและแนวเชื่อมจะแตกต่างกันตามความแตกต่างของอัตราส่วนผสมของแก๊สทั้งสอง คุณสมบัติเชิงกลเมื่อใช้แก๊สอาร์กอนผสมกับ  $\text{CO}_2$  จะให้ผลดีกว่าการใช้แก๊ส  $\text{CO}_2$  อย่างเดียว แก๊สผสมใช้กับการเชื่อมเหล็กอะลูมิเนียมซึ่งซึมลึก ลวดเชื่อมหลอมละลายได้ดี แก๊ส  $\text{CO}_2$  ซึ่งอยู่ในลักษณะของสารประกอบ ที่ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กับออกซิเจน ดังนั้นในบริเวณอาร์คที่มีความร้อนสูงจะเกิดออกซิเจนอิสระ เมื่อใช้แก๊ส  $\text{CO}_2$  เป็นแก๊สปกคลุมและเปลวอาร์คที่เกิดขึ้นจะกว้างกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนแต่จะแคบกว่าการใช้แก๊สฮีเลียม แก๊ส  $\text{CO}_2$  เป็นผลที่ได้จากการเผาแก๊สธรรมชาติ น้ำมันหรือถ่านโค้ก สำหรับแก๊ส  $\text{CO}_2$  ที่ได้จากการผลิตแอมโมเนีย และการหมักแอลกอฮอล์จะมีความบริสุทธิ์ 100% แนวเชื่อมที่ปกคลุมด้วย  $\text{CO}_2$  จะมีความกว้างปานกลาง การซึมลึกดี การหลอมละลายดี ลักษณะแนวเชื่อมดีและไม่เกิดการกัดแหว่งที่ขอบแนวเชื่อม แต่การใช้แก๊ส  $\text{CO}_2$  จะเกิดเม็ดโลหะและอาร์คไม่สม่ำเสมอโดยเฉพาะเมื่อใช้กับการถ่ายเทโลหะลวดเชื่อมแบบ Open Arc ดังนั้นการใช้แก๊ส  $\text{CO}_2$  ปกคลุม จึงเหมาะแก่การเชื่อมด้วย Micro Wire โดยนำไปเชื่อมเหล็กอะลูมิเนียมและแก๊ส  $\text{CO}_2$  มีราคาถูกกว่าแก๊สปกคลุมชนิดอื่นๆ จึงทำให้ต้นทุนในการเชื่อมต่ำ แก๊ส  $\text{CO}_2$  จะบรรจุไว้

ในถัง อาจจะเป็นรูปของเหลวหรือแก๊ส แต่สำหรับแก๊สที่นำมาใช้ในการเชื่อมจะมีความชื้นต่ำ และ ปริมาณของแก๊สที่ใช้ปกคลุมแนวเชื่อมโดยทั่วไปจะใช้ 25 C.F.H. (ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง)ถ้าต้องการใช้อัตราการไหลของแก๊สเกินกว่า 25 C.F.H. ควรจะใช้แบบ Manifold ที่ต่อแก๊ส CO<sub>2</sub> จำนวน 2 ถึงขนานกันหรือติดตั้งทำความร้อนไว้ระหว่างถังแก๊สกับ Regulator ก็ได้ การใช้ปริมาณการไหลของแก๊สมากเกินไปอาจจะเป็นต้นเหตุให้แก๊ส CO<sub>2</sub> เหลวภายในถังไหลออกได้ [10]

### 2.3.7. ท่าเชื่อม (Position)

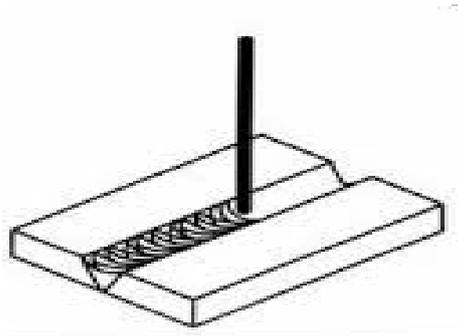
รูปแบบของท่าเชื่อมที่สามารถเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ซึ่งเชื่อมในท่าขนานนอน (Horizontal) ท่าตั้ง (Vertical) และท่าเหนือศีรษะ (Over Head) ยอมขึ้นอยู่กับโลหะที่ทำการเชื่อม และชนิดของลวดเชื่อมที่นำมาใช้ ลวดเชื่อมชนิดที่มีอัตราการเติมสูงควรใช้เชื่อมกับทาราบและท่าขนานนอนเพราะว่าการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมชนิดนี้จะทำให้อุณหภูมิหลอมละลายใหญ่ ท่าเชื่อม (Welding Position) ที่สามารถทำการเชื่อมได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากคือการเชื่อมทาราบ แต่ในการปฏิบัติงานไม่สามารถเลือกท่าเชื่อมได้ซึ่งขึ้นอยู่กับ สภาพของงานที่ทำอยู่สำหรับท่าเชื่อมตำแหน่งของการเชื่อมทั้งเชื่อมแก๊สและเชื่อมไฟฟ้า พอดีแบ่งลักษณะได้ดังนี้ [11]

1.1 การเชื่อมต่อเกลยในทาราบ เป็นการเชื่อมที่นิยม เพราะมีความประหยัด ไม่เสียเวลาในการเตรียมงาน รอยต่อเกลยจะมีความแข็งแรงที่สุดเมื่อเชื่อมรอยต่อทั้งสองด้าน ในการเชื่อมจะต้องไม่ใช้กระแสสูง มุมของลวดเชื่อมประมาณ 45-60 องศา การเคลื่อนไหวลวดเชื่อมจะเป็นลักษณะเดินหน้า ถอยหลังไปตามแนวเชื่อม การเคลื่อนไหวเช่นนี้จะเป็นการอุ่นโลหะงานให้ร้อนล่วงหน้าก่อนที่จะเชื่อมไปถึง ซึ่งจะช่วยให้รอยเชื่อมสมบูรณ์และป้องกันไม่ให้เกิดหลอมเหลวไหลล้นหน้าแนวเชื่อม[11] ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะของการต่อเกลย

1.2 การเชื่อมทาราบ (Flat Position Welding) เป็นท่าเชื่อมที่ง่ายเพราะสามารถควบคุมบ่อหลอมละลาย ได้ง่ายแรงดึงดูดของโลกไม่มีผลต่อน้ำโลหะเหลวมากนักเนื่องจากบ่อหลอมละลายอยู่บนรอยต่อของงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



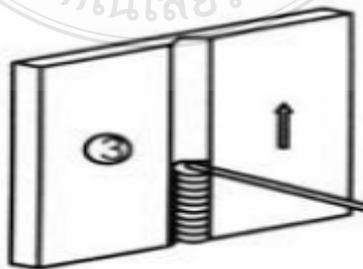
รูปที่ 2.5 การเชื่อมท่าราบ

1.3 การเชื่อมท่าขนานนอน (Horizontal Position Welding) เป็นท่าเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการฝึกเชื่อมใหม่ๆ ต่อจากการเชื่อมท่าราบ แรงดึงดูดของโลกจะทำให้ น้ำโลหะไหลย้อยลงมาด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.6



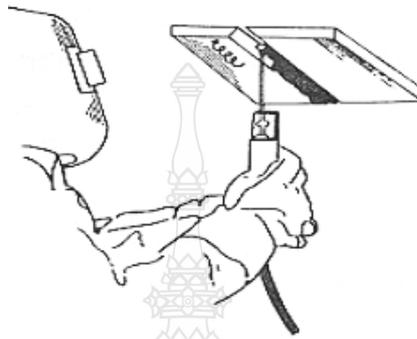
รูปที่ 2.6 การเชื่อมท่าขนานนอน

1.4 การเชื่อมท่าตั้ง (Vertical Position Welding) การเชื่อมท้านี้รอยเชื่อมจะอยู่ในแนวตั้งซึ่งมีอยู่ด้วยกัน สองวิธีคือการเชื่อมจากด้านล่างขึ้นไปข้างบน เรียกว่า การเชื่อมท่าต้องเชื่อมขึ้น (Vertical Up) และการเชื่อมจากข้างบนลงมาข้างล่าง เรียกว่า การเชื่อมท่าตั้งเชื่อมลง (Vertical Down) ดังแสดงในภาพ 2.7



รูปที่ 2.7 การเชื่อมท่าตั้ง

1.5 การเชื่อมท่าเหนือศีรษะ (Overhead Position Welding) เป็นการเชื่อมที่แนวเชื่อมอยู่ด้านล่างของรอยต่อ หัวเชื่อมจะอยู่ที่ตำแหน่งที่จะเชื่อม ดังรูปที่ 2.8 เป็นท่าเชื่อมที่ยากที่สุดที่จะทำให้เกิดการเชื่อมที่ดีได้ เนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีผลทำให้น้ำ โลหะขี้เถ้าไหลลงมาและผู้เชื่อมก็อาจจะได้รับอันตรายจากการเชื่อมอันเนื่องมาจาก สะเก็ดไฟและน้ำโลหะที่หยดลงมา ฉะนั้นผู้เชื่อมจะต้องมีการเตรียมตัวที่ดีโดยการสวมใส่เสื้อผ้าหนังถุงมือและหน้ากากให้เรียบร้อย



รูปที่ 2.8 การเชื่อมท่าเหนือศีรษะ

### 2.3.8. ลวดเชื่อม MIG

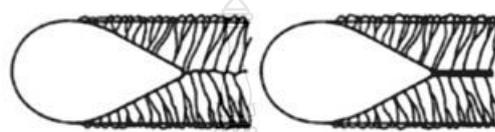
ลวดเชื่อมซีโอทูหรือลวดเชื่อมมิกเป็นลวดเชื่อมเปลือย สำหรับงานเชื่อมที่ต้องการความต่อเนื่อง ให้อัตราการเติมเนื้อโลหะสูง โดยมีแก๊สซีโอทูหรือแก๊สซีโอทูผสมกับแก๊สชนิดอื่น ปกคลุมแนวเชื่อมเพื่อให้แนวเชื่อมเป็นเกล็ดเงาสวย อีกทั้งการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมมิกนี้ ยังไม่ต้องเสียเวลาเคาะขี้สแล็คเหมือนลวดเชื่อมไฟฟ้า (ลวดเชื่อมธูป) ลวดเชื่อม MIG เริ่มเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมเมืองไทยมากขึ้น เนื่องจากความได้เปรียบดังกล่าว ปัจจุบันราคาลวดเชื่อมมิกจึงลดลงค่อนข้างมาก ขนาดลวดเชื่อมมิกที่นิยมใช้กันมากได้แก่ ขนาด 0.8, 0.9, 1.0, 1.2 และ 1.6 มิลลิเมตร ลวดเชื่อมมิกแบ่งตามลักษณะงานเชื่อม ลวดเชื่อมสำหรับงานเชื่อมเหล็กก็จะแบ่งไปตามประเภทหรือชนิดเหล็กอีกแบบหนึ่ง ดังแสดงตามรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลวดเชื่อมซีโอทู หรือลวดเชื่อมมิก

### 2.3.9. ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม (Speed of Movement)

ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมที่มีผลต่อลักษณะรูปร่างของวงความร้อน ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งจะส่งผลต่อขนาดและรูปร่างของรอยเชื่อม ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมมีผลทำให้รอยเชื่อมเล็กหรือใหญ่ขึ้นได้ การที่รอยเชื่อมมีขนาดต่างกันเป็นผลมาจากการเกิดขึ้นของบ่อหลอมละลาย ซึ่งถ้าเพิ่มความเร็วในการเชื่อมจะมีผลคือทำให้รูปร่างของวงความร้อนต่อความยาวรอยเชื่อมลดลง การหลอมเหลวของงานเชื่อมจะลดลง และการสิ้นเปลืองลวดเชื่อมฟลักซ์ต่อความยาวรอยเชื่อมลดลง [12]



แบบหยดน้ำ ความเร็วในการเชื่อมสูง



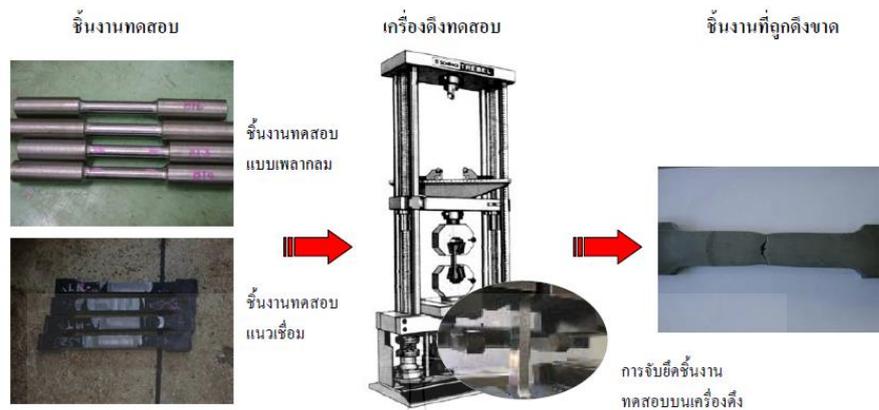
แบบรูปไข่ ความเร็วในการเชื่อมต่ำ

รูปที่ 2.10 แบบของบ่อหลอมละลาย แบบหยดน้ำ และแบบรูปไข่ [13]

ในการศึกษาผลกระทบต่อกระบวนการเชื่อมมิก ต่อสมบัติเหล็กแผ่นรีดร้อน SS400 และ SPH590 อ้างอิงโดยโลหะนี้ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ผู้ศึกษาจึงเลือกศึกษาคุณสมบัติทางกลของเหล็ก โดยการศึกษาความสามารถในการรับแรงกระแทก แรงดึง แรงดัดโค้ง [4]

### 2.4 การทดสอบแรงดึง (Tension Test)

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบเพื่อวัดคุณสมบัติความต้านทานของวัสดุต่อแรงดึง วิธีการทดสอบนั้น จะนำตัวอย่างที่จะทดสอบมาดึงอย่างช้าๆ แล้วบันทึกค่าของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นไว้ แล้วมาพล็อตเป็นเส้นโค้ง ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบมีต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุนั้นๆ มาตรฐานต่างๆ ของการทดสอบ เช่น มาตรฐานของ ASTM (American Society of Testing and Materials) , BS (British Standards) , JIS (Japanese Industrial Standards) หรือแม้แต่ มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย) ได้กำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบไว้ ทั้งนี้เพื่อให้ผลของการทดสอบเชื่อถือได้ พร้อมกับกำหนดความเร็วในการเพิ่มแรงกระทำเอาไว้ด้วย ดังแสดงตามรูปที่ 2.11



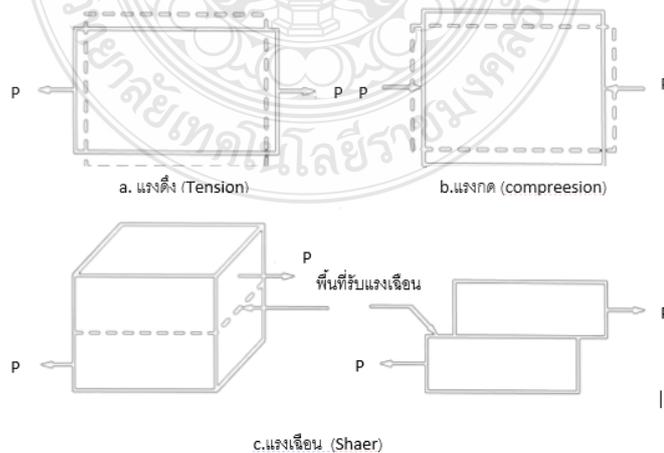
รูปที่ 2.11 วิธีการทดสอบแรงดึง

โดยความเค้นที่เกิดจากการทดสอบแรงดึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ คือ

3.1 ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน ดังรูปที่ 2.12 a

3.2 ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางเพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง ดังรูปที่ 2.12 b

3.3 ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress) ใช้สัญลักษณ์  $\tau$  เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกันดังรูปที่ 2.12 c มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง  $A$  ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน ในทางปฏิบัติความเค้นที่เกิดจะมีทั้ง 3 แบบนี้พร้อมๆกัน



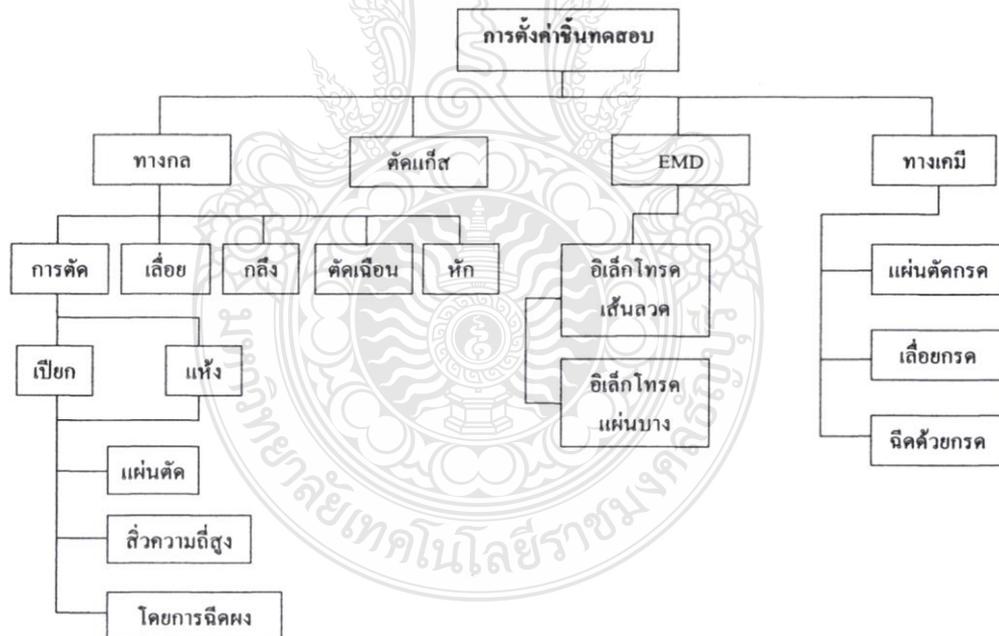
รูปที่ 2.12 ลักษณะของแรงกระทำชนิดต่างๆ[14]

## 2.5 การวิเคราะห์โครงสร้าง

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

### 2.5.1 การตัดชิ้นงานก่อนเชื่อมและก่อนทดสอบ

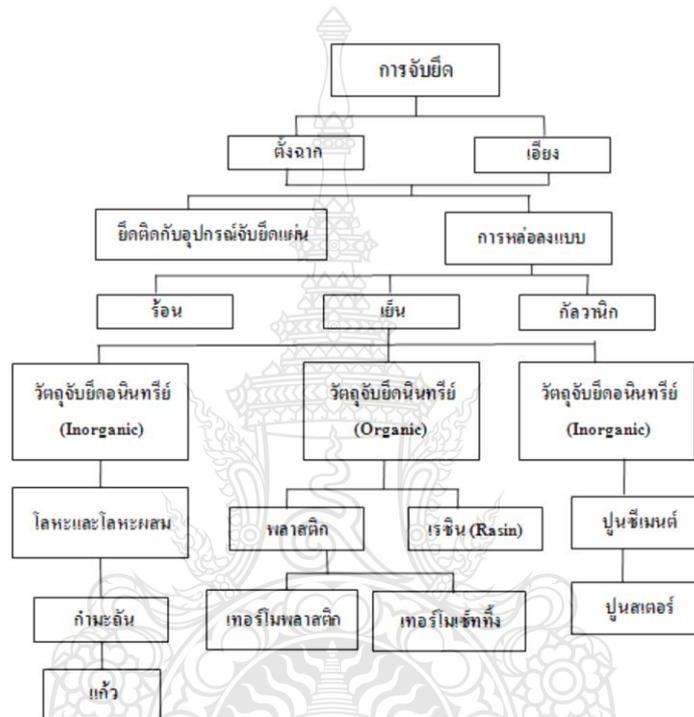
การตัดชิ้นงานก่อนเชื่อมโดยเอาเศษเหล็กจากการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการกดก่อนนำมาทำการเชื่อมทำการทดสอบ เพื่อทำการทดสอบขั้นแรก การเตรียมชิ้นทดสอบเพื่อไปทำการวิเคราะห์ โดยเอาชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมไปตัดด้วยวิธีไม่ให้เกิดความร้อนกับชิ้นงาน จะทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่น้อยที่สุดรวมถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื่องจากความร้อน แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วิธีการตัดชิ้นทดสอบ

### 2.5.2 การจับยึดชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบที่จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคมักมีขนาดเล็ก บางครั้งมีลักษณะอ่อน เปราะ หรือมีรูพรุน ทำให้ไม่สะดวกในการจับเพื่อขัดชิ้นทดสอบการวางชิ้นทดสอบเอียงจะช่วยเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบให้ใหญ่ขึ้นจึงเหมาะกับกรณีชิ้นทดสอบบางหรือการวิเคราะห์ความหนาของชั้นเคลือบของชิ้นทดสอบซึ่งมีความหนาไม่มาก การจับยึดเหมาะกับการขัดชิ้นทดสอบหลายๆ ชิ้นพร้อมกัน รวมถึงกรณีที่ต้องการทำงานกับเครื่องขัดอัตโนมัติแสดงดังรูป 2.14



รูปที่ 2.14 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

### 2.5.3 การขัดละเอียด (Grinding)

หลังจากการตัดชิ้นทดสอบอย่างถูกต้อง ในขั้นต่อไปคือ การขัดละเอียดซึ่งจะขัดด้วยกระดาษทราย โดยเริ่มจากกระดาษทรายหยาบและเพิ่มความละเอียดขึ้นเรื่อยๆ ความหยาบของกระดาษทรายกำหนดเป็นหมายเลข หมายเลข 150 จะหยาบกว่าหมายเลข 280 หรือหมายเลข 400 จะหยาบกว่าหมายเลข 1200

#### 2.5.4 การขัดมัน (Polishing)

หลังจากการขัดละเอียดด้วยกระดาษทรายจนถึงหมายเลข 1000 แล้วผิวของชิ้นทดสอบมีลักษณะเป็นเส้นตามแนวของการขัด ฉะนั้นในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์จึงยังไม่เพียงพอต้องทำให้ผิวของชิ้นทดสอบมีความเรียบมากกว่านี้ ซึ่งสามารถทำได้โดยการขัดมัน โดยการขัดบนเครื่องขัดด้วยผ้าขัดและ ฟงขัดฟงขัดที่ใช้มีหลายประเภทที่นิยมใช้ได้แก่ อลูมินา (อลูมิเนียมออกไซด์ Al) ผสมน้ำการขัดควรขัดเปียกนอกจากนั้นยังนิยมใช้ฟงเพชรซึ่งมีขนาดระหว่าง 1 ถึง 7 ไมโครเมตรซึ่งเหมาะสำหรับวัสดุที่มีเนื้อแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous)

#### 2.5.5 การกัดกรด (Etching)

หลังจากชิ้นงานผ่านการขัดกระดาษทรายละเอียดแล้ว จากนั้นทำการหล่อเรซินที่ชิ้นงาน โดยใช้เรซินกับฮาร์ดเทนเนอร์แล้วเอาไปขัดมันโดยใช้ ฟงอลูมินา จากนั้นจะมาทำการกัดกร่อนชิ้นงาน โดยผสมไนตริก 3.5% ผสมกับเอทานอล สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอน จากนั้นนำสำหรับหรือกระดาษเช็ดชุบแช่ชิ้นงานแล้วทำการเป่าให้แห้งแล้วนำชิ้นงานไปส่องดูโครงสร้างทางโลหะวิทยาที่ผสมไว้ของ เกรนแต่ละชนิดจะมีสีไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับน้ำยาที่ใช้กัดชิ้นงาน ดังรูป 2.15

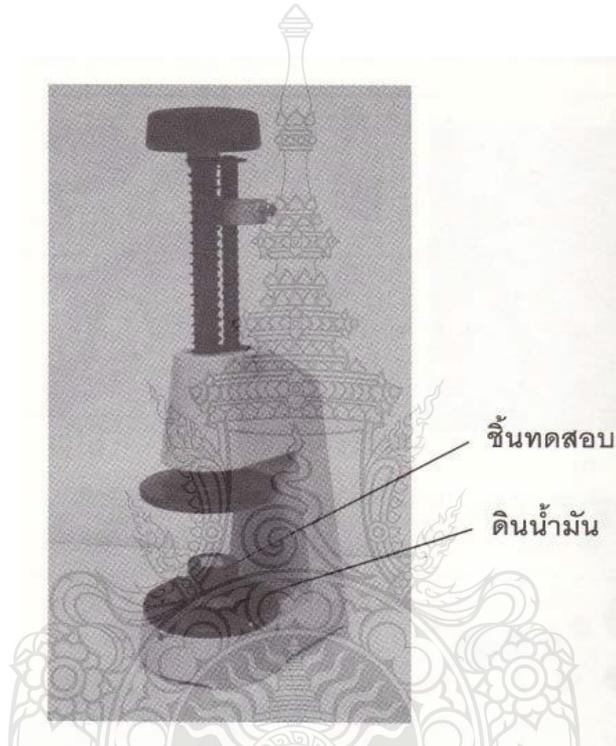


(ก) การกัดกรดบริเวณขอบเกรน (ข) การกัดกรดบริเวณผิวเกรน

รูปที่ 2.15 การสะท้อนของแสงเมื่อตกกระทบฉาก

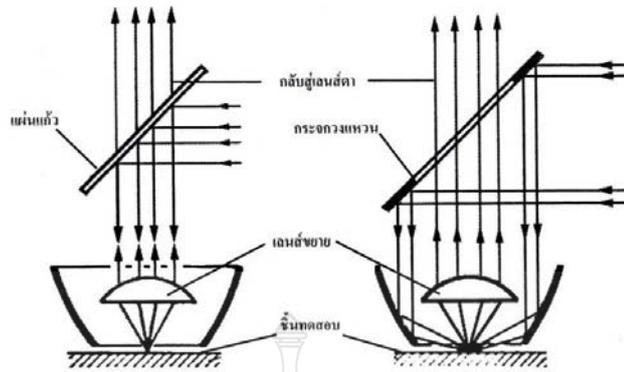
## 2.5.6 กล้องจุลทรรศน์สำหรับโลหะ

กล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบจุลภาคโลหะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท กล้องที่สามารถมองวัตถุจากด้านบน แล้วปรับเลื่อนชิ้นงานและกล้องที่ต้องการตัดเนื้อโลหะจนไปถึงชิ้นเหล็กใช้สำหรับตรวจสอบศึกษาวัตถุสมบัติทางกายภาพและสามารถจำแนกส่วนผสมพื้นผิวโครงสร้างโลหะ หลังจากเตรียมชิ้นทดสอบจะถูกล้างด้วยน้ำยาแอลกอฮอล์แล้วจึงเป่าให้แห้งด้วยลมร้อนแล้ว สามารถนำชิ้นงานตรวจสอบดูโครงสร้างได้เลย แสดงดังรูปที่ 2.16 แสดงเครื่องปรับความฉากผิว



รูปที่ 2.16 เครื่องปรับความฉากผิว

กล้องจุลทรรศน์สำหรับโลหะจะแตกต่างกับกล้องจุลทรรศน์ทั่วๆ ไปเพราะจะทำงานโดยการส่งแสงกระทบกับผิวชิ้นทดสอบซึ่งทั้งแสงตกกระทบตั้งฉากกับผิวชิ้นทดสอบ ซึ่งจะได้ภาพสว่าง (Bright Field) หรือแสงตกกระทบเป็นมุมเอียง ซึ่งจะได้ภาพมืด (Dark Field) แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ลักษณะการทำงานของเลนส์

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไมตรี กมลรัตนพิสุทธิ์ [15] ได้ศึกษาการวิเคราะห์ปัญหาการฉีกขาดและรอยย่นในงานขึ้นรูปโลหะโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อแก้ปัญหากลไกการฉีกขาดและการเกิดรอยย่นจากการขึ้นรูปขึ้นส่วนรถยนต์ โดยการนำเอาโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์มาจำลองการขึ้นรูปโลหะ เพื่อหาเงื่อนไขในการขึ้นรูปที่เหมาะสม รวมทั้งใช้ศึกษาหาแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงแม่พิมพ์ จำลองกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยแบบจำลองเครื่อง پرسจิ้งหะเดี่ยว (Single Stroke Press) ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติ โดยพิจารณาทั้งกระบวนการและไม่พิจารณากระบวนการพับขึ้นรูป (Flanging) วัสดุที่ใช้ศึกษาคือ เหล็กแผ่นรีดเย็น SPHC ความหนา 1.2 mm ผลิตตามมาตรฐาน JISG3131 เป็นแบบ Anisotropic พฤติกรรมเป็นแบบ Visco Plastic สมมุติว่าเป็นเอกพันธ์ ไม่คำนึงถึงผลจากความร้อน ผลการจำลองจะเห็นว่าชิ้นงานจะเกิดความเสียหายได้ในการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ตามที่ออกแบบมาจึงได้ทำการทดลองปรับแม่พิมพ์ อีกทั้งยังมีการสูญเสียวัสดุเป็นจำนวนมากเนื่องจากการใช้ชิ้นงานเริ่มต้นขนาดใหญ่และใช้เวลาในการผลิตหลายขั้นตอน ดังนั้นจึงมีการออกแบบแม่พิมพ์ใหม่ให้เป็นการขึ้นรูปครั้งเดียว ให้ได้ชิ้นงานตามที่ต้องการโดยเริ่มจากชิ้นงานเริ่มต้น ที่มีรูปร่างจากการที่คลี่ชิ้นงานสุดท้ายออกมา ผลการขึ้นรูปสามารถขึ้นรูปได้ภายในครั้งเดียวโดยเมื่อดูจากร้อยละการลดลงของความหนาของชิ้นงานจะเห็นว่าไม่เกิน 25% และที่ไม่เกิดการฉีกขาดของชิ้นงานขึ้น โดยได้มีการทดลองปรับขนาดโดยใช้ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ศึกษา 3 กรณีคือทำการปรับขนาดความสูงของดรอว์ปิตเป็น 6, 4 และ 3 mm. เพื่อลดแรงต้านการไหลของวัสดุลง และทดลองใช้ขนาดชิ้นงานเริ่มต้นจำลองการขึ้นรูปได้ผล ซึ่งจะเห็นว่าชิ้นงานไม่เกิดการฉีกขาด เป็นชิ้นงานที่มีรูปร่างและขนาดเดียวกับชิ้นงานสุดท้ายที่ต้องการโดยขึ้นรูปเพียงครั้งเดียวเท่านั้น

สุวิษ จันทรวง [16] ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์จากการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่าง เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 2205) กับเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (AISI 304) ด้วยกรรมวิธีการ เชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding: GMAW) ต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกล พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยประกอบด้วยแก๊สปกคลุม ความเร็ว และกระแสไฟ ผลการวิจัยพบว่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาส่งผลต่อความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ระดับนัยสำคัญ .05

จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์การเชื่อมที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึงสูงสุด พบว่า อิทธิพล หลัก คือ กระแสไฟเชื่อม ส่วนอิทธิพลร่วม คือความเร็วในการเชื่อม แก๊สปกคลุม ที่มีอิทธิพลต่อการ เปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด จากผลการทดลองที่พิจารณาจากค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ของพารามิเตอร์การเชื่อมที่มีค่าสูงสุด ได้แก่การเชื่อมพารามิเตอร์ กระแสไฟเชื่อม 180 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 350 มิลลิเมตร/นาที และแก๊สปกคลุมด้วยแก๊ส Ar+ CO<sub>2</sub> (95:5) มีค่าเท่ากับ 55.37 km/มิลลิเมตร<sup>2</sup> พบว่า อิทธิพลหลัก คือ กระแสไฟเชื่อม ส่วนอิทธิพลร่วม คือ 1) กระแสไฟเชื่อม แก๊สปกคลุม 2) กระแสไฟเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม และแก๊สปกคลุม ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง ของค่าความแข็งแรงดึงจุดคราก จากผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงจุดครากของพารามิเตอร์การ เชื่อมที่มีค่าสูงสุด ได้แก่การเชื่อมที่พารามิเตอร์กระแสไฟเชื่อม 160 แอมแปร์ ทำความเร็วในการเชื่อม 350 มิลลิเมตร/นาที และแก๊สปกคลุม Ar+ CO<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> มีค่าเท่ากับ 52.77km/มิลลิเมตร<sup>2</sup>

อมรศักดิ์ มาใหญ่ [17] ศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมที่มีผลต่อสมบัติของ รอยต่อเกยเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 โดยมีความหนา 3 มิลลิเมตร ถูกเตรียมให้มีขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร และยาว 200 มิลลิเมตร ทำการเชื่อมอาร์คโลหะ แก๊สคลุมแบบต่อเกย ตัวแปรการเชื่อมประกอบด้วยกระแสเชื่อม 80-120 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนว 150-250 มิลลิเมตร/min และมุมหัวเชื่อม 30-60° การตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆของรอยต่อเกย ประกอบด้วยการทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค ผลการ ทดลองคือการเพิ่มกระแสเชื่อม ส่งผลทำให้ค่าแรงพังทลาย การยึดตัว ของรอยต่อ และความแข็งแรงของ โลหะเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงมุมหัวเชื่อมไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อ ตัวแปรของ การเชื่อมที่ดีที่สุด คือที่กระแส 100 A. ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 mm/min และมุมเชื่อม 45° เมื่อ กระแสเชื่อม และความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น และส่งผลโดยตรงทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อ เพิ่มขึ้น

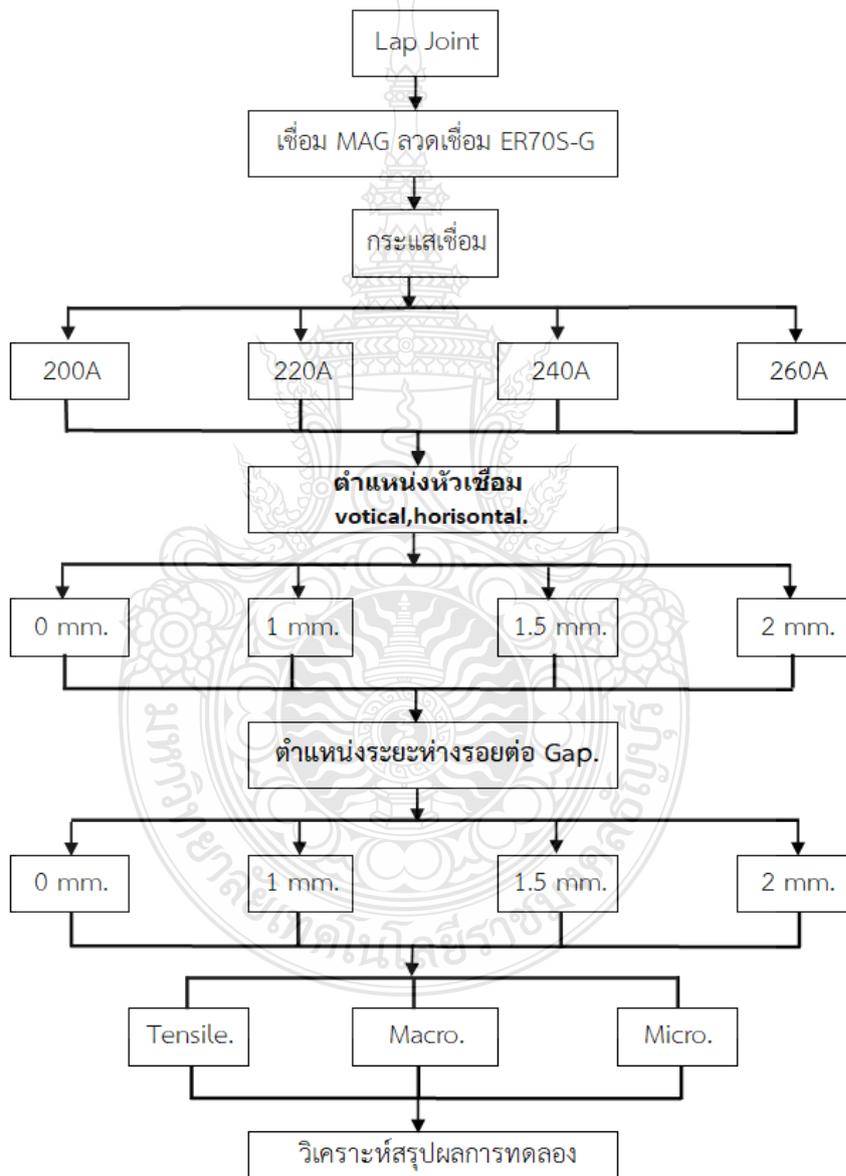
ตั้งนั้นผู้ทำการวิจัยได้เห็นความสำคัญ อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมเหล็กกล้า SPH590 แผ่นเหล็กกล้ารีดร้อนที่มีความหนาที่แตกต่างกัน ชิ้นงานคล้ายทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 130 มิลลิเมตรและยาว 220 มิลลิเมตร กำหนดความหนา 3.2 มิลลิเมตรวางเกยบนแผ่นความหนา 2.9 มิลลิเมตร ที่ระยะ 10 มิลลิเมตร เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแม่เหล็กตัวแปรการเชื่อมแม่เหล็กที่สภาวะกระแสไฟเชื่อม 200, 220, 240 และ 260 แอมป์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที หัวเชื่อมถูกติดเข้าและถูกควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้โรบอท ใช้แก๊สปกคลุม CO<sub>2</sub> อัตราการไหล 20 ลิตรต่อนาที มุมเชื่อม 45 องศา ก็บรอยต่อ ตำแหน่งระยะอาร์คจากมุมรอยต่อเท่ากันทำให้สามารถทราบถึงคุณสมบัติ ความแข็งแรง ของวัสดุก่อนนำไปใช้งานจริง



### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงาน

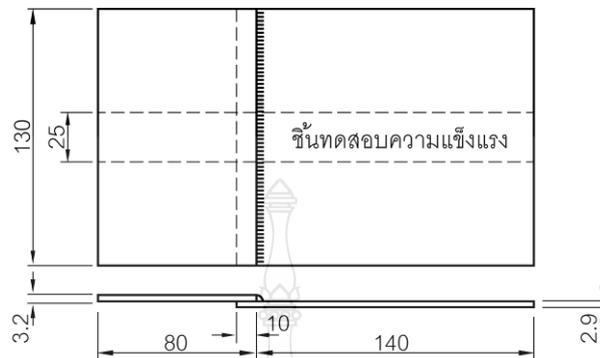
ในการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงและระยะหลอมลึกลงของชิ้นงานของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 วิเคราะห์ความแข็งแรงของรอยต่อ โครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาคและทำการวิเคราะห์กระแสน้ำที่ตีที่ที่สุดในแต่ละตัวแปรของรอยต่อเกย มีการทดลองดังนี้



รูปที่ 3.1 รูปแบบการทดลอง

### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง เหล็กกล้า SPH590 ทำการเตรียมชิ้นงานให้มีขนาด 130x220 mm. ระยะวงเกย 10 มิลลิเมตร ชิ้นงานทดสอบดังรูปที่ 3.2



### รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานต่อเกย

#### 3.1.2 ส่วนผสมทางเคมี

ส่วนผสมของธาตุต่างๆของเหล็กกล้าคาร์บอน SPH 590 ทำการตรวจสอบด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของแผ่นรีดร้อน SPH590 (%Mass)

| C    | Mn   | Si   | P     | S     | Alt  | Ni    | Cr   | Mo    | Ti    | Nb    |
|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| 0.08 | 1.11 | 0.64 | 0.030 | 0.012 | 0.04 | 0.009 | 0.05 | 0.005 | 0.009 | 0.004 |

#### 3.1.3 แก๊สปกคลุม

แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ CO<sub>2</sub> ซึ่งมีราคาถูกและนิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม ดังแสดงในรูปที่ 3.3



### รูปที่ 3.3 แสดงแก๊สปกคลุมที่ใช้ในงานเชื่อม

### 3.1.4 หุ่นยนต์เชื่อม

ทำการเชื่อมโดยใช้หุ่นยนต์เชื่อม OTC Daihen FD-B4L ซึ่งมีความแม่นยำสูง มีความสม่ำเสมอของแนวเชื่อมที่ดี ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงหุ่นยนต์เชื่อม OTC Daihen FD-B4L

### 3.1.5 โลหะเติม

โลหะเติมที่ใช้ในการทดลอง KOBE 50 ขนาด 1.2 mm ซึ่งจะเป็นลวดเชื่อมที่มีคุณสมบัติทางกลเหมาะสมกับเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ SPH590 ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงลวดเชื่อม KOBE 50

ส่วนผสมของธาตุต่างๆของลวดเชื่อม KOBE 50 แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อม KOBE 50 (%Mass)

| C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cu   | Al   | Ti+Zr |
|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|
| 0.04 | 0.73 | 1.64 | 0.010 | 0.010 | 0.23 | 0.01 | 0.22  |

### 3.1.6 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

ตัดเหล็ก SPH590 ด้วยเครื่องตัดเหล็กแผ่น ขนาด 130mm. x 80mm. x 3.2mm. และขนาด 130mm. x140mm. x 2.9mm. จำนวน 27 ชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3-6

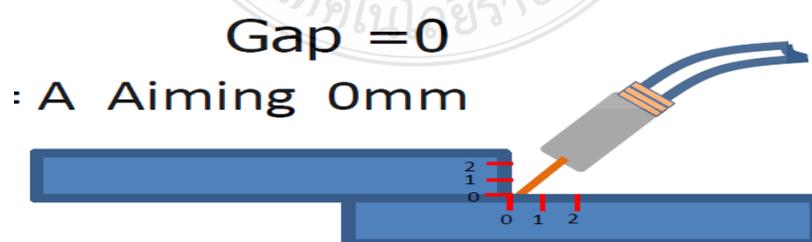


รูปที่ 3.6 การตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดเหล็กแผ่น (ซ้าย) และชิ้นงานเมื่อตัดเสร็จ (ขวา)

### 3.2 วิธีการเชื่อมรอยต่อเกย

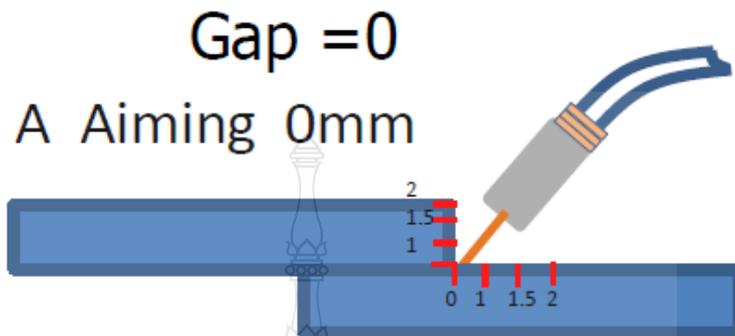
กระบวนการเชื่อมโลหะแก๊สปกคลุมได้กำหนดพารามิเตอร์ในการตั้งค่าเครื่องโรบอท ดังนี้ กระแสที่ใช้ในการเชื่อม 200, 220, 240 และ 260 แอมป์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที ชนิดของโลหะเติมแนวเชื่อมการทดลอง MG-50 KOBE หัวเชื่อมถูกติดตั้งและถูกควบคุมการเคลื่อนที่โดยโรบอทเป็นตัวขับเคลื่อนหัวเชื่อมแก๊สปกคลุม CO<sub>2</sub> อัตราการไหล 20 ลิตรต่อนาที มุมเชื่อม 45 องศา กับรอยต่อ ตำแหน่งระยะอาร์คจากมุมรอยต่อเท่ากัน ใช้เหล็กกล้า SPH590 แผ่นเหล็กกล้าความหนา 2.9 และ 3.2 มิลลิเมตร คล้ายทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 130 มิลลิเมตรและยาว 220 มิลลิเมตร กำหนดความหนา 3.2 มิลลิเมตรวางเกยบนแผ่นความหนา 2.9 มิลลิเมตร ระยะต่อเกย 10 มิลลิเมตร เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแม่ก

3.2.1 ตำแหน่งหัวเชื่อมจากรอยต่อเกยระหว่างชิ้นงานสองชิ้นที่ตำแหน่งศูนย์ กระแสไฟเชื่อมที่ 200,220,240 และ 260 แอมแปร์ดังแสดงในภาพที่ 3.7



รูปที่ 3.7 รูปแบบการทดลองที่ 1

3.2.2 ตำแหน่งหัวเชื่อมจากรอยต่อเกยระหว่างชิ้นงานสองชิ้นที่ตำแหน่งศูนย์ ขยับออกจากชิ้นงานทิศทางแนวตั้งและทิศทางแนวนอน 1,1.5 และ 2 มิลลิเมตร กระแสไฟเชื่อมที่ 200,220,240 และ 260 แอมแปร์ดังแสดงในภาพที่ 3.8



รูปที่ 3.8 รูปแบบการทดลองที่2

3.2.3 ตำแหน่งช่องว่างของรอยต่อเกยและตำแหน่งหัวเชื่อมระหว่างชิ้นงานสองชิ้นที่ตำแหน่งศูนย์ ขยับขึ้นออกจากชิ้นงานทิศทางแนวตั้ง 1,1.5 และ 2 มิลลิเมตร กระแสไฟเชื่อมที่ 200,220,240 และ 260 แอมแปร์

### 3.3 การทดสอบสมบัติของรอยต่อเกย

#### 3.1 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

##### 3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบซูม ใช้สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค
- กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ใช้สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค
- กรด  $\text{NH}_4\text{HF}_2 + \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{น้ำกลั่น}$  ใช้สำหรับการกัดชิ้นรอยชิ้นงานเชื่อม
- เครื่องขัดเหล็ก
- กระดาษทรายเบอร์ 100 240 400 800 1000 และ 1500
- เรซิน ใช้สำหรับการยึดชิ้นงานที่จะทำการขัดผิวหน้า
- เตอบแห้ง
- เครื่องตัดเหล็ก Micro cutter
- ถุงมือ, ที่ครีบน้ำมัน
- ผ้าสักหลาด ใช้สำหรับการขัดเงาที่ผิวหน้าชิ้นงานเชื่อม ใช้คู่กับผงเพชร
- ผงเพชร
- อัลตราโซนิค

### 3.1.2 การเตรียมชิ้นงาน

- ตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดเหล็ก Micro cutter
- ทำการจับยึดชิ้นงานด้วยเรซิน โดยทำการหล่อชิ้นงานลงในแม่พิมพ์ที่เป็นทรงกระบอก เช่น ท่อ pvc แล้วรอให้เรซินแข็งตัว



รูปที่ 3.9 เครื่องขัดแบบจานหมุนใช้กระดาษทราย

- ขัดผิวหน้าชิ้นงานด้วยกระดาษทรายน้ำ โดยนำกระดาษทรายติดบนเครื่องขัดแบบจานหมุน ทำการขัดเปิดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายเบอร์ 100 ให้ผิวหน้าเริ่มเงา แล้วจึงทำการเปลี่ยนกระดาษทรายเป็นเบอร์ 240, 400, 800, 1000 และ 1500 ตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนกระดาษทราย เป็นเบอร์ที่ละเอียดขึ้นจะต้องเปลี่ยนทิศทางการขัด เพื่อลบรอยกระดาษทรายเบอร์ก่อนหน้า



รูปที่ 3.10 เครื่องขัดแบบจานหมุนใช้ผ้าสักหลาด

- นำชิ้นงานที่ขัดผิวหน้าแล้วมาทำการขัดเงาบน ผ้าสักหลาด โดยใช้ผงเพชร ทำหน้าที่เป็นผงขัด

- ทำการเตรียมกรด  $\text{NH}_4\text{HF}_2 + \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{น้ำกลั่น}$  สำหรับการกัดชิ้นรอยโดย ส่วนผสมทางเคมีของกรดชนิดนี้คือ

- แอมโมเนียมไบฟลูออไรด์ 20 กรัม

- โปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ 0.5 กรัม

- น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

- นำชิ้นงานที่ขัดเงามาล้างทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก จากนั้นนำชิ้นงาน มาทำการกัดชิ้นรอย ด้วยกรด  $\text{NH}_4\text{HF}_2 + \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5 + \text{น้ำกลั่น}$  ประมาณ 15-20 วินาที จากนั้นทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงานด้วยด้วยเครื่องอัลตราโซนิกอีกครั้ง แล้วอบให้แห้ง

3) นำชิ้นงานมาตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและส่วนผสมทางเคมีเพื่อหาปริมาณธาตุของบริเวณขึ้นตัวอย่างและ เพื่อตรวจสอบโครงสร้างของรอยเชื่อมโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบซูมทำการตรวจสอบดูจุดบกพร่องบริเวณโลหะเชื่อมและตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด บริเวณพื้นที่กระแทกร้อน ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เพื่อแสดงรายละเอียดเฟสของเกรนตามตำแหน่งที่กำหนด ตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์ความแข็งและความเหนียว



รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างโลหะ

### 3.2 การทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A 370

1) ชิ้นงานทดสอบแรงดึง นำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมมาทำการเตรียมชิ้นงานตามขนาดดังรูปที่ 3.11 เพื่อใช้สำหรับการทดสอบแรงดึง

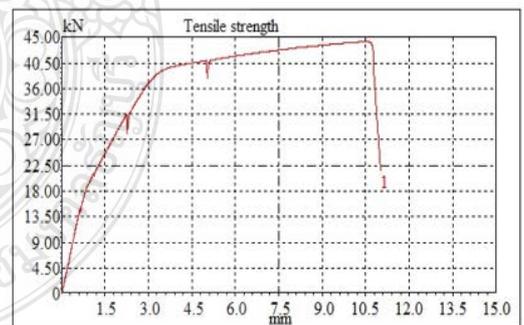


รูปที่ 3.12 แบบจำลองการจับชิ้นงานเชื่อมแบบต่อเกย



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบแรงดึง

| Test No. | Test date  | Area<br>mm <sup>2</sup> | Max. Load<br>kN | Tensile strength<br>N/mm <sup>2</sup> | Yield point<br>kN | Yield strength<br>N/mm <sup>2</sup> | Elongation<br>% |
|----------|------------|-------------------------|-----------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------|
| 1        | 2024-04-09 | 71.50                   | 44.18           | 617.90                                | 25.76             | 360.24                              | 12              |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |



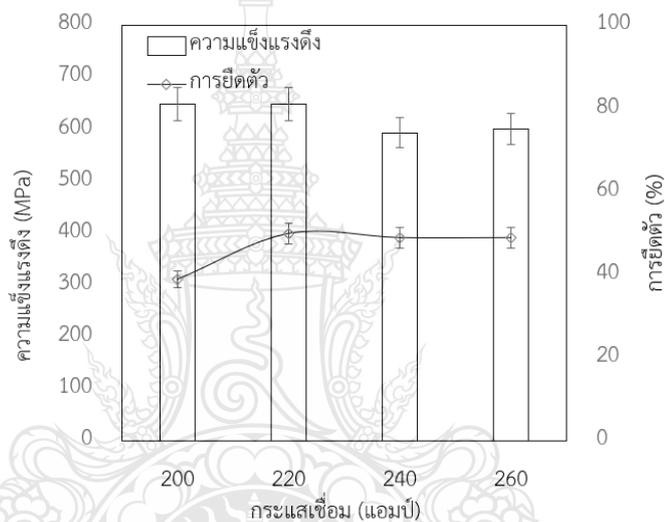
รูปที่ 3.14 ตารางแสดงผลทดสอบแรงดึง

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

#### 4.1 อิทธิพลกระแสเชื่อมโลหะโดยใช้ก๊าซแอคทีฟ ( MAG ) ต่อสมบัติของรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อมศูนย์จากรอยต่อ เหล็กกล้าSPH590

ผลการตรวจสอบความแข็งแรงดึง อัตราการยึดตัวของรอยต่อเกยเหล็กกล้าSPH590 ที่ทำการเชื่อมแบบ GMAW ด้วยโลหะเติม ER70S-G ที่กระแส 200 220 240 และ 260 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม Robot 80 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อหากระแสเชื่อมที่มีค่าแรงดึงสูงสุด

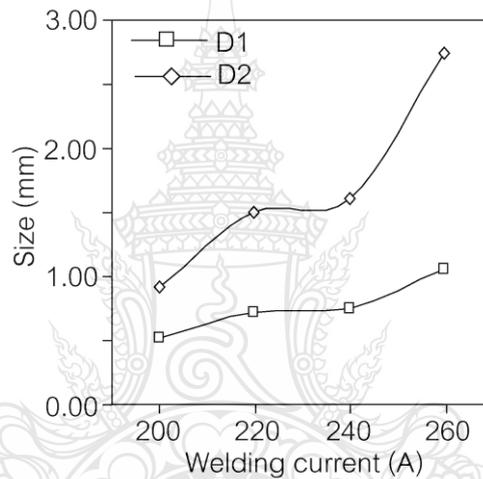


#### รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง การยึดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อมศูนย์จากรอยต่อ เหล็กกล้าSPH590

รูปที่ 4.1 แสดงผลของค่าความแข็งแรงดึง อัตราการยึดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกย โดยความแข็งแรงดึงถูกแสดงเป็นหน่วย เมกะปาสคาล (MPa) โดยที่กระแส 240 แอมแปร์ ได้ค่าความแข็งแรงดึงน้อยที่สุดเท่ากับ 594 เมกะปาสคาล ซึ่งค่าความแข็งแรงดึง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากกระแส 260 แอมแปร์ จนกระทั่งกระแส 200 แอมแปร์ ซึ่งมีค่าความแข็งแรงดึงมากที่สุดเท่ากับ 649 เมกะปาสคาล เมื่อเปรียบเทียบกับรอยเชื่อมของรอยต่อเกยชิ้นงานที่กระแสเชื่อมอื่น เมื่อใช้กระแสเชื่อมต่ำ ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าสูง

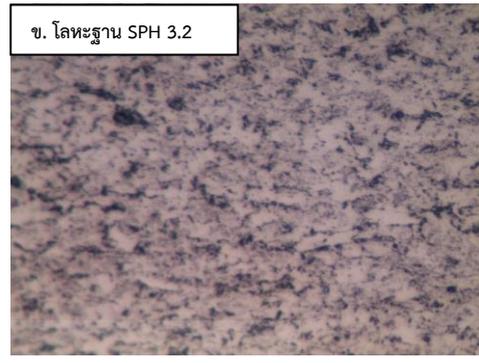
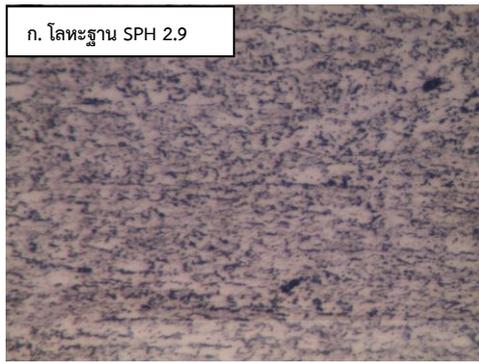


รูปที่ 4.3 การหลอมละลายแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 200, 220, 240 และ 260 แอมแปร์ แสดงดังรูปที่ 4.3 กระแสเชื่อมทั้งหมด มีพื้นผิวหน้าแนวเชื่อมได้พื้นผิวแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องในการเชื่อม เช่น การกัดขอบ ขนาดความยาวและขนาดความหนาของแนวเชื่อมแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก เกิดการหลอมไม่สมบูรณ์บนพื้นผิวหน้าแนวเชื่อมชั้นบนและชั้นล่าง ขนาดความยาวแนวเชื่อมและความหนาของแนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ ขณะเดียวกัน การหลอมละลายชั้นบนกับชั้นล่างที่กระแสเชื่อม 200, 220, 240 และ 260 แอมแปร์ มีขนาดความยาวของแนวเชื่อมและขนาดความหนาของแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ ไม่มีผลกระทบต่อ การหลอมละลายชั้นงาน ขนาดความยาวและขนาดความหนาของแนวเชื่อมได้ดังรูปที่ 4.4

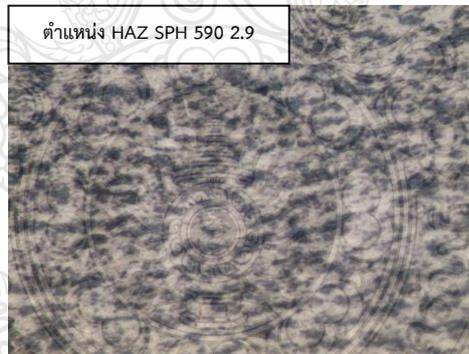
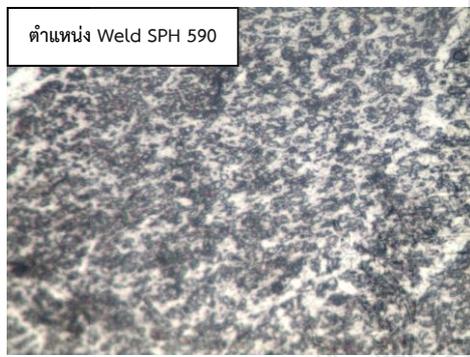


รูปที่ 4.4 การหลอมลึกลงสู่โลหะตำแหน่งหัวเชื่อมศูนย์ เหล็กกล้า SPH590

จากรูป 4.3 (ก) ที่กระแส 200 แอมแปร์ พบว่าขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก และแนวโลหะเต็ม มีขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเล็กตามกระแสเชื่อม การหลอมละลายระหว่างชั้นงานชั้นบนกับชั้นล่าง จะเกิดการหลอมละลายที่สมบูรณ์ เช่น ความยาวของแนวเชื่อม ความหนาของแนวเชื่อม เมื่อเชื่อม กระแสไฟที่สูงขึ้นทำให้เกิดการหลอมละลายบริเวณรอยต่อแนวเชื่อมได้ดีขนาดแนวเชื่อมโตขึ้น รูปที่ 4.3 (ข, ค, ง) ที่กระแส 220, 240 และ 260 แอมแปร์ พบว่าขนาดแนวเชื่อมมีความกว้างขึ้น กระแสเชื่อม ที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้การหลอมละลายของรอยต่อเกยมากขึ้นและโลหะเชื่อมพื้นที่ที่กระแทกร้อนบริเวณ ชั้นงานกว้างขึ้นทำให้ค่าแรงดึงมีค่าลดลง

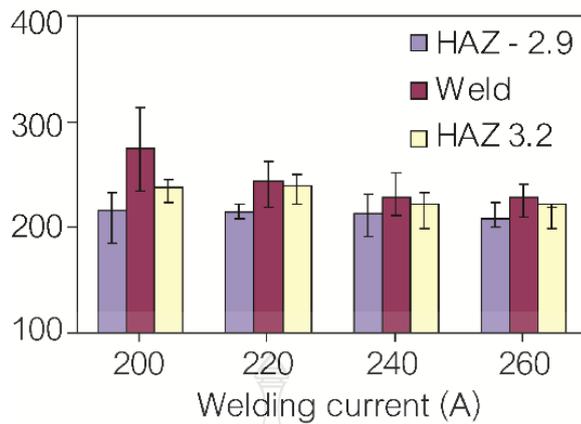


รูปที่ 4.5 โครงสร้างพื้นฐานของโลหะฐาน SPH 590 ขนาด 2.9 กับ 3.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกลียดตำแหน่งหัวเชื่อมศูนย์จากรอยต่อ เหล็กกล้า SPH590

รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกลียดตำแหน่งหัวเชื่อมศูนย์จากรอยต่อ เหล็กกล้า SPH590 ที่กระแสมเชื่อม 200 แอมแปร์ แสดงในรูปที่ 4.6(ก) โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมจะพบว่า โครงสร้างเดนไดรท์ที่เกิดขึ้น มีการเรียงตัวของเม็ดเกรนเข้าสู่ศูนย์กลางโดยมีเส้นดำแบ่งแยกพื้นที่ของ เดนไดรท์ ของตำแหน่งแนวเชื่อม โดยดูที่ตำแหน่งบริเวณกระทะร้อนของเหล็กกล้า SPH590 ขนาด 2.9 เดนไดรท์ มีการเรียงตัวของเม็ดเกรนเข้าสู่ตำแหน่งแนวเชื่อมจากชิ้นงานด้านบนสู่ตำแหน่งรอยต่อเกลียด จากชิ้นงานด้านบนสู่ชิ้นงานด้านล่าง

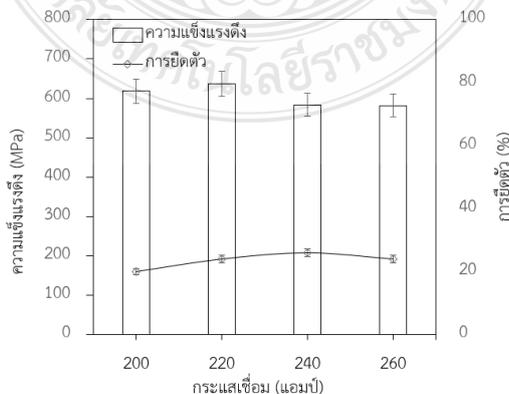


รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบความแข็งของรอยต่อเกยที่เกิดจากกระแสเชื่อม 200-260 แอมแปร์

ชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคถูกนำไปทำการตรวจสอบความแข็ง 3 ตำแหน่ง ประกอบด้วยพื้นที่ที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแผ่นเหล็กกล้าความหนา 2.9 มิลลิเมตร (HAZ-2.9) พื้นที่ที่กระทบร้อนของแผ่นเหล็กกล้าความหนา 3.2 มิลลิเมตร (HAZ-3.2) และ โลหะเชื่อม (Weld) และได้ผลการทดสอบดัง รูปที่ 4.7 ค่าความแข็งของพื้นที่ที่กระทบร้อนและโลหะเชื่อมมีแนวโน้มลดลงเมื่อกระแสเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าความแข็งนี้มีค่าสูงกว่าความแข็งของ โลหะฐานที่มีค่าความแข็งประมาณ 230 HV เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะค่าความแข็งของพื้นที่ที่กระทบร้อน ในโลหะฐานทั้งสองด้านพบว่า ค่าความแข็งของแผ่นเหล็กหนา 3.2 มิลลิเมตร แสดงค่าความแข็งของ ชิ้นงานที่มีค่าสูงกว่าแผ่นเหล็กหนา 2.9 มิลลิเมตร

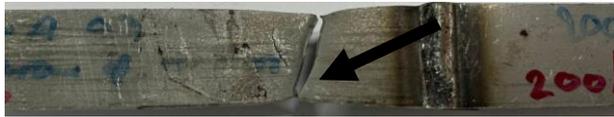
#### 4.2 การเปรียบเทียบสมบัติรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวตั้งและแนวนอน 1, 1.5 และ 2 มิลลิเมตร

4.2.1 สมบัติรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร

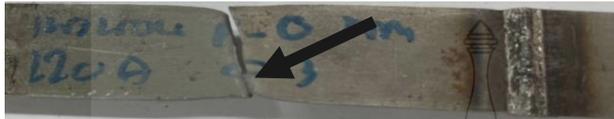


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง อัตราการยืดตัวและกระแสเชื่อมของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590

รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแรงดึง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อเกย 1.0 มิลลิเมตรเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง พบว่าที่กระแส 220 แอมแปร์ ค่าแรงดึงสูงสุด 636 เมกะปาสคาล ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดที่กระแส 260 แอมแปร์ ค่าแรงดึงอยู่ที่ 582 แอมแปร์



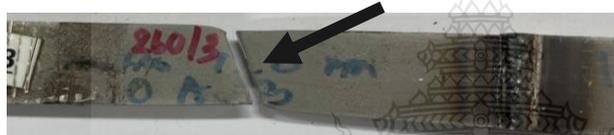
กระแสเชื่อม 200A



กระแสเชื่อม 220A



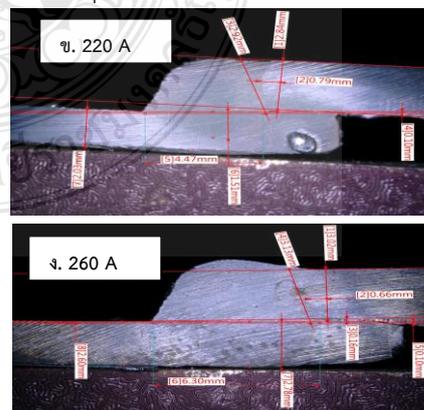
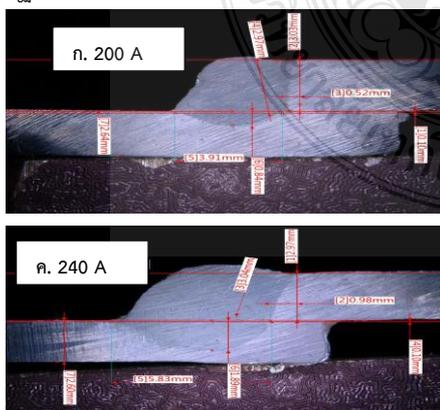
กระแสเชื่อม 240A



กระแสเชื่อม 260A

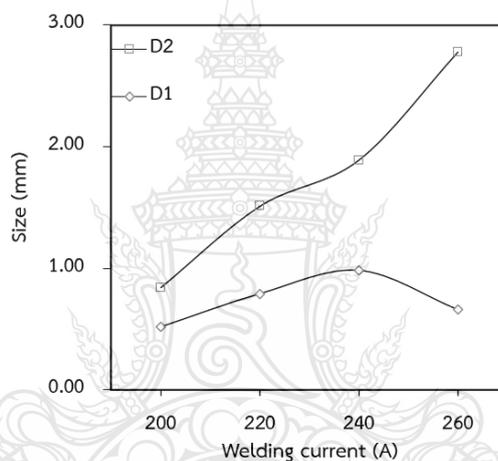
รูปที่ 4.9 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.9 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยแนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อมเหล็กกล้า SPH590 ที่เชื่อมด้วยกระแส 200-260 แอมแปร์ พบว่าตำแหน่งรอยต่อไม่เกิดผลกระทบกับแนวเชื่อม เกิดการฉีกขาดชิ้นงานทดสอบตรงบริเวณโลหะฐานเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 2.9 มิลลิเมตร ทุกกระแสไฟ



รูปที่ 4.10 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อม แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร

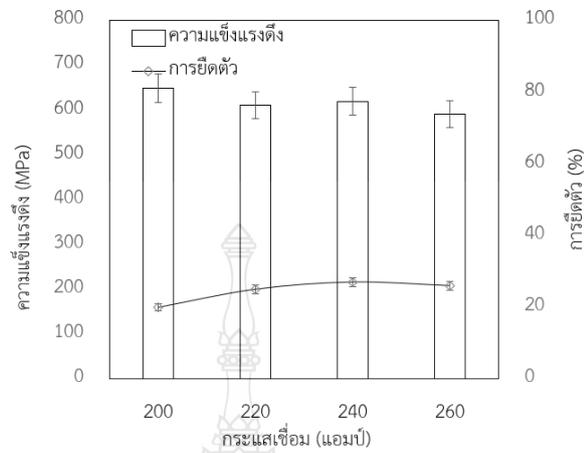
รูปที่ 4.10 การหลอมละลายแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วย กระแสเชื่อม 220-260 แอมแปร์ แสดงดังรูปที่ 4.10 กระแสเชื่อมทั้งหมด พื้นผิวหน้าแนวเชื่อมได้พื้นผิว แนวเชื่อมสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องใด ๆ เช่น รูพรุน การกัดขอบ หรือการหลอมไม่สมบูรณ์บนพื้น ผิวหน้าแนวเชื่อม ขณะเดียวกันการหลอมละลายขึ้นบนกับชั้นล่างที่กระแสเชื่อม 200 และ 220 แอมแปร์ จะเห็นขนาดความยาวของแนวหลอมละลายของแนวเชื่อมระหว่างชั้นงานด้านบนกับด้านล่าง จะสั้นกว่ากระแสเชื่อม 240 และ 260 แอมแปร์ และขนาดความหนาของแนวคอซีมติกของแนวเชื่อมที่ กระแส 200 และ 220 แอมแปร์ จะมีความยาวน้อยกว่ากระแสเชื่อม 240 และ 260 แอมแปร์ และเมื่อ เปรียบเทียบขนาดความยาวของแนวหลอมละลาย ขนาดความหนาของแนวคอซีมติก กระแสเชื่อมสูงทำ ให้การหลอมลึกของชั้นงานได้ดีดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 อิทธิพลของตำแหน่งหัวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อรอยเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่ง หัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร

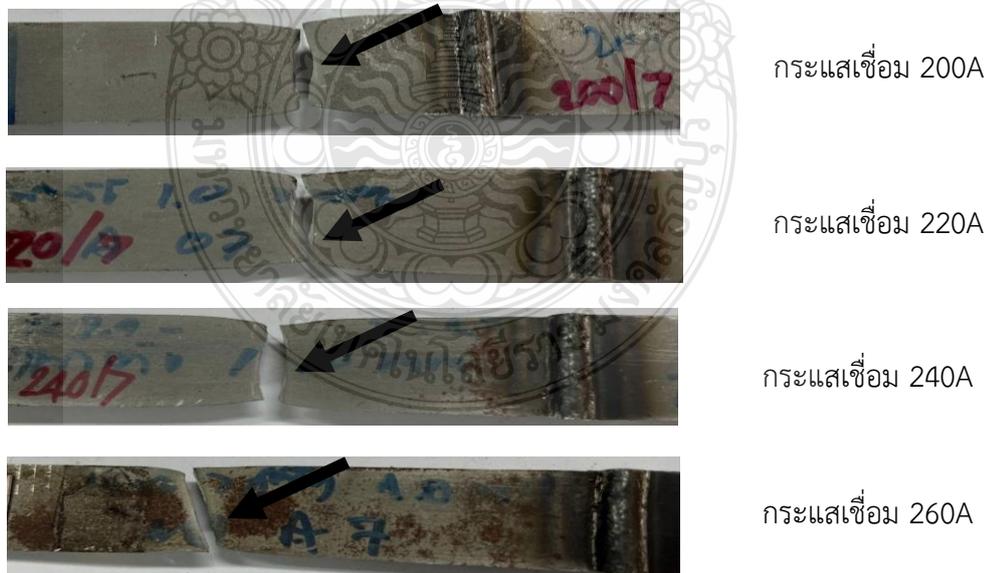
จากรูปที่ 4.10 (ก) ที่กระแส 200 แอมแปร์ พบว่าขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก และแนวโลหะ เดิมมีขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเล็กตามกระแสเชื่อม การหลอมละลายชั้นงานระหว่างชั้นงาน ด้านบนกับด้านล่าง ขนาดความยาวของแนวหลอมละลาย และขนาดความหนาของแนวคอซีมติกจะเห็น ได้ว่า กระแสเชื่อมที่สูงขึ้นทำให้การหลอมละลายชั้นงานได้ดี กระแสเชื่อมที่ต่ำทำให้การหลอมละลาย ชั้นงานตรงตำแหน่งรอยต่อเกยมีระยะความลึกต่ำ รูปที่ 4.10 (ข,ค,ง)ที่กระแส 220,240และ260 แอมแปร์ พบว่าขนาดแนวเชื่อมมีความกว้างขึ้น ทำให้เกิดการหลอมละลายตำแหน่งรอยต่อได้ดี

4.2.2 สมบัติรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร



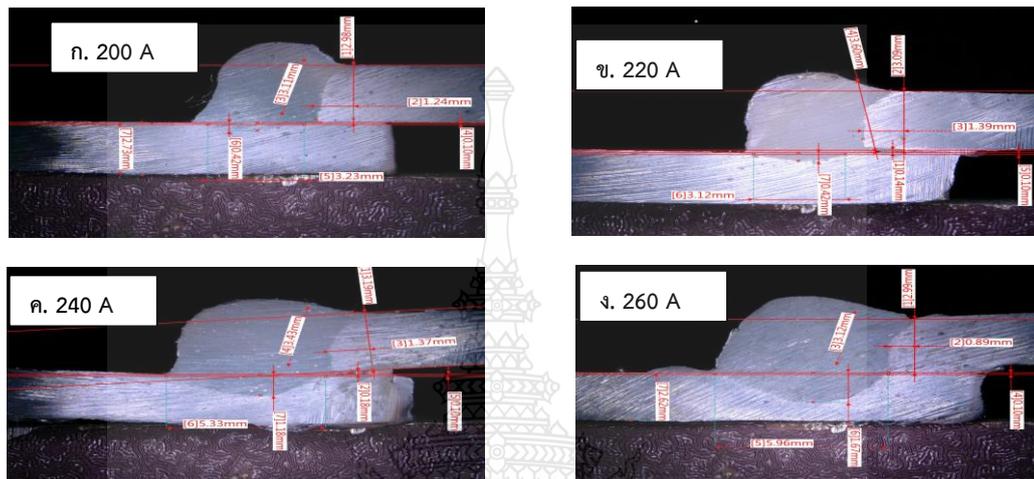
รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงดึง การยืดตัว และกระแสมเชื่อมของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590

รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแรงดึง การยืดตัว และกระแสมเชื่อมของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 พบว่าที่กระแสม 200 แอมแปร์ ค่าแรงดึงสูงสุด 649 เมกะปาสคาล ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดที่กระแสม 260 แอมแปร์ ค่าแรงดึงอยู่ที่ 592 แอมแปร์



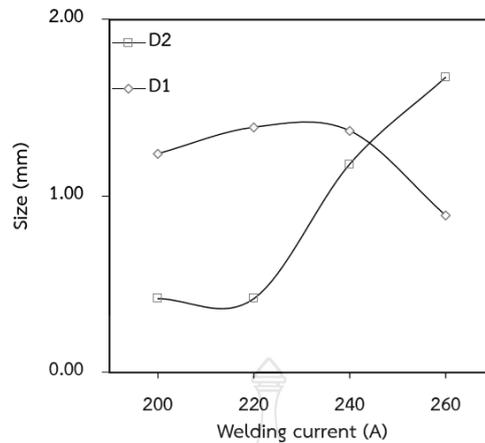
รูปที่ 4.13 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.13 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยแนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อมเหล็กกล้า SPH590 ที่เชื่อมด้วยกระแส 200-260 แอมแปร์ ตำแหน่งที่เกิดการฉีกขาดชิ้นงานทดสอบตรงบริเวณของเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 2.9 มิลลิเมตร ทุกกระแสไฟ



รูปที่ 4.14 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 1.0 มิลลิเมตร

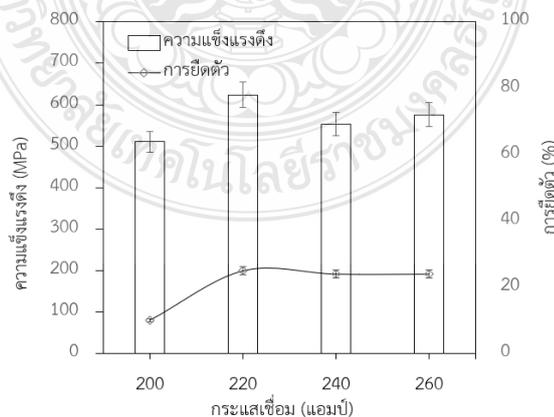
รูปที่ 4.14 การหลอมละลายแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 220-260 แอมแปร์ แสดงดังรูปที่ 4.14 ผลการตรวจสอบพบว่าในการใช้กระแสเชื่อมทั้งหมด พื้นผิวหน้าแนวเชื่อมได้พื้นผิวแนวเชื่อมสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องใด ๆ เช่น รูพรุน การกัดขอบหรือการหลอมไม่สมบูรณ์บนพื้นผิวหน้าแนวเชื่อม ขณะเดียวกันการหลอมละลายขึ้นบนกับชั้นล่างที่กระแสเชื่อม 200 และ 220 แอมแปร์ จะเห็นขนาดความยาวของแนวหลอมละลายของแนวเชื่อมระหว่างชิ้นงานด้านบนกับด้านล่างจะสั้นกว่ากระแสเชื่อม 240 และ 260 แอมแปร์ และขนาดความหนาของแนวคอซีมติกของแนวเชื่อมที่กระแส 200 และ 220 แอมแปร์ จะมีความยาวน้อยกว่ากระแสเชื่อม 240 และ 260 แอมแปร์ และเมื่อเปรียบเทียบขนาดความยาวของแนวหลอมละลาย ขนาดความหนาของแนวคอซีมติก เมื่อตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากตำแหน่งรอยต่อเกย กระแสเชื่อมสูงทำให้การหลอมลึกของชิ้นงานได้ดีดังรูปที่ดังรูปที่ 4.15



**รูปที่ 4.15** อิทธิพลของตำแหน่งหัวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อรอยเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.14 (ก,ข) ที่กระแส 200 และ 220 แอมแปร์ พบว่าขนาดความยาวแนวเชื่อมมีขนาดเล็กและแนวโลหะเติมมีขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเล็กตามกระแสเชื่อม การหลอมละลายขึ้นงานระหว่างขึ้นงานด้านบนกับด้านล่าง ขนาดความยาวของแนวหลอมละลาย และขนาดความหนาของแนวคอซิมลิกจะเห็นได้ว่า กระแสเชื่อมที่สูงขึ้นทำให้การหลอมละลายขึ้นงานได้ดี กระแสเชื่อมที่ต่ำทำให้การหลอมละลายขึ้นงานตรงตำแหน่งรอยต่อเกยมีระยะความลึกต่ำ รูปที่ 4.14 (ค,ง) ที่กระแส 240 และ 260 แอมแปร์ พบว่าขนาดแนวเชื่อมมีความกว้างขึ้น ทำให้การหลอมละลายลงสู่ขึ้นงานตำแหน่งรอยต่อได้ดี

**4.2.3 สมบัติรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวนตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร**



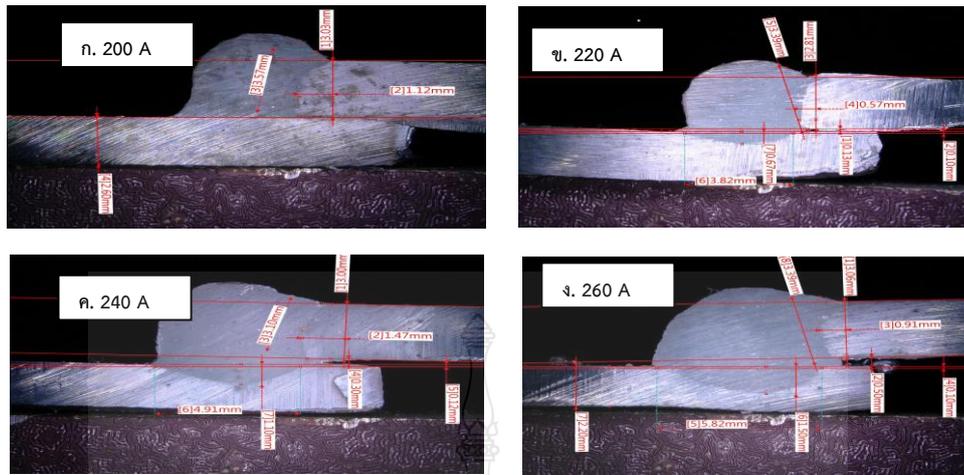
**รูปที่ 4.16** ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง อัตราการยืดตัวและกระแสรอยเชื่อมของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590

รูปที่ 4.16 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแรงดึง การยึดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกลียวเหล็กกล้า SPH590 พบว่าที่กระแส 220 แอมแปร์ ค่าแรงดึงสูงสุด 623 เมกะปาสคาล ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดที่กระแส 220 แอมแปร์ ค่าแรงดึงอยู่ที่ 510 แอมแปร์ ค่าแรงดึงของกระแสเชื่อมเริ่มเห็นความแตกต่างกัน



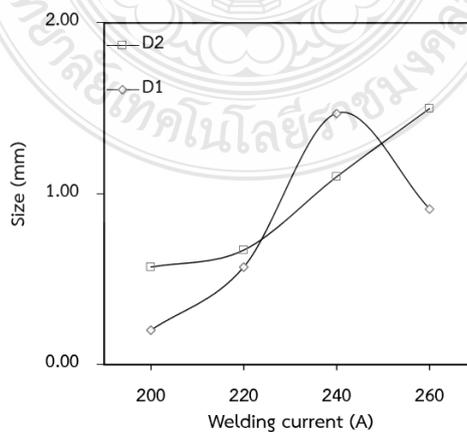
รูปที่ 4.17 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกลียวเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.17 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกลียวแนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อมเหล็กกล้า SPH590 1.5 มิลลิเมตร ที่เชื่อมด้วยกระแส 200 แอมแปร์ พื้นที่พังทลายชิ้นงานเกิดขึ้นบริเวณพื้นที่กระทบร้อนของเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 2.9 มิลลิเมตร กระแส 220 , 240 และ 260 แอมแปร์ ตำแหน่งที่เกิดการฉีกขาดชิ้นงานตรงบริเวณของเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 2.9 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.18 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจาก รอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร

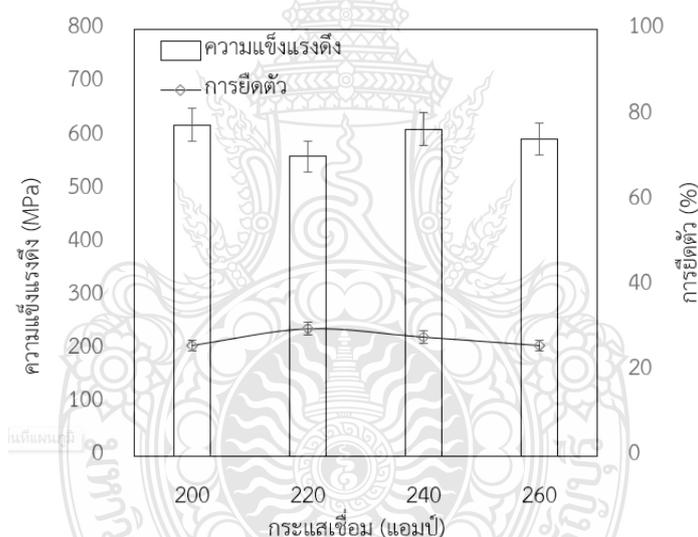
รูปที่ 4.18 การหลอมละลายแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วย กระแสเชื่อม 220-260 แอมแปร์ แสดงดังรูปที่ 4.18 กระแสเชื่อมทั้งหมด พื้นผิวหน้าแนวเชื่อมได้พื้นผิว แนวเชื่อมสมบูรณ์ พบจุดบกพร่องในการเชื่อม ที่กระแส 200 และ 220 แอมแปร์ เกิดการหลอมไม่ สมบูรณ์บนพื้นผิวหน้าแนวเชื่อมชั้นล่าง ขนาดความยาวแนวเชื่อมและความหนาของแนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ ขณะเดียวกันการหลอมละลายขึ้นบนกับชั้นล่างที่กระแสเชื่อม 240 และ 260 แอมแปร์ มีขนาดความ ยาวของแนวเชื่อมและขนาดความหนาของแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ และเมื่อเปรียบเทียบ ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกในแนวตั้งระยะ 1.5 มิลลิเมตร เริ่มมีผลกระทบต่อ การหลอมละลายขึ้นงาน ขนาดความยาวและขนาดหนาของแนวเชื่อมได้ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 อิทธิพลของตำแหน่งหัวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อรอยเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่ง หัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร

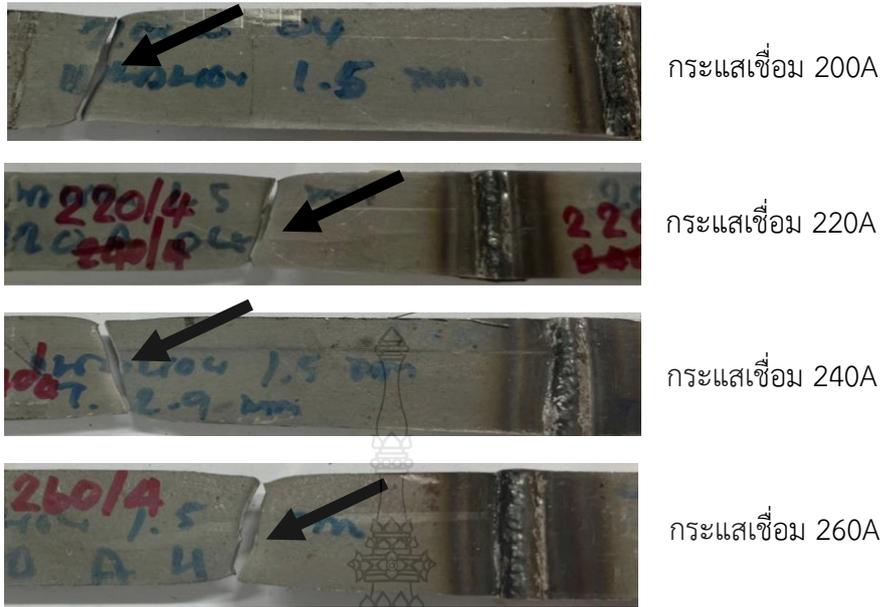
จากรูปที่ 4.18 (ก,ข) ที่กระแส 200 และ 220 แอมแปร์ พบว่าการหลอมละลายความยาวกับความหนาของคอคอเชื่อมของโลหะไม่เข้าสู่ชิ้นงานด้านล่างทำให้เกิดการพังทลายตำแหน่งรอยต่อแนวเชื่อม ขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก และแนวโลหะเติมมีขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเล็กตามกระแสเชื่อม รูปที่ 4.17 (ค,ง) ที่กระแส 240 และ 260 แอมแปร์ พบว่าขนาดความยาวแนวเชื่อมมีความกว้างขึ้นและขนาดความหนาของคอคอเชื่อมเริ่มเพิ่มมากขึ้นตามกระแส ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับขึ้นในแนวตั้ง 1.5 มิลลิเมตร การหลอมละลายของรอยต่อเริ่มมีผลกระทบต่อแนวหลอมละลายชิ้นงานด้านล่าง ทำให้เกิดการพังทลายบริเวณพื้นที่กระแทกร้อนเหล็ก SPH590 ขนาด 2.9 มิลลิเมตร และส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมมีค่าลดลง

4.2.4 สมบัติรอยต่อเกล็กกล้า SPH 590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร



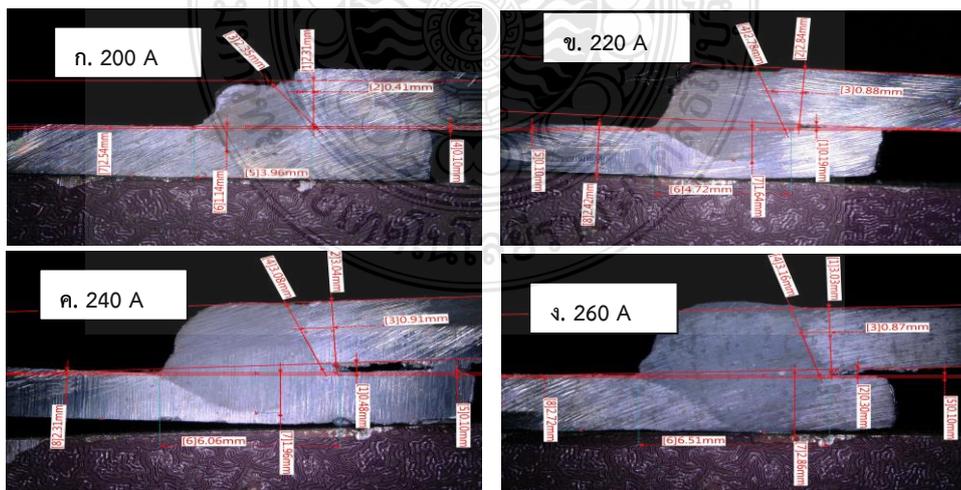
รูปที่ 4.20 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแรงดึง การยืดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกล็กกล้า SPH590

รูปที่ 4.20 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแรงดึง การยืดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกล็กกล้า SPH590 พบว่าที่กระแส 200 แอมแปร์ ค่าแรงดึงสูงสุด 621 เมกะปาสคาล ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดที่กระแส 260 แอมแปร์ ค่าแรงดึงอยู่ที่ 562 แอมแปร์



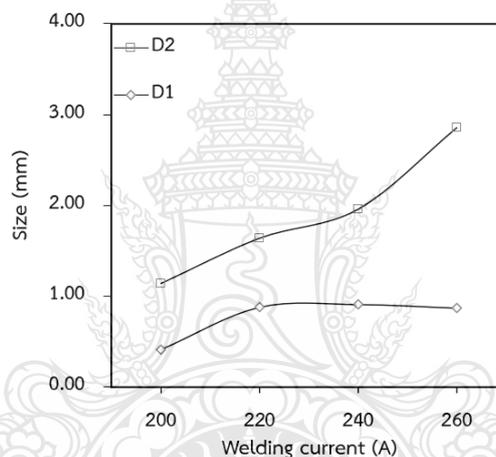
รูปที่ 4.21 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.21 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยแนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อมเหล็กกล้า SPH590 ที่เชื่อมด้วยกระแสม 200-260 แอมแปร์ ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบตรงบริเวณของเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 2.9 มิลลิเมตร ทุกกระแสมไฟ



รูปที่ 4.22 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร

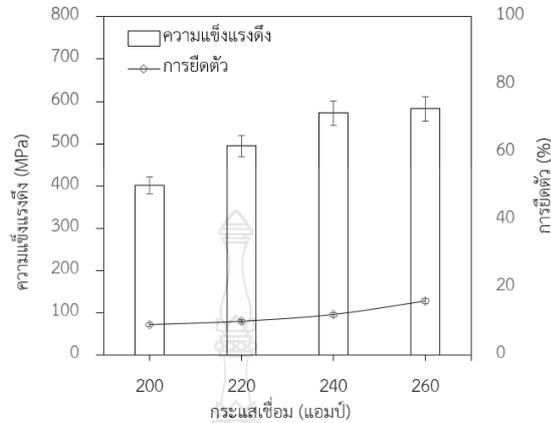
รูปที่ 4.22 การหลอมละลายแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วย กระแสเชื่อม 220-260 แอมแปร์ แสดงดังรูปที่ 4.22 กระแสเชื่อมทั้งหมด พื้นผิวหน้าแนวเชื่อมได้พื้นผิว แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ มีการกัดขอบ ขนาดความยาวและขนาดความหนาของแนวเชื่อมแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก ที่กระแส 200 แอมแปร์ เกิดการหลอมไม่สมบูรณ์บนพื้นผิวหน้าแนวเชื่อมชั้นบนและชั้นล่าง ขนาด ความยาวแนวเชื่อมและความหนาของเชื่อมไม่สมบูรณ์ ขณะเดียวกันการหลอมละลายชั้นบนกับชั้นล่างที่ กระแสเชื่อม 220, 240 และ 260 แอมแปร์ มีขนาดความยาวของแนวเชื่อมและขนาดความหนาของ แนวเชื่อมเล็กของแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ และเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกในแนวนอนระยะ 1.5 มิลลิเมตร เริ่มมีผลกระทบต่อหลอมละลายชิ้นงาน ขนาดความยาวและขนาดหนาของแนวเชื่อม เล็กได้ดีดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 อิทธิพลของตำแหน่งหัวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อรอยเกลียวเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.22 (ก) ที่กระแส 200 แอมแปร์ พบว่าขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก และแนวโลหะ เติมมีขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเล็กตามกระแสเชื่อม การหลอมละลายความยาวกับความหนาของ คอแนวเชื่อมของโลหะไม่เข้าสู่ชิ้นงานด้านบน ขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก และแนวโลหะเติมมีขนาด ความกว้างของแนวเชื่อมเล็กตามกระแสเชื่อมรูปที่ 4.22 (ข,ค,ง) ที่กระแส 220,240 และ 260 แอมแปร์ พบว่าขนาดความยาวแนวเชื่อมมีความกว้างขึ้นและขนาดความหนาของคอแนวเชื่อมเริ่มเพิ่มมากขึ้นตาม กระแส ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับขึ้นในแนวนอน 1.5 มิลลิเมตร การหลอมเล็กของโลหะเชื่อมลงสู่ชิ้นงาน รอยต่อเริ่มมีผลกระทบต่อแนวหลอมละลายชิ้นงานด้านบน ทำให้เกิดการพังทลายบริเวณพื้นที่กระทบ ร้อนเหล็กSPH590 ขนาด 2.9 มิลลิเมตร และส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมมีค่าลดลง

4.2.5 สมบัติรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร



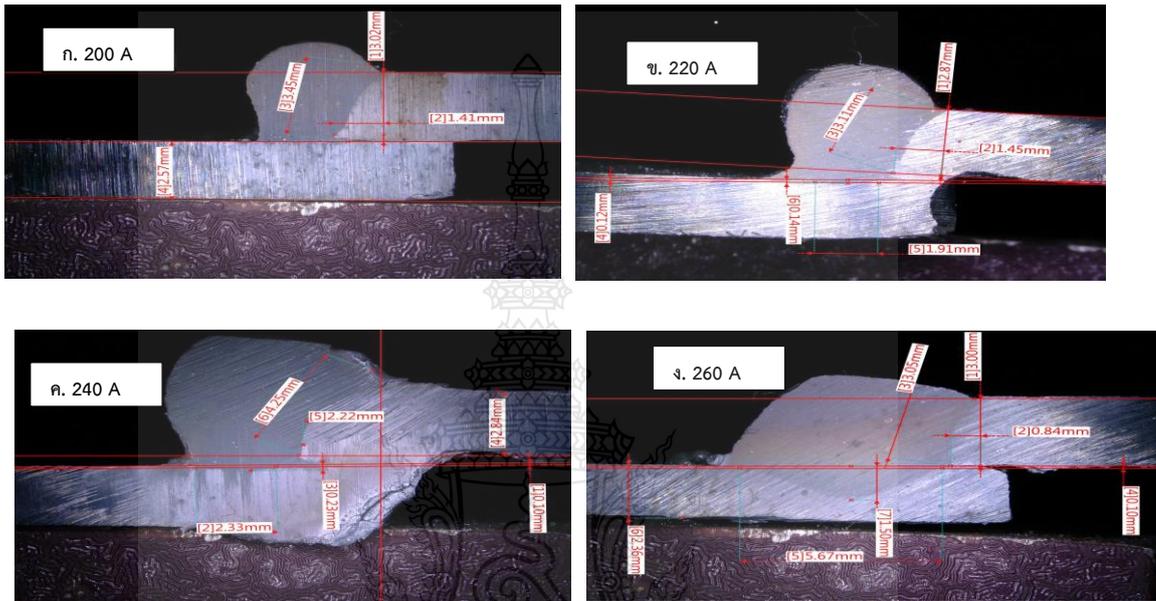
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง อัตราการยืดตัวและกระแสรอยต่อของเหล็กกล้า SPH590

รูปที่ 4.24 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแรงดึง การยืดตัว และกระแสรอยต่อของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 พบว่าที่กระแสรอยต่อ 260 แอมแปร์ ค่าแรงดึงสูงสุด 582 เมกะปาสคาล ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดที่กระแสรอยต่อ 200 แอมแปร์ ค่าแรงดึงอยู่ที่ 402 แอมแปร์ จึงทำให้สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบมาทำการวิเคราะห์หาแนวโน้มระยะตำแหน่งหัวเชื่อมที่แตกต่างกันได้



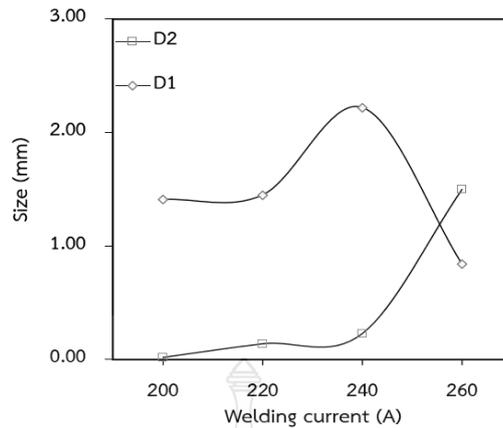
รูปที่ 4.25 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.25 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกยแนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อมเหล็กกล้า SPH590 ที่เชื่อมด้วยกระแส 200 - 260 แอมแปร์ ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบตรงบริเวณพื้นที่กระแทกร้อน ของเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 2.9 มิลลิเมตร ทุกกระแสไฟ



รูปที่ 4.26 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจาก รอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร

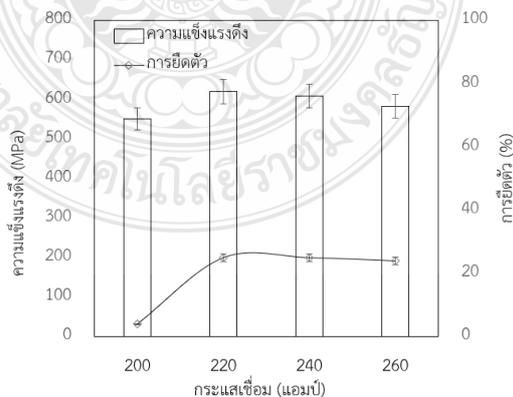
รูปที่ 4.26 การหลอมละลายแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วย กระแสเชื่อม 220-260 แอมแปร์ แสดงดังรูปที่ 2.26 ผลการตรวจสอบพบว่าการใช้กระแสเชื่อม ทั้งหมด พื้นผิวหน้าแนวเชื่อมได้พื้นผิวแนวเชื่อมสมบูรณ์ พบจุดบกพร่องในการเชื่อม ที่กระแส 200, 220 และ 240 แอมแปร์ เกิดการหลอมไม่สมบูรณ์บนพื้นผิวหน้าแนวเชื่อมชั้นล่าง ขนาดความยาวแนว เชื่อมและความหนาของเชื่อมไม่สมบูรณ์ ขณะเดียวกันการหลอมละลายขึ้นบนกับชั้นล่างที่กระแสเชื่อม 260 แอมแปร์ มีขนาดความยาวของแนวเชื่อมและขนาดความหนาของแนวคอซิมลิกของแนวเชื่อมที่ สมบูรณ์ และเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกในแนวตั้งระยะ 2.0 มิลลิเมตร เริ่มมีผลกระทบ ต่อการหลอมละลายชิ้นงาน ขนาดความยาวและขนาดหนาของแนวคอซิมลิกได้ดีดังรูปที่ 4.27



**รูปที่ 4.27** อิทธิพลของตำแหน่งหัวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อรอยเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวตั้ง ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.26 (ก,ข,ค) ที่กระแส 200, 220 และ 240 แอมแปร์ พบว่ามีขนาดความยาวของแนวเชื่อมชิ้นงานชิ้นล่างไม่เกิดการหลอมละลาย และแนวโลหะเติมมีขนาดความกว้างบริเวณชิ้นงานด้านบนของแนวเชื่อมโตตามกระแสเชื่อม รูปที่ 4.26 (ง) ที่กระแส 260 แอมแปร์ พบว่าขนาดแนวเชื่อมมีความยาวและขนาดความหนาของคอแนวหลอมละลายแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับขึ้นในแนวตั้ง 2.0 มิลลิเมตร การหลอมละลายของรอยต่อเริ่มมีผลกระทบต่อแนวหลอมละลายชิ้นงานด้านล่างทำให้เกิดการพังทลายบริเวณพื้นที่กระหกร้อนเหล็ก SPH590 ขนาด 2.9 มิลลิเมตร และส่งผลทำให้เกิดการพังทลายของชิ้นงาน

**4.2.6 สมบัติรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร**



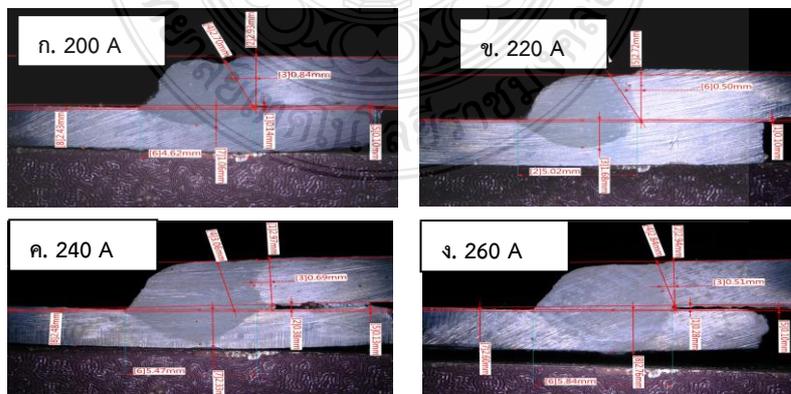
**รูปที่ 4.28** แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแรงดึง การยืดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590

รูปที่ 4.28 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแรงดึง การยึดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกลียวเหล็กกล้า SPH590 พบว่าที่กระแส 220 แอมแปร์ ค่าแรงดึงสูงสุด 620 เมกะปาสคาล ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดที่กระแส 200 แอมแปร์ ค่าแรงดึงอยู่ที่ 550 แอมแปร์



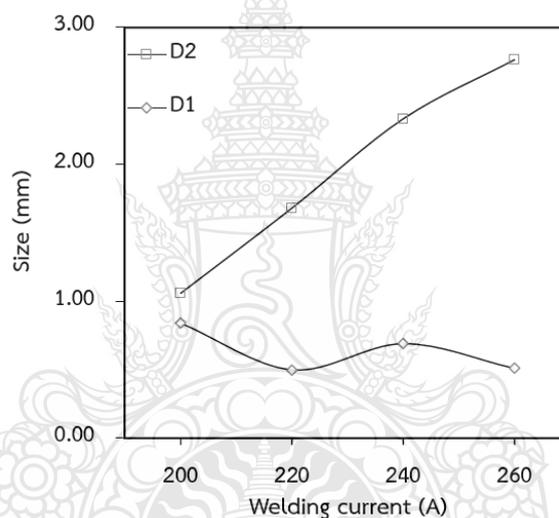
รูปที่ 4.29 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกลียวเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.29 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกลียวแนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อมเหล็กกล้า SPH590 2.0 มิลลิเมตร ที่เชื่อมด้วยกระแส 200 แอมแปร์ พบว่าแนวเชื่อมพังทลายตำแหน่งพื้นที่กระโทกร้อนเหล็กกล้า SPH590 กระแสไฟเชื่อม 220-260 แอมแปร์ ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบตรงบริเวณเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 2.9 มิลลิเมตร ทุกกระแสไฟ



รูปที่ 4.30 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกลียวเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.30 การหลอมละลายแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วย กระแสเชื่อม 220-260 แอมแปร์ แสดงดังรูปที่ 4.30 ผลการตรวจสอบพบว่าในการใช้กระแสเชื่อม ทั้งหมด พื้นผิวหน้าแนวเชื่อมได้พื้นผิวแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องในการเชื่อม เช่น การกัด ขอบ ขนาดความยาวและขนาดความหนาของแนวเชื่อมแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก เกิดการหลอมไม่สมบูรณ์ บนพื้นผิวหน้าแนวเชื่อมชั้นบนและชั้นล่าง ขนาดความยาวแนวเชื่อมและความหนาของแนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ ขณะเดียวกันการหลอมละลายชั้นบนกับชั้นล่างที่กระแสเชื่อม 200, 220, 240 และ 260 แอมแปร์ มี ขนาดความยาวของแนวเชื่อมและขนาดความหนาของแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ และเมื่อ เปรียบเทียบตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกในแนวนอนระยะ 2.0 มิลลิเมตร ไม่มีผลกระทบต่อการหลอม ละลายชิ้นงาน ขนาดความยาวและขนาดหนาของแนวเชื่อมได้ดังรูปที่ 4.31

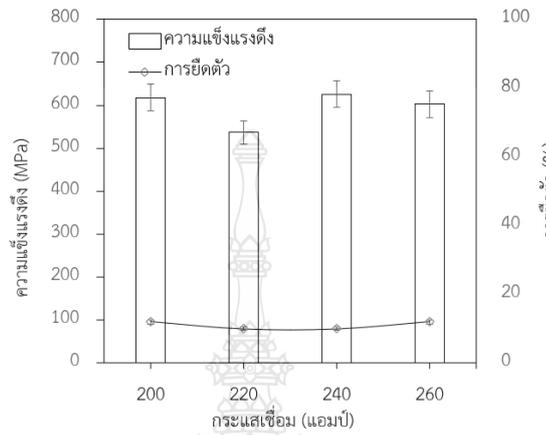


รูปที่ 4.31 อิทธิพลของตำแหน่งหัวเชื่อมที่มีผลกระทบต่อรอยเกลียวเหล็กกล้า SPH590 แนวนอน ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.30 (ก) ที่กระแส 200 แอมแปร์ พบว่าขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก และแนวโลหะ เติมมีขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเล็กตามกระแสเชื่อม การหลอมละลายความยาวกับความหนาของ คอแนวเชื่อมของโลหะไม่เข้าสู่ชิ้นงานด้านบน ขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก และแนวโลหะเติมมีขนาด ความกว้างของแนวเชื่อมเล็กตามกระแสเชื่อม รูปที่ 4.30 (ข,ค,ง) ที่กระแส 220,240และ260 แอมแปร์ พบว่าขนาดแนวเชื่อมมีความกว้างขึ้นเพิ่มขึ้น ตำแหน่งหัวเชื่อมขยับขึ้นในแนวนอน 2.0 มิลลิเมตร การ หลอมละลายตำแหน่งรอยต่อเริ่มมีผลกระทบต่อแนวหลอมละลายชิ้นงานด้านบน ทำให้เกิดการพังทลาย บริเวณพื้นที่กระทบร้อนเหล็กSPH590 ขนาด 2.9 มิลลิเมตร

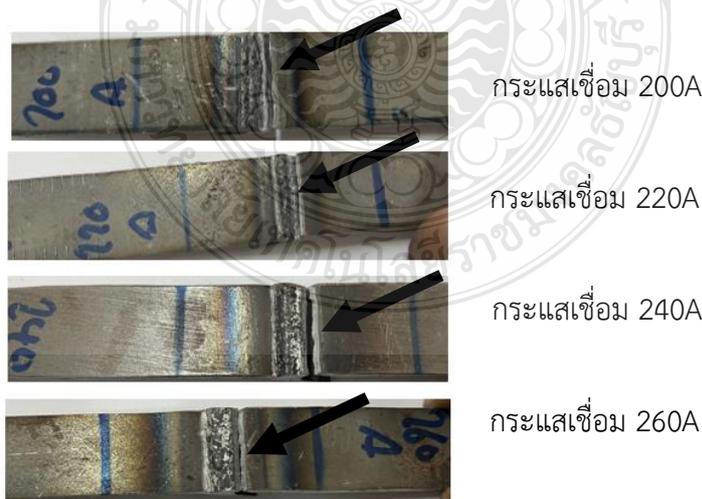
### 4.3 อิทธิพลของกระแสเชื่อมโลหะของรอยต่อเกยตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างออกจากรอยต่อเกย 1,1.5 และ 2 มิลลิเมตร เหล็กกล้าSPH590

#### 4.3.1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมโลหะของรอยต่อเกยตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างออกจากรอยต่อเกย 1 มิลลิเมตร



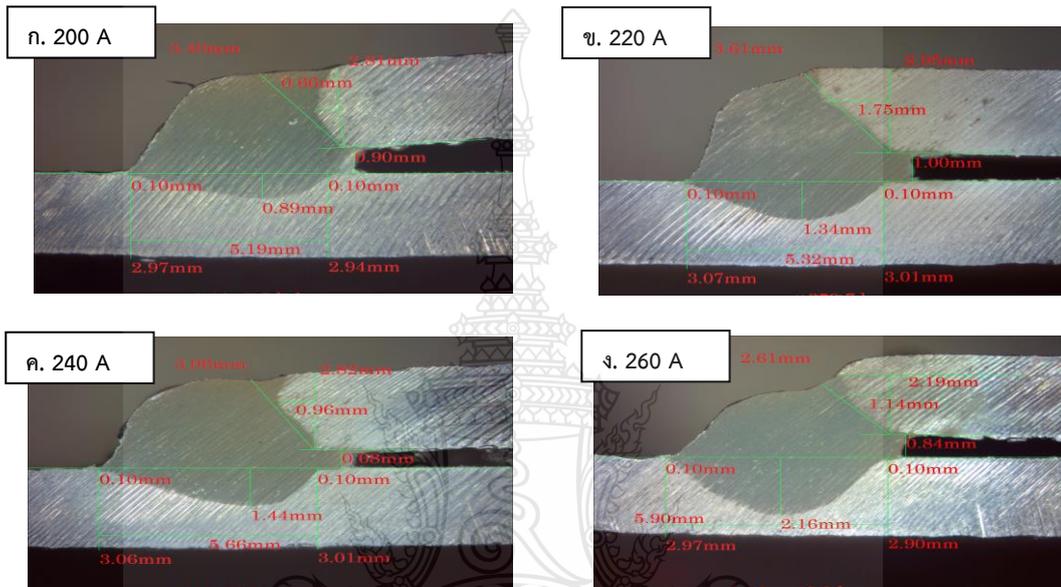
รูปที่ 4.32 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแรงดึง การยืดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกยตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างออกจากรอยต่อเกย 1 มิลลิเมตรเหล็กกล้า SPH590

รูปที่ 4.32 ค่าความแข็งแรงดึงแสดงเป็นหน่วย เมกะปาสคาล (MPa) พบว่าที่กระแส 200 - 260 แอมแปร์ มีความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 536 - 625 เมกะปาสคาล ค่าความแข็งแรงของแรงดึง การยืดตัวต่ำสุดที่กระแส 220 แอมแปร์ ค่าความแข็งแรงของแรงดึง การยืดตัวสูงสุดที่กระแส 240 แอมแปร์



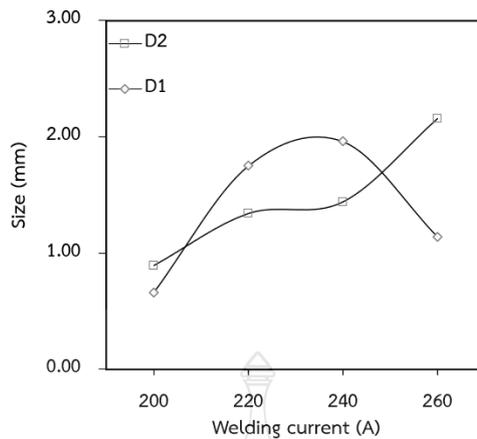
รูปที่ 4.33 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกย SPH590 ตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างออกจากรอยต่อเกย 1 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.33 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกย ตำแหน่งชิ้นงานขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อมเหล็กกล้า SPH590 1.0 มิลลิเมตร ที่เชื่อมด้วยกระแส 200, 220 และ 260 แอมแปร์ พบว่า แนวเชื่อมพังทลายตำแหน่งพื้นที่กระแทกร้อนเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 2.9 มิลลิเมตร กระแสไฟเชื่อม 240 แอมแปร์ พบว่า แนวเชื่อมพังทลายตำแหน่งพื้นที่กระแทกร้อนเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 3.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.34 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 ตำแหน่งระยะของชิ้นงานห่างออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร

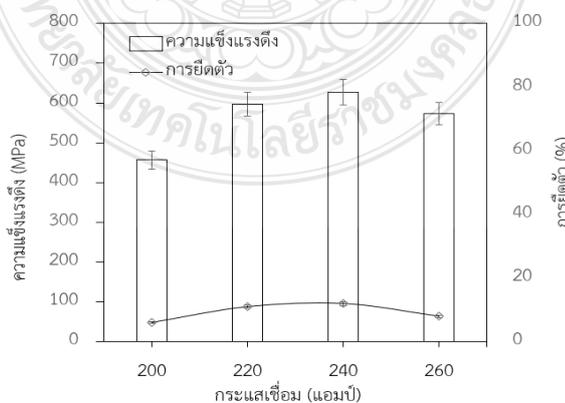
รูปที่ 4.34 การหลอมละลายแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 220-260 แอมแปร์ แสดงดังรูปที่ 4.34 ผลการตรวจสอบพบว่าในการใช้กระแสเชื่อมทั้งหมด พื้นผิวหน้าแนวเชื่อมได้พื้นผิวแนวเชื่อมสมบูรณ์ พบจุดบกพร่องในการเชื่อม เช่น การกักขอบ ขนาดความยาวและขนาดความหนาของแนวเชื่อมแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก ที่กระแส 200 แอมแปร์ เกิดการหลอมไม่สมบูรณ์บนพื้นผิวหน้าแนวเชื่อมชิ้นบน ขนาดความหนาของแนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ ขณะเดียวกันการหลอมละลายชิ้นบนกับชิ้นล่างที่กระแสเชื่อม 220, 240 และ 260 แอมแปร์ มีขนาดความยาวของแนวเชื่อมและขนาดความหนาของแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ และเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งระยะห่างชิ้นขยับออกจากรอยต่อระยะ 1.0 มิลลิเมตร เริ่มมีผลกระทบต่อหลอมละลายชิ้นบน ขนาดความยาวและขนาดความหนาของแนวเชื่อมได้ดังรูปที่ 4.35



**รูปที่ 4.35** อิทธิพลของระยะห่างชิ้นงานที่มีผลกระทบต่อรอยเกยเหล็กกล้า SPH590 ตำแหน่งชิ้นงาน ขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.0 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.34 ที่กระแส 200 แอมแปร์ พบว่าขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก การหลอมละลาย ความหนาของคอคแนวเชื่อมของโลหะไม่เข้าสู่ชิ้นงานด้านบน ขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก และแนวโลหะ เต็มมีขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเล็กตามกระแสเชื่อมรูปที่ 4.34 (ข,ค,ง) ที่กระแส 220,240 และ 260 แอมแปร์ พบว่าขนาดความยาวแนวเชื่อมมีความกว้างขึ้นและขนาดความหนาของคอคแนวเชื่อมเริ่ม เพิ่มมากขึ้น ตำแหน่งระยะห่างจากชิ้นงานจากรอยต่อ 1.0 มิลลิเมตร การหลอมละลายเริ่มมีผลกระทบต่อแนวหลอมละลายชิ้นงานด้านบน ทำให้เกิดการพังทลายบริเวณพื้นที่ที่กระแทกร้อน ส่งผลทำให้ค่าความ แข็งแรงของแนวเชื่อมมีค่าลดลง

**4.3.2** อิทธิพลของกระแสเชื่อมโลหะของรอยต่อเกยตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างออกจาก รอยต่อเกย 1.5 มิลลิเมตร



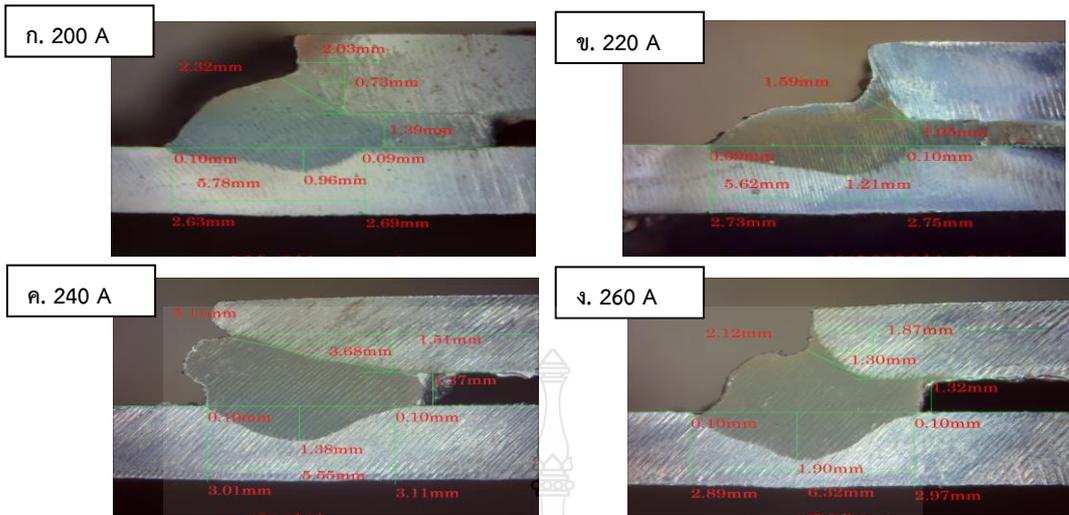
**รูปที่ 4.36** แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแรงดึง การยืดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกย ตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างออกจากรอยต่อเกย 1.5 มิลลิเมตร เหล็กกล้า SPH590

รูปที่ 4.36 ค่าความแข็งแรงดึงแสดงเป็นหน่วย เมกะปาสคาล(MPa) พบว่าที่กระแสน์ 200-260 แอมแปร์ มีความแข็งแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 457 – 626 เมกะปาสคาล ค่าความแข็งแรงของแรงดึง การยึดตัวต่ำสุด ที่กระแสน์ 200 แอมแปร์ ค่าความแข็งแรงของแรงดึง การยึดตัวสูงสุด ที่กระแสน์ 240 แอมแปร์



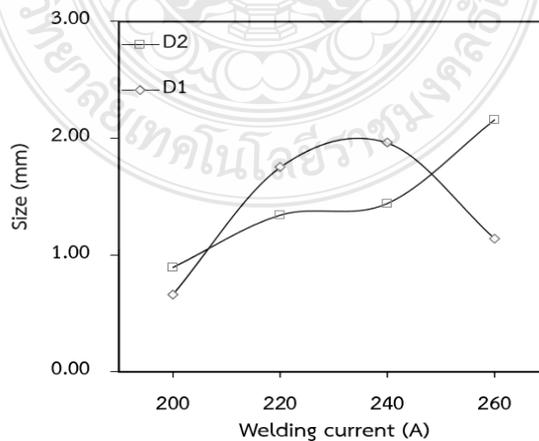
รูปที่ 4.37 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกลยเหล็กกล้าSPH590 แนวนอน ตำแหน่งชิ้นงานขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.36 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกลย ตำแหน่งชิ้นงานขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อมเหล็กกล้า SPH590 1.5 มิลลิเมตร ที่เชื่อมด้วยกระแสน์ 200,220 และ 240 แอมแปร์ พบว่าแนวเชื่อมพังทลายตำแหน่งพื้นที่กระทร้อนเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 2.9 มิลลิเมตร กระแสน์ไฟเชื่อม 260 แอมแปร์ เกิดการพังทลายของชิ้นงานทดสอบตรงบริเวณ พื้นที่กระทร้อนของเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 3.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.38 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกลียวเหล็กกล้า SPH590 ตำแหน่งชิ้นงานขยับออกจาก รอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร

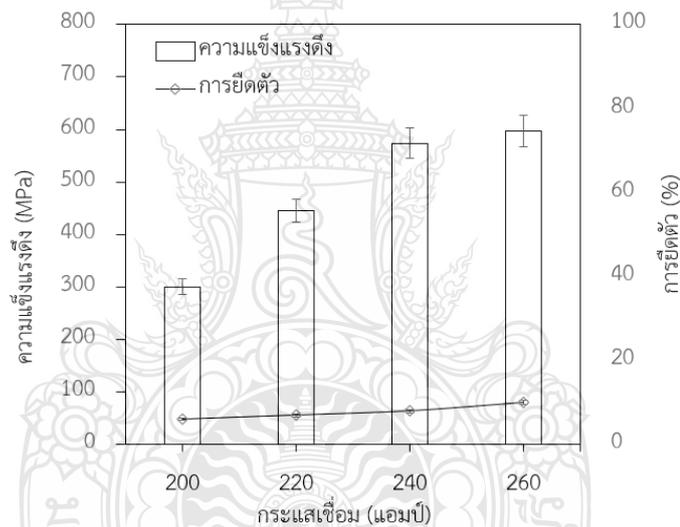
รูปที่ 4.38 การหลอมละลายแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วย กระแสเชื่อม 220-260 แอมแปร์ แสดงดังรูปที่ 4.34 ผลการตรวจสอบพบว่าในการใช้กระแสเชื่อม ทั้งหมด พื้นผิวหน้าแนวเชื่อมได้พื้นผิวแนวเชื่อมหลอมละลายไม่สมบูรณ์ เช่น เชื่อมชิ้นงานขึ้นบนกับชิ้น ล่างไม่หลอมละลาย การกัดขอบ ขนาดความยาวและขนาดความหนาของแนวเชื่อมแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก ทุกกระแสไฟเชื่อม เกิดการหลอมไม่สมบูรณ์บนพื้นผิวหน้าแนวเชื่อมขึ้นบน ขนาดความยาวและความหนา คอแนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ และเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งระยะห่างชิ้นขยับออกจากรอยต่อระยะ 1.5 มิลลิเมตร รอยต่อแนวเชื่อมเริ่มเกิดการหลอมละลายที่ไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.39 อิทธิพลของระยะห่างของชิ้นงานที่มีผลกระทบต่อรอยเกลียวเหล็กกล้า SPH590 ตำแหน่ง หัวชิ้นงานขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.38 ที่กระแส 200-260 แอมแปร์ พบว่าขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก การหลอมละลายความหนาของคอคแนวเชื่อมของโลหะไม่เข้าสู่ชิ้นงานด้านบน ขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก และแนวโลหะเต็มมีขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเล็กตามกระแสเชื่อม พบการกัดขอบชิ้นงานด้านบนทุกกระแสไฟเชื่อม ขนาดความยาวและความหนาของคอคแนวเชื่อมมีความกว้างขึ้นเมื่อกระแสไฟเชื่อมเริ่มเพิ่มมากขึ้น ตำแหน่งระยะห่างจากชิ้นงานจากรอยต่อ 1.5 มิลลิเมตร การหลอมละลายชิ้นงานตำแหน่งรอยต่อเริ่มมีผลกระทบต่อแนวหลอมละลายชิ้นงานด้านบน ทำให้เกิดการพังทลายบริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน ส่งผลทำให้เกิดการพังทลายชิ้นงานทดสอบ

#### 4.3.3 อิทธิพลของกระแสเชื่อมโลหะของรอยต่อเกยตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างออกจากรอยต่อเกย 2.0 มิลลิเมตร



**รูปที่ 4.40** แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของแรงดึง การยืดตัว และกระแสเชื่อมของรอยต่อเกยตำแหน่งชิ้นงานระยะห่างออกจากรอยต่อเกย 2.0 มิลลิเมตร เหล็กกล้า SPH590

รูปที่ 4.40 ค่าความแข็งแรงดึงแสดงเป็นหน่วย เมกะปาสคาล (MPa) พบว่าที่กระแส 200 – 260 แอมแปร์ มีความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 300 – 596 เมกะปาสคาล ค่าความแข็งแรงของแรงดึง การยืดตัวต่ำสุด ที่กระแส 200 แอมแปร์ ค่าความแข็งแรงของแรงดึง การยืดตัวสูงสุด ที่กระแส 260 แอมแปร์



กระแสเชื่อม 200A

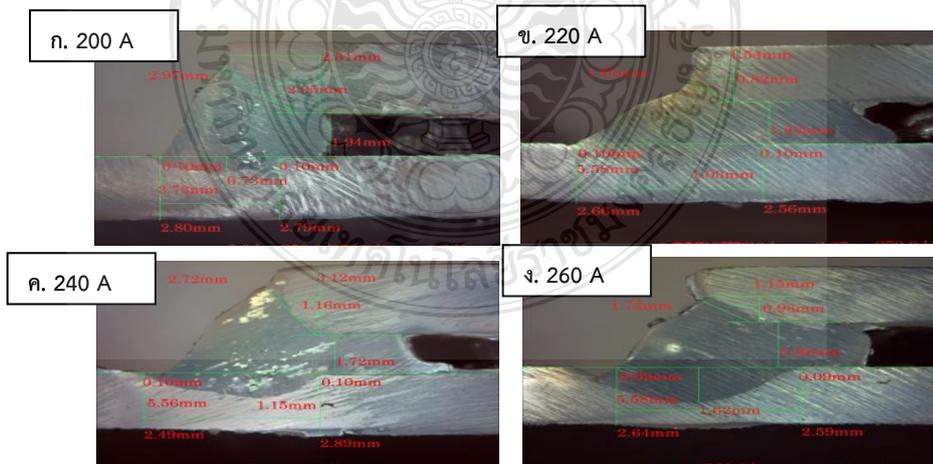
กระแสเชื่อม 220A

กระแสเชื่อม 240A

กระแสเชื่อม 260A

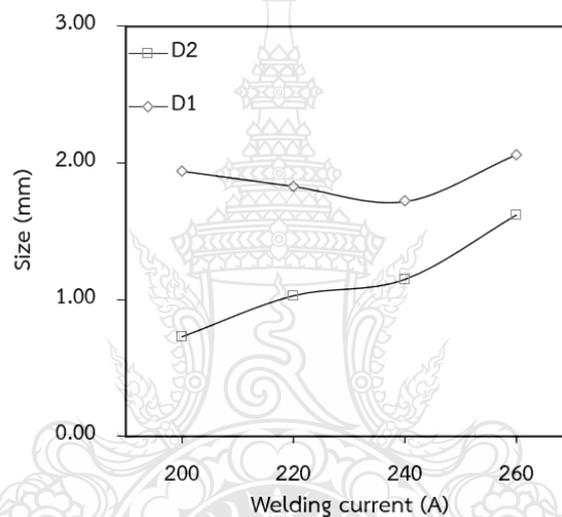
รูปที่ 4.41 ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกล็ดเหล็กกล้า SPH590 ตำแหน่งชิ้นงานขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.41 ตำแหน่งการฉีกขาดของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อเกล็ดตำแหน่งระยะห่างจากชิ้นงานขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อมเหล็กกล้า SPH590 2.0 มิลลิเมตร ที่เชื่อมด้วยกระแส 200-220 แอมแปร์ พบว่าแนวเชื่อมพังทลายตำแหน่งแนวเชื่อมบริเวณเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 3.2 มิลลิเมตร กระแสไฟเชื่อม 240-260 แอมแปร์ เกิดการพังทลายของชิ้นงานทดสอบตรงบริเวณพื้นที่กระแทกร้อนของเหล็กกล้า SPH590 ที่มีความหนา 2.9 มิลลิเมตร



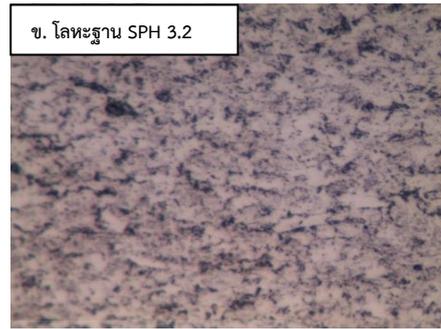
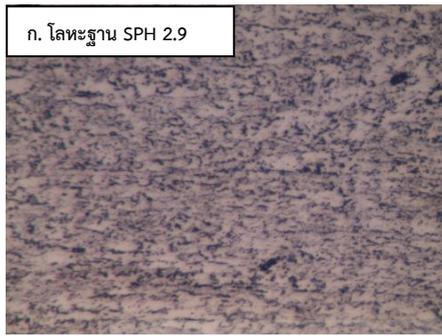
รูปที่ 4.42 โครงสร้างมหภาคของรอยต่อเกล็ดเหล็กกล้า SPH590 ตำระยะห่างของชิ้นงานขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.42 การหลอมละลายแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วย กระแสเชื่อม 220-260 แอมแปร์ แสดงดังรูปที่ 4.42 ผลการตรวจสอบพบว่าในการใช้กระแสเชื่อม ทั้งหมด พื้นผิวหน้าแนวเชื่อมได้พื้นผิวแนวเชื่อมการหลอมไม่สมบูรณ์ เช่น เชื่อมขึ้นงานขึ้นบนกับขึ้นล่าง ไม่หลอมละลาย การกัดขอบ ขนาดความยาวและขนาดความหนาของแนวเชื่อมแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก ทุก กระแสไฟเชื่อม เกิดการหลอมไม่สมบูรณ์บนพื้นผิวหน้าแนวเชื่อมขึ้นบน ขนาดความยาวและความหนาของ แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ และเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งระยะห่างขึ้นขยับออกจากรอยต่อระยะ 2.0 มิลลิเมตร มีผลกระทบต่อหลอมละลายขึ้นงาน ขนาดความยาวและขนาดหนาของแนวเชื่อมเล็กได้ดี ดังรูปที่ 4.43

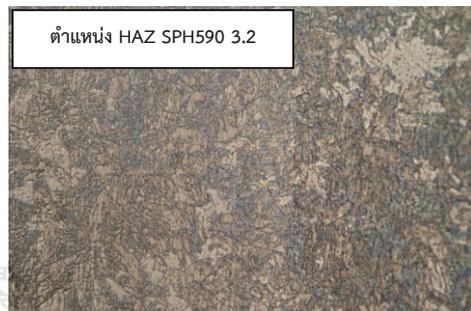


รูปที่ 4.43 อิทธิพลของระยะห่างของขึ้นงานที่มีผลกระทบต่อรอยเกลียวเหล็กกล้า SPH590 ตำแหน่งหัว ขึ้นงานขยับออกจากรอยต่อแนวเชื่อม 2.0 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.42 ที่กระแส 200-260 แอมแปร์ พบว่าขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก การหลอมละลายความหนาของคอคแนวเชื่อมของโลหะไม่เข้าสู่ขึ้นงานด้านบน ขนาดแนวเชื่อมมีขนาดเล็ก และแนวโลหะเต็มมีขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเล็กตามกระแสเชื่อม พบการกัดขอบขึ้นงานด้านบนทุกกระแสไฟเชื่อม ขนาดความยาวและความหนาของแนวเชื่อมมีความกว้างขึ้นเมื่อกระแสไฟเชื่อมเริ่มเพิ่มมากขึ้น ตำแหน่งระยะห่างจากขึ้นงานจากรอยต่อ 2.0 มิลลิเมตร การหลอมละลายขึ้นงานเริ่มมีผลกระทบต่อแนวหลอมละลายขึ้นงานด้านบน ทำให้เกิดการพังทลายบริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อน ส่งผลทำให้เกิดการฉีกขาดบริเวณรอยต่อและบริเวณพื้นที่ที่กระทบร้อนจึงขึ้นงาน

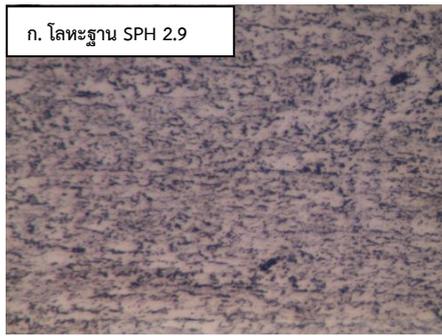


รูปที่ 4.44 โครงสร้างพื้นฐานของโลหะฐาน SPH590 ขนาด 2.9 กับ 3.2 มิลลิเมตร

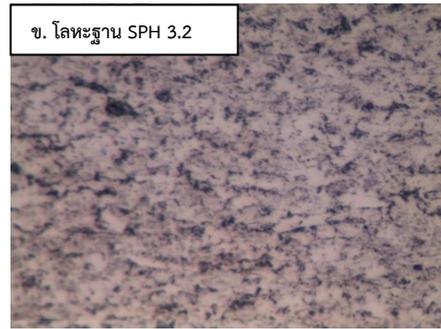


รูปที่ 4.45 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งระยะจากชิ้นงานรอยต่อ 1.0 มิลลิเมตร เหล็กกล้า SPH590 กระแสไฟเชื่อม 240 แอมแปร์

รูปที่ 4.45 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งระยะห่างของชิ้นงานจากจากรอยต่อ 1.0 มิลลิเมตร เหล็กกล้า SPH590 ที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อมด้วยกระแส 240 แอมแปร์ แสดงในรูปที่ 4.45 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมจะพบว่าโครงสร้างเดนไดรท์ที่มีเม็ดเกรนเกิดการเรียงตัวเข้าสู่ศูนย์กลาง โดยมีขนาดเม็ดเกรนเล็กแยกพื้นที่ของเดนไดรท์ ของตำแหน่งแนวเชื่อม โดยดูที่ตำแหน่งบริเวณกระทบ ร้อนของเหล็กกล้า SPH590 ขนาด 3.2 เดนไดรท์มีการเรียงตัวของเม็ดเกรนเข้าสู่ตำแหน่งแนวเชื่อมจาก ชิ้นงานด้านบนสู่ตำแหน่งรอยต่อเกย จากชิ้นงานด้านบนสู่ชิ้นงานด้านล่าง



ก. โลหะฐาน SPH 2.9



ข. โลหะฐาน SPH 3.2

รูปที่ 4.46 โครงสร้างพื้นฐานของโลหะฐาน SPH590 ขนาด 2.9 กับ 3.2 มิลลิเมตร



ตำแหน่ง Weld SPH 590



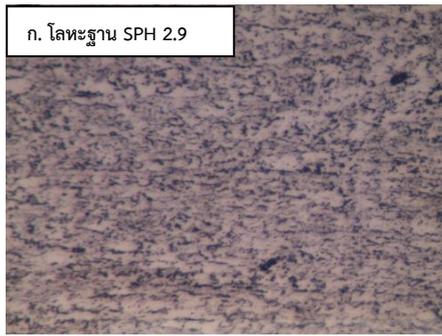
ตำแหน่ง HAZ SPH 590 3.2



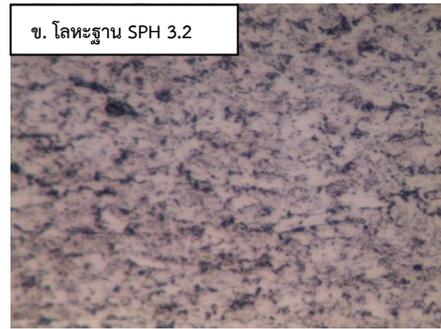
ตำแหน่ง HAZ SPH 590 2.9

รูปที่ 4.47 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งระยะจากชิ้นงานจากรอยต่อ 1.5 มิลลิเมตร เหล็กกล้า SPH590 กระแสไฟเชื่อม 240 แอมแปร์

รูปที่ 4.47 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งระยะห่างของชิ้นงานจากรอยต่อ 1.0 มิลลิเมตร เหล็กกล้า SPH590 ที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อมด้วยกระแส 240 แอมแปร์ แสดงในรูปที่ 4.47 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมจะพบว่าโครงสร้างเดนไดรท์ที่มีเม็ดเกรนเรียงตัวเข้าสู่ศูนย์กลางโดยมีขนาดเม็ดเกรนแยกพื้นที่ของเดนไดรท์ ของตำแหน่งแนวเชื่อม โดยดูที่ตำแหน่งบริเวณกระทันร้อนของเหล็กกล้า SPH590 ขนาด 3.2 เดนไดรท์มีการเรียงตัวเม็ดเกรนเข้าสู่ตำแหน่งแนวเชื่อมจากชิ้นงานด้านบนสู่ตำแหน่งรอยต่อเกย จากชิ้นงานด้านบนสู่ชิ้นงานด้านล่าง

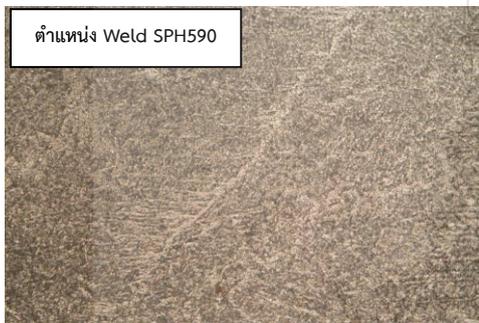


ก. โลหะฐาน SPH 2.9



ข. โลหะฐาน SPH 3.2

รูปที่ 4.48 โครงสร้างพื้นฐานของโลหะฐาน SPH590 ขนาด 2.9 กับ 3.2 มิลลิเมตร



ตำแหน่ง Weld SPH590



ตำแหน่ง HAZ SPH590 3.2



ตำแหน่ง HAZ SPH590 2.9

รูปที่ 4.49 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งระยะห่างจากชิ้นงานรอยต่อเกย 2.0 มิลลิเมตร เหล็กกล้า SPH590 กระแสไฟเชื่อม 260 แอมแปร์

รูปที่ 4.49 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อเกยตำแหน่งระยะห่างจากชิ้นงานรอยต่อเกย 2.0 มิลลิเมตร เหล็กกล้า SPH590 ที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อมด้วยกระแส 260 แอมแปร์ แสดงในรูปที่ 4.49 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมพื้นที่กระทบร้อน ขนาด 2.9 มิลลิเมตร จะพบว่าโครงสร้างเดนไดรต์ที่มีเม็ดเกรนเกิดการเรียงตัวเข้าสู่ศูนย์กลางมีขนาดเม็ดเกรนแบ่งพื้นที่ของเดนไดรต์ ของตำแหน่งแนวเชื่อม โดยดูที่ตำแหน่งบริเวณกระทบร้อนของเหล็กกล้า SPH590 ขนาด 2.9 เดนไดรต์มีการเรียงตัวเข้าสู่รอยต่อแนวเชื่อมจากชิ้นงานด้านล่างสู่ตำแหน่งรอยต่อเกยจากชิ้นงานด้านล่างสู่ชิ้นงานด้านบน

## บทที่ 5

### บทสรุปการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

การดำเนินการทำการศึกษาค้นคว้าของตัวแปรตำแหน่งหัวเชื่อมและระยะห่างของชิ้นงานของรอยต่อเกลียวเหล็กกล้า SPH590 โดยกำหนดตัวแปรที่ศึกษาดังนี้ กระแสไฟเชื่อม 4 ระดับ คือ 200,220,240 และ 260 แอมแปร์ ชนิดโลหะเติม MG-50 ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม 80 มิลลิเมตร/นาที อัตราการไหล 20 ลิตร/นาที

#### 5.1 สรุป

5.1.1 กระแสเชื่อมที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดความแข็งแรงเฉือนสูงสุด 650 MPa คือ กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ ซึ่งเป็นคำแนะนำสำหรับการเชื่อมเหล็ก SPH590 ในงานอุตสาหกรรม

5.1.2 ตำแหน่งการฉีกขาดชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงส่วนใหญ่เกิดขึ้นในพื้นที่กระพุ้งร้อนด้วยเหตุนี้การจัดการความร้อนและอัตราการระบายความร้อนในรอยต่อสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งการพังทลายได้

5.1.3 ความเร็วเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาทีร่วมกับกระแสที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อคุณภาพของรอยต่อเกลียว กระแสเชื่อมที่มีค่าสูงก่อให้เกิดการหลอมละลายเพิ่มขึ้น และทำให้เกิดจุดบกพร่องในโลหะเชื่อม

5.1.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งหัวเชื่อมในแนวตั้งและแนวนอน พบว่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก โดยมีค่าความแข็งแรงเฉือนเฉลี่ยที่ 600 MPa ซึ่งแสดงว่าตำแหน่งของหัวเชื่อมไม่ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุมได้

5.1.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค พบว่ากระแสเชื่อมต่ำก่อให้เกิดโครงสร้างเดนไดรต์ที่เล็กและละเอียดกว่า ทำให้รอยต่อเกลียวมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาความอิทธิพลของความเร็วในการเดินลวดเชื่อม เพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาการหลอมลึก

5.2.2 ควรทำการศึกษาอิทธิพลตำแหน่งหัวเชื่อมไปประยุกต์ใช้กับอิทธิพลของระยะห่างของชิ้นจากตำแหน่งของรอยต่อ เพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาการหลอมลึกของชิ้นงาน

5.2.3 ในการทดลองศึกษาครั้งต่อไปควรทดลองปรับตัวแปรอื่นๆ เช่น กระบวนการเชื่อมสาย (Wave welding) ในรูปแบบต่างๆ เช่น สายเส้นตรง สายวงกลม สายแบบคลื่น



## บรรณานุกรม

- [1] สุวัฒน์ ภูเกา, กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. 2554. อิทธิพลกระแสไฟฟ้าการเชื่อมมิกที่มีผลต่อสมบัติรอยต่อชนเหล็กกล้า SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก 430. **การประชุมข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2554** 20-21 ตุลาคม 2554 โรงแรมแอมบาสเดอร์ซีดี จอมเทียนพัทยา จ.ชลบุรี
- [2] อมรศักดิ์ มาใหญ่, อรรถกร จันทรชนะ, เจษฎา แก้ววิจิตร, กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อิทธิพลของกระแสเชื่อมที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกยระหว่างเหล็กกล้า คาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304. **การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 11**
- [3] ไพบุลย์ หาญมนต์. การศึกษาอิทธิพลความร้อนในงานเชื่อมที่มีผลต่อการหลอมลึก ความกว้าง ความสูง และบริเวณกระแทบร้อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมโดยกระบวนการเชื่อมมิก **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47** กรุงเทพฯ 17-20 มี.ค. 2552, หน้า 601-609
- [4] ศักดิ์ชัย จันทศรี, สุรัตน์ ตรียวนพงศ์, กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, สุวัฒน์ ภูเกา. การประยุกต์การเชื่อมมิกในการต่อชนแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 และแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430. **การประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555** 17-19 ตุลาคม 2555 ชะอำ เพชรบุรี
- [5] Barnes, T. A., Pashby, I. R. 2000. Joining techniques for aluminium spaceframes used in automobiles: Part I — solid and liquid phase welding. **Journal of Materials Processing Technology** 99: 62-71.
- [6] Brandon, D., Kaplan, W.D. 1997. **Joining Processes, An introduction**. New York. John Wiley&Sons.
- [7] D. Deng, S. Kiyoshima, K. Ogawa, N. Yanagida, and K. Saito. (2011). **Predicting welding residual stresses in a dissimilar metal girth welded pipe using 3D finite element model with a simplified heat source**, Nuclear Engineering and Design, vol. 241. (pp. 46-54).

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [8] T. Branza, F. Deschaux-Beaume, V. Velay, and P. Lours. (2009). **A microstructural and low-cycle fatigue investigation of weld-repaired heat-resistant cast steels**, Journal of Materials Processing Technology, vol.209. (pp. 944-953).
- [9] J. Onoro. (2066). **Weld metal microstructure analysis of 9-12% Cr steels**, International Journal of Pressure Vessels and Piping, vol.83 (pp. 540-545).
- [10] P.-C. Tung, M.-C. Wu, and Y.-R. Hwang. (2004). **An image-guided mobile robotic welding system for SMAW repair processes**, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. (pp.1223-1233).
- [11] D. Deng, H. Murakawa, and W. Liang. (2008). **Numerical and experimental investigations on welding residual stress in multi-pass butt-welded austenitic stainless steel pipe**, Computational Materials Science, vol. 42.(pp. 234-244).
- [12] H. W. Lee. (2007). **Weld metal hydrogen-assisted cracking in thick steel plate weldments**, Materials Science and Engineering: A, vol. 445-446.(pp. 328-335).
- [13] A.F.M. Arif, A.S. Al-Omari, B.S. Yilbas, and Y.N. Al-Nassar. (2011). **Thermal stress analysis of spiral laser-welded tube**, Journal of Materials Processing Technology, vol.211. (pp. 675-687).
- [14] W. Jiang, Y. Luo, B.Y. Wang, S.T. Tu, and J.M. Gong. (2014). **Residual stress reduction in the penetration nozzle weld joint by overlay welding**, Materials & Design, vol. 60. (pp. 443-450).
- [15] การเชื่อมโลหะด้วยวิธี TIG. (25 มกราคม 2560). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.meeboard.com/users/weld/imgupload/4-4.pdf>.
- [16] houzzMate. (27มกราคม 2560). **รู้ไหม ชนิดของลวดเชื่อม ที่ช่างเชื่อมใช้มีกี่ชนิด**, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.houzzmate.com/topic/2615111615315452>

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [17] คุณสมบัติของธาตุๆที่ผสมในโลหะเชื่อม. (9 ตุลาคม 2562). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:  
<http://www.bssteel.co.th/knowledge-2.php>.
- [18] MIGAL.CO GmbH. (25 มกราคม 2560). **Schaeffler diagram - different base materials**, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
<http://www.migweld.de/english/service/welding-stainless-steels/schaeffler-diagram-with-different-base-materials/>.
- [19] KINZ. (20 มกราคม 2560). **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็กกล้าไร้สนิม**, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :  
<http://www.kinzi.com/knowledge-thai>.
- [20] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (25 มกราคม 2560). **ความเค้นและความเครียด (Stress)**, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <https://www.mtec.or.th/mcu/phml/index.php/th/component/content/article/6-2009-03-30-03-57-16/forlinkin/25-stress>.
- [21] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (25 มกราคม 2560). **การทดสอบแรงดึงของโลหะ**, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <https://www.mtec.or.th/mcu/phml/index.php/th/2014-09-12-03-39-42/24-tensile-test-of-metal>.
- [22] PB All Techno. (20 มกราคม 2560). **การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)**, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <https://www.pballtechno.com/article/22/การทดสอบความแข็ง-hardness-test>.
- [23] K. Kimapong, P. Poonayoom, V. Wattanjitsiri. (2016). Microstructure and Wear Resistance of Hardfacing WeldMetal on JIS – S50C Carbon Steel in Argicultural Machine Parts, Materials Science Forum vol.872. (pp. 55-61).
- [24] Amscope. (28 มกราคม 2560). **50X-2500X Bright & Darkfield Polarizing Metallurgical Microscope + 18MP USB 3.0 Camera**, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.amscope.com/50x-2500x-bright-darkfield-polarizing-metallurgical-microscope-18mp-usb-3-0-camera.html>.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [25] บทเรียนออนไลน์ วิชาโลหะวิทยาเบื้องต้น. (28 มกราคม 2560). การตรวจสอบโครงสร้างของเหล็กกล้า, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: [http://www.sipotec.ac.th/bunchoo/2103-2103/lesson/lesson8-1\\_2.html](http://www.sipotec.ac.th/bunchoo/2103-2103/lesson/lesson8-1_2.html).
- [26] พรวิสา วงศ์ปัญญา. (28 มกราคม 2560). การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสะท้อน, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : [http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/Lab\\_3\\_Microstructural\\_Examination\\_using\\_Reflective\\_Light\\_Optical\\_Microscope.pdf](http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/Lab_3_Microstructural_Examination_using_Reflective_Light_Optical_Microscope.pdf).
- [27] ฉัตรทอง ไสแสง. (2548). อิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนตีติก เกรด304, กรุงเทพฯ. (หน้า 1-75).
- [28] ปริญญา แสงทอง. (2549). ผลการแปรพารามิเตอร์ การเชื่อม MIG ต่อ โครงสร้างและสมบัติของงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม, กรุงเทพฯ. (หน้า 1-93).
- [29] Ogawa T, Suzuki K, and Zaizen T. (2004).The Weldability of nitrogen-containing austenitic stainless steel part II porosity cracking and creep properties, *Welding Journal*, vol. 63. (pp. 213-223).
- [30] Hyeong – Yeon Lee, Se-Hwan Lee, Jong-Bum Kim and Jea-Han Lee. (2007).Creep-fatigue damage for a structure with dissimilar metal weld of modified 9Cr-1Mo steel and 316L stainless steel, *International Journal of Fatigue*, vol. 29. (pp. 1868–1879).
- [31] M. Siressha, V. Shankar, Shaju K. Albert, and S. Sundaresan. (200). **Microstructural features of dissimilar welds between 316LN austenitic stainless steel and alloy 800**, *Materials Science and Engineering A*, vol. 292. (pp. 74–82).

ภาคผนวก

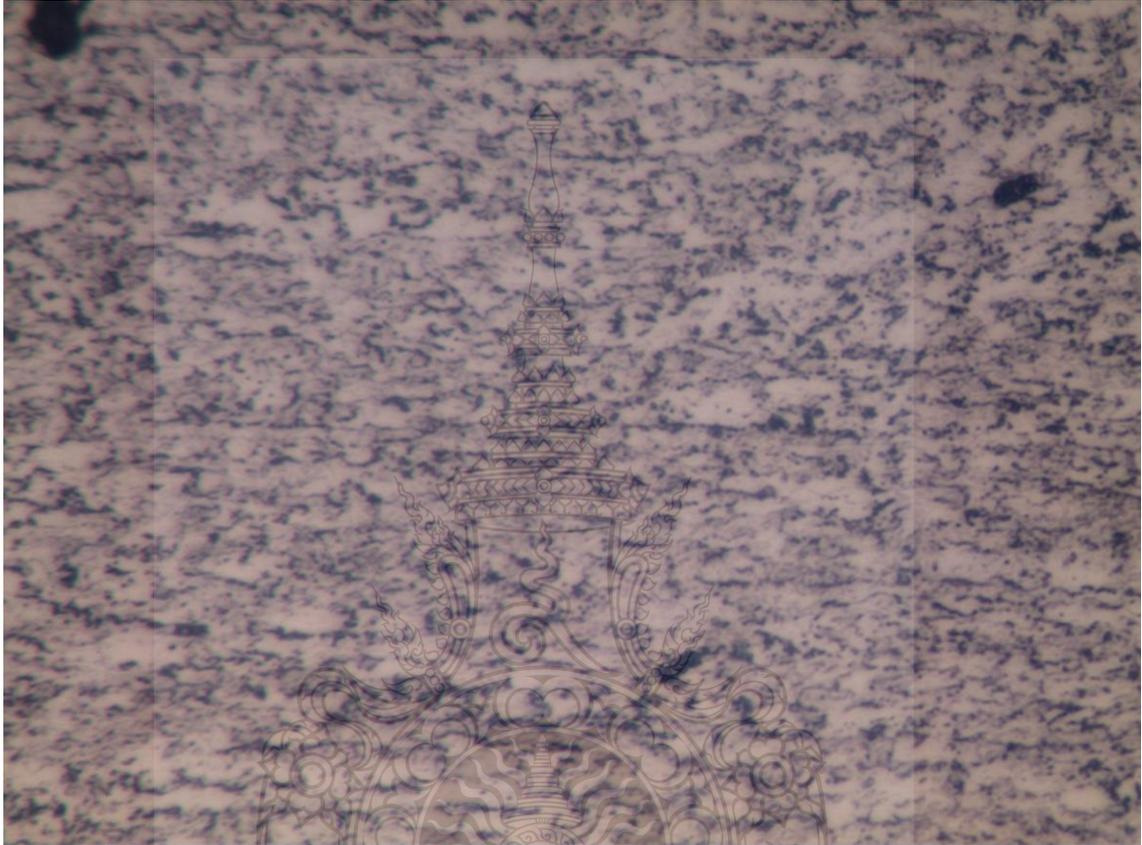


ภาคผนวก ก

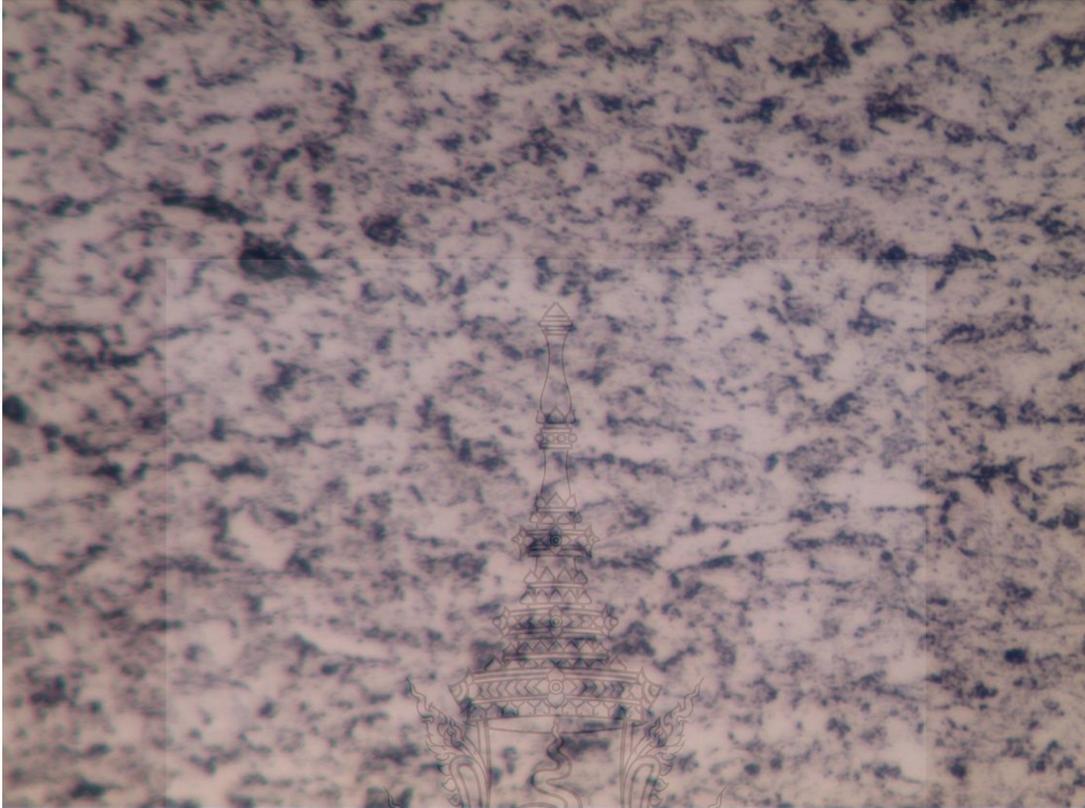
ผลการทดลองที่ได้จากเครื่องทดสอบและภาพโครงสร้างระดับจุลภาคที่ใช้  
ในการวิเคราะห์



ภาพโครงสร้างจุลภาควิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด  
( SEM )

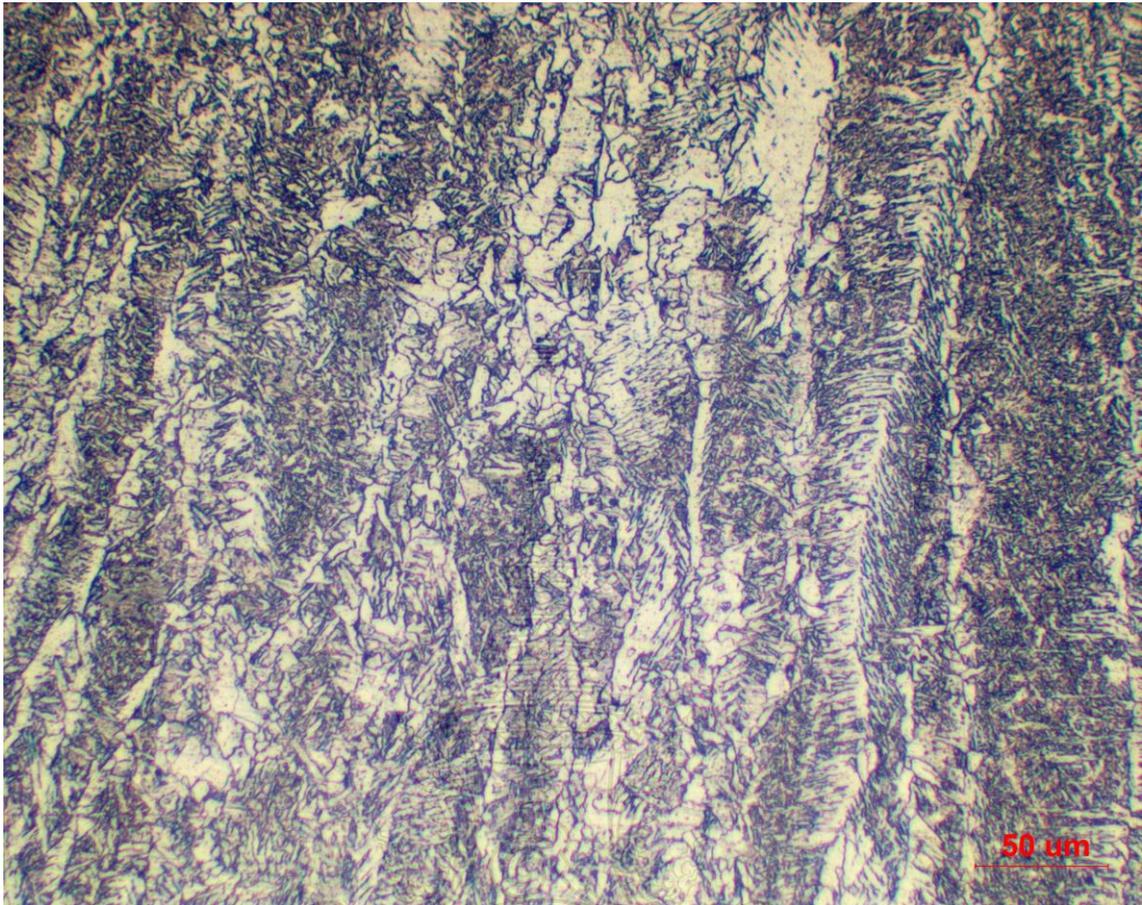


รูปที่ ก-1 โครงสร้างจุลภาคโลหะฐาน SPH 590 ขนาด 2.9 mm.



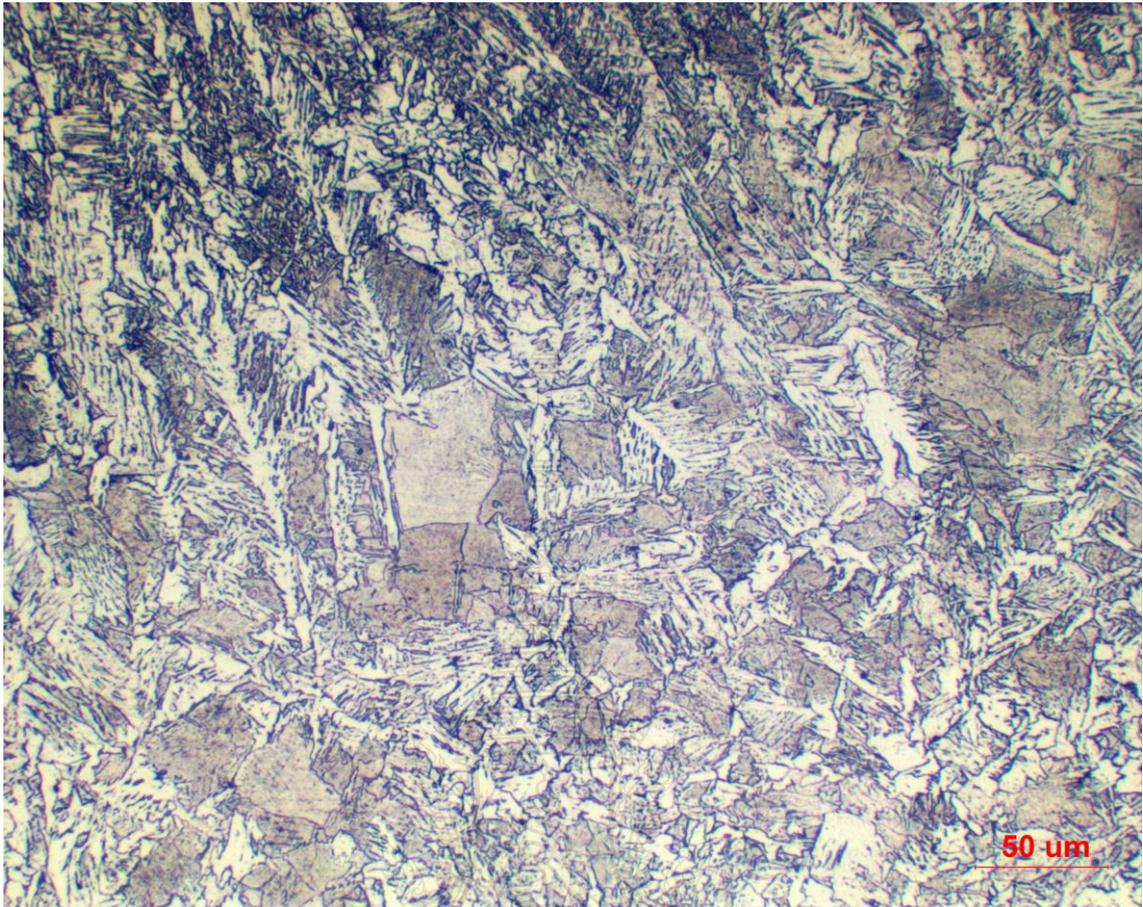
รูปที่ ก-2 โครงสร้างจุลภาคโลหะฐาน SPH 590 ขนาด 3.2 mm.





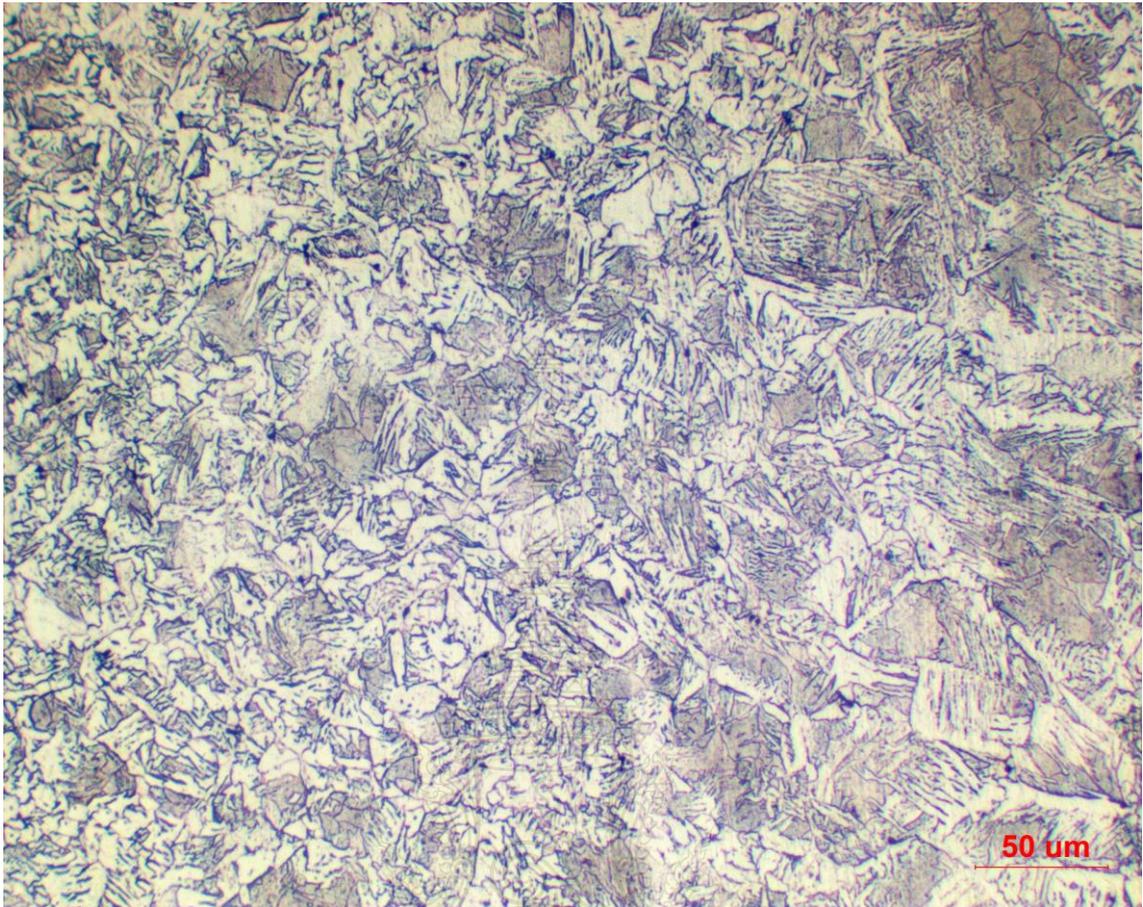
รูปที่ ก-3 โครงสร้างจุลภาคโลหะเต็ม SPH 590 WM .





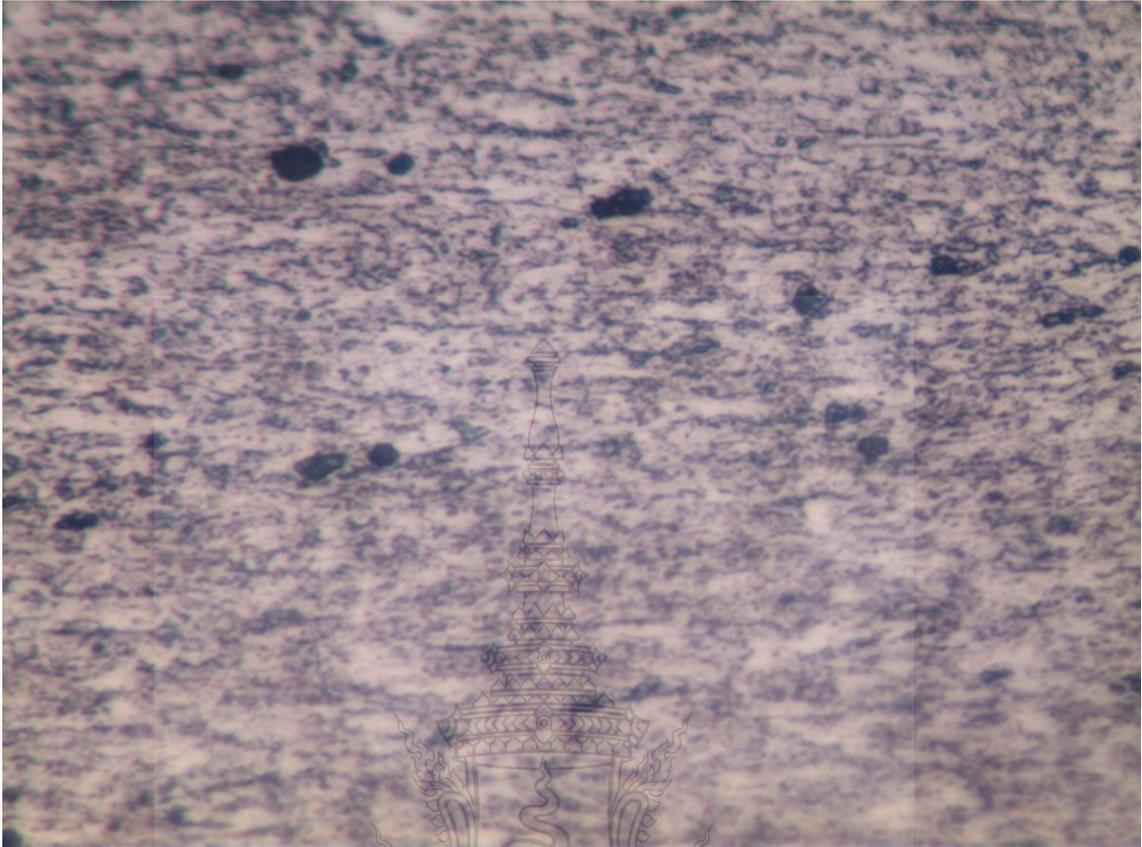
รูปที่ ก-4 โครงสร้างจุลภาค SPH 590 HAZ Thickness 2.9 mm.





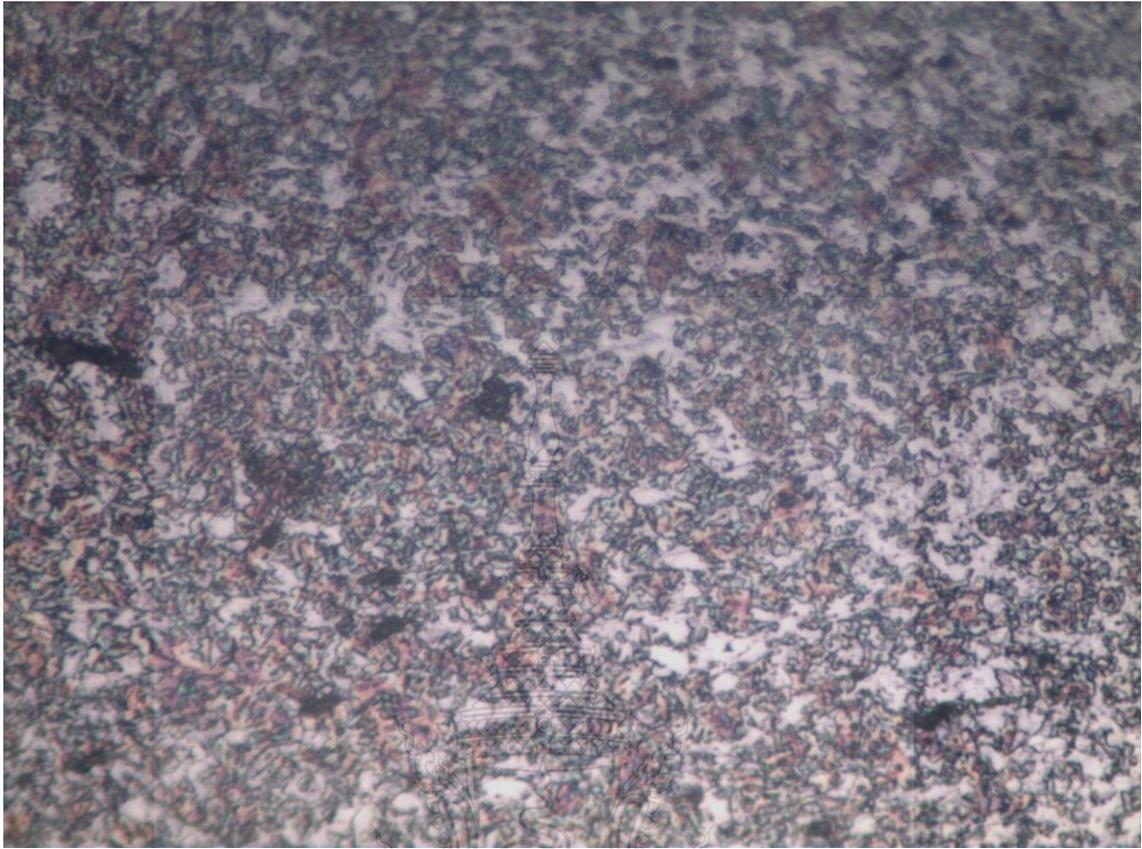
รูปที่ ก-5 โครงสร้างจุลภาค SPH 590 HAZ Thickness 3.2 mm.





รูปที่ ก-6 โครงสร้างจุลภาค SPH 590 Interface 2.9 mm.





รูปที่ ก-7 โครงสร้างจุลภาค SPH 590 Interface 3.2 mm.

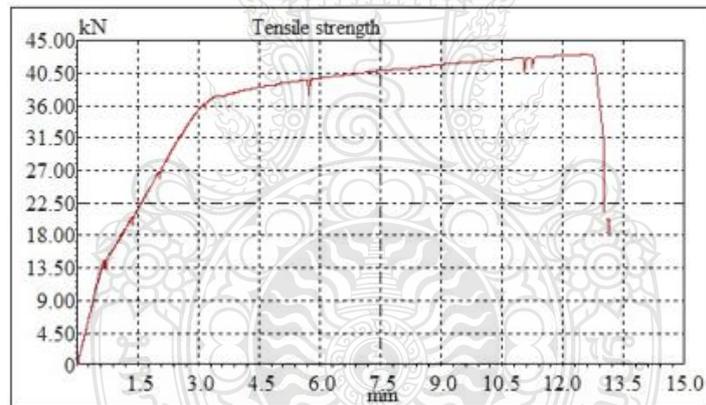


ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงตัดจากเครื่องทดสอบ



260A GAP 1.00 mm.

| Test No. | Test date  | Area<br>mm <sup>2</sup> | Max. Load<br>kN | Tensile strength<br>N/mm <sup>2</sup> | Yield point<br>kN | Yield strength<br>N/mm <sup>2</sup> | Elongation<br>% |
|----------|------------|-------------------------|-----------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------|
| 1        | 2024-04-09 | 71.50                   | 43.06           | 602.25                                | 26.81             | 374.96                              | 12              |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |
| ---      | ---        | ---                     | ---             | ---                                   | ---               | ---                                 | ---             |



รูปที่ ก-8 กราฟที่ได้จากเครื่องทดสอบแรงดึง SPH 590

ภาคผนวก ข  
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



ISBN (e-book): 978-616-421-139-1



RANGSIT UNIVERSITY

**เอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 11  
ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2564**

**"Research Progress on Inventing Cannabis-Based Products"  
วันที่ 30 เมษายน 2564**

แพทยศาสตร์ เกษษศาสตร์ เทคนิคการแพทย์ และวิทยาศาสตร์การแพทย์  
ทันตแพทยศาสตร์ และ ทัศนมาตรศาสตร์  
แพทยทางเลือก และสมุนไพร  
วิศวกรรมชีวการแพทย์  
วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม นวัตกรรมเกษตรและเทคโนโลยีอาหาร



## MESSAGE FROM THE VICE PRESIDENT FOR RESEARCH



It is our pleasure to welcome you to the **6th RSU International Conference 2021** held online at **Rangsit University**, Thailand. A major goal and feature of it are to bring academic scientists, engineers, and Social Science and Humanity researchers together to exchange and share their experiences and research results on most aspects of science and social research and discuss the practical challenges encountered and the solutions adopted. Today, two conferences are powered by Rangsit University; first, Science and Technology Conference the other one is the conference for Social Science and Humanity, Education, Management, and Arts.

This is an exciting time for all researchers who require the exchange of thought and ideas under the difficulty of the COVID-19 pandemic situation. The RSU International and national Conferences were held and designed to overcome the rising of this severity. The conference organizers adopted a virtual format since last year when the pandemic had just started. This year, again, we have decided to organize the event via the Zoom platform. We confidently organize this meeting and successfully overcome the barrier of the spread of the virus.

Significant Keynote, Invited speakers, and participants are coming from all around the world, namely **USA, Sweden, China, Japan, Singapore, Philippines, Malaysia, Bangladesh, Brunei Darussalam, Vietnam, Lao, and Thailand**

Six countries are represented in the final program. The number of 205 presenters at the International Conference is also highly gratifying, showing the high level of international interest in the Conference. They are from China, India, Malaysia, Philippines, Taiwan, and Thailand. Whist the national conference presenter is 70 from 22 universities in Thailand. They are from **Chulalongkorn University, Civil Aviation Training Center, Thammasat University, Huachiew Chalermprakiet University, Kasetsart University, Kasem Bundit University, Khon Kaen University, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Mahidol University, Prince of Songkla University, Rajabhat Rajanagarindra University, Rajamangala University of Technology Krungthep, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Ramkhamhaeng University, Silpakorn University, Siam University, Srinakharinwirot University, Sripatum University, Sukhothai Thammathirat Open University, Suranaree University of Technology, and Rangsit University**



Proceedings of RSU Research Conference 2021  
Published online: Copyright © 2016-2021 Rangsit University



Special acknowledgment goes to Asst. Prof. Dr. Surang Leelawat, a well-known researcher in the field of Ganja. Her lecture is "New Normal for Ganja Research after COVID-19." This lecture provides information on the research progress of Ganja at Rangsit University. Also, many professors have been invited as the Keynotes and invited speakers to share their novel findings against the COVID-19. The program was chaired professionally and efficiently by the session chairpersons who were selected for their international standing in the subject.

The success of the conference is due to the collective efforts of everyone involved. I would like to pay grateful times to the members of the organizing committees whose contributions greatly making this online conference of its kind a reality and to the Co-organizing Society namely, **Thai Association for Medical Instrumentation, Thai Biomedical Engineering Association, Council Of Engineers Thailand (COET), Thai-Chinese Commerce Association** for their additional generosity in supporting.

I would like to thank the members of the program committees and reviewers who have worked very hard in reviewing papers and making valuable suggestions for the authors to improve their work. I also would like to express our gratitude to the internal and external reviewers for providing extra help in the reviewing process and the authors for contributing their research results to the conference.

Many thanks go as well to all of the authors who provide the high quality of manuscripts included in the Proceedings published by Rangsit University. I also express our sincere thanks to the conference staff for their hard work.

Finally, I hope all members will have a technically rewarding experience, use this occasion to meet new friends and new interactions that will result in a solid framework, and continue to pave the way for the next conference held by Rangsit University. With your support and participation, the conference will continue its success. Thank you very much.

With very best wishes

**Nares Pantaratorn, Ph.D.**  
**Vice President for Research**  
**Rangsit University**





## รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ งานประชุมวิชาการระดับชาติ 2564 สายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| น. อ. ศศ. ปัญญาธิภักดิ์ โทศลวัฒน์  | โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช        |
| รศ. น.ภ. ธนินท์รัฐ สิกธิเวชธนาศิริ | โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช        |
| ผศ. ดร. จีรวรรณ เตียรทัฬหวรรณ      | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี          |
| ผศ. ดร. มารศรี เรืองจิตชัยวาลย์    | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี          |
| ผศ. ดร. เบลญงพร เสืออนันตวงศ์      | มหาวิทยาลัยมหิดล                               |
| รศ. ดร. สงกรานต์ วัชรยศศาสตร์      | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     |
| รศ. ดร. อรอนงค์ พริ้งสุลกะ         | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ                     |
| ผศ. ดร. อพิษา จินดาประเสริฐ        | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ศ. ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| รศ. ดร. กาญจนา สุริยะพรหม          | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| รศ. ดร. ปณิธิ เมตตินันท์           | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| รศ. ดร. พิณิจ งามสม                | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| รศ. ดร. วณิดา พงศ์สถาพร            | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ส.ด. หญิง ดร. วรณี ศุภสาตร     | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ดร. ดวงฤทัย ศรีแดง             | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ดร. ธนวรรณ อัครไพฑูริย์        | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ดร. พิพัฒน์พงศ์ วัฒนวันยู      | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ดร. พิภพอุไร สัมปพันธ์         | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ดร. วิลาภา เวสิมวงศาเวช        | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ดร. วุฒิพงษ์ ฮินศรี            | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ดร. สมชาย เล็กเจริญ            | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ดร. สุมาลย์ ปานคำ              | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ทญ. ดร. ปิยะบุษ ภรรณสุด        | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ทพ. ดร. ตฤย์ ศรีอัมพร          | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ทญ. จีร์กัญญา ศรีหัตถชาติ      | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ทญ. สีดา ถาวรนันท์             | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ทญ. อุมาพร วันลภักดีพงศ์       | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| พญ. ดร. สุปราณี เบ็ญจสุพัฒน์นันท์  | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. นิศากร จุลรักษา                | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ศิริวรรณ วาลุกชี               | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. ศิลปชัย วัฒนเสย                | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| ผศ. สมศักดิ์ เข็้อชัยนาสัย         | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| อ. ดร. ธเนศ โสภณนิธิประเสริฐ       | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| อ. ดร. นิศากร สมสุข                | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| อ. ดร. พิมพ์ิณี เข็ยมละอาด         | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| อ. ทญ. ญาดา อนันตวัฒน์             | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| อ. ทญ. หทัยชนก เจริญพงศ์           | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| อ. ทพ. วิวัฒน์ เดโชศิลป์           | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |
| อ. ทพ. สรวิชัย เสิศชาติพงษ์        | มหาวิทยาลัยรังสิต                              |



## สารบัญ (ต่อ)

| NA: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ต่อ) |  | หน้า    |
|-----------------------------------|--|---------|
| NA21-059                          | การพัฒนาต้นแบบระบบช่วยควบคุมสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโตของกุ้งก้ามกราม : หนัสชัย ศรีบำรุง* นรินทร์ จีระนันตสิน กรวิภา จิระวีรุศมกุล และ สุรชาติ ปัญญา  | 78-89   |
| NA21-058                          | การศึกษาเปรียบเทียบการจำแนกประเภทข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยการเรียนรู้เชิงลึก สำหรับข้อมูลคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มีสิ่งแปลกปนโดยใช้ข้อมูลอ้างอิง : ณัฐรัชช บวรมงคลศักดิ์* และ อัครินทร์ ไทบุญญานิช | 90-99   |
| NA21-018                          | การพัฒนาต้นแบบเครื่องดูแลพืชแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับผู้ที่มีพื้นที่จำกัด ด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง : บิสิวัฒน์ จุลเกษมศักดิ์* นรินทร์ จีระนันตสิน และ หนัสชัย ศรีบำรุง                       | 100-110 |
| NA21-026                          | การเปรียบเทียบวิธีบุคลากรในการประมาณช่วงความเชื่อมั่นของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเชิงเส้นที่มีมิติสูง : ภูวกร นิธิสนธิกุล* และ วิรุรา พึ่งพวงษ์  | 111-121 |
| NA21-071                          | การออกแบบและสร้างคาเผ่าถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้า (ขี้เถ้าขางหม่น) : ปริญญญา บุญมหาเลิศ และ ทิพนันท์พงศ์ วัฒนวินัย*  | 122-135 |
| NA21-016                          | การศึกษาปัจจัยเพื่อวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงอุทกภัย กรณีศึกษาชุมชนน้ำนองคอนด่าง : พชรพรรค์ ทรมทลว* และ ทิพนันท์ สอนวงษ์   | 136-147 |
| NA21-030                          | อิทธิพลกระแสเชื่อมโลหะโดยใช้ก๊าซแม่เหล็ก ( MAG ) ต่อสมบัติของรอยต่อเกลยเหล็กกล้า SPH590 : อานนท์ เขียรประ โคน* และ กิตติพงษ์ กิมะหงษ์  | 148-154 |
| NA21-060                          | การหาขนาดการผิติดที่เหมาะสมเพื่อลดของเสียจากการปรับตั้งเครื่องจักร: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมพลาสติกเป่าใช้ใหม่ : ศิลาปชัย วัฒนเสธ* และ พิชญ มนต์ปิติ  | 155-164 |



## อิทธิพลกระแสเชื่อมโลหะโดยใช้ก๊าซแอคทีฟ (MAG) ต่อสมบัติของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590

### Effect of Metal Active Gas (MAG) Welding Current on SPH590 Steel Lap Joint Properties

อานนท์ เชียรประโคน\* และ กิตติพงษ์ กิมพงษ์

Anon Cheinprakhon\* and Kittipong Kimapong

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

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

\*Corresponding author, E-mail: anon\_c@mail.rmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลกระแสเชื่อมโลหะโดยใช้ก๊าซแอคทีฟ (MAG) ที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อเกยเหล็กกล้า SPH590 รอยต่อที่ได้จากการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 200,220,240 และ 260 แอมแปร์ถูกนำไปทำการศึกษาค่าความแข็งแรงดึง ความแข็ง และโครงสร้างมหัพภาคของรอยต่อ ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ กระแสเชื่อมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดความแข็งแรงดึงสูงสุด 619 เมกะปาสกาล คือ กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ การเพิ่มกระแสเชื่อมส่งผลทำให้การหลอมลึกเพิ่มขึ้น ความแข็งของโลหะเชื่อมลดลง และความแข็งแรงดึงของรอยต่อลดลง การลดลงของค่าความแข็งแรงเมื่อใช้กระแสเชื่อมที่มีค่าสูงสามารถทำให้เกิดการเพิ่มค่าความแข็งแรงครากและมอดูลัสยืดหยุ่นซึ่งอาจมีประโยชน์ในการออกแบบโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นได้ต่อไป

คำสำคัญ: การเชื่อมแมก, กระแสเชื่อม, เหล็กกล้า

#### Abstract

An objective of this research was to study an effect of Metal Active Gas (MAG) Welding Current on SPH590 steel lap joint properties. The joints that were produced by a welding current of 200,220,240 and 260 A were investigated for tensile strength, hardness and macrostructure of the joint. The experimental results were as follows The optimized welding current that produced the maximum tensile strength of 619 MPa was the welding current of 200 A. An Increase of the welding current resulted in an increase of the weld penetration, a decrease of the weld hardness, and a decrease of the tensile strength of the joint. When the higher welding current was applied, a Decrease of the joint hardness could increase the yield strength and the modulus elasticity of the joint that might be useful for the flexible structure design.

**Keywords:** MAG welding, Welding current, steel



## 1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตมีกรรมนำโลหะหลายชนิดเข้ามาเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างเพื่อใช้ข้อดีของโลหะแต่ละชนิดมาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถรับแรงที่กระทำอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ การเชื่อมต่อโลหะสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การเชื่อมด้วยวิธีทางกล (Mechanical joining) การติดยึดด้วยกาว (Adhesive) หรือการเชื่อม (Welding) เป็นต้น กรรมนำวัสดุแต่ละชนิดเข้ามาใช้งานเพิ่มมากขึ้นเพื่อเป็นการลดราคาค่าใช้จ่าย และเหตุผลทางด้านความปลอดภัยทางวิศวกรรม อย่างไรก็ตามในงานอุตสาหกรรมทั่วไป โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ว่าการเชื่อมเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมาใช้ในการเชื่อมมากที่สุด (Barnes & Pashby, 2000) หนึ่งในกระบวนการเชื่อมที่นิยมนำมาใช้ในการประกอบชิ้นส่วน คือ กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas metal arc welding: GMAW) ที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide: CO<sub>2</sub>) เป็นแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การเชื่อมเม็ก (Metal active gas welding: MAG welding) อย่างไรก็ตามการเชื่อมวัสดุต่างชนิดกันเกิดขึ้นได้ค่อนข้างยากเนื่องจากวัสดุทั้งสองนั้นมีสมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางเคมีที่แตกต่างกันส่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ขึ้นในเวลาทำการเชื่อม เช่น การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal expansion) จุดหลอมเหลว (Melting temperature) ที่แตกต่างกัน (Brandon & Kaplan, 1997) ด้วยเหตุนี้การเลือกวิธีการเชื่อมจึงต้องพิจารณาด้วยความสะดวก เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ การเชื่อมเม็กเป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม สามารถทำการเชื่อมได้รวดเร็วและต่อเนื่องประหยัดเวลาในการทำความสะอาดเพราะไม่มี (Slag) ปกคลุมแนวเชื่อม (สุวัฒน์ สุภา และกิตติพันธ์ กิมะพงศ์, 2554) และเป็นกระบวนการเชื่อมที่มีคุณภาพสูง นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามการศึกษาค้นคว้าผลกระทบเกี่ยวกับตัวแปรการเชื่อมเม็กที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อเชื่อมเหล็กกล้า SPH590

งานวิจัยผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดในการประยุกต์กระบวนการเชื่อมโดยใช้แก๊สเม็กทีฟ (MAG) ในการเชื่อมรอยต่อเชื่อมเหล็กกล้า SPH590 ซึ่งเป็นรอยต่อเชื่อมเหล็กกล้าที่มีการใช้วงแหวนหลายในการประกอบรถยนต์ ซึ่งกระบวนการเชื่อมเม็กนี้สามารถทำให้ได้งานโครงสร้างที่มีความแข็งแรง ทำให้เกิดแนวเชื่อมคุณภาพสูง มีความเร็วในการเชื่อมสูง ประหยัดเวลา และเป็นกระบวนการเชื่อมที่มีการทำความสะอาดหลังจากการเชื่อมน้อยมาก รอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อมแตกต่างกันจะดูกันภายใต้การวิเคราะห์ความแข็งแรงของรอยต่อ โครงสร้างมหภาค โครงสร้างจุลภาค เพื่อทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบในการหาว่ากระแสเชื่อมเม็กที่เหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อเชื่อมต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลกระแสเชื่อมโดยใช้แก๊สเม็กทีฟ (MAG) ที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อเชื่อมเหล็กกล้า SPH590 รอยต่อที่ได้จากการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 200-260 แอมแปร์



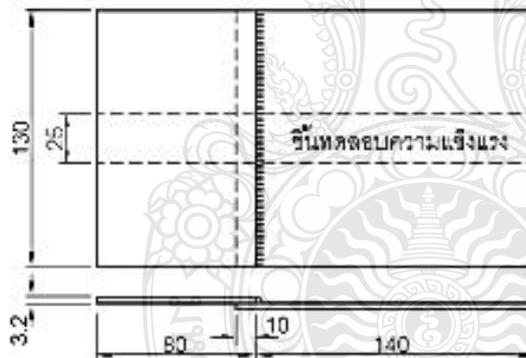
### 3. อุปกรณ์และวิธีการ

เหล็กกล้า SPH590 ซึ่งมีส่วนผสมดัง ตารางที่ 1 ถูกใช้เป็นวัสดุทดลองในงานวิจัยนี้ แผ่นเหล็กกล้ารีดร้อนที่มีขนาดความหนา 2.9 และ 3.2 มิลลิเมตร ถูกทำการตัดให้มีรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตร และยาว 220 มิลลิเมตร ก่อนทำการประกอบเป็นรอยต่อแบบดัง รูปที่ 1 a. กำหนดให้แผ่นความหนา 3.2 มิลลิเมตรวางอยู่บนแผ่นความหนา 2.9 มิลลิเมตร ที่ระยะ 10 มิลลิเมตร รอยต่อถูกประกบแน่นในอุปกรณ์การจับยึดก่อนทำการเชื่อม

กระบวนการเชื่อมเม็กที่ใช้ในการทดลองกำหนดให้กระแสเชื่อม 200-260 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที สวิตช์เชื่อมที่ใช้ในการเชื่อม คือ สวิตช์เชื่อม MG50 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 หัวเชื่อมMAG ถูกใช้ขึ้นและควบคุมการเคลื่อนที่ผ่านหุ่นยนต์เชื่อม OTC Daibon FD-B4L ซึ่งมีลักษณะดัง รูปที่ 1 b. แก๊สที่ใช้ปกคลุมคือ แก๊ส CO<sub>2</sub> ที่มีอัตราการไหล 20 ลิตรต่อนาที มีือเชื่อมถูกกำหนดให้ที่มุม 45 องศาับรอยต่อและปลายสวิตช์เชื่อมถูกกำหนดให้ทำการอาร์กที่ตำแหน่งระยะห่างจากมุมของรอยต่อเท่ากับ 0.0 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า SPH590 (wt%)

| Materials | Fe   | C     | Si    | P     | S     | Al    | Ni    | Cr    | Mo    | Ti    | Nb    |
|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SPH90     | Bal. | 0.080 | 1.11  | 0.640 | 0.030 | 0.012 | 0.040 | 0.009 | 0.050 | 0.005 | 0.009 |
| MG50      | Bal. | 0.040 | 0.730 | 0.010 | 0.230 | 0.010 | -     | -     | -     | 0.111 | -     |



a. Schematic of lap joint.



b. Welding robot.

รูปที่ 1 การผลิตถังนาเชื่อม

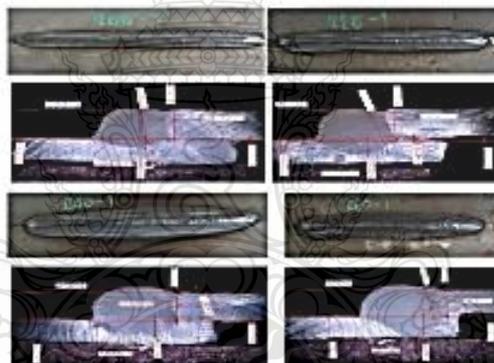
การทดสอบความแข็งแรงดึงเริ่มต้นถูกดำเนินการเพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด ความสามารถในการยึดตัวของรอยต่อ และรูปแบบการแตกของรอยต่อ โดยการทำการทดสอบความแข็งแรงของชิ้นทดสอบที่มีลักษณะดัง รูปที่ 1 a. โดยการใช้เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงดึง Gotech รุ่น GT-700-LAC 50



การตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยาแบ่งการตรวจสอบออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macrostructure) และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ขึ้นงานที่ได้ถูกตัดขวางทิศทางการเดินแนวเชื่อมแล้วนำมาทำการเตรียมพื้นผิวด้วยกระดาษทรายและขัดละเอียดด้วยผงสุตรเคมี ก่อนทำการกัดพื้นผิวด้วยสารละลายเพื่อแสดงรายละเอียดของ (Phase) และ (Grain) ในแนวเชื่อม

ความแข็งของรอยต่อถูกทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ส (Micro-Vickers hardness test) ด้วยแรงกด 100 กรัมแรง (Gram-force: gf) และเวลาในการกดแช่ 10 วินาที ที่ตำแหน่งโลหะฐาน (Base metal) พื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) และโลหะเชื่อม (Weld metal) ในพื้นที่ต่าง ๆ ได้ทำการทดสอบและหาค่าเฉลี่ยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและความแข็งแรงตลอดจนตำแหน่งการตักของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึง

#### 4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

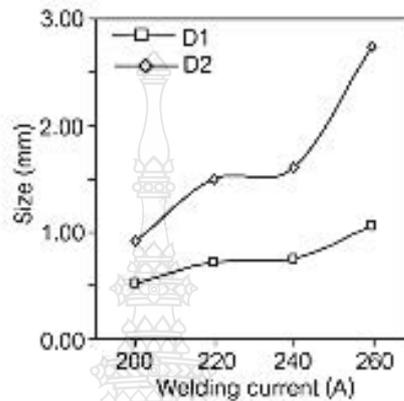


รูปที่ 2 ที่เสี้ยวหน้าแนวเชื่อมและ โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 220-260 A

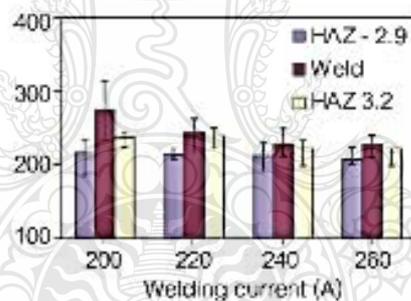
พื้นผิวหน้าแนวเชื่อมและ โครงสร้างมหภาคของ รอยต่อที่ผ่านการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 220-260 A แสดงดังรูปที่ 2 ผลการตรวจสอบพบว่าในการใช้กระแสเชื่อมทั้งหมด พื้นผิวหน้าแนวเชื่อมได้พื้นผิวแนวเชื่อมสมบูรณ์ ไม่พบจุดบกพร่องใด ๆ เช่น รูพรุน การกัดขอบ หรือการหลอมไม่สมบูรณ์บนพื้นผิวหน้าแนวเชื่อม ขณะเดียวกัน โครงสร้างมหภาคของรอยต่อแสดงโลหะเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ไม่พบจุดบกพร่องใด ๆ เช่น เคียวกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการหลอมลึก (Penetration) ของโลหะเชื่อมเข้าสู่แผ่นด้านบน หรือระยะ D1 และการหลอมลึกของโลหะเชื่อมเข้าสู่แผ่นด้านล่าง หรือระยะ D2 พบว่ากระแสเชื่อมที่มีค่าสูงส่งผลทำให้โลหะเชื่อมเกิดการหลอมลึกสูงสู่โลหะฐานของรอยต่อได้ดี และเมื่อเปรียบเทียบกับระยะการหลอมลึกเข้าสู่แผ่นด้านบนและล่างของรอยต่อ โลหะเชื่อมมีความสามารถในการ



การหลอมเชื่อมสูงสัโลหะแผ่นล่างได้ดีกว่าดัง รูปที่ 3 การหลอมเชื่อมที่เพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นนี้คล้ายดังการเกิดขึ้นในการเชื่อมรอยต่อขนะระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม 430 (ศักดิ์ชัย จันทร์ และคณะ, 2555)

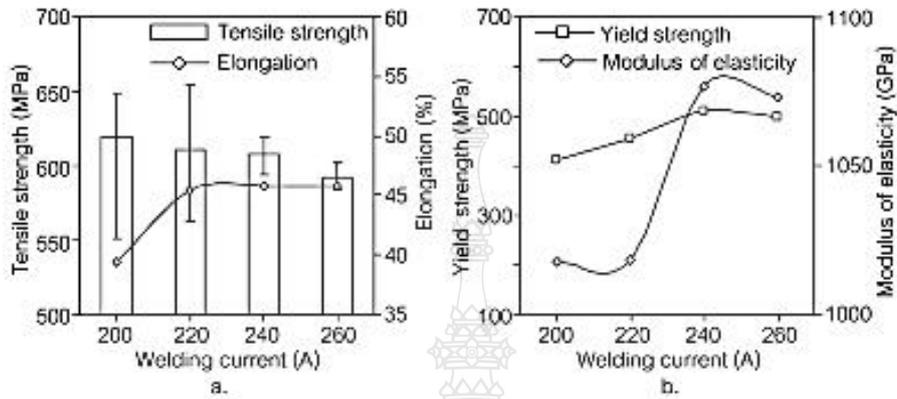


รูปที่ 3 ภาพหลอมเชื่อมของโลหะเชื่อม



รูปที่ 4 ความแข็งของข้อต่อที่เชื่อมจากการเชื่อมของ 200-260 A.

ชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างมีขนาดเล็กลงนำไปทำการตรวจสอบความแข็ง 3 ตำแหน่งประกอบด้วยพื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ของแผ่นเหล็กกล้าความหนา 2.9 มิลลิเมตร (HAZ-2.9) พื้นที่กระทบร้อนของแผ่นเหล็กกล้าความหนา 3.2 มิลลิเมตร (HAZ-3.2) และโลหะเชื่อม (Weld) และได้ผลการทดสอบดัง รูปที่ 4 ค่าความแข็งของพื้นที่กระทบร้อนและโลหะเชื่อมมีแนวโน้มลดลงเมื่อกระแสเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าความแข็งนี้มีค่าสูงกว่าความแข็งของโลหะฐานที่มีค่าความแข็งประมาณ 230 HV เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะค่าความแข็งของพื้นที่กระทบร้อนในโลหะฐานทั้งสองด้านพบว่า ค่าความแข็งของแผ่นเหล็กหนา 3.2 มิลลิเมตรแสดงค่าความแข็งของชิ้นงานที่มีค่าสูงกว่าแผ่นเหล็กหนา 2.9 มิลลิเมตร



รูปที่ 5 ผลการทดสอบความต้านแรงดึง

ขึ้นทดสอบความแข็งแรงดึงสูงนำไปที่การทดสอบความแข็งแรงและแสดงผลการทดสอบดัง รูปที่ 5 a. ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ 619 MPa ที่กระแส 200A และความสามารถในการยึดตัวของรอยต่อมีค่าแนวโน้มลดลงเมื่อกระแสเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น การทดสอบความแข็งแรงทุกสภาวะในการทดสอบนี้ การพิจารณาของขึ้นทดสอบเกิดขึ้นนอกแนวเชื่อมที่ลำแขนงโลหะฐานด้านแผ่นเหล็กบนที่มีความหนา 3.2 มิลลิเมตร ดัง รูปที่ 6 ระยะเวลาว่างระหว่างลำแขนงการเชื่อมขาดกับแนวเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น ผลการทดลองที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงที่ลดลงเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นนั้น มีแนวโน้มที่สามารถกล่าวได้ว่า กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นนั้นสามารถทำให้โลหะเชื่อมและรอยต่อมีค่าความแข็งแรงลดลง และส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าลดลง แต่ค่าความสามารถในการยึดตัวของรอยต่อมีค่าเพิ่มขึ้นดัง รูปที่ 5 a. การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงดึงและความสามารถในการยึดตัวเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงแรงกร (Yield strength) และค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ดัง รูปที่ 5 b. พบว่ากระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้ได้โครงสร้างรอยต่อที่มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นได้ จนถึงกระแสเชื่อมที่ 243A จะพบว่า โครงสร้างของรอยต่อมีความยืดหยุ่นลดลง



รูปที่ 6 ตำแหน่งการแตกหักของชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่กระแสเชื่อมของ 200-260 A.



### 5. สรุปผลและเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมโดยใช้แก๊สเฉื่อย (MAG) ที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อของเหล็กกล้า SPH590 รอยต่อแบบที่ได้อาจการเชื่อมถูกนำไปทำการทดสอบความแข็งแรงดึง ตรวจสอบโครงสร้างภาค และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เพื่อทำการเปรียบเทียบหากระแสเชื่อมที่เหมาะสม ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้

- ตัวแปรการเชื่อมที่ทำให้ได้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 619 MPa คือ กระแสเชื่อม 200 แอมแปร์ และความเร็วเดินแนวเชื่อม 80 มิลลิเมตรต่อนาที
- กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้การหลอมลึกของโลหะเชื่อมสูงขึ้น งานรอยต่อของเหล็กกล้าที่เพิ่มขึ้น และส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของโลหะเชื่อม และพื้นที่ที่กระทบร้อนมีค่าลดลง
- ความแข็งที่มีค่าสูงเมื่อใช้กระแสเชื่อมต่ำส่งผลทำให้เพิ่มความแข็งแรงดึงแต่ลดความสามารถในการยึดตัว และส่งผลให้ค่าเหนียวการหักงอของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงเลื่อนออกจากพื้นที่การเชื่อม
- กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้รอยต่อของเหล็กกล้า SPH590 มีความแข็งแรงคราก และมอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เหมาะสำหรับการออกแบบโครงสร้างที่ต้องการความยืดหยุ่นสูง

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ ที่ให้การช่วยเหลือในการวิจัย

### 7. เอกสารอ้างอิง

กัณฑ์ชัย จันทศรี, สุวัฒน์ ตริยวงษ์พงศ์, กิตติพงษ์ กิมะพงษ์, และ สุวัฒน์ ภูธา. (2555). การประยุกต์การเชื่อมมิกในการต่อชนแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 และแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555 17-19 ตุลาคม 2555 ๒๕๐1 เทชบุรี

สุวัฒน์ ภูธา, และ กิตติพงษ์ กิมะพงษ์. (2554). ยึดยึดโลหะไร้สนิมที่เชื่อมมิกที่มีผลต่อสมบัติของรอยต่อชนเหล็กกล้า SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 430. การประชุมช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี 2554 20-21 ตุลาคม 2554 โรงแรมแอมบาสเตอร์ซีดี ซอยเกษมพิทยา จ.ชลบุรี

Barnes, T. A., & Pashby, I. R. (2000). Joining techniques for aluminium spaceframes used in automobiles: Part I—solid and liquid phase welding. *Journal of materials processing technology*, 99(1-3), 62-71.

Brandon, D., & Kaplan, W.D. (1997). *Joining Processes, An introduction*. New York. John Wiley&Sons.



**ติดต่อ**

**สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต**

**Tel: 02 791 5686-5692**

**Fax: 02 791 5689**

**rsuconference@rsu.ac.th**



**<https://rsucon.rsu.ac.th>**



## ประวัติผู้เขียน

|                  |  |
|------------------|--|
| ชื่อ - สกุล      | นายอานนท์ เขียรประโคน  |
| วัน เดือน ปีเกิด | 18 ตุลาคม 2529   |
| ที่อยู่          | 15 หมู่ 1 ตำบล โคกย่าง อำเภอ ประโคนชัย<br>จังหวัด บุรีรัมย์ 31140                                      |
| การศึกษา         | ปริญญาตรี เทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี |
| ประสบการณ์ทำงาน  | ตำแหน่ง Junior Supervisor Robotman บริษัททาเคเบะไทยแลนด์<br>พ.ศ. 2556-2567                             |
| เบอร์โทรศัพท์    | 08-9655-5328   |
| อีเมลล์          | arnon_c@mail.rmutt.ac.th<br>cheinprakhon2529@gmail.com   |

