การศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของรอยเชื่อมเหล็กกล้าโครงสร้าง SS400

Study the Mechanical Properties and Metallurgical of Structural Steel SS400 Weld Metal

เดช เหมือนขาว[1,*] ยงยุทธ ดุลยกุล[2] ชัยยุทธ มีงาม[3] และวรวิทย์ ศรีวิทยากูล[4]

[1,2,4] *สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา*

[3] *โปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จ.สงขลา*

**Corresponding author; E-mail address: dechmaunkhaw@yahoo.com*

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของรอยเชื่อมเหล็กกล้าโครงสร้าง SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ กระบวนการเชื่อมแบบMIG/MAG และกระบวนการเชื่อมไส้ฟลักซ์ ใช้เหล็กกล้าโครงสร้าง SS 400 เป็นชิ้นงานและเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M : 2006 ทำการทดสอบสมบัติทางกลและตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา ผลการวิจัยพบว่า เนื้อเชื่อมจากกระบวนการเชื่อมทั้ง 3 วิธีการ จะให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่แตกต่างกัน โดยกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์จะให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงมากที่สุดที่ 680.86 MPa และจะให้ค่าเฉลี่ยความแข็งได้มากที่สุดที่ 198.3 HV ส่วนกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ จะให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงได้น้อยสุด 565.02 MPa โดยมีค่าเฉลี่ยความแข็งน้อยสุดที่ 183.4 HV ผลสรุปกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์จะให้ผลของการเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าโครงสร้าง SS 400 ซึ่งจะเป็นแนวทางในการเลือกกระบวนการเชื่อมสำหรับการนำไปใช้งานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสม

คำสำคัญ: : กระบวนการเชื่อม, สมบัติทางกล, โครงสร้างทางโลหะวิทยา, รอยเชื่อม, เหล็กกล้าโครงสร้าง SS400

Abstract

This research was made for the investigation of mechanical properties and metallurgical of structural steel SS400 weld metal by shielded metal arc welding process, mig/mag welding process and flux core arc welding process. The structural steel SS 400 was as work product prepared following the standard of AWS D1.1/D1.1M:2006. The metallurgical structure was inspected, mechanical property. The results showed that welding weld metal from 3 processes gives the most value of tensile strength are different. The flux core arc welding process to the mean of tensile strength is 680.86. MPa and the mean of maximum hardness equal 198.3 HV, the shielded metal arc welding processes to the mean of tensile strength are 565.02 MPa and the mean of minimum hardness at 183.4 HV. The results process of welding by flux core arc welding processes the result of a suitable structural steel SS400 welding and the use in the selections of the welding process for the most usability efficiently.

Keywords: Welding Process, Mechanical Properties, Metallurgical, Weld Metal, Structural Steel SS400

1. บทนำ

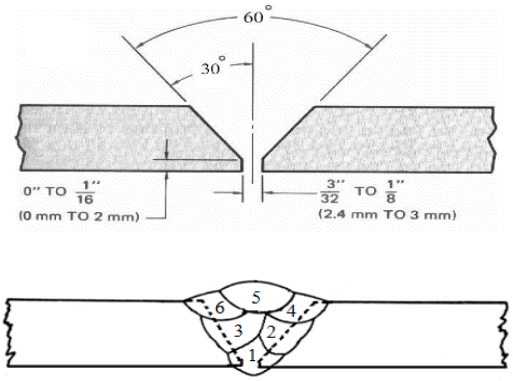
ปัจจุบันกระบวนการเชื่อมโดยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux Cored Wire Arc Welding: FCAW) และกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW; MIG/MAG) เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมชนิดใหม่ที่ถูกนำมาใช้แทนกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal Are Welding: SMAW) [1] กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) เป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่อดีตอันเนื่องมาจากสามารถทำงานได้ง่าย อุปกรณ์ราคาถูก แต่ต้องใช้ความชำนาญและความสามารถเฉพาะตัวของช่างเชื่อมสูง เวลาในการดำเนินการนาน และต้องมีการควบคุมปริมาณ Hydrogen ที่เกิดจากฟลักซ์อย่างเคร่งครัด เพราะมีผลต่อต่อการแตกร้าวของเนื้อเชื่อมและ อิทธิพลทางความร้อน (HAZ) ซึ่งเป็นจุดสำคัญที่ทำให้เกิดการชำรุดของชิ้นงาน ด้วยเทคโนโลยีการเชื่อมสมัยใหม่ในปัจจุบัน กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW; MIG/MAG) และกระบวนการเชื่อมโดยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (FCAW) กำลังเป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน อันเนื่องมาจากสามารถทำงานได้เร็วกว่า ควบคุมปริมาณ Hydrogen ได้ดีกว่าการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ และอาศัยความชำนาญของช่างเชื่อมน้อยกว่า การเลือกใช้ก๊าซปกคลุมที่เหมาะสม และตัวแปรการเชื่อมอื่นๆ (Welding Parameters) เช่น กระแสเชื่อม แรงดันเชื่อม ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม และอัตราการไหลของก๊าซปกคลุมที่เหมาะสม (Flow Rate, l/min) จะส่งผลถึงคุณภาพทางกลของเนื้อเชื่อมเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ชนิดของการส่งถ่ายน้ำโลหะ (Metal Transfer) แบบต่างๆเช่น แบบลัดวงจร (Short Circuit) หรือแบบพ่น (Spray Arc Transfer) และกระแสเชื่อมแบบพัลส์ (Pulse Arc) ก็ส่งผลถึงการซึมลึก (Penetration) ความสวยงาม (Bead Appearance) และคุณภาพทางกลของเนื้อเชื่อมด้วย แต่กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW; MIG/MAG) และกระบวนการเชื่อมโดยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (FCAW) จะมีความซับซ้อนกว่าในแง่เครื่องมือและ

อุปกรณ์ กระบวนการเชื่อมแบบ FCAW เป็นหนึ่งในกระบวนการเชื่อมที่ได้รับความสนใจจากผู้ประกอบการ เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้อุปกรณ์เครื่องเชื่อมแบบ MIG/MAG ได้ โดยมีการเปลี่ยนชนิดของลวดเชื่อมจากลวดเชื่อมตัน (Solid Wire) มาเป็นลวดเชื่อมแบบแบบไส้ฟลักซ์ มีแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (Gas shielded Flux Cored Wire) ซึ่งสามารถเลือกใช้แก๊สปกคลุมแบบคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือแก๊สผสมระหว่าง อาร์กอน (Ar) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สำหรับกระบวนการเชื่อมโดยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์จะใช้เวลาเชื่อมที่รวดเร็วกว่า กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าทีใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) อีกทั้งชิ้นงานเชื่อมบางชนิดสามารถเลือกใช้ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ ประเภทที่ไม่ต้องใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม ซึ่งเหมาะกับงานกลางแจ้ง เพราะแกนลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ จะหลอมละลายเป็นแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมในขณะที่เกิดการอาร์คกับชิ้นงานเชื่อม ซึ่งมีผลให้ความสามารถในการเติมเนื้อเชื่อมได้มากกว่า การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมตันและกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม โดยกลุ่มแก๊สปกคลุมจะป้องกันไม่ให้บรรยากาศภายนอกทำปฏิกิริยากับน้ำโลหะในบ่อหลอม ลดการเกิดจุดบกพร่องของแนวเชื่อม คุณภาพแนวเชื่อมที่ได้จะมีสมบัติเชิงกลและสมบัติทางด้านโลหะวิทยาที่ดี [2-3] เนื่องจากเทคนิคของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม และกระบวนการเชื่อมโดยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สามารถทำการเชื่อมได้รวดเร็ว ต่อเนื่องประหยัดเวลา และสามารถทำการเชื่อมได้ทั้งระบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ เหมาะสำหรับการผลิตที่ต้องการคุณภาพสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าโครงสร้าง SS 400 เป็นชิ้นงานสำหรับทดลองซึ่งเป็นวัสดุนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมโครงสร้างเหล็ก การก่อสร้างอาคาร การต่อเรือและสะพาน เป็นต้น เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกกระบวนการเชื่อมให้เหมาะสมสำหรับเหล็กกล้าโครงสร้าง SS 400 และสามารถนำไปประยุกต์เกี่ยวกับอุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องการคุณภาพในงานเชื่อมต่อไป

จากข้อมูลและเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของรอยเชื่อมเหล็กกล้าโครงสร้าง SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกัน [4] ซึ่งนำไปสู่รอยเชื่อมต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับการทดสอบแรงดึง การทดสอบความแข็ง และโครงสร้างทางโลหะวิทยาเพื่อเลือกกระบวนการเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับรอยเชื่อมของวัสดุนี้

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้จะมีวิธีการดำเนินการวิจัยโดยใช้กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW; MIG/MAG) และกระบวนการเชื่อมโดยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (FCAW) และกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) เชื่อมเหล็กกล้าโครงสร้าง SS 400 ตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M:2006 ขนาด 100×200×10 มม^3 กระบวนการละ 3 ชิ้น เป็นชิ้นงานทดลองเชื่อม การกำหนดรอยต่อ และกำหนดลำดับการเชื่อมแต่ละแนว แสดงในรูปที่ 1 ทำการเชื่อมท่าราบ สำหรับกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (MIG/MAG) และกระบวนการเชื่อมโดยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (FCAW) แก๊สปกคลุมขณะทำการเชื่อม คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (100%CO_2)



รูปที่ 1 ข้อกำหนดมาตรฐานรอยต่อและการกำหนดลำดับการเชื่อม [5]

2.1 เครื่องเชื่อม

เครื่องเชื่อมเป็นระบบอินเวอร์เตอร์ เครื่องหมายการค้า Fronius รุ่น TransPuls Synergic 2700 Alu-Edition ควบคุมตัวแปรการเชื่อมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์และซอฟแวร์ของเครื่องเชื่อม แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องเชื่อมที่ในการเชื่อมทดลอง

2.2 วัสดุเชื่อม

วัสดุเชื่อมเป็นเหล็กกล้าโครงสร้าง SS400 ซึ่งเป็นเหล็กแผ่นรีดร้อนตามมาตรฐาน JIS เกรด SS400 และเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในงานโครงสร้างทั่วไป มีส่วนผสมทางเคมี คือ 0.201% C, 0.362% Mn, 0.009% P และ 0.006% S จัดเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง

2.3 ลวดเชื่อม

ลวดเชื่อม เลือกใช้ลวดเชื่อมของแต่ละกระบวนการเชื่อมโดยพิจารณาจากสมบัติทางกลและสมบัติทางเคมีให้เหมาะสมกับวัสดุทดลองเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลวดเชื่อมและตัวแปรในการเชื่อม

กระบวนการการเชื่อม	ชนิดลวดเชื่อม	ขนาดลวดเชื่อม (mm)	กระแสเชื่อม (A)	ความเร็วในการเชื่อม (มม/นาที)	แก๊สคลุมและปริมาณการไหล (ลิตร/นาที)
SMAW	Kobe LB-52	2.6	85	160	-
MIG/MAG	Kobe MG-51T	1.2	230	300	12 (CO_2)
FCAW	KobeDW-100	1.2	230	300	12 (CO_2)

สำหรับแก๊สคลุมและปริมาณการไหลสามารถปรับตั้งค่าโดยใช้เครื่องอัตราการไหลที่ติดตั้งไว้ตรงหัวถังซึ่งสามารถปรับปริมาณการไหลของแก๊สได้ตามต้องการและ ชุดอุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเชื่อมออกแบบให้หัวเชื่อมประกอบเข้ากับเครื่องตัดแก๊สอัตโนมัติ เครื่องหมายการค้า IK-12 MAX II Speed 80-800 มิลลิเมตรต่อนาที ชุดอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถปรับและควบคุมความเร็วในการเชื่อมได้ และยังสามารถกำหนดมุมหัวเชื่อมและควบคุมระยะการอาร์คให้คงที่ความเร็วในการเชื่อมจะขับเคลื่อนไปตามรางด้วยความเร็วคงที่ที่กำหนด แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การประกอบหัวเชื่อมเพื่อทำการเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ

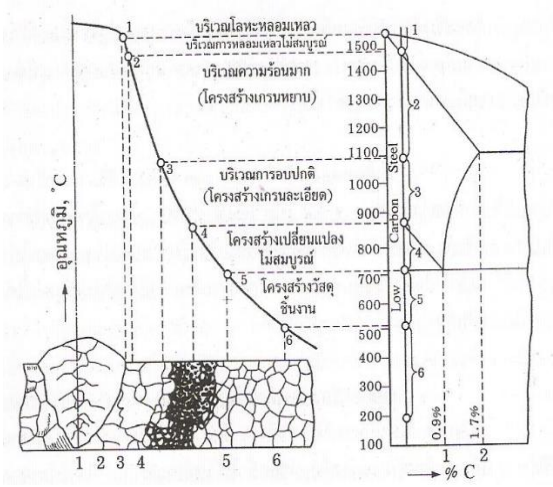
การเชื่อมชิ้นงานด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้ม ฟลักซ์ ก่อนที่จะนำลวดเชื่อมชนิดนี้ไปเชื่อมต้องนำลวดเชื่อมไปอบที่อุณหภูมิ 350° C นาน 1 ชั่วโมง ทั้งนี้เพื่อไล่ไฮโดรเจนในลวดเชื่อมออก แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

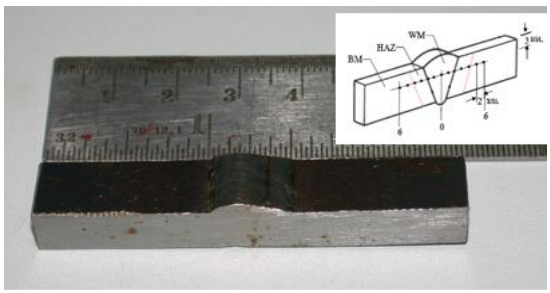
2.4 การตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา

การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาจะตรวจสอบโครงสร้าง มหภาค เพื่อดูลักษณะทางกายภาพของแนวเชื่อม เช่น ความกว้าง ความสูง การซึมลึก และจุดบกพร่องของแนวเชื่อม บริเวณอิทธิพลทางความร้อน ซึ่งบริเวณอิทธิพลทางความร้อนแบ่งได้เป็นส่วน ๆ ตามความมากน้อยของอุณหภูมิที่ได้รับส่วนที่อยู่ใกล้แนวเชื่อมจะมีอุณหภูมิสูงกว่า และอุณหภูมิจะต่ำลงมาระยะห่างของบริเวณส่วนนั้น ๆ เพราะเมื่อลวดเชื่อมเคลื่อนที่ไปคลื่นของอุณหภูมิความร้อนจะเคลื่อนที่ตาม และการกระจายความร้อนลักษณะเป็นวงรีดั่งคลื่นซึ่งเกิดจากเรือกำลังวิ่งกลางลำน้ำ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโลหะเนื่องจากความร้อนในการเชื่อม มีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้งขณะเชื่อมและภายหลังเชื่อมเย็นตัวลงแล้ว ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ได้รับ และระยะเวลาที่อยู่ภายใต้อุณหภูมินั้น ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงสร้างของโลหะบริเวณอิทธิพลทางความร้อน [6]

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเพื่อตรวจสอบลักษณะของเกรนบริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณอิทธิพลทางความร้อน และบริเวณโลหะงาน ตามมาตรฐาน ASTM E340 และ E407 [7-8] ดังแสดงในรูปที่ 6

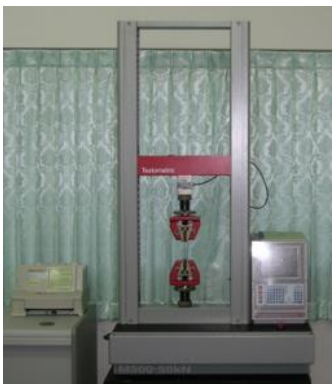


รูปที่ 6 ชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาและตำแหน่งของจุดทดสอบความแข็ง

2.5 การทดสอบสมบัติทางกล

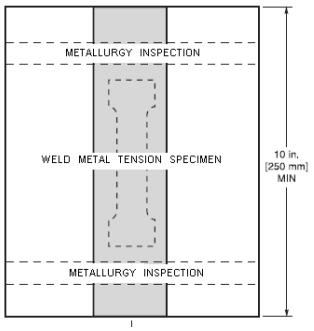
2.5.1 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์จะใช้ชิ้นงานชิ้นเดียวกันกับการตรวจสอบโครงสร้างโลหะวิทยา การกำหนดตำแหน่งการทดสอบบริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณอิทธิพลทางความร้อนและโลหะงาน ดังแสดงในรูปที่ 6 ตามมาตรฐาน ASTM E 92 ใช้แรงกด 10 kgf กดแช่ 10 วินาที [9] เพื่อเปรียบเทียบความแข็งบริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณอิทธิพลทางความร้อนและโลหะงาน จากกระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกัน

2.5.2 เครื่องทดสอบแรงดึง เครื่องหมายการค้า Testometric รุ่น M500-50kN เป็นเครื่องสำหรับทดสอบแรงดึงในแนวตามยาวของเนื้อโลหะเชื่อม (All Weld Metal) โดยเตรียมชิ้นงาน ทดสอบแบบลดขนาด การทดสอบสามารถป้อนค่าพารามิเตอร์ได้โดยตรงจากหน้าจอ การประมวลผลการทดสอบจะเป็นลักษณะของตัวเลขและกราฟ โดยในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งแรงสูงสุดของงานเชื่อม (Ultimate Tensile Strength) ความแข็งแรงที่จุดคราก (Yield Strength) และเปอร์เซ็นต์ในการยืดตัว (Percent Elongation) แสดงในรูปที่ 7



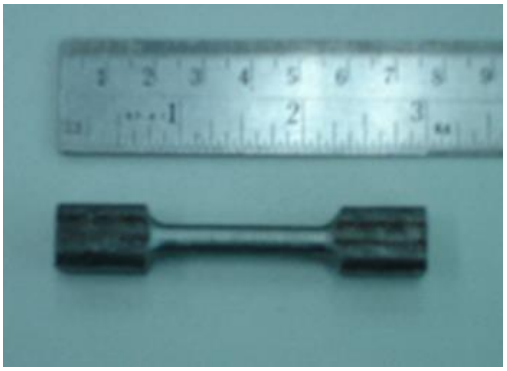
รูปที่ 7 เครื่องทดสอบแรงดึง

การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึงของเนื้อโลหะเชื่อม (All Weld Metal) โดยเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐานการทดสอบ AWS D1.1/D1.1M:2006 แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การแบ่งชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M:2006

และชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึงให้ได้ตามมาตรฐาน กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E 8 [10] แสดงในรูปที่ 9



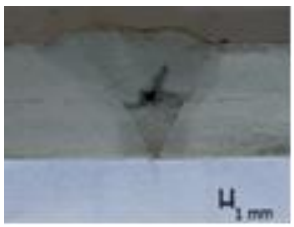
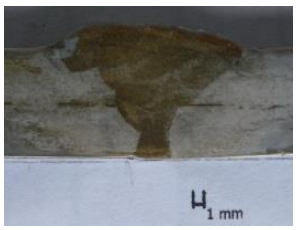
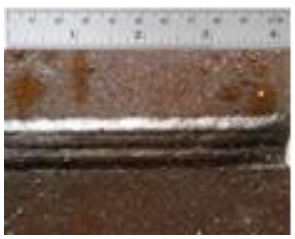
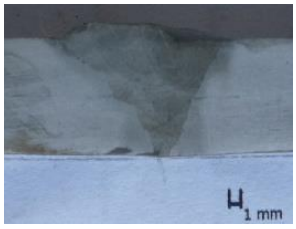
รูปที่ 9 การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึง

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

3.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

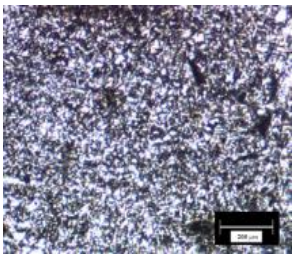
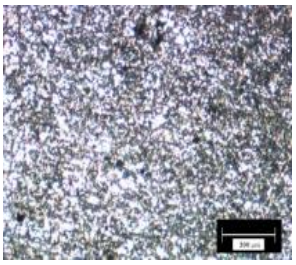
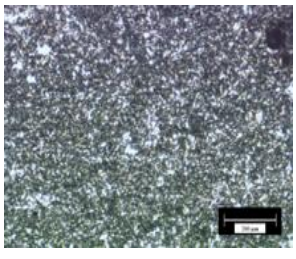
3.1.1 ผลการตรวจสอบทางกายภาพ จากการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของรูปร่างแนวเชื่อม การเกิดเม็ดโลหะบริเวณของชิ้นงาน ลักษณะผิวหน้าของแนวเชื่อม การซึมลึก การหลอมละลายระหว่างชั้นของเนื้อเชื่อมกับโลหะงาน ความกว้างบริเวณเขตอิทธิพลทางความร้อน และจุดบกพร่องของแนวเชื่อม ผลการตรวจสอบของแต่ละกระบวนการเชื่อม พบว่า กระบวนการเชื่อมแบบ SMAW เกร็ดแนวเชื่อมหยาบและไม่เรียบ แนวเชื่อมนูนสูง มีเม็ดโลหะเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อมมาก ลักษณะการซึมลึกและการหลอมละลายระหว่างเนื้อเชื่อมกับโลหะงานไม่สม่ำเสมอ แต่มีความสมบูรณ์ระหว่างเนื้อเชื่อมและโลหะงาน กระบวนการเชื่อมแบบ MIG/MAG พบว่า เกร็ดแนวเชื่อมเรียบสม่ำเสมอ มีเม็ดโลหะเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อมเล็กน้อย ลักษณะการซึมลึกและการหลอมละลายระหว่างเนื้อเชื่อมกับโลหะงานสม่ำเสมอ และมีความสมบูรณ์ระหว่างเนื้อเชื่อมและโลหะงาน ส่วนกระบวนการเชื่อมแบบ FCAW พบว่า เกร็ดแนวเชื่อมมีความเรียบสม่ำเสมอดีกว่ากระบวนการเชื่อมแบบ SMAW และ MIG/MAG การเกิดเม็ดโลหะบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อมจะมากกว่ากระบวนการเชื่อมแบบ MIG/MAG แต่น้อยกว่ากระบวนการเชื่อมแบบ SMAWลักษณะการซึมลึกและการหลอมละลายระหว่างเนื้อเชื่อมกับโลหะงานสม่ำเสมอ และมีความสมบูรณ์ระหว่างเนื้อเชื่อมและโลหะงาน ความกว้างของเขตบริเวณอิทธิพลทางความร้อนของทั้งสามกระบวนการเชื่อมใกล้เคียงกัน และไม่มีจุดบกพร่องของแนวเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างมหภาค

Welding Process	ลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างมหภาค (Macrostructure)
SMAW	
	
MIG/MAG	
	
FCAW	
	

3.1.2 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคเนื้อเชื่อมของกระบวนการเชื่อมแบบ SMAW MIG/MAG และ FCAW พบว่า จากกระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกัน โครงสร้างที่ได้ของแต่ละกระบวนการเชื่อมก็จะแตกต่างเช่นกัน จากการเปรียบเทียบลักษณะและขนาดเกรนของบริเวณเนื้อเชื่อม และเขตอิทธิพลทางความร้อน พบว่า การเชื่อมแบบ FCAW ลักษณะเกรนของบริเวณเนื้อเชื่อมและบริเวณอิทธิพลทางความร้อนจะมีโครงสร้างที่ละเอียดมากกว่ากระบวนการเชื่อมแบบ SMAW และ MIG/MAG ดังแสดงในตารางที่ 3 แสดงว่าการเชื่อมแบบ FCAW บริเวณเนื้อเชื่อมและบริเวณอิทธิพลทางความร้อนจะมีโครงสร้างที่แข็งซึ่งจะส่งผลต่อการความแข็งได้ดีกว่ากระบวนการเชื่อมแบบ SMAW และ MIG/MAG ซึ่งจะสอดคล้องกับผลของการทดสอบความแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 10 และผลการทดสอบการทดสอบแรงดึง ดังแสดงตารางที่ 4 ที่แสดงให้เห็นว่าบริเวณเนื้อเชื่อมและบริเวณเขตอิทธิพลทางความร้อนจะให้ค่าความแข็งกว่า กระบวนการเชื่อมแบบ SMAW และ MIG/MAG เช่นกัน และบริเวณทั้งสองจะให้ค่าความแข็งที่มากกว่าบริเวณโลหะงาน

ตารางที่ 3 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของเนื้อเชื่อม

Welding Process	โครงสร้างทางจุลภาคของเนื้อเชื่อม (Microstructure)
SMAW	
MIG/MAG	
FCAW	

3.2 ผลการทดสอบความแข็ง

ผลจากการทดสอบความแข็งจากกระบวนการเชื่อมแบบ SMAW MIG/MAG และ FCAW แนวโน้มของการค่าความแข็งในแต่ละบริเวณทั้ง 7 จุด คือตั้งแต่บริเวณเนื้อเชื่อม (WM) จากตำแหน่งจุดทดสอบจุดที่ 0 ถึงจุดที่ 2 ค่าความแข็งจะมีค่าสูงกว่าบริเวณอิทธิพลทางความร้อนและ บริเวณโลหะงานโดยเฉพาะกระบวนการเชื่อมแบบ FCAW จะให้ค่าเฉลี่ยความแข็ง

ได้มากสุดที่ 198.3 HV และกระบวนการเชื่อมแบบ SMAW จะให้ค่าเฉลี่ยความแข็งได้น้อยสุดที่ 173.1 HV ส่วนบริเวณอิทธิพลทางความร้อน (HAZ) จากตำแหน่งจุดทดสอบที่ 2 ถึงจุดที่ 4 ทุกกระบวนการเชื่อมจะมีค่าความแข็งที่สูงกว่าบริเวณโลหะงานแต่น้อยกว่าบริเวณเนื้อเชื่อม จากตำแหน่งจุดทดสอบ จุดที่ 4 ถึงจุดที่ 6 จะเป็นบริเวณโลหะงาน (BM) ดังแสดงในรูปที่ 10 และจากการทดสอบพบว่า บริเวณเนื้อเชื่อมเมื่อได้รับความร้อนจากการเชื่อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกลายเป็นโครงสร้างของแข็งจึงส่งผลต่อค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้น [6] และทุกกระบวนการเชื่อมบริเวณอิทธิพลทางความร้อน ที่อยู่ติดกับบริเวณโลหะงานจะมีค่าความแข็งที่น้อยกว่ากว่าบริเวณเนื้อเชื่อมแต่จะมากกว่าบริเวณโลหะงาน และจะให้ผลที่เหมือนกันทั้งสามกระบวนการเชื่อม

รูปที่ 10 ผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

3.3 ผลจากการการทดสอบแรงดึง

ผลการทดสอบแรงดึงจากกกระบวนการเชื่อมแบบ SMAW MIG/MAG และ FCAW พบว่า จากกระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกันจะให้ค่าสมบัติทางกลที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยผลของระบวนการเชื่อมแบบ FCAW จะให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงสุดที่ 680.86 MPa ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบจากโครงสร้างทางโลหะวิทยาประกอบ จะเห็นได้ว่ากระบวนการเชื่อมแบบ FCAW จะให้ลักษณะโครงสร้างของรอยเชื่อมที่สมบูรณ์มากที่สุดเช่นกัน

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบแรงดึงเฉลี่ย

Welding Process	Mechanical Properties		
	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongation (%)
SMAW	565.02	461.08	35.703
MIG/MAG	597.32	470.06	40.527
FCAW	680.86	543.08	3.463

4. สรุปผล

การศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของรอยเชื่อมเหล็กกล้าโครงสร้าง SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ กระบวนการเชื่อมแบบ MIG/MAG และกระบวนการเชื่อมไส้ฟลักซ์ จากกระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกัน ได้แก่ กระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ กระบวนการเชื่อม MIG/MAG และกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ วิจารณ์ผลการทดลองโดยการเปรียบเทียบโครงสร้างทางโลหะวิทยา การทดสอบความแข็ง และการทดสอบแรงดึงจะให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดจากกระบวนการเชื่อมทั้งสามกระบวนการ ผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นองค์ความรู้สำหรับการเลือกกระบวนการเชื่อมเพื่อให้เหมาะสมกับเหล็กกล้าโครงสร้าง SS400 และเหมาะสำหรับผู้สนใจทั่วไป โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

4.1 การตรวจสอบโครงสร้างทางทางมหภาค พบว่า ลักษณะรูปร่างของแนวเชื่อม การซึมลึก การหลอมละลายของเนื้อเชื่อมกับโลหะงานของทั้งสามกระบวนการเชื่อมสมบูรณ์ ส่วนการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค พบว่า เนื้อเชื่อมจากกระบวนการการเชื่อมทั้งสามกระบวนการที่แตกต่างกัน การเชื่อมแบบด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ลักษณะและขนาดเกรนของบริเวณเนื้อเชื่อมจะมีโครงสร้างแบบแข็งและจะมีความละเอียดมากกว่าการเชื่อมแบบด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์และลวดเชื่อม MIG/MAG และทุกกระบวนการเชื่อมลักษณะและขนาดเกรนของบริเวณเนื้อเชื่อม จะมีความละเอียดมากกว่าบริเวณอิทธิพลทางความร้อนและโลหะงาน

4.2 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ พบว่า ค่าความแข็งของเนื้อเชื่อมที่ได้จากการกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์จะมีค่าความแข็งของบริเวณเนื้อเชื่อมมากกว่าเนื้อเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์และเนื้อเชื่อม MIG/MAG ส่วนค่าความแข็งบริเวณอิทธิพลทางความร้อนทั้งสามกระบวนการ มีค่าสูงกว่าเนื้อเชื่อมแต่มีความแข็งมากกว่าเนื้อโลหะ

4.3 การทดสอบแรงดึง แรงดึงจากกกระบวนการเชื่อมแบบ SMAW MIG/MAG และ FCAW พบว่า จากกระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกันจะให้ค่าสมบัติทางกลที่ใกล้เคียงกัน โดยผลของระบวนการเชื่อมแบบ FCAW จะให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด เนื่องจาก FCAW จะมีทั้งแก๊สคลุมและฟลั๊กปกลุมแนวเชื่อม และเมื่อเปรียบเทียบจากโครงสร้างทางโลหะวิทยา พบว่ากระบวนการเชื่อมแบบ FCAW จะให้ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมที่สมบูรณ์มากกว่า เนื่องจากทั้งแก๊สคลุมและฟลักซ์ปกลุมจะส่งผลต่ออัตราการเย็นตัวของรอยเชื่อม

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้การสนับสนุนเครื่องมือจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และความเอื้อเฟื้อจากบุคคลท่านอื่นที่ให้ความช่วยเหลือ ทางคณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] สมพร พงศ์ขจร และ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี. (2540). เทคโนโลยีการเชื่อมสมัยใหม่สำหรับวิศวกร. สถาบันพัฒนาครูอาชีวศึกษา, 117 น
[2] S.Duesong. (2010). Destructive, Testing of Welds ThaiNichi Institute Technology, Bangkok.
[3] W.Phattanapong. (2002). Welding Process, Bangkok, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
[4] G.E. Linnert. (1966). Welding Metallurgy vol.2 American welding Society, New York,
[5] AWS D1.1/D1

[6] ประภาส เกตุไทย. (2546) .งานเชื่อมโลหะ 2-3-4. กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์.

[7] ASTM E304:2006, (2006). Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys, ASTM International, USA, pp. 1-11

[8] ASTM E407-07. (2015). Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.

[9] ASTM E92-82. (2003). Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials, E2.

[10] ASTM E8/E8M-11. (2012). American Society for Testing and Material. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. Annual book of ASTM standards. Vol.03.01 West Conshohocken, pp. 65-91.