

ผลกระทบของรอยเชื่อมที่เกิดจากความชื้นในลวดเชื่อมไฟฟ้า

EFFECT OF HUMIDITY IN WELDING ON WELDED JOINTS

ธนิต แต่งศรี¹, พิชา พันธุ์มงคล², กิตติพงษ์ ภูทอง³, เอก กันจะนะ⁴

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี¹
วิศวกร ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็ม.พี.ภัณฑ์ (1987)²⁻⁴

บทคัดย่อ

งานทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของรอยเชื่อมที่เกิดจากความชื้นในลวดเชื่อม โดยการควบคุมความชื้นของลวดเชื่อมและนำชิ้นงานทดสอบเปรียบเทียบผลการทดลองทางคุณสมบัติทางกลและการดูโครงสร้างภายในของเนื้อวัสดุ ในการทดลองใช้แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน JIS G 3101 Grade SS400 ขนาด 150x350x9 มิลลิเมตร เป็นชิ้นงานมาเชื่อมต่อชนบากรูปตัววีในตำแหน่งท่าเชื่อมท่าราบด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) E-7016 การเชื่อมทำใน 4 เงื่อนไข มีเงื่อนไขที่ 1 อบลวดเชื่อมที่อุณหภูมิประมาณ 300°C เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง, เงื่อนไขที่ 2 ไม่ทำการอบลวดเชื่อม, เงื่อนไขที่ 3 ความชื้นที่ลวดเชื่อมประมาณ 50% และ เงื่อนไขที่ 4 ความชื้นที่ลวดเชื่อมประมาณ 98% จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบไปทำการทดสอบ การทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง การถ่ายภาพรังสี การทดสอบการดัดโค้ง และ การดูโครงสร้างภายใน จากการทดลองพบว่า ชิ้นงานที่เชื่อมตามเงื่อนไขที่ 1 นำมาทดสอบคุณสมบัติทางกลผลลัพธ์ที่ได้ผ่านตามมาตรฐาน ASME SEC IX ในขณะที่ชิ้นงานที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ 2, 3 และ 4 จะเป็นไม่เป็นไปตามมาตรฐาน การทดสอบการดัดพบว่าเงื่อนไขที่ 4 นั้นมีความบกพร่องและไม่สามารถยอมรับได้เมื่อเทียบกับเงื่อนไขอื่น ๆ จากการทดลองดังกล่าวจึงแนะนำได้ว่าดีที่สุดนั้นควรใช้ลวดเชื่อมที่อบที่อุณหภูมิ 300°C ประมาณ 1 ชั่วโมง

คำสำคัญ : ความชื้น, การเชื่อมโลหะ, ลวดเชื่อม

ABSTRACT

The objective of this research is to study the effects of welded joints cause from humidity in welding rod by controlling the humidity and compare results of the experiment between mechanical properties and microstructure examination of the materials. Carbon steel JIS G 3101 grade SS400 150 x 350 x 9 millimeter has been used as specimens for testing, by bringing the parent metal welds in flat position with the process of shield metal arc welding : SMAW and experiments have been divided into 4 conditions ; 1st condition: In being the welding rod at 300°C approximately 1 hour, 2nd condition: Start without any baking at all, 3rd condition: The humidity of welding rod has to be at approximately 50% and 4th condition: The humidity of welding rod has to be at approximately 98%. After finished all the conditions take the results to examine *tensile* strength test, radiography test, bend test and microstructure examination of the materials. From the experiment, it was found as follows: Radiography test has shown that material from the first condition appearance to be acceptable according to ASME SEC IX standard. While the materials under the second, third and fourth appearance to be all not standardized. Bend test showed that the fourth condition is defectively and cannot be acceptable compare to other conditions. From these experiments, it recommended that best to use welding rod is to bake them at the temperature of 300°C approximately 1 hour.

KEYWORDS: Humidity, Welding, Electrode

บทนำ

ข้อบกพร่องของงานเชื่อมเกิดจากการดำเนินการที่แตกต่างกัน เช่น การอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อม การปรับกระแสไฟฟ้าและความชื้นของลวดเชื่อม เป็นต้น สมบัติของเนื้อโลหะเชื่อมซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมที่ต่างกันก็มีผลแตกต่างกันไปด้วย และยังมีผลกระทบต่อเนื่องไปถึงพลังงานความร้อนที่ใช้ในกรรมวิธีการเชื่อมเพื่อหลอมละลายโลหะ ในการเชื่อมต้องมีการควบคุมตัวแปรของกรรมวิธีการเชื่อมเพื่อหลอมละลายโลหะให้สมบูรณ์ ทำให้แนวเชื่อมมีประสิทธิภาพและคุณภาพ จากสาเหตุข้างต้นจึงเป็นเหตุจูงใจให้ทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อม งานนี้มุ่งศึกษาผลกระทบของรอยเชื่อมที่เกิดจากความชื้นในลวดเชื่อมไฟฟ้าด้วยวิธีทดลอง เพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมการเชื่อมและ

การใช้ลวดเชื่อมที่เหมาะสมกับงานและเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป [1]

ทฤษฎี

การตรวจสอบงานเชื่อมเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมคุณภาพของงานเชื่อมให้เป็นไปตามมาตรฐาน การทดสอบงานเชื่อมแบบทำลายสภาพ เป็นการทดสอบตัวอย่างชิ้นงานในสถานการณ์เดียวกับการรับแรงในการใช้งานจริง เพื่อประเมินความสามารถในการเชื่อมและสมบัติเชิงกลของชิ้นงานเชื่อมที่จะนำไปใช้งาน องค์ประกอบที่สำคัญของการทดสอบแบบทำลายสภาพคือ การเตรียมชิ้นงานทดสอบตามที่กำหนดในมาตรฐานและควบคุมวิธีการทดสอบให้ถูกต้อง นอกจากนี้การทดสอบแบบทำลายสภาพยังสามารถใช้ตรวจหาสมบัติและจุดบกพร่องต่างๆของแนวเชื่อมได้



1. การทดสอบด้วยภาพถ่ายรังสี (Radiographic Testing)

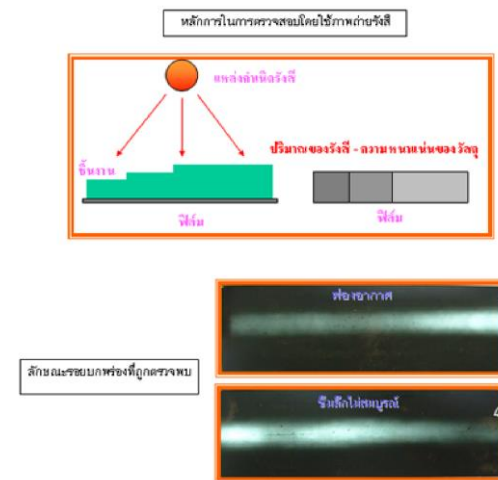
เป็นการตรวจสอบหารอยบกพร่องภายในชิ้นงาน จากภาพถ่ายรังสี โดยใช้รังสีผ่านชิ้นงานไปยังฟิล์มที่อยู่อีกด้านหนึ่งของชิ้นงาน โดยใช้หลักการที่ชิ้นงานสามารถดูดซับรังสีได้แตกต่างกันตามความหนาของชิ้นงาน ความไม่ต่อเนื่องภายในชิ้นงานเปรียบเสมือนชิ้นงานบางกว่าบริเวณรอบข้างจึงเกิดความแตกต่างของความเข้มขึ้นในฟิล์ม ทำให้สามารถตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องในชิ้นงานได้อีกด้านหนึ่งของชิ้นงาน จากการที่ชิ้นงานสามารถดูดซับรังสีได้แตกต่างกันตามความหนาของชิ้นงาน การที่มีความไม่ต่อเนื่องอยู่ในชิ้นงานเปรียบเสมือนชิ้นงานบางกว่าบริเวณรอบข้างจึงเกิดความแตกต่างของความเข้มขึ้นในฟิล์ม ทำให้สามารถตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องในชิ้นงานได้ [1]

2. การทดสอบดัดโค้งแนวเชื่อม (Bend Testing of Welds)

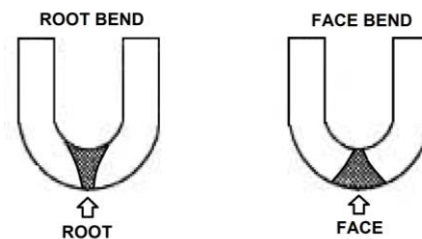
การทดสอบเพื่อหาความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม ค้นหาจุดบกพร่อง (Defects) ภายในเนื้องานและบริเวณการแตกหักของชิ้นงานทดสอบของชิ้นงานดัดโค้ง โดยทำการดัดจนกระทั่งชิ้นทดสอบเป็นรูปตัวยู (U-Bend) แล้วจึงทำการประเมินผลการทดสอบ การทดสอบดัดโค้งมีอยู่หลายลักษณะ คือ

1. Root Bend จะต้องวางชิ้นงานทดสอบโดยนำด้านหลังของแนวเชื่อมคว่ำลงบนปารองรับทั้งสองด้าน และเมื่อดัดโค้งงอแล้วจะได้ด้านหลัง (Root) ของแนวเชื่อมอยู่บนส่วนโค้งของชิ้นงานทดสอบ

2. Face Bend จะต้องวางชิ้นงานทดสอบโดยเอาด้านหน้าของแนวเชื่อมคว่ำลงบนปารองรับทั้งสองด้าน และเมื่อดัดโค้งงอแล้วจะได้ด้านหน้า (Face) ของแนวเชื่อมอยู่บนผิวหน้าโค้งงอของชิ้นงานทดสอบ



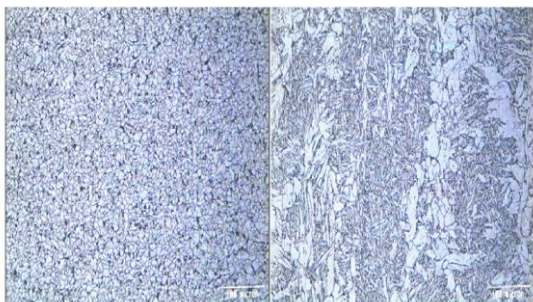
ภาพที่ 1: แสดงหลักการตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี และตัวอย่างลักษณะรอยบกพร่องที่ถูกตรวจพบ



ภาพที่ 2: ชิ้นทดสอบที่ถูกดัดเป็นรูปตัวยู

3. การทดสอบการดูโครงสร้างภายใน (Microstructural Examination)

การตรวจสอบดูโครงสร้างภายในของชิ้นงานทดสอบ เป็นการตรวจสอบดูโครงสร้างระดับจุลภาค โดยการตัดชิ้นงานออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปขัดด้วยกระดาษทรายและขัดมันจนผิวเป็นเงาคล้ายกระจกปราศจากเส้น จากนั้นจึงนำไปกัดกรดที่ผิวและตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายสูงจะเห็นโครงสร้างดังภาพที่ 4



(ก) บริเวณนอกรอยเชื่อม

(ข) บริเวณแนวรอยเชื่อม

ภาพที่ 3: ภาพตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม เหล็กกล้าคาร์บอน JIS G3101 SS400 หน้า 9 มม.

การทดลอง

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลองประกอบด้วย

1.1 เครื่อง Universal Mechanical Testing Machine (UTM) บันทึกผลด้วยกราฟ แรงดึงสูงสุด 40 ตัน ดำเนินการทดสอบแรงดึงแนวเชื่อม



ภาพที่ 4: เครื่อง Universal Mechanical Testing Machine (UTM) ขนาด 40 ตัน

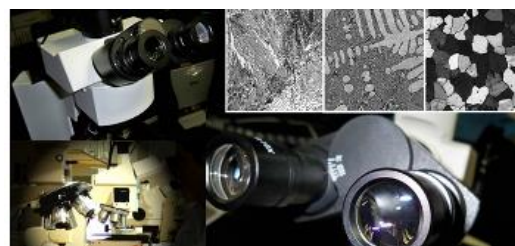
1.2 เครื่อง X-Ray Machine ดำเนินการทดสอบภาพถ่ายรังสี

1.3 เครื่อง Bend Testing Machine ขนาด 10 ตัน ดำเนินการทดสอบดัดโค้งแนวเชื่อม



ภาพที่ 5: เครื่อง Bend Testing Machine ขนาด 10 ตัน

1.4 กล้อง Optical microscope ชุดตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ดำเนินการทดสอบการดูโครงสร้างภายใน



ภาพที่ 6: กล้อง Optical microscope

1.5 เครื่อง Moisture Meter รุ่น MC-7812 สำหรับทำการวัดความชื้นลวดเชื่อม

1.6 เครื่องวัดอุณหภูมิ Master Cool รุ่น 52224-A สำหรับวัดอุณหภูมิลวดเชื่อม

1.7 เครื่องมัลติมิเตอร์ HIOKI รุ่น 3280-10 สำหรับวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะทำการเชื่อม

1.8 เครื่องอบลวดเชื่อม สำหรับทำการอบลวดเชื่อม

1.9 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า พลัง รุ่น MOD 300

1.10 ลวดลวดเชื่อม E7016 ตามมาตรฐาน AWS A5.1

1.11 แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน JIS G 3101 Grade SS400 ขนาด 150x350x9 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น



ภาพที่ 7: เครื่อง Moisture Meter รุ่น MC-7812



ภาพที่ 8: แผ่นเหล็กชิ้นงานทดสอบขนาด 150x350x9 มิลลิเมตร



ภาพที่ 9: ชิ้นงานที่เชื่อมเสร็จเรียบร้อยแล้วจำนวน 8 ชิ้นงานทดสอบ

2. วิธีทดลอง

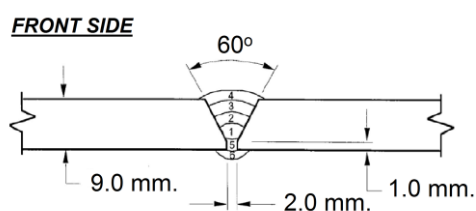
2.1 เงื่อนไขการเชื่อม

กำหนดเงื่อนไขการเชื่อมจำนวน 4 เงื่อนไขดังนี้

1. เงื่อนไขที่ 1 อบลดเชื่อมที่อุณหภูมิประมาณ 300°C เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
2. เงื่อนไขที่ 2 ไม่ทำการอบลดเชื่อม
3. เงื่อนไขที่ 3 ความชื้นที่ลวดเชื่อมประมาณ 50%
4. เงื่อนไขที่ 4 ความชื้นที่ลวดเชื่อมประมาณ 98%

ทำการเชื่อมชิ้นงานตามเงื่อนไขที่กำหนดเชื่อมเงื่อนไขอย่างละ 2 ชิ้นงานทดสอบโดยทำการบันทึกผลค่าขณะทำการเชื่อมดังนี้

1. จำนวนแนวเชื่อม
2. กระแสเชื่อม (Amp)
3. แรงดัน (Volt)
4. อัตราเร็ว (Cm/Min)
5. อุณหภูมิลวดเชื่อม
6. ความชื้นลวดเชื่อม



ภาพที่ 10: แสดงขนาดและมิติรูปร่างของรอยต่อ

ตารางที่ 1: ตัวแปรที่ควบคุมในการเชื่อม ชิ้นงานเชื่อมที่ TRU-01-1 อบลดเชื่อมที่อุณหภูมิประมาณ 300°C เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

เชื่อมแนว	กระแสเชื่อม (Amp)	แรงดัน (Volt)	อัตราเร็ว (Cm/Min)	อุณหภูมิลวดเชื่อม (°C)	ความชื้นลวดเชื่อม (%)
1	110	28	7-8	45	21.5
2	110	30	7-8	37	23.5
3	110	29	7-8	33	21.5
4	110	29	7-8	32	24.5
5	110	30	7-8	34	24.5
ค่าเฉลี่ย	110	29	7-8	36.2	23.1

ตารางที่ 2: ตัวแปรที่ควบคุมในการเชื่อม ชิ้นงานเชื่อมที่ TRU-01-2 อบลดเชื่อมที่อุณหภูมิประมาณ 300°C เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

เชื่อมแนว	กระแสเชื่อม (Amp)	แรงดัน (Volt)	อัตราเร็ว (Cm/Min)	อุณหภูมิลวดเชื่อม (°C)	ความชื้นลวดเชื่อม (%)
1	110	28	7-8	33	22
2	110	30	7-8	36	22
3	110	29	7-8	33	23.5
4	110	29	7-8	32	21.5
5	110	30	7-8	34	22
ค่าเฉลี่ย	110	29.2	7-8	33.6	22.2

ตารางที่ 3: ตัวแปรที่ควบคุมในการเชื่อม ชั้่งงานที่ TRU-02-1 ชั้่งงานที่ TRU-02-1 ไม่ทำการอบลวดเชื่อม

เชื่อมแนว	กระแสเชื่อม (Amp)	แรงดัน (Volt)	อัตราเร็ว (Cm/Min)	อุณหภูมิลวดเชื่อม (°C)	ความชื้นลวดเชื่อม (%)
1	108	28	7-8	27	30
2	110	30	7-8	29	31
3	110	30	7-8	30	29
4	110	30	7-8	31	31
5	110	30	7-8	31	30
ค่าเฉลี่ย	109.6	29.6	7-8	29.6	30.2

ตารางที่ 4: ตัวแปรที่ควบคุมในการเชื่อม ชั้่งงานที่ TRU-02-2 ชั้่งงานที่ TRU-02-2 ไม่ทำการอบลวดเชื่อม

เชื่อมแนว	กระแสเชื่อม (Amp)	แรงดัน (Volt)	อัตราเร็ว (Cm/Min)	อุณหภูมิลวดเชื่อม (°C)	ความชื้นลวดเชื่อม (%)
1	108	29	7-8	27	27.75
2	110	31	7-8	28	30.5
3	110	32	7-8	28	29
4	110	28	7-8	31	28.75
5	110	30	7-8	31	30
ค่าเฉลี่ย	109.6	30	7-8	29	29.2

ตารางที่ 5: ตัวแปรที่ควบคุมในการเชื่อม ชั้่งงานที่ TRU-03-1 ชั้่งงานที่ TRU-03-1 ความชื้นที่ลวดเชื่อม 50%

เชื่อมแนว	กระแสเชื่อม (Amp)	แรงดัน (Volt)	อัตราเร็ว (Cm/Min)	อุณหภูมิลวดเชื่อม (°C)	ความชื้นลวดเชื่อม (%)
1	110	30	7-8	32.6	50.7
2	110	31	7-8	32.5	48.6
3	110	31	7-8	31.9	48.6
4	110	30	7-8	32.9	52.5
5	110	30	7-8	30.9	48.9
ค่าเฉลี่ย	110	30.4	7-8	32.16	49.86

ตารางที่ 6: ตัวแปรที่ควบคุมในการเชื่อม ชั้่งงานที่ TRU-03-2 ชั้่งงานที่ TRU-03-2 ความชื้นที่ลวดเชื่อม 50%

เชื่อมแนว	กระแสเชื่อม (Amp)	แรงดัน (Volt)	อัตราเร็ว (Cm/Min)	อุณหภูมิลวดเชื่อม (°C)	ความชื้นลวดเชื่อม (%)
1	110	30	7-8	31.4	50.1
2	110	31	7-8	31.6	49.7
3	110	31	7-8	30.6	52.8
4	110	30	7-8	31.3	48.5
5	110	30	7-8	30.9	50.2
ค่าเฉลี่ย	110	30.4	7-8	31.16	50.26

ตารางที่ 7: ตัวแปรที่ควบคุมในการเชื่อม ชั้่งงานที่ TRU-04-1 ชั้่งงานที่ TRU-04-1 ความชื้นที่ลวดเชื่อม 98%

เชื่อมแนว	กระแสเชื่อม (Amp)	แรงดัน (Volt)	อัตราเร็ว (Cm/Min)	อุณหภูมิลวดเชื่อม (°C)	ความชื้นลวดเชื่อม (%)
1	107	30	7-8	32.5	97.6
2	115	31	7-8	33.2	98.9
3	115	31	7-8	31.8	98.6
4	115	29	7-8	31.2	98.2
5	115	30	7-8	30.1	97.5
ค่าเฉลี่ย	113.4	30.2	7-8	31.76	98.16

ตารางที่ 8: ตัวแปรที่ควบคุมในการเชื่อม ชั้่งงานที่ TRU-04-2 ชั้่งงานที่ TRU-04-2 ความชื้นที่ลวดเชื่อม 98%

เชื่อมแนว	กระแสเชื่อม (Amp)	แรงดัน (Volt)	อัตราเร็ว (Cm/Min)	อุณหภูมิลวดเชื่อม (°C)	ความชื้นลวดเชื่อม (%)
1	107	30	7-8	32.9	99.6
2	115	31	7-8	30.9	98.8
3	115	31	7-8	32.4	99.1
4	115	29	7-8	33.0	98.3
5	115	30	7-8	32.5	99.4
ค่าเฉลี่ย	113.4	30	7-8	32.34	99.04

จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบไปทำการทดสอบ การทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง, การถ่ายภาพรังสี, การทดสอบการดัดโค้ง และ การดูโครงสร้างภายใน และอธิบายผลของการทดลอง

ผลการทดลอง

1. การทดสอบด้วยภาพถ่ายรังสี

จากผลการทดสอบด้วยภาพถ่ายรังสี หลังจากทำการทดสอบแล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบ จะเห็นว่า ชิ้นงานที่เชื่อมตามเงื่อนไขที่ 1 ผ่านตามมาตรฐาน ASME SEC IX ที่ใช้ในการทดสอบมีรอยบกพร่องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับชิ้นงานที่เชื่อมตามเงื่อนไขที่ 2, 3 และ 4 ที่พบรอยบกพร่องที่ยอมรับไม่ได้ตามมาตรฐาน ASME SEC IX ดังตารางที่ 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ





ภาพที่ 11: แสดงรูป Film ของชิ้นงานทั้ง 4 เจียนไข

จากภาพที่ 11 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่เชื่อมตามเงื่อนไขที่ 1 จะสามารถยอมรับได้รับส่วนเงื่อนไขที่ 2, 3 และ 4 ไม่สามารถที่จะยอมรับได้ จากผลการทดสอบด้วยภาพถ่ายรังสี หลังจากทำการทดสอบแล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบ

ตารางที่ 9: แสดงผลภาพถ่ายรังสี ชิ้นงานทดสอบ No.TRU-01-1และ TRU-01-2 อบลวดเชื่อมที่อุณหภูมิประมาณ 300°C เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

No.	Section	Interpretation	Result
1	TRU-01-1	Minor Porosity	Accept
2	TRU-01-2	Minor Porosity	Accept

ตารางที่ 10: แสดงผลภาพถ่ายรังสี ชิ้นงานเชื่อมที่ TRU-02-1 และ TRU-02-2 ไม่ทำการอบลวดเชื่อม

No.	Section	Interpretation	Result
1	TRU-02-1	Minor Porosity	Accept
2	TRU-02-2	Minor Porosity , Incomplete Fusion	Reject

ตารางที่ 11: แสดงผลภาพถ่ายรังสี ชิ้นงานเชื่อมที่ TRU-03-1 และ TRU-03-2 ความชื้นที่ลวดเชื่อมประมาณ 50%

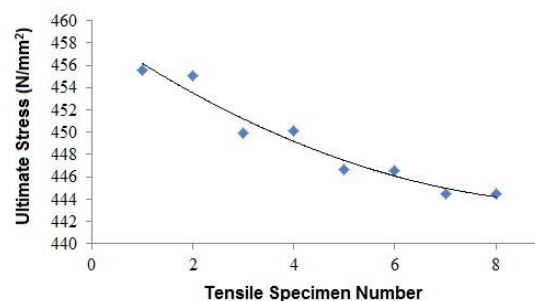
No.	Section	Interpretation	Result
1	TRU-03-1	Minor Porosity	Accept
2	TRU-03-2	Incomplete Fusion	Reject

ตารางที่ 12: แสดงผลภาพถ่ายรังสี ชิ้นงานเชื่อมที่ TRU-04-1 และ TRU-04-2 ความชื้นที่ลวดเชื่อมประมาณ 98%

No.	Section	Interpretation	Result
1	TRU-04-1	Minor Porosity	Accept
2	TRU-04-2	Porosity , Incomplete Fusion	Reject

4.2 การทดสอบแรงดึงแนวเชื่อม

การทดสอบแรงดึงจากชิ้นงานทดสอบตามเงื่อนไขทั้ง 4 ประการแสดงในภาพที่ 13



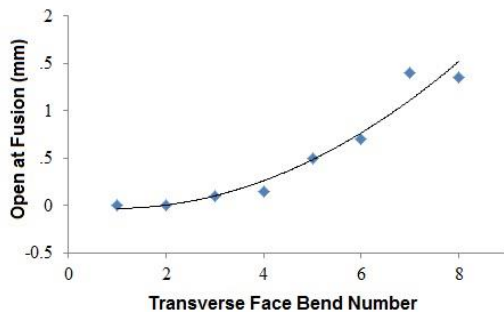
ภาพที่ 12: กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความต้านแรงดึงสูงสุดกับหมายเลขชิ้นงานทดสอบ

จากภาพที่ 12 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่เชื่อมตามเงื่อนไขที่ 1 (หมายเลข 1 และ 2) จะสามารถรับความ

ด้านแรงดึงสูงสุดได้สูงกว่าการเชื่อมตามเงื่อนไขที่ 2, 3 และ 4 (หมายเลข 3, 4, 5, 6, 7 และ 8) แสดงให้เห็นว่าในการเชื่อมที่ใช้ลวดเชื่อมตามเงื่อนไขที่ 1 มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดมากกว่าในเงื่อนไขที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

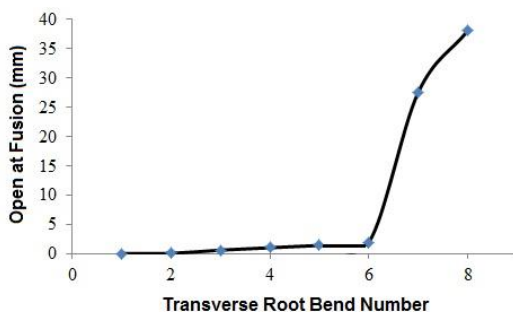
3. การทดสอบดัดโค้งแนวเชื่อม

จากการทดสอบดัดโค้งแนวเชื่อมจะเห็นได้ชัดเจนจากชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการดัดโค้งจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ขนาดรอยแตกกับเงื่อนไขการเชื่อมที่แสดงในรูปที่ 13 จะแสดงให้เห็นถึงรอยแตกที่เพิ่มขึ้นกับชิ้นงานเชื่อมทดสอบ



ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ขนาดรอยแตกกับหมายเลขชิ้นงานทดสอบ (Face Bend)

จากภาพที่ 13 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่เชื่อมตามเงื่อนไขที่ 1 และ 2 (หมายเลข 1, 2, 3 และ 4) จะไม่เกิดรอยเปิดที่รอยเชื่อม ส่วนเงื่อนไขที่ 3 และ 4 (หมายเลข 5, 6, 7 และ 8) จะเกิดรอยเปิดที่รอยเชื่อมเพิ่มขึ้นตามลำดับ



ภาพที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ขนาดรอยแตกกับหมายเลขชิ้นงานทดสอบ (Root Bend)

จากภาพที่ 14 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่เชื่อมตามเงื่อนไขที่ 1 (หมายเลข 1 และ 2) จะไม่เกิดรอยเปิดที่รอยเชื่อม ส่วนเงื่อนไขที่ 2 และ 3 (หมายเลข 2, 4, 5 และ 6) จะเกิดรอยเปิดที่รอยเชื่อมเพิ่มขึ้นตามลำดับ และจะเกิดรอยเปิดที่รอยเชื่อมแบบก้าวกระโดดที่เงื่อนไขที่ 4 (หมายเลข 7 และ 8) ซึ่งเป็นเงื่อนไขวิกฤตินั่นเอง

4. การทดสอบการดูโครงสร้างภายใน

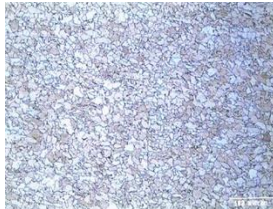
ผลการส่องกล้องตรวจสอบดูโครงสร้างระดับจุลภาคโดยการตัดชิ้นงานออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปขัดด้วยกระดาษทรายและขัดมันจนผิวเป็นเงาคล้ายกระจก จากนั้นจึงนำไปกัดกรดที่ผิวและตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายสูง Optical Microscope (200 X)

เงื่อนไขที่ 1 อบลดเชื่อมที่อุณหภูมิประมาณ 300°C เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง (TRU-01-1) ที่บริเวณชิ้นงานเดิม (Base Metal) เม็ดเกรนมีขนาดใหญ่ Pearlite ส่วนที่เป็น Ferrite จะมีสีขาวมีค่าความแข็ง 232 Hv ที่บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม (HAZ) เม็ดเกรนมีขนาดเล็กแบบ Pearlite และ Ferrite มีค่าความแข็ง 326 Hv และที่บริเวณรอยเชื่อม (Weldment) เกรนผสมกันอยู่มีขนาดใหญ่แบบ Pearlite และ Ferrite มีค่าความแข็ง 254 Hv

เงื่อนไขที่ 2 ไม่ทำการอบลดเชื่อม (TRU-02-1) ที่บริเวณชิ้นงานเดิม (Base Metal) เม็ดเกรนมีขนาดใหญ่ Pearlite ส่วนที่เป็น Ferrite จะมีสีขาวมีค่าความแข็ง 228 Hv ที่บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม (HAZ) เม็ดเกรนมีขนาดเล็กแบบ Pearlite และ Ferrite มีค่าความแข็ง 318 Hv และที่บริเวณรอยเชื่อม (Weldment) เกรนผสมกันอยู่มีขนาดใหญ่แบบ Pearlite และ Ferrite มีค่าความแข็ง 241 Hv

เงื่อนไขที่ 3 ความชื้นที่ลวดเชื่อมประมาณ 50% (TRU-03-1) ที่บริเวณชิ้นงานเดิม เม็ดเกรนมีขนาดใหญ่ Pearlite ส่วนที่เป็น Ferrite จะมีสีขาวมีค่าความแข็ง 231 Hv ที่บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม (HAZ) เม็ดเกรนมีขนาดเล็กแบบ

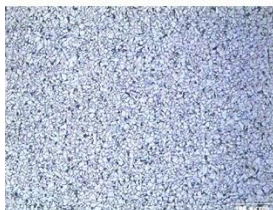
Pearlite และ Ferrite มีค่าความแข็ง 287 Hv และที่บริเวณรอยเชื่อม (Weldment) เกรนผสมกันอยู่มีขนาดใหญ่มิแบบ Pearlite และ Ferrite มีค่าความแข็ง 223 Hv



Micrograph of base metal of TRU-01-1



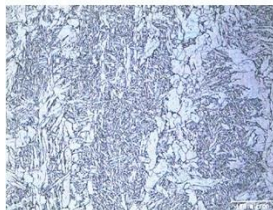
Micrograph of base metal of TRU-02-1



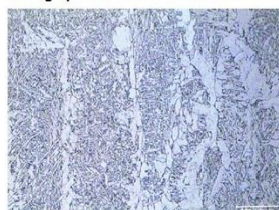
Micrograph of heat-affected zone TRU-01-1



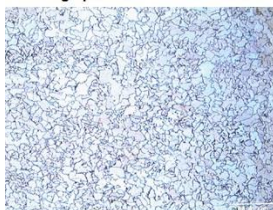
Micrograph of heat-affected zone TRU-02-1



Micrograph of weldment of TRU-01-1



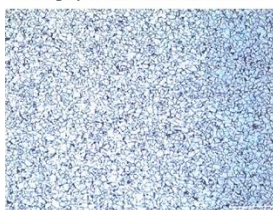
Micrograph of weldment of TRU-02-1



Micrograph of base metal of TRU-03-1



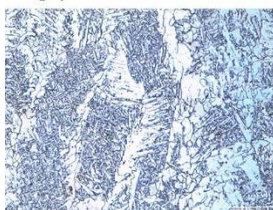
Micrograph of base metal of TRU-04-1



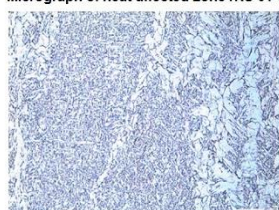
Micrograph of heat-affected zone TRU-03-1



Micrograph of heat-affected zone TRU-04-1



Micrograph of weldment of TRU-03-1



Micrograph of weldment of TRU-04-1

รูปที่ 15 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างภายในชิ้นงานเชื่อมตามเงื่อนไขที่ 1, 2, 3 และ 4

เงื่อนไขที่ 4 ความชื้นที่ลวดเชื่อมประมาณ 98% (TRU-04-1) ที่บริเวณชิ้นงานเดิม เม็ดเกรนมีขนาดใหญ่ Pearlite ส่วนที่เป็น Ferrite จะมีสีขาวมีค่าความแข็ง 225 Hv ที่บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม (HAZ) เม็ดเกรนมีขนาดเล็กแบบ Pearlite และ Ferrite มีค่าความแข็ง 266 Hv และที่บริเวณรอยเชื่อม เกรนผสมกันอยู่มีขนาดใหญ่แบบ Pearlite และ Ferrite มีค่าความแข็ง 183 Hv

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการทดสอบแรงดึงแนวเชื่อมจะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่เชื่อมตามเงื่อนไขที่ 1 จะสามารถรับความต้านแรงดึงสูงสุดได้มากกว่าการเชื่อมตามเงื่อนไขที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการเชื่อมที่ใช้ลวดเชื่อมที่ทำการอบลวดเชื่อมที่อุณหภูมิประมาณ 300°C เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงเหมาะสมที่จะใช้งาน

2. จากการทดสอบด้วยภาพถ่ายรังสีจะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่เชื่อมตามเงื่อนไขที่ 1 ผ่านตามมาตรฐาน ASME SEC IX ที่ใช้ในการทดสอบมีรอยบกพร่องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับชิ้นงานที่เชื่อมตามเงื่อนไขที่ 2, 3 และ 4 ที่พบรอยบกพร่องที่ยอมรับไม่ได้ตามมาตรฐาน ASME SEC IX

3. จากการทดสอบตัดโค้งแนวเชื่อมจะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่เชื่อมตามเงื่อนไขที่ 4 จะพบขนาดรอย (Open at Fusion) มากกว่าการเชื่อมตามเงื่อนไขที่ 1 แสดงให้เห็นว่าในการเชื่อมตามเงื่อนไขที่ 1 บริเวณเนื้อเชื่อมมีการหลอมละลายที่ดีเหมาะสมที่จะใช้งาน

4. จากการทดสอบการดูโครงสร้างภายในบริเวณชิ้นงานเดิม เม็ดเกรนมีขนาดใหญ่ Pearlite ส่วนที่เป็น Ferrite จะมีสีขาว ส่วนที่บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม (HAZ) เม็ดเกรนมีขนาดเล็กแบบ Pearlite และ Ferrite มีค่าความแข็งสูงและที่บริเวณรอยเชื่อม เกรนผสมกันอยู่มีขนาดใหญ่แบบ Pearlite และ Ferrite มีค่าความแข็งลดลง

สรุปได้ว่าการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน JIS G 3101 Grade SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal Arc Welding : SMAW) ควรใช้ลวดเชื่อมที่มีการอบลวดเชื่อมที่อุณหภูมิประมาณ 300°C เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกลเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานและไม่ควรทำการเชื่อมที่ใช้ลวดเชื่อมที่มีความชื้นเนื่องจากจะทำให้คุณสมบัติทางกลลดลง

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยมีข้อเสนอแนะในการพัฒนาในอนาคต ดังนี้

ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการทดสอบสำหรับใช้ในภาชนะแรงดัน ดังนั้นงานเชื่อมที่ใช้สำหรับภาชนะแรงดันโดยเฉพาะควรศึกษาวิจัยเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dieter, G.E. (1988). **Mechanical metallurgy** (SI metric edition). McGraw-Hill.