

ภาคผนวก จ.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

**ผลของการเติมเนื้อโลหะในกระบวนการเชื่อม GTAW ต่อการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้
สนิมออสเทนนิคกับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค**

**Effect of Metal Filling on GTAW Process on Properties of Dissimilar Weld of
Duplex stainless and austenitic stainless steel**

สุวิวัฒน์ นันตะวีลี^{*}
สิทธิชัย แก้วเกื้อกูล^{**}
สันติรัฐ นันสะอาง^{***}

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของความร้อนจากการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค (AISI 304) กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค (AISI 2205) ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบแก๊สทังสเตม Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) ที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกล ด้านความแข็งแรงดึงสูงสุด โดยการกำหนดตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงในการเชื่อมประกอบไปด้วยความเร็วในการเชื่อม และกระแสเชื่อม ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยทั้งสองมีผลต่อคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งแรงดึงสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 ซึ่งปัจจัยร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ที่ความเร็วในการเชื่อม 95 มม./นาที กระแสเชื่อม 180 แอมป์ มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 672.151 N/mm²

คำสำคัญ : สมบัติทางกล , เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค (AISI 304) , เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค (AISI 2205)

Abstract

The objective of this research to study the effects of heat from the speed and current of welding on different welding metal between Austenitic stainless steel (AISI 304) and duplex stainless steel (AISI 2205) by Gas Tungsten Arc Welding process (GTAW). This is affect by the mechanical properties for The ultimate tensile strengths The variables that affect changes in the speed of the connection and stream the results were as follows. Two factors affect the mechanical properties of the ultimate tensile strengths. Significant at the .01

^{*} หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

^{**} รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

^{***} รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การประจูนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

level as a contributing factor. (Interaction) between the current (Amp) and the connection speed (Speed) has the highest impact strength (Ultimate Tensile Strength) at a speed of 95 mm / min and the welding current is 180 amps. the average tensile strengths up to 672.151 N/mm².

Keywords : Austenitic Stainless Steel (AISI 304) , Duplex Stainless steel (AISI 2205) , Mechanical Property

1. บทนำ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าไร้สนิมมีบทบาทมากในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากมีลักษณะพิเศษที่โดดเด่น คือความสามารถต้านทานการกัดกร่อน ทั้งในสภาวะปกติและในสภาวะที่เป็นกรดสูง อีกทั้งยังมีลักษณะผิวที่สวยงาม ซึ่งส่วนผสมหลักของเหล็กกล้าไร้สนิม ประกอบด้วยตัวเหล็ก โครเมียม และนิกเกิล เป็นหลัก ด้วยคุณสมบัติเด่นของเหล็กกล้าไร้สนิมดังกล่าว จึงได้มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร โรงไฟฟ้า โรงงานเคมี อุตสาหกรรมน้ำมัน ปิโตรเคมี และอุตสาหกรรมขนส่ง เป็นต้น เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมมีหลายประเภท จะแตกต่างกันไปตามส่วนผสมทางเคมี โครงสร้างจุลภาค คุณสมบัติเชิงกลและการนำไปใช้งาน ซึ่งความสามารถในการเชื่อมของแต่ละกลุ่มก็แตกต่างกันด้วย เช่น

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเทนิติกเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่สามารถทำการเชื่อมได้ง่าย และเชื่อมได้โดยไม่ต้องให้ความร้อนก่อนหรือหลังการทำเชื่อม แต่สิ่งที่ต้องระวัง คือ ปัญหาการแตกร้อน (Hot Cracking) ปัญหาการกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular corrosion) ปัญหาจากธาตุแปลกปลอม (Influence of impurity elements) ปัญหารอยเชื่อมเสื่อมลง (Weld decay) ปัญหาการแตกร้าวจากความเค้นกัดกร่อน (Stress Corrosion Cracking :SCC) การล้าเนื่องจากความร้อน(Thermal fatigue) และ ผลของความร้อนที่สูงเกินไปจะทำให้เกรนขยายและไม่ทนต่อแรงกระแทก นอกจากนี้อุณหภูมิสูงจะทำให้ชิ้นงานเชื่อมบิดเบี้ยวได้ เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ขยายตัวได้มากที่อุณหภูมิสูง (Highthermal expansion) แต่การนำความร้อน (Thermal conductivity) ค่ำ G.M.GOODWIN [1] ได้ศึกษาผลกระทบของปริมาณความร้อน รอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก พบว่า เมื่อใช้ความเร็วเชื่อมลดลงและกระแสไฟฟ้าเชื่อมเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้นและผลต่อความแข็งแรง ความเค้นแรงดึงชิ้นงาน การกระจายของความเค้น (Stress Distribution) ที่ด้านหลังของบ่อน้ำโลหะ ซึ่งในปัจจุบันพบว่าในอุตสาหกรรมนั้นมีการใช้เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติกอย่างกว้างขวาง ซึ่งเกรดที่มีใช้กันมาก เช่น 304, 308, 310, 304L และ 316L

เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (Duplex Stainless Steels) เป็นเหล็กกล้าที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา โดยมีโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์ กับ ออสเทนิต์ ที่มีสัดส่วนสมดุลกันภายหลังการชุบแข็งด้วยน้ำ (Water Quenching) เหล็กกลุ่มนี้มีความแข็งแรงสูงและมีสมบัติต้านทาน stress corrosion cracking กว่าประเภทออสเทนิติก สามารถเชื่อมได้ง่ายและหล่อง่าย เนื่องจากมีปริมาณของเฟอร์ไรต์อยู่ในโครงสร้างค่อนข้างมาก ข้อเสียของเหล็กกลุ่มนี้คือขึ้นรูปได้ยากเพราะมีสองเฟส ส่วนการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์มีปัญหาที่ถ้าปัญหาที่สาคัญคือสัดส่วนของเฟอร์ไรต์ในเนื้อโลหะเชื่อม การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของความร้อนจากการเชื่อม ที่ส่งผลกระทบต่อหลอมละลายอีกของแนวเชื่อม และการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลที่เกิดขึ้นในบริเวณบิวเวอ Fusion Zone,Heat Affected Zone (HAZ) และ Base Metal โดยการกำหนดคัมแปรที่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงใน

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

การเชื่อมในการปฏิบัติงานเชื่อมได้อย่างเหมาะสม โดยการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบแก๊สทังสเตม Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) เนื่องจากกระบวนการเชื่อมแบบแก๊สทังสเตม ให้การซึมลึกที่ดี ของแนวเชื่อม ควบคุมความเร็ว (Speed) ในการเชื่อมได้ง่าย ให้แนวเชื่อมที่สะอาด นอกจากนี้ยังเป็นกระบวนการเชื่อมที่ใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรม

จากการศึกษาของ G.M.GOODWIN [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของปริมาณความร้อนในระหว่างเชื่อมและกระบวนการเชื่อมต่อการเกิดรอยร้าวในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก ใช้วิธีการเชื่อม GTAW เปลี่ยนแปลงความเร็วเชื่อมและกระแสไฟฟ้าเชื่อม เพื่อให้ได้รอยซึมลึกที่สมบูรณ์เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316 พบว่า เมื่อใช้ความเร็วเชื่อมลดลงและกระแสไฟฟ้าเชื่อมเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้น ซึ่งสรุปว่า อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมGTAW เมื่อกำหนดให้ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมคงที่ รอยแตกร้าวจะเกิดขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของบ่อน้ำโลหะ และการกระจายของความเค้น (Stress Distribution) ที่ด้านหลังของบ่อน้ำโลหะ และเมื่อเพิ่มปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมสูงขึ้น ทำให้เกิดรอยแตกร้าวเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน

จากการศึกษาของ V.P.KUJANPAA [26] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเกิดรอยบกพร่องในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316 หนา 2 มม. เมื่อใช้ตัวแปรในการเชื่อมที่แตกต่างกันโดยในการศึกษามุ่งเน้นการพิจารณาปริมาณและขนาดของรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงกระแสเชื่อม และความเร็วเชื่อม ใช้วิธีการเชื่อม GTAW โดยไม่ใช้ลวดเชื่อม เชื่อมในท่าราบ รอยต่อชิ้นงานเป็นแบบคอขน จากการศึกษาค้นพบว่า รอยบกพร่องที่เกิดขึ้นมี 6 ชนิด คือ รอยแตก โพรงตรงกลาง (Cracked Center Cavities) Ripple Cavities รอยกินลึก (Undercut) และ Humps การแบ่งประเภท กำหนดได้จากตำแหน่งการเกิดรอยบกพร่อง ขนาดและรูปร่างของรอยบกพร่อง การเชื่อมที่ใช้กระแสเชื่อมสูง ทำให้ปริมาณบ่อน้ำโลหะ (Weld Pool) มีขนาดเพิ่มมากขึ้น โอกาสที่เกิดการหดตัว (Shrinkage) เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการเกิดรอยแตกและโพรงตรงกลาง สำหรับการเชื่อมที่ความเร็วเชื่อมต่ำ ทำให้ลักษณะของบ่อหลอมละลายเปลี่ยนรูปร่างจากรูปไข่ (Ellipse) เป็นรูปร่างค้อนข้างกลม (Drop-Shapes) ทำให้เกิดการแยกตัว (Segregation) ของสารเจือปนได้มาก ส่งผลต่อการเกิดรอยแตกร้าวในเนื้อโลหะรอยเชื่อม ดังนั้นสรุปได้ว่า การเพิ่มระดับกระแสเชื่อม ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนชนิดรอยบกพร่อง แต่ทำให้รอยบกพร่องมีขนาดและปริมาณเพิ่มขึ้น สำหรับความเร็วเชื่อมมีผลต่อการเกิดลักษณะรอยบกพร่องดังนี้คือ รอยแตกและ Ripple Cavities เกิดขึ้นเมื่อใช้ความเร็วเชื่อมต่ำ ในขณะที่ โพรงตรงกลาง รอยกินลึก และ Humps เกิดขึ้นเมื่อใช้ความเร็วเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น

1.1 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

เพื่อศึกษาผลของการเติมเนื้อโลหะในกระบวนการเชื่อม GTAW ต่อสมบัติทางกลของการเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 304 และเหล็กกล้าไร้สนิมอูเทิลิกซ์เกรด 2205

การประจูนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

2. วิธีดำเนินการทดลอง

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้

1. เครื่องเชื่อมแบบ GTAW 1 เครื่อง
2. เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ 1 เครื่อง
3. แก๊สอาร์กอน 2 ถัง
4. เครื่องกัด 1 เครื่อง
5. เครื่องเลื่อยกล 1 เครื่อง
6. เครื่องทดสอบแรงดึง 1 เครื่อง
7. เครื่องทดสอบความแข็ง 1 เครื่อง
8. อุปกรณ์รองหลังงานเชื่อม และอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน 1 ชุด
9. เหล็กกล้าไร้สนิม 304 ขนาด 6.00 x 50.00 x 70.00 มม.
10. เหล็กกล้าไร้สนิม 2205

2.2 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

การเตรียมชิ้นงานก่อนเชื่อม

ตัดเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ด้วยเครื่องเลื่อยกลโดยหล่อเย็นด้วยน้ำ ขนาด 6 X 50 X 70 mm.

2 ชิ้น บากหน้างานด้วย มุมเอียง (Bevel angle) 15° เชื่อมประกอบชิ้นงานแบบต่อชน (Butt Joint) ทำการการเชื่อมอัครบริเวณหัว-ท้ายด้วยแผ่นเหล็กกล้า ขนาดกว้าง 5 cm. ยาว 6 cm. หนา 16 mm.



รูปที่ 1 การเชื่อมอัครชิ้นงานบริเวณหัวและท้าย

วิธีดำเนินการเชื่อม

เริ่มต้นเชื่อมจากแผ่นยึดชิ้นงาน จนไปถึงสิ้นสุดที่แผ่นยึดชิ้นงานอีกด้านหนึ่ง โดยใช้เทคนิคการเชื่อมแบบเดินไปข้างหน้า (Pushing)





รูปที่ 2 ชิ้นงานทดลองเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม TIG

นำชิ้นงาน ไปทำการตัดด้วยเครื่อง Wire Cut เพื่อทำชิ้นงานทดสอบแรงดึง

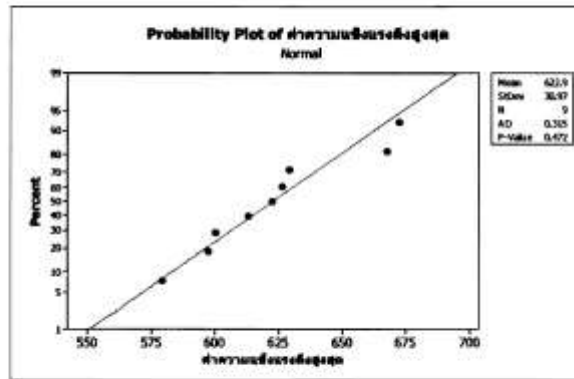


รูปที่ 3 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึง

2.3 การทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาระดับปัจจัยตัวแปรที่เหมาะสม เป็นบรรทัดฐานในการทดลองมีความเที่ยงตรงและ น่าเชื่อถือ จึงได้ออกแบบการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาระดับ ปัจจัยในการทดลองที่เหมาะสม ได้แก่ ความเร็วและกระแสที่ใช้ในการเชื่อม ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญ ในการศึกษา ทำการทดลองเบื้องต้นโดยใช้ความเร็วต่ำสุดที่ 90 มม/นาทีและความเร็วสูงสุดที่ 105 มม/นาที และใช้กระแสที่ 180 185 และ 190 Amp เพื่อหาระดับของตัวแปรอิสระที่เหมาะสมในการทดลอง มีการแจกแจงแบบปกติ หลังจากทดลองได้ตัวแปรที่เหมาะสมและสัมพันธ์กัน จึงทำการออกแบบการทดลองใน ขั้นตอนต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555



รูปที่ 4 การทดสอบการแจกแจงข้อมูลค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

2.4 การทดลอง

นำชิ้นงานทดลองที่เชื่อมเสร็จแล้วมาวางแผนการทดสอบแรงดึง ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASME ตัดขอยชิ้นงานตามที่ได้วางแผนไว้ ด้วยเครื่อง Wire Cut นำชิ้นงานที่จะนำไปทดสอบแรงดึงไปเข้าเครื่องกัด (Milling) แนวเชื่อมทั้งด้านหน้า-ด้านหลัง (Root) และกัดด้านข้างทั้งสองของชิ้นทดสอบ ให้ได้ตามข้อกำหนดของมาตรฐานในการทดสอบแรงดึง นำชิ้นงานทดสอบ (Specimen) ไปเข้าเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test) จนชิ้นงานทดสอบขาดแยกออกจากกัน เก็บและบันทึกข้อมูลที่ได้จากทดสอบ กระทั่งขั้นนี้จนครบทั้งหมดทุกชิ้นจากนั้นนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 1

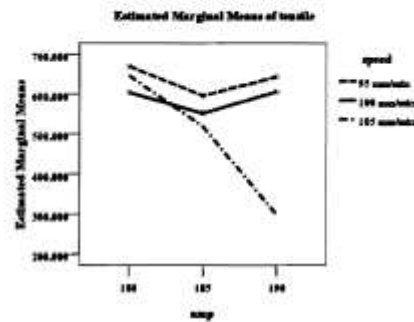
ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

Dependent Variable: tensile

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	202009.617 ^a	8	25251.202	10.754	.001
Intercept	5861311.641	1	5861311.641	2.496E3	.000
speed	68829.077	2	34414.539	14.657	.001
amp	48114.867	2	24057.434	10.246	.005
speed * amp	85065.672	4	21266.418	9.057	.003
Error	21132.462	9	2348.051		
Total	6084453.719	18			
Corrected Total	223142.079	17			

a. R Squared = .905 (Adjusted R Squared = .821)

ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนจากตารางที่ 1 พบว่ามีปัจจัยร่วม (Interaction) ระหว่าง กระแสเชื่อม (Amp) และ ความเร็วในการเชื่อม (Speed) มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) มีนัยสำคัญที่ระดับ .01 ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงที่ส่งผลในระดับต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงกราฟปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อน (Interaction) ระหว่างกระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed)

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

3. สรุป

จากผลการสร้างกราฟปฏิสัมพันธ์ พบว่าปัจจัยร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสเชื่อม (Amp) และความเร็วในการเชื่อม (Speed) มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ที่ความเร็วในการเชื่อม 95 มม./นาที ระดับกระแสเชื่อม 180 แอมป์ มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดโคตลงอยู่ที่ 672.151 N/mm^2 ด้านเปลี่ยนระดับของกระแสเชื่อม พบว่าค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จนถึงระดับกระแสเชื่อมที่ 185 แอมป์ เริ่มปรับตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับกระแสเชื่อม ถ้าความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 100 มม./นาที ที่กระแสเชื่อม 180 แอมป์ พบว่าค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จากนั้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นที่ 185 แอมป์ ความแข็งแรงดึงสูงสุดก็เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้นเป็น 105 มม./นาที พบว่าที่กระแสเชื่อมที่ 180 แอมป์ จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดสูงกว่าระดับของความเร็วในการเชื่อมที่ 100 มม./นาที แต่เมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นพบว่า ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีค่าลดลงอย่างมาก และลดลงต่ำสุดที่กระแสเชื่อมอยู่ที่ 190 แอมป์

4. กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ดำเนินการสำเร็จล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาช่วยเหลือ ตลอดจนได้รับคำแนะนำและชี้แนะ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอน และอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้แนวคิดและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาวิจัยตลอดจนแก้ไขปัญหาดังกล่าวในการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้การอนุญาตให้ใช้เครื่องมือ และเครื่องจักรที่ใช้ในการจัดทำงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- 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
- ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยาและตาโรหัฐติเกียรติพงศ์, 2538, วัสดุในงานวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: บริษัท พี.เอ. ดีพีวี จำกัด. หน้า 161-209
- ชิดเชวง ชิดชวนกิจ และคณะ, 2524, วิศวกรรมการเชื่อม, โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ, หน้า 1-2.
- David, JR., 1999, **ASM Specialty Handbook Stainless Steel**, ASM International Materials Park, Ohio USA., pp. 3-7.
- Heiple, CR. and Burgardt, P., 1993, **"Fluid Flow Phenomena During Welding"** ASM Handbook, Vol. 6, ASM International Materials Park, Ohio USA., pp. 19-22.
- 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.
- สันติรัฐ นันตะอาจ, 2549, เอกสารประกอบคำสอนวิชา PTE 611 (Welding and Joining), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

- เกรียงไกร วโนทยาน , การศึกษาผลกระทบบของกระแสไฟเชื่อมต่อโครงสร้างจุกภาคในเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิคเกรด UNS S3 2205 ด้วยกระบวนการเชื่อมทิก วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต
- วชิระ มีทอง, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์, การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม และคุณสมบัติของรอยต่อ . กรุงเทพฯ หน้า 1-96
- สมชัย เตหาสมบัติ,2529,เทคโนโลยีการเชื่อมประสาน เล่ม 3,ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,หน้า 755-767
- Richard D. Campbel, 1999, *The Professionals Advisor on Welding of Stainless Steels* ,American Welding Society, USA, p. 10,14-15, 20,23,27,29.
- สมาคมการเชื่อมโลหะแห่งประเทศไทย,2540,Shielding Gas,วารสารเชื่อมและเทคโนโลยีโลหะ,ปีที่ 15,ฉบับที่ 27, หน้า 35-42
- Hull,FC.,2002,Effect to Delta Ferrite on the hot cracking of stainless steel,Welding Journal(September 2002) ; pp.399-409.
- Goodwin , G. M. April 2005, *The effects of heat input and weld process on hot cracking in stainless steel* , Welding Journal 67 pp. 198-203
- Kujanpaa, V. P. Karjawainen, 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
16. Donal T Hawkins and Ralph Hultgren, 1995, *Metal Hand book (Volume 8, Metallography, Structures and Phase Diagram*, 8 th Edition, American Society for Metals(ASM),Metal Parks,Ohio,USA., pp. 291,304.
- วิชาญ โชติกลาง , การศึกษาของปัจจัยจากการเชื่อมระหว่างเหล็กกล้าสเตนเลสออสเทนนิค(AISI202) กับเหล็กกล้าสเตนเลสออสเทนนิค (AISI 2205) ด้วยกระบวนการเชื่อมแก๊สทั้งสเตนอาร์คต่อโครงสร้างจุกภาค และคุณสมบัติทางกล , วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต
- นัครทอง ไสยสง,อิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค เกรด 304,วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม พระจอมเกล้าธนบุรี
- สันติรัฐ นันตะอาจ, 2552, เอกสารประกอบคำสอนวิชา FEM 651 (Research Methodology I) , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.