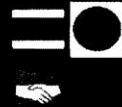


ภาคผนวก ค.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

The 6th Graduate Research Conference 2012



สำนักงานโครงการบัณฑิตศึกษา
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รวมบทความ

ประจำปีการศึกษา 2555

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

2012

GRC 2012

GRC 2012

GRC 2012

GRC 2012

GRC 2012

GRC 2012

GRC 2012

GRC 2012

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

**อิทธิพลการเชื่อมซ้อนแนวของกระบวนการ GMAW ต่อ สมบัติการเชื่อมโลหะต่างชนิด
ระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำกับเหล็กกล้าไร้สนิม**

**Influence of Multipass Welding of GMAW process on Properties of Dissimilar Weld
between Carbon Steel and Stainless Steel**

แสง จันทธรรม^{*}
สันติรัฐ นันสะอาจ^{**}
สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล^{***}

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลการเชื่อมซ้อนแนวของกระบวนการ GMAW ต่อสมบัติการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำกับเหล็กกล้าไร้สนิม ต่อสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาวิจัยประกอบด้วย ความเร็วในการเชื่อมมี 3 ระดับ คือ 350, 365 และ 380 mm./min. และวิธีการเชื่อมซ้อนแนวมี 3 วิธี คือ A, B และ C ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 2 ชนิด มีผลกระทบต่อสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น .01

คำสำคัญ: อิทธิพลการเชื่อมซ้อนแนว/เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำกับเหล็กกล้าไร้สนิม / สมบัติทางกล

Abstract

The objectives of this research were to study influence of multipass welding of GMAW process on properties of dissimilar weld between low carbon steel and stainless steel of mechanical properties in tensile strength. The parameters employed in this study were consisted of speed at 350, 365 and 380 mm./min. and multipass at A,B and C welding. The results revealed that the two factors were affected to mechanical properties for tensile strength and yield point at the level of .01.

^{*} หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

^{**} รองศาสตราจารย์ ดร., ภาควิชาครุศาสตรอุตสาหกรรม คณะครุศาสตรอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

^{***} รองศาสตราจารย์ ดร., ภาควิชาครุศาสตรอุตสาหกรรม คณะครุศาสตรอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1. บทนำ

ปัจจุบันเหล็กกล้าไร้สนิมใช้กันอย่างกว้างขวางและแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษ เช่น มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี มีความแข็งแรง เหนียวและทนต่ออุณหภูมิสูง นิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร โรงไฟฟ้า โรงงานเคมี อุตสาหกรรมน้ำมันปิโตรเคมี และอุตสาหกรรมการขนส่ง เป็นต้น เหล็กกล้าไร้สนิมมีหลายประเภท โดยแตกต่างกันไปตามส่วนผสมทางเคมี ซึ่งมีผลต่อทั้งโครงสร้างจุลภาค คุณสมบัติเชิงกลและการใช้งาน ซึ่งความสามารถในการเชื่อมของแต่ละกลุ่มก็แตกต่างกันด้วย

ส่วนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel) ก็เป็นโลหะที่นิยมและมีบทบาทในงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโลหะเกือบทุกประเภท ในด้านโลหะวิทยานั้นถือว่าโลหะทั้งสองชนิด จัดอยู่ในประเภทเหล็กกล้า (Steel) เช่นเดียวกัน แต่ด้วยความแตกต่างกันในด้านส่วนผสมทางเคมีของธาตุต่างๆ เป็นปัจจัยและมีอิทธิพลอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้โลหะทั้งสองมีคุณลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างกัน

ในการเชื่อมโลหะต่างชนิดเข้าด้วยกัน (Dissimilar) โดยเฉพาะเหล็กกล้าไร้สนิมที่นำมาเชื่อมต่อกับเหล็กกล้าคาร์บอน ที่มีการใช้งานในบางประเภท เช่น ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ภาชนะบรรจุความดันเรือเค้นมหาสมุทร ฯ ผลจากความแตกต่างอย่างสิ้นเชิง ทั้ง สมบัติทางกล ส่วนผสมทางเคมี โครงสร้างจุลภาค ความสามารถในการถ่ายเทความร้อน และความสามารถในการเชื่อมต่อโลหะทั้งสอง นั้นคือจุดเริ่มต้นของปัญหาที่จะตามมาได้มากมายหลังจากสิ้นสุดกระบวนการแข็งตัวของรอยเชื่อม การแตกร้าวอันเนื่องมาจากความแตกต่างของธาตุผสม การเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ที่สามารถเกิดขึ้นได้กับเหล็กกล้าไร้สนิม อันเนื่องมาจากกลไกของการแพร่ของธาตุคาร์บอนที่มาจากเหล็กกล้าคาร์บอนเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ภายใต้การอำนวยความสะดวกอุณหภูมิสูงที่เกิดจากการเชื่อม การเกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์ในส่วนของเหล็กกล้าคาร์บอน เป็นผลมาจากอัตรา การเย็นตัวของโลหะงาน ตลอดจนความสามารถในการเจือจางของโลหะเดิมต่อการแพร่ซึมเข้าสู่เนื้อของโลหะฐาน ทั้งเหล็กกล้าไร้สนิม และ เหล็กกล้าคาร์บอน ที่มีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เนื่องจากสมบัติทางกายภาพของโลหะงานทั้งสองไม่เหมือนกัน ฉะนั้นอัตราต่อการเจือจางจึงสะท้อนออกมาในรูปของความสามารถในการรับแรงทางกลต่าง ๆ นั่นคือสิ่งที่เราคาดหวังไปสู่อายุการใช้งานที่ยืนยาว และเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ นั้น ๆ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของความร้อนจากการเชื่อมส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาคของโครงสร้างและสมบัติทางกลที่เกิดขึ้นในบริเวณบริเวณ Fusion Zone, Heat Affected Zone (HAZ) และ Base Metal โดยการกำหนดตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงในการเชื่อมในการปฏิบัติงานเชื่อมคือ ความเร็วในการเชื่อม ความหนาชิ้นงาน และปริมาณกระแสไฟ โดยการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำกับเหล็กกล้าไร้สนิม ด้วยกระบวนการเชื่อม Gas Metal Arc Welding (GMAW)

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบจากอิทธิพลการเชื่อมชิ้นแนวของกระบวนการเชื่อมมิก GMAW ต่อสมบัติการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำกับเหล็กกล้าไร้สนิม ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้

1. เครื่องเชื่อม CIGWELD TRANSMIG 400
2. เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ยี่ห้อTANAKA KT-5N
3. เครื่องกัด LiLian
4. เครื่องทดสอบแรงดึง Shimadzu Autograf รุ่น AG-25 TB
5. กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) มีความละเอียด 395 x 515 พิกเซล
6. เครื่องขัดผิวมัน (Polishing)

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

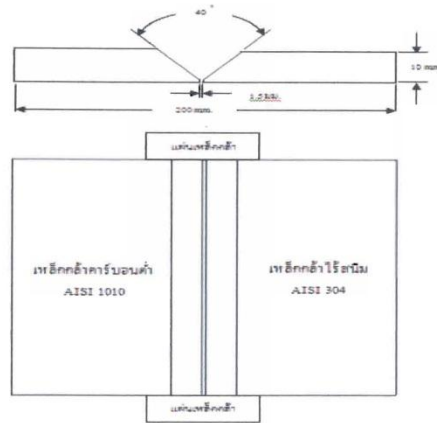
1. เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ขนาด 100 × 130 × 10 mm.
2. เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 ขนาด 100 × 130 × 10 mm.
3. ลวดเชื่อม ER 308L ขนาดลวด 1.2 mm.
4. ลวดเชื่อม ER 70S ขนาดลวด 1.2 mm.

3.2 การเตรียมชิ้นงานเชื่อม

การเตรียมชิ้นบัดกรีแข็งด้วยกระบวนการเชื่อมแบบแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding :GMAW) เพื่อศึกษาสมบัติทางกล การทดสอบแรงดึง และการทดสอบความแข็งได้กำหนดตามมาตรฐาน American Society of Mechanical Engineers (ASME) 2001 Edition โดยมีขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานทดลอง ดังนี้

1. ตัดเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ขนาด 100 × 130 × 10 mm. บากหน้างานมุมเอียง 20° จำนวน 18 ชิ้น
2. ตัดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 ขนาด 100×130×10 mm. บากหน้างานมุมเอียง 20° จำนวน 18 ชิ้น
3. เชื่อมประกอบชิ้นงานแบบต่อชน (Butt Joint) และทำการการเชื่อมอีกริเวณหัว-ท้าย ดังแสดงในรูปที่ 1

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555



รูปที่ 1 แสดงการบากหน้างานและ แสดงการวางหัว-ท้ายด้วยแผ่นเหล็กกล้า

3.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experimental)

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อให้การทดลองมีระเบียบแบบแผน มีระบบ ภายใต้การควบคุมสภาพการณ์ ตัวแปร หรืออิทธิพลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสังเกตหรือวัดผล ปราศจากความลำเอียง และสามารถจัดกระทำซ้ำ ๆ และทดสอบได้ผลอีก งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2 ปัจจัย ตัวแปรที่มีความสนใจที่ศึกษาที่มีผลต่อสมบัติทางกลบริเวณรอยเชื่อม และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบริเวณรอยเชื่อม (Weld metal) และบริเวณกระทบร้อน (HAZ) ได้แก่ ความเร็วเชื่อม ลักษณะชั้นการเชื่อมซ้อนแนว ซึ่งทั้งสองปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้งซึ่งมีแผนการทดลองดังตารางที่ 1

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

ตารางที่ 1 แสดงแผนผังการออกแบบการทดลอง

| ความเร็วในการเชื่อม mm/min | | การเชื่อมซ้อนแนว | | |
|-------------------------------|---|------------------|----|----|
| | | A | B | C |
| 350 | 1 | 2 | 3 | 5 |
| | 2 | 11 | 9 | 15 |
| 365 | 1 | 4 | 1 | 6 |
| | 2 | 17 | 14 | 10 |
| 380 | 1 | 12 | 7 | 13 |
| | 2 | 18 | 8 | 16 |

หมายเหตุ

A : แนวที่ 1 ลวดเชื่อม ER 70S Wire speed 3.8 mm./min., กระแสไฟ 210 Amp.

แนวที่ 2 ลวดเชื่อม ER 308L Wire speed 2.5 mm./min., กระแสไฟ 160 Amp.

แนวที่ 3 ลวดเชื่อม ER 308L Wire speed 3.8 mm./min., กระแสไฟ 210 Amp.

B : แนวที่ 1 ลวดเชื่อม ER 70S Wire speed 3.8 mm./min., กระแสไฟ 210 Amp.

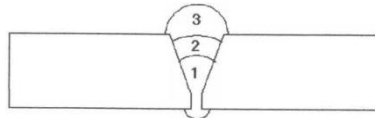
แนวที่ 2 ลวดเชื่อม ER 70S Wire speed 2.5 mm./min., กระแสไฟ 160 Amp.

แนวที่ 3 ลวดเชื่อม ER 308L Wire speed 3.8 mm./min., กระแสไฟ 210 Amp.

C : แนวที่ 1 ลวดเชื่อม ER 308L Wire speed 3.8 mm./min., กระแสไฟ 210 Amp.

แนวที่ 2 ลวดเชื่อม ER 308L Wire speed 2.5 mm./min., กระแสไฟ 160 Amp.

แนวที่ 3 ลวดเชื่อม ER 308L Wire speed 3.8 mm./min., กระแสไฟ 210 Amp.



รูปที่ 2 แสดงวิธีการเชื่อมซ้อนแนว

3.7 การดำเนินการทดลอง

1. ปรับตัวแปรการเชื่อม (Set Up) เช่น กระแสไฟเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม มุมหัวเชื่อม ระยะอาร์ค และอัตราการไหลของแก๊สปกคลุม Ar : 20 L/min Co₂ : 3 L/min
2. ทำความสะอาดชิ้นงานบริเวณรอยบาก เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก เช่น คาน้ำมัน ไขมัน และ สิ่งสกปรก
3. วางชิ้นงานเชื่อมในตำแหน่ง 1 G (ท่าราบ) บนแผ่นรองหลังงาน จับยึดชิ้นงานด้วยจิก
4. เริ่มต้นเชื่อมแนวที่ 1 แนวซิมลิก จากแผนยึดชิ้นงาน จนไปสิ้นสุดที่แผ่นยึดชิ้นงานอีกด้านหนึ่ง ให้ครบทั้ง 18 ชิ้น เชื่อมเสร็จปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในอากาศ
5. ทำการเชื่อมแนวที่ 2 จากแผนยึดชิ้นงาน จนไปสิ้นสุดที่แผ่นยึดชิ้นงานอีกด้านหนึ่ง ให้ครบทั้ง 18 ชิ้น เชื่อมเสร็จปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในอากาศ
6. ทำการเชื่อมแนวที่ 3 จากแผนยึดชิ้นงาน จนไปสิ้นสุดที่แผ่นยึดชิ้นงานอีกด้านหนึ่ง ให้ครบทั้ง 18 ชิ้น เชื่อมเสร็จปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในอากาศ
7. เมื่อเปลี่ยนตัวแปรการเชื่อม ก็เริ่มปฏิบัติการปรับตัวแปรการเชื่อม (Set Up) ใหม่
8. การปฏิบัติการเชื่อมเพื่อเก็บข้อมูลเป็นการทดลองโดยการสุ่ม (ดังตารางที่ 3.2)

3.5 การทดสอบแรงดึง

ลำดับขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานในการทดสอบแรงดึง มีลำดับขั้นตอน ดังนี้

1. นำชิ้นงานทดลองที่เชื่อมเสร็จแล้วมาวางแผนการทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน ASME โดยได้วางแผนไว้
2. ตัดชอยชิ้นงานตามที่ได้วางแผนไว้ ด้วยเครื่องตัด Wire Cut ที่มีการหล่อเย็นด้วยน้ำ
3. ใช้เครื่องกัดแนวเชื่อมค้ำบนและค้ำหลังให้มีขนาดความหนาเท่ากับความหนาของชิ้นงาน
4. ทำการทดสอบแรงดึงตามที่ได้วางแผนการทดสอบเอาไว้ แล้วเก็บบันทึกข้อมูลจากการทดสอบ
5. ทำการทดสอบแรงดึงตามลำดับขั้นตอนเช่นนี้จนครบทั้ง 36 ชิ้น

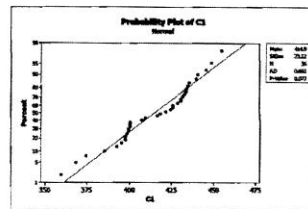
4. ผลการวิจัย

การศึกษาผลกระทบจากอิทธิพลการเชื่อมชิ้นงานโลหะต่างชนิด ระหว่าง เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 กับเหล็กกล้าสเตนเลส AISI 304 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อม Gas Metal Arc Welding คอสมบัตินทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด(Ultimate Tensile Strength) โดยกำหนดปัจจัยในการทดลอง 2 ชนิดคือ ความเร็วในการเชื่อม และการเชื่อมชิ้นงาน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการได้มีรวบรวมผลการทดลอง เพื่อหาสมบัติทางกลได้ ดังนี้คือ ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด โดยการหาค่าของผลกระทบจากอิทธิพลหลัก(Main Effect) ของตัวแปรแต่ละตัว และปฏิริยาสัมพันธ์หรือค่าอิทธิพลร่วม(Interaction Effect) ระหว่างตัวแปร การวิเคราะห์ข้อมูล จากผลการทดลองครั้งนี้ โดยการใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูลแบบแผนการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติ และวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ F-Ratio และระดับความเชื่อมั่น 99 % หรือที่ระดับนัยสำคัญ 1 % ($\alpha = .01$)

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

การวิเคราะห์ตัวแปรในการเชื่อมคอตัมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

จากการทดสอบการแจกแจงปกติ (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3) เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาผลกระทบคอตัมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด(Ultimate Tensile Strength) ของการเชื่อมโลหะต่างชนิด (Dissimilar weld) ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม กับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิก Gas Metal Arc Welding(GMAW) พบว่า ปัจจัยหรือตัวแปรที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 ชนิด คือ ความเร็วในการเชื่อม และการเชื่อมซ้อนแนว มีผลกระทบคอตัมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น .01 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2



รูปที่ 3 กราฟการทดสอบการแจกแจงปกติค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ตารางที่ 2 แสดงผลรวมกำลังสองของค่าอิสระ ค่า F และค่านัยสำคัญของสาเหตุความผันแปรของการทดลอง แสดงผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปรทั้ง 2 ชนิด ที่มีผลกระทบคอตัมบัติทางกลด้าน ความเค้น แรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) โดยใช้สถิติ One-Way ANOVA

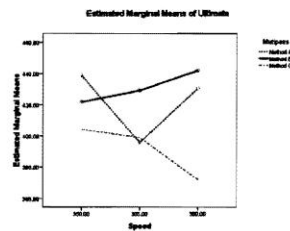
Tests of Between-Subjects Effects

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|---------|------|
| Corrected Model | 17181.701 ^a | 8 | 2147.713 | 37.788 | .000 |
| Intercept | 6195884.317 | 1 | 6195884.317 | 1.090E5 | .000 |
| Speed | 2532.112 | 2 | 1266.056 | 22.276 | .000 |
| Method | 13078.516 | 2 | 5039.258 | 88.664 | .000 |
| Speed * Method | 4571.073 | 4 | 1142.768 | 20.107 | .000 |
| Error | 1534.565 | 27 | 56.836 | | |
| Total | 6214600.582 | 36 | | | |
| Corrected Total | 18716.266 | 35 | | | |

a. R Squared = .918 (Adjusted R Squared = .894)

การวิเคราะห์หาปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction) หรืออิทธิพลร่วมจากการทดลอง หลังจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความเค้นแรงดึงสูงสุด(Ultimate Tensile Strength) แยกตามระดับของความเร็วในการเชื่อม และวิธีการเชื่อมซ้อนแนว ส่งผลให้ได้ค่าผลการทดลองที่สูงที่สุด คือ ทำการเชื่อมซ้อนแนววิธี B (Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวด

เชื่อม ER 308L) โดยใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ 380 mm/min พบว่าความเค้นแรงดึงสูงสุดมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่สุดที่ 441.94 N/mm² ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4



Method A : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L

Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L

Method C : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L

รูปที่ 4 แสดงกราฟอิทธิพลร่วม ของตัวแปรในการเชื่อมที่มีผลต่อความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลกระทบจากอิทธิพลการเชื่อมชิ้นแนวโลหะต่างชนิด จากการวิเคราะห์อิทธิพลหลัก (Main Effect) พบว่า ปัจจัยด้านความเร็วในการเชื่อมและการเชื่อมชิ้นแนว มีผลกระทบต่อค่าคุณสมบัติทางกล ด้านความเค้นแรงดึงสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น .01 การวิเคราะห์หาปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction) หรืออิทธิพลร่วมจากการทดลอง หลังจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) แยกตามระดับของความเร็วในการเชื่อม และวิธีการเชื่อมชิ้นแนว ต่างผลให้ได้ค่าผลการทดลองที่สูงที่สุด คือ ทำการเชื่อมชิ้นแนววิธี B (Method B : แนวที่ 1 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 2 ใช้ลวดเชื่อม ER 70S, แนวที่ 3 ใช้ลวดเชื่อม ER 308L) โดยใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ 380 mm/min พบว่าความเค้นแรงดึงสูงสุดมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่สุดที่ 441.94 N/mm²

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย และ วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา ที่ให้การอนุเคราะห์เครื่องมือ และเครื่องจักรที่ใช้ในการจัดทำงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Arthur, L.P., 1991, **Welding Handbook**, 2th ed., American Welding Society, USA, pp. 27.21-27.27.
2. AWS, Volume II, 1976, **Welding Handbook**, 7th ed., American Welding Society, USA
3. Kou, S., 2002, **Welding Metallurgy**, John Wiley and Sons, New York, pp. 97-117.
4. เมก ทองอุ่น, 2525, คู่มือการเชื่อมไฮบอมาร์ท. กรุงเทพฯ, หน้า 76-80

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

5. "The European market for duplex stainless steels: rapid growth expected"<http://www.stainless-steel-world.net>
6. สุกชัย ประเสริฐสกุล, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์, โลหะวิทยาภาพ 1, สำนักพิมพ์ไชน่า แอนด์ เอ็นจิเนียริง, อุบลราชธานี, หน้า 66, 80-81, 97-98.
7. WELDING MASTER, GUIDE TO WELDING : SLV MANNHEIM., GERMAN
8. มนต์ สดิจินดา, 2543, เหล็กกล้า. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 5, หน้า 82-87
9. ไพโรจน์ ฐานวิเศษ, 2540, โลหะวิทยา. โรงพิมพ์นิรุฒ, นครราชสีมา, หน้า 6-44, 45
10. Siewert, T. A. : Mc Cowan, C. N. and Olson, T. 2004, **Ferrite number prediction to 100 FN in stainless steel welds**, Metallurgical A 14 A : pp 191-197
11. BROOKS, J. A. and LAMBERT, Jr. F. j. 2003, **The effect of phosphorus sulfur and ferrite content on weld cracking of type 309 stainless steel**, Welding Journal (May 2003) : pp 139-143
12. David, S. A. Vitek, J. M. and Hebble, T. L. 2004, **Effect of solidification on stainless steel weld metal microstructures and its implications on the Schaeffler diagram**, Welding Journal 66 , pp. 289-300
13. Onsoien, M. Peters, R. Olson, D. L. and Liu, S. January 2004, **Effect of Hydrogen in an argon GTAW shielding gas Arc characteristics and bead morphology**, Welding Journal pp. 10-15
14. Okagawa, R. K. Dixon, R. D. and Olson, D. L. August 2005, **The influence of nitrogen from welding on stainless steel weld metal microstructures**, Welding Journal 62 , pp. 204-209
15. Ogawa, T. Suzuki, K. and Zaizen, T. July 2004, **The Weldability of nitrogen-containing austenitic stainless steel part II porosity cracking and creep properties**, Welding Journal 63 , pp. 213-223
16. Kujanpaa, V. P. Karjainen, L. P. and Sikanen, H. A. V. May 2005, **Role of shielding gases in discontinuity formation in GTAW welding of austenitic stainless steel strips**, Welding Journal 63 , pp. 150-155
17. Kujanpaa, V. P. 2006, **Weld discontinuities in austenitic stainless steel sheets effect to impurities and solidification mode**, Welding Journal 63 , pp. 369-375.
18. Goodwin , G. M., April , 2005, **The effects of heat input and weld process on hot cracking in stainless steel**, Welding Journal 67, pp. 88-94.
19. Limmaneevichitr , C. and Kou , S. , 2000 , "Visualization of Marangoni Convection Simulated Weld Pools Containing a Surface-Active" Welding Journal , Vol. 79 , No. 11 American Welding Society, USA. , pp. 324-330
20. Hull, F C. 2002, **Effect to Delta Ferrite on the hot cracking of stainless steel**, Welding Journal (September 2002) : pp 399-409
21. T. W. NELSON, J. C. LIPPOLD AND M. J. MILLS Ohio State University, **Nature and Evolution of the Fusion Boundary in Ferritic-Austenitic Dissimilar Metal Welds -Part 2: On-Cooling**

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

Transformations. WELDING JOURNAL, October 2000 Sponsored by the American Welding Society and the Welding Research Council.pp.267-277.

22. E.J. Barnhouse and J.C. Lippold, 1998, **Microstructure/Property Relationships in Dissimilar Welds Between Duplex Stainless Steel and Carbon Steel**, :<http://www.aws.org>, pp. 1 – 13.

23. บัณฑิต อมรสิน,2549,ปัจจัยจากการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าสเตนเลส AISI 304 กับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ด้วยกรรมวิธีการเชื่อม Gas Metal Arc Welding,สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 53-118.

