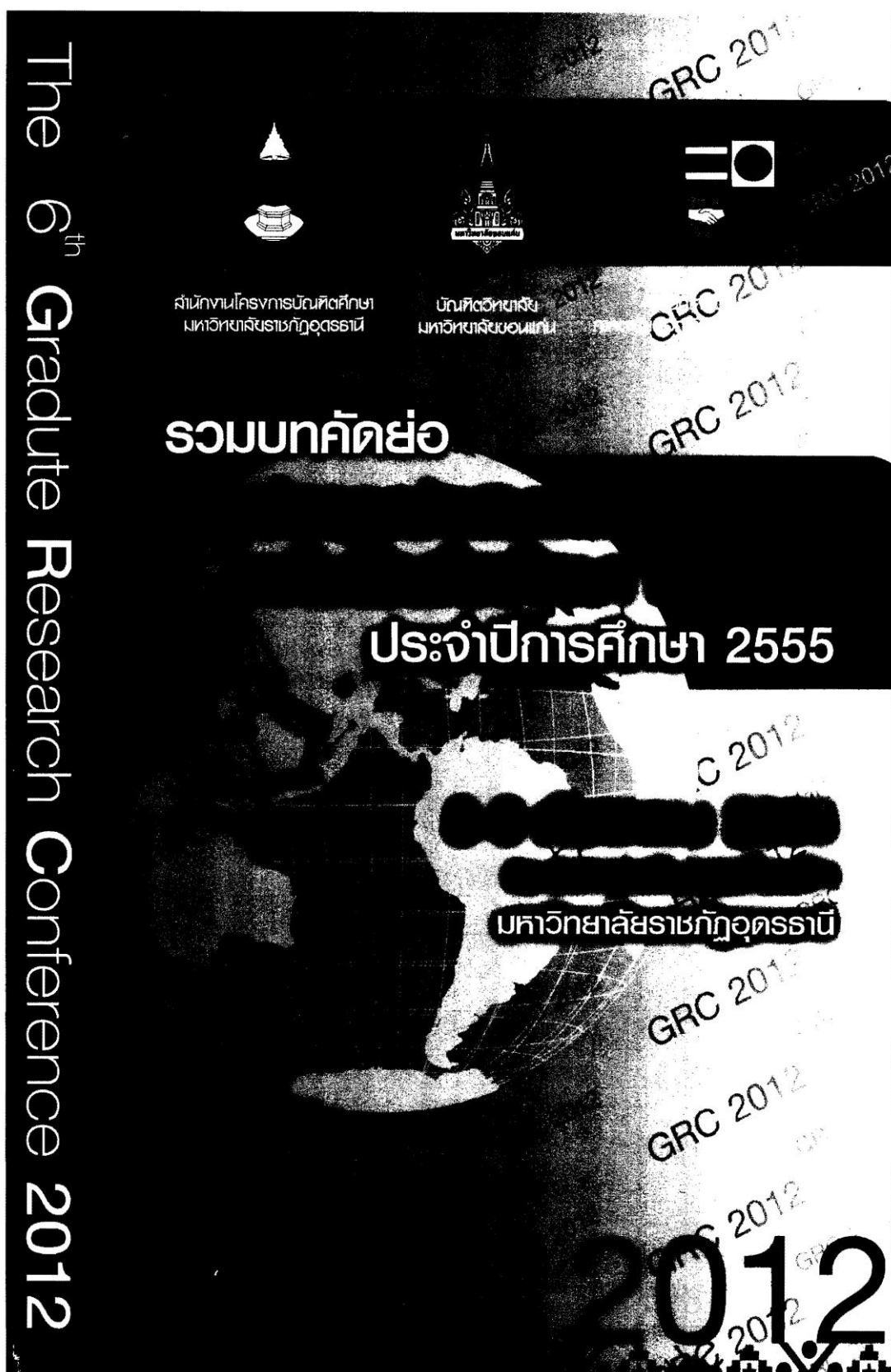


ภาคผนวก ค.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่



การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

**ศึกษาผลกระทบของฟลักซ์ต่อสมบัติการเชื่อมทิก (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW)
ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205)**

**The Study of the Effect of Flux Filling on the Properties of Gas Tungsten Arc Welding
Process of Duplex Stainless Steel (AISI 2205)**

คนธ์พงษ์ ถิ่นมนาวจิริกุล^{*}
สิทธิชัย แก้วเกื้อกูล^{**}
สันติรัฐ นันสะอาจ^{***}

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของฟลักซ์ต่อสมบัติการเชื่อมทิกของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ฟลักซ์ และ กระแสไฟเชื่อม ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 2 ปัจจัย มีผลกระทบต่อสมบัติทางกล ด้านความแข็งแรง บริเวณแนวเชื่อมและบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน และมีผลต่อค่าการซึมลึกและความกว้างของแนวเชื่อม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 จากการวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค พบว่าการทาฟลักซ์ทำให้ระดับการซึมลึกเพิ่มมากกว่าชิ้นงานเชื่อมที่ไม่ใช้ฟลักซ์ สูงสุดประมาณร้อยละ 52.15 และฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ เป็นฟลักซ์ที่ให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มระดับการซึมลึกและการเพิ่มค่าความแข็งแรงสูงสุด ส่วนฟลักซ์ที่ให้ประสิทธิภาพเพิ่มค่าความแข็งแรงที่สุดคือฟลักซ์ที่ทำจากผงไทเทเนียมออกไซด์ ฟลักซ์ที่ให้ประสิทธิภาพการซึมลึกคือฟลักซ์ที่ทำจากผงอลูมิเนียมออกไซด์

คำสำคัญ : ค่าความแข็งแรง, บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน, บริเวณเนื้อเชื่อม, อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อม

^{*} ศึกษาศตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

^{**} รองศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

^{***} อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

Abstract

The objective of the thesis was to study the effect of flux on the properties of the TIG welding of the duplex stainless steel (AISI 2205). The factors in this study consisted of the flux and the electric current welding. The results showed that the two factors used in this study had statistically significant on the mechanical properties and hardness of the weld zone and heat affected zone at the 0.5 level. The factors also effect on both the depth and the width of the penetration in the weld zone. When analyzing the macro-structure, the study found that the coated flux caused more deeper of the penetration levels than the parts that do not use flux about 52.15 percent. The flux from silicon oxide powder is effective for increasing both the depth of the penetration level and the maximum hardness. The flux that increases the least hardness is made of titanium oxide powder. The flux that increases the least effective in the penetration is made of aluminum oxide powder

Keywords: Hardness / HAZ /Weld Metal /Dilution

บทนำ

เหล็กกล้าไร้สนิม จัดอยู่ในประเภทของเหล็กกล้าผสมพิเศษผลิตขึ้นมา เพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้งานเฉพาะอย่างในต่างประเทศรวมถึงประเทศไทยได้มีการนำเอาเหล็กกล้าไร้สนิมมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เหล็กกล้าไร้สนิม จัดได้ว่าเป็นเหล็กกล้ากลุ่มผสมสูง (High Alloys) ที่มีส่วนผสมหลักคือ โครเมียมและนิกเกิล มีโครเมียมอย่างน้อย 10.5% ทำให้มีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือ สามารถต้านทานการกัดกร่อนทั้งในสภาวะที่เป็นกรดสูง จากการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน เหล็กกล้าไร้สนิมนั้นสามารถแบ่งออกเป็นเกรดต่างๆอยู่ 5 กลุ่มคือ ออสเทนนิติก เฟอร์ริติก ดิวเพล็กซ์ มาร์เทนซิติก และ กลุ่มเพิ่มความแข็งแรงโดยวิธีการตกผลึก เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มดิวเพล็กซ์ (Duplex) เป็นเหล็กกล้าที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยมีโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์ กับออสเทนไนต์ ที่มีสัดส่วนสมดุลกันภายหลังการชุบแข็งด้วยน้ำ (Water Quenching) เหล็กกล้ากลุ่มนี้มีความแข็งแรงสูง และมีคุณสมบัติต้านทาน stress corrosion cracking กว่าประเภทออสเทนนิติก สามารถเชื่อมได้ง่ายและหล่อง่าย เนื่องจากมีปริมาณของเฟอร์ไรต์อยู่ในโครงสร้างค่อนข้างมาก ข้อเสียของเหล็กกล้ากลุ่มนี้คือขึ้นรูปได้ยากเพราะมีสองเฟส มีโครเมียมผสมอยู่ประมาณ 18-28% และนิกเกิล 4.5-8% เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้มักถูกนำไปใช้งานที่มีคลอรีนสูงเพื่อป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion) และช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนที่เป็นรอยร้าวอันเนื่องมาจากแรงกดดัน (Stress corrosion cracking resistance) และคุณสมบัติทั้งความแข็งแรงและความเหนียว (Ductility) ที่สูงเป็นเลิศส่วนมากจะนำเอาเหล็กกล้า ไร้สนิมชนิดนี้ไปใช้ใน เครื่องมือแพทย์ เครื่องมือ เครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับ ผลิตภัณฑ์อาหาร เครื่องดื่มและเครื่องสำอาง สารพอกหุ้มหรือฟลักซ์ที่ใช้หุ้มลวดเชื่อมหรือใช้ทาชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมประกอบด้วยธาตุและสารประกอบทางเคมีหลายชนิด เพื่อทำหน้าที่ต่าง ๆ กัน เช่น ป้องกันการรวมตัวกับบรรยากาศภายนอก, ควบคุมการอาร์กให้สม่ำเสมอ, การควบคุมรูปร่างของแนวเชื่อม และ ความสามารถในการควบคุมส่วนผสมธาตุ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มคุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ให้กับแนวเชื่อม คุณสมบัติที่สำคัญดังกล่าวพอจะจำแนกได้ดังนี้ คือ 1. คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) 2. คุณสมบัติเชิงอุณหภูมิ (Thermal Properties) 3. คุณสมบัติเชิงเคมี (Chemical

Properties) 4. คุณสมบัติเชิงไฟฟ้า (Electrical Properties) 5.คุณสมบัติอื่นๆ (Other Properties) และในงานวิศวกรรมคุณสมบัติเชิงกล มีความสำคัญมากที่สุด เพราะเมื่อเราจะเลือกใช้วัสดุใด ๆ ก็ตาม สิ่งแรกที่จะนำมาพิจารณาก็คือคุณสมบัติเชิงกลของมัน การที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ใด ๆ จะสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น ความแข็ง (Hardness) ,ความแข็งแรง (Strength),ความเหนียว (Ductility) ฯลฯ เป็นสิ่งที่บ่งบอกว่าวัสดุนั้น ๆ สามารถที่จะรับหรือทนทานแรง หรือ พลังงานเชิงกลภายนอกที่มากระทำได้ดีมากน้อยเพียงใด

ซัชชัย อินนุมาคร ได้ศึกษาอิทธิพลของอินทรีฟลักซ์ ต่อการหลอมลึกและสมบัติทางกลใน การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิค เกรด AISI 304 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแบบก๊าซทั้งสแตนอาร์ค อินทรีฟลักซ์ที่ใช้เป็นส่วนผสมของสารเคมีสองชนิด คือผงไทเทเนียมไดออกไซด์และผงอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยผสมสารเคมีทั้งสองในอัตราส่วนต่าง ๆ จากการศึกษาพบว่า การทาฟลักซ์ทำให้ระดับการหลอมลึกเพิ่มมากกว่าชิ้นงานเชื่อมที่ไม่ใช้ฟลักซ์ สูงสุดประมาณร้อยละ 59.4 ฟลักซ์ที่ทาลงไปนั้นจะทำหน้าที่เพิ่มระดับการซึมลึกของแนวเชื่อมได้มากกว่าแนวเชื่อมปกติที่ไม่ใช้ฟลักซ์ ถึง 3 เท่า โดยใช้ความเร็วในการเชื่อมและกระแสเชื่อมเท่ากันกับการเชื่อมด้วยวิธีปกติ และ ไม่ต้องเติมโลหะเชื่อมอีกด้วย

จากที่ผู้ทดลองเคยได้ทำการทดลองทำการทาฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อม โดยใช้เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิค เกรด AISI 304 แล้วพบว่าฟลักซ์ทำให้เกิดการหลอมลึกเพิ่มมากกว่าชิ้นงานเชื่อมที่ไม่ใช้ฟลักซ์ สูงสุดประมาณร้อยละ 59.4 จึงทำให้ผู้วิจัยเกิดความสนใจจะศึกษาการทาฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อมนี้ ด้วยเหตุผลนี้ผู้ทดลองจึงมีความสนใจที่จะทดลองศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของฟลักซ์ต่อสมบัติการเชื่อมทิก Gas Metal Arc Welding (GMAW) ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) เพื่อศึกษาว่าผลกระทบของฟลักซ์ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อ โครงสร้างมหภาคและสมบัติทางกลด้านความแข็งแรงและอัตราการจัดเรียงตัวของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นในบริเวณแนวเชื่อม (Welded) , และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone (HAZ) โดยใช้ฟลักซ์และชิ้นงานเชื่อมที่ไม่ใช้ฟลักซ์และเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้เพื่อให้มั่นใจว่าฟลักซ์สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะไม่ส่งผลเสียในการใช้งานจริงในอุตสาหกรรม

2. การดำเนินการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

1. เครื่องเชื่อมทิก GTAW จำนวน 1 เครื่อง
2. เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงจับด้วยมอเตอร์ จำนวน 1 ตัว
3. แก๊สอาร์กอน จำนวน 2 ถัง
4. เครื่องกัด จำนวน 1 เครื่อง
5. เครื่องเลื่อยกล จำนวน 1 เครื่อง
6. เครื่องทดสอบแรงดึง 1 เครื่อง
7. เครื่องทดสอบความแข็ง 1 เครื่อง

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

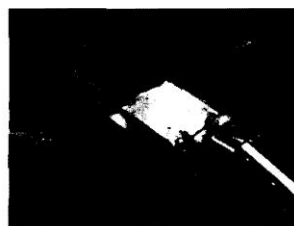
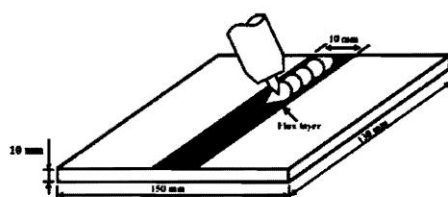
8. อุปกรณ์รองหลังงานเชื่อม และอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน 1 ชุด

9. เหล็กกล้าไร้สนิมคูเพล็กซ์ AISI 2205 ขนาด 10.00 มม. x 150.00 มม. x 130.00 มม.

10. สารเคมีที่ใช้เป็นผงฟลักซ์ได้แก่ ไทเทเนียมออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ ซิลิกอนออกไซด์

การเตรียมชิ้นงานทดลอง

ตัดเหล็กกล้าไร้สนิมคูเพล็กซ์ AISI 2205 ด้วยเครื่องเลื่อยกลโดยหล่อเย็นด้วยน้ำ ให้มีขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร ความกว้าง 150 มิลลิเมตร ความยาว 130 มิลลิเมตร

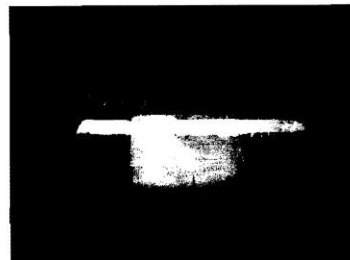


รูปที่ 1 การเชื่อมยึดชิ้นงานบริเวณหัวและท้าย

วิธีดำเนินการเชื่อม

เริ่มต้นด้วยการทาฟลักซ์บนชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมและเชื่อมจากแผ่นยึดชิ้นงาน จนไปสิ้นสุดที่แผ่นยึดชิ้นงาน อีกด้านหนึ่ง โดยใช้เทคนิคการเชื่อมแบบเดิน ไปข้างหน้าในตำแหน่ง Bead-on-plate ตำแหน่งทำราว

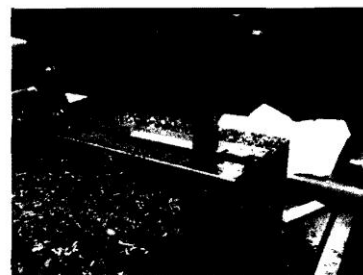
การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555



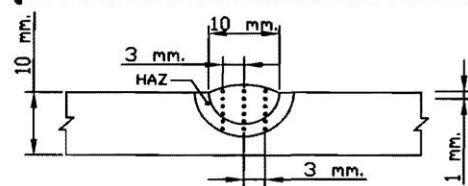
รูปที่ 2 การทาฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อมยึด



รูปที่ 3 ชิ้นงานทดลองเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม TIG



รูปที่ 4 ชิ้นงานทดลองเชื่อมด้วยคัตเพื่อทำการเตรียมทดสอบความแข็งแรง



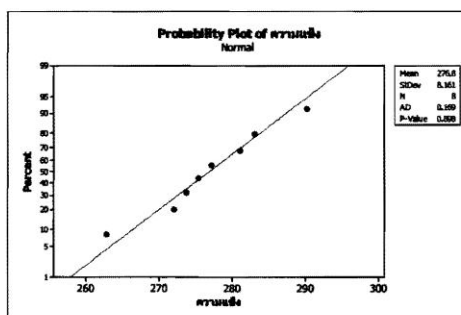
รูปที่ 5 ชิ้นงานทดลองเชื่อมทดสอบความแข็งแรง

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

2.1 การทดลองเบื้องต้น

การทดลองเบื้องต้น โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ คำนวณหาค่าการแจกแจงของข้อมูล ในการทดลองหาค่าความแข็งแรง ด้วยเครื่องทดสอบค่าความแข็งแรง โดยเลือกใช้หน่วย Vickers (HV) บริเวณที่ตรวจสอบได้แก่ บริเวณแนวเชื่อม (Welded) บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone (HAZ) และ มีการแจกแจงของข้อมูลอยู่ในขอบเขตที่เหมาะสมของระดับตัวแปร ผลการทดลองเบื้องต้น ค่ากระแสไฟเชื่อมมีความสัมพันธ์กับฟลักซ์ที่ใช้ทำก่อนทำการเชื่อม อยู่ในขอบเขตในการหาค่าความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อมและบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน พบว่าค่า

$P\text{-Value} = .898 > .05$ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงปกติ



รูปที่ 6 การทดสอบการแจกแจงข้อมูล ค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อม

2.2 การทดลอง

จากการทดลองเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ โดยใช้ฟลักซ์ทำก่อนทำการเชื่อมและใช้กระแสไฟเชื่อมที่ระดับ 150 แอมแปร์ 180 แอมแปร์ และ 210 แอมแปร์ ฟลักซ์ทาบริเวณชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม 3 ชนิด โทเทเนียมออกไซด์, อลูมิเนียมออกไซด์, และซิลิกอนออกไซด์ ทดสอบหาค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน จะทดสอบในหน่วย Vickers (HV) จำนวน 18 จุด ในบริเวณแนวเชื่อม (Welded) และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) ของชิ้นงาน ทดสอบแล้วนำมาวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยรายละเอียดยกนี้ พบว่าฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อม มีผลต่อค่าความแข็งแรงของชิ้นงานบริเวณแนวเชื่อม (Welded) และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) โดยวัดค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน ทดลองแล้วหาค่าเฉลี่ย นำไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ จากการแจกแจงข้อมูลของฟลักซ์ และกระแสไฟเชื่อม มีผลต่อค่าความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อม (Welded) และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) โดยพบว่าเมื่อกำหนดนัยสำคัญที่ระดับ .05 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อม (Welded) และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน

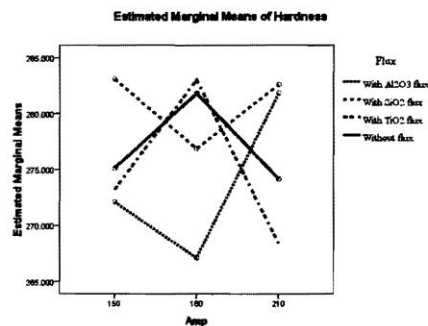
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Hardness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1109.498 ^a	11	100.863	3.287	.007
Intercept	2754654.434	1	2754654.434	8.976E4	.000
Amp	10.555	2	5.277	.172	.843
Flux	266.444	3	88.815	2.894	.056
Amp * Flux	832.500	6	138.750	4.521	.003
Error	736.544	24	30.689		
Total	2756500.476	36			
Corrected Total	1846.042	35			

a. R Squared = .601 (Adjusted R Squared = .418)

ปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสไฟเชื่อมและฟลักซ์ที่ทำการเชื่อม คำนวณ F-test ได้ 4.520 และมีนัยสำคัญที่ระดับ $.003 < .05$ แสดงว่าปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟเชื่อมและฟลักซ์ที่ใช้ทำการเชื่อม มีผลต่อค่าความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อม (Welded) และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone (HAZ) มีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 7 แสดงกราฟปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสไฟเชื่อมและฟลักซ์ของค่าความแข็งแรง

2.3 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งแรง

ผลการสร้างกราฟปฏิสัมพันธ์ พบว่าปัจจัยร่วม (Interaction) มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อม (Welded) และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน Heat Affected Zone (HAZ) ที่กระแสไฟเชื่อม 150 แอมแปร์ และใช้ฟลักซ์ซิลิกอนออกไซด์ทำชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม ส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงมากที่สุดเท่ากับ 283.089 HV และส่งผลต่อค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 268.402 HV ที่กระแสไฟเชื่อม 210 แอมแปร์ เมื่อใช้ฟลักซ์ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO₂) ทำชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม และนำค่าความแข็งแรงที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟระหว่างกระแสไฟเชื่อมและฟลักซ์ที่ใช้ทำการเชื่อม ดังรูปที่ 7

การประจําหน้าเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

จากการทดลองเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค (AISI 2205) ด้วยการเชื่อมทิก (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) พบว่าฟลักซ์ที่ใช้หาก่อนทำการเชื่อมและกระแสไฟเชื่อม มีผลต่อการซึมลึกและความกว้างของแนวเชื่อม วัดค่าความลึกต่อความกว้างของแนวเชื่อมของชิ้นงานทดลองแล้วหาค่าเฉลี่ย นำไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ จากการแจกแจงข้อมูลของฟลักซ์ และกระแสไฟเชื่อม มีผลต่อค่าอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อม โดยพบว่าเมื่อกำหนดนัยสำคัญที่ระดับ .01 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA อิทธิพลของฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อมมีผลต่ออัตราการซึมลึก

Tests of Between-Subjects Effects

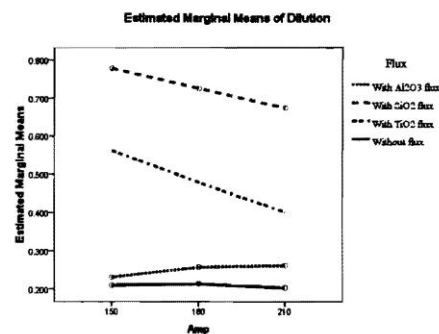
Dependent Variable: Dilution

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.595 ^a	11	.145	109.693	.000
Intercept	6.239	1	6.239	4.719E3	.000
Amp	.022	2	.011	8.261	.002
Flux	1.538	3	.513	387.876	.000
Amp * Flux	.035	6	.006	4.412	.004
Error	.032	24	.001		
Total	7.866	36			
Corrected Total	1.627	35			

a. R Squared = .980 (Adjusted R Squared = .972)

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสไฟเชื่อมและฟลักซ์ คำนวณ F-test ได้ 4.412 และมีนัยสำคัญที่ระดับ $.004 < .05$ แสดงว่าปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟเชื่อมและฟลักซ์ มีผลต่อค่าการซึมลึกและความกว้างของแนวเชื่อม มีนัยสำคัญที่ระดับ .05



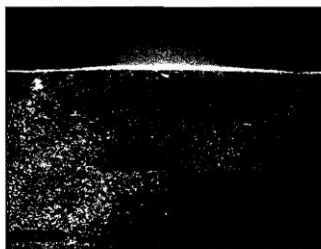
รูปที่ 8 แสดงกราฟปฏิสัมพันธ์อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อมมีผลต่อการซึมลึก

2.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคต่ออัตราการซึมลึกของแนวเชื่อม

ผลการสร้างกราฟปฏิสัมพันธ์ พบว่าปัจจัยร่วม (Interaction) ส่งผลกระทบต่ออัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมมากที่สุดเท่ากับ 0.778 ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 150 แอมแปร์ โดยใช้ฟลักซ์ซิลิกอนออกไซด์ทาบริเวณชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม และส่งผลกระทบต่ออัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมน้อยที่สุดเท่ากับ 0.231 ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 150 Amp โดยใช้ฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์ทาบริเวณชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม เพื่อให้สามารถมองเห็นได้ง่ายจึงได้นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกราฟระหว่างฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อม ส่งผลการซึมลึกและความกว้างของแนวเชื่อม ดังรูปที่ 8

เปรียบเทียบระยะการซึมลึกโดยใช้ฟลักซ์แต่ละชนิดและโนใช้ฟลักซ์

ไม่ทาฟลักซ์ (Without flux)

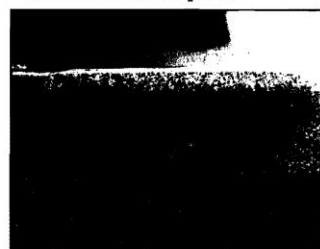


ค่าความกว้างเฉลี่ย $D = 8.219 \text{ mm}$.

ค่าความลึกเฉลี่ย $W = 1.701 \text{ mm}$.

อัตราการซึมลึก $W/D = 0.207$

ทาฟลักซ์ (With TiO_2 flux)



ค่าความกว้างเฉลี่ย $D = 8.171 \text{ mm}$.

ค่าความลึกเฉลี่ย $W = 3.847 \text{ mm}$.

อัตราการซึมลึก $W/D = 6.009$

ทาฟลักซ์ (With SiO_2 flux)



ค่าความกว้างเฉลี่ย $D = 5.964 \text{ mm}$.

ค่าความลึกเฉลี่ย $W = 4.289 \text{ mm}$.

อัตราการซึมลึก $W/D = 5.127$

ทาฟลักซ์ (With Al_2O_3 flux)



ค่าความกว้างเฉลี่ย $D = 8.20 \text{ mm}$.

ค่าความลึกเฉลี่ย $W = 2.06 \text{ mm}$.

อัตราการซึมลึก $W/D = 5.13$

3. บทสรุป

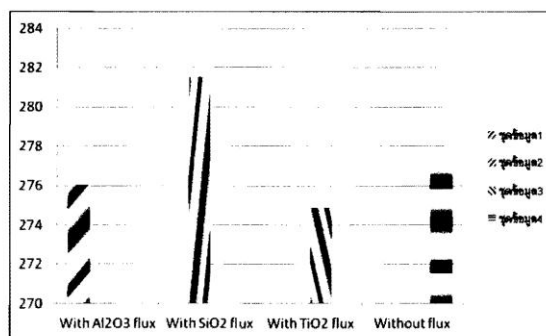
3.1 การสรุปผลการทดลอง ผลกระทบของฟลักซ์ต่อสมบัติทางด้านความแข็ง

จากการศึกษาการวิเคราะห์อิทธิพลหลัก (Main Effect) พบว่าปัจจัยด้านฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อม มีผลกระทบต่อค่าคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Weld metal) และ บริเวณเขต

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

อิทธิพลความร้อน (HAZ) จากการเพิ่มกระแสไฟฟ้าเชื่อมและใช้ฟลักซ์ต่างชนิดกัน มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความแข็งดังนี้ ฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มความแข็งของสูงที่สุดเท่ากับ 283.089 HV ที่ระดับกระแสไฟฟ้าเชื่อม 150 แอมแปร์ และฟลักซ์ที่ให้ประสิทธิภาพค่าความแข็งต่ำสุดคือฟลักซ์ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) โดยมีค่าความแข็งเท่ากับ 268.402 HV ที่ระดับกระแสไฟฟ้าเชื่อม 210 แอมแปร์

จากการศึกษาวิจัยสรุปได้ว่าฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนฟลักซ์ที่ทำจากผงไทเทเนียมออกไซด์และ อลูมิเนียมออกไซด์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานเชื่อมที่ไม่ทาฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อม ส่วนการเพิ่มหรือลดลงของกระแสไฟฟ้าเชื่อมส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งของแนวเชื่อมดังนี้ กระแสไฟฟ้าสูงขึ้นค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ฟลักซ์ซิลิกอนออกไซด์ และฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์ แต่ค่าความแข็งลดลงเมื่อใช้ฟลักซ์ไทเทเนียมออกไซด์ และถ้ากระแสไฟฟ้าลดลงค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ฟลักซ์ซิลิกอนออกไซด์ แต่ค่าความแข็งลดลงเมื่อใช้ฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์และฟลักซ์ไทเทเนียมออกไซด์เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อม เพื่อให้เป็นที่เข้าใจได้ง่ายจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาแสดงผลในรูปของตารางข้อมูล โดยได้แสดงไว้ใน รูปที่ 7



รูปที่ 9 เปรียบเทียบระดับความแข็งเฉลี่ยของแนวเชื่อมจากเหล็กกล้าไร้สนิม จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์และไม่ใช้ฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อม

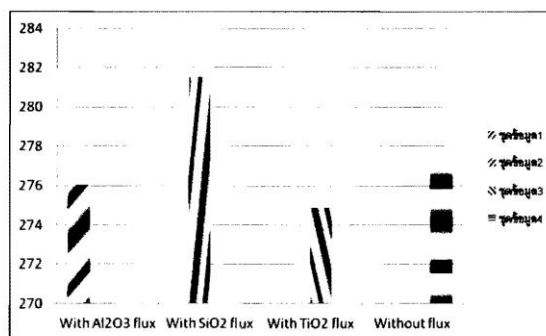
3.2 สรุปผลการทดลอง ผลกระทบของฟลักซ์ต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมหภาคด้านอัตราการซึมลึก (Dilution) ของแนวเชื่อม

จากการศึกษาการวิเคราะห์อิทธิพลหลัก (Main Effect) ปัจจัยด้านฟลักซ์และกระแสไฟฟ้าเชื่อม มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อม จากการเพิ่มกระแสไฟฟ้าเชื่อมและใช้ฟลักซ์ต่างชนิดกัน มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมดังนี้ ฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ ส่งผลทำให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมสูงที่สุดเท่ากับ 0.778 ที่ระดับกระแสไฟฟ้าเชื่อม 150 แอมแปร์ และฟลักซ์ที่ทำจากผงอลูมิเนียมออกไซด์ ส่งผลทำให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมต่ำสุดเท่ากับ 0.231 ที่ระดับกระแสไฟฟ้าเชื่อม 150 แอมแปร์ จากการศึกษารายสรุปได้ว่าฟลักซ์ที่ใช้ทาก่อนการเชื่อม มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อม (Depth/Width ratio) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อม

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

อิทธิพลความร้อน (HAZ) จากการเพิ่มกระแสไฟฟ้าเชื่อมและใช้ฟลักซ์ต่างชนิดกัน มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความแข็งดังนี้ ฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มความแข็งของสูงที่สุดเท่ากับ 283.089 HV ที่ระดับกระแสไฟฟ้าเชื่อม 150 แอมแปร์ และฟลักซ์ที่ให้ประสิทธิภาพค่าความแข็งต่ำสุดคือฟลักซ์ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) โดยมีค่าความแข็งเท่ากับ 268.402 HV ที่ระดับกระแสไฟฟ้าเชื่อม 210 แอมแปร์

จากการศึกษาวิจัยสรุปได้ว่าฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนฟลักซ์ที่ทำจากผงไทเทเนียมออกไซด์และ อลูมิเนียมออกไซด์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานเชื่อมที่ไม่ทาฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อม ส่วนการเพิ่มหรือลดลงของกระแสไฟฟ้าเชื่อมส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งของแนวเชื่อมดังนี้ กระแสไฟฟ้าสูงขึ้นค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ฟลักซ์ซิลิกอนออกไซด์ และฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์ แต่ค่าความแข็งลดลงเมื่อใช้ฟลักซ์ไทเทเนียมออกไซด์ และถ้ากระแสไฟฟ้าลดลงค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ฟลักซ์ซิลิกอนออกไซด์ แต่ค่าความแข็งลดลงเมื่อใช้ฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์และฟลักซ์ไทเทเนียมออกไซด์เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อม เพื่อให้เป็นที่เข้าใจได้ง่ายจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาแสดงผลในรูปของตารางข้อมูล โดยได้แสดงไว้ใน รูปที่ 7



รูปที่ 9 เปรียบเทียบระดับความแข็งเฉลี่ยของแนวเชื่อมจากเหล็กกล้าไร้สนิม จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์และไม่ใช้ฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อม

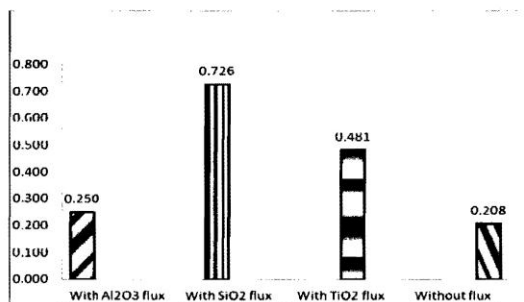
3.2 สรุปผลการทดลอง ผลกระทบของฟลักซ์ต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมหภาคด้านอัตราการซึมลึก (Dilution) ของแนวเชื่อม

จากการศึกษาการวิเคราะห์อิทธิพลหลัก (Main Effect) ปัจจัยด้านฟลักซ์และกระแสไฟฟ้าเชื่อม มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อม จากการเพิ่มกระแสไฟฟ้าเชื่อมและใช้ฟลักซ์ต่างชนิดกัน มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมดังนี้ ฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ ส่งผลทำให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมสูงที่สุดเท่ากับ 0.778 ที่ระดับกระแสไฟฟ้าเชื่อม 150 แอมแปร์ และฟลักซ์ที่ทำจากผงอลูมิเนียมออกไซด์ ส่งผลทำให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมต่ำสุดเท่ากับ 0.231 ที่ระดับกระแสไฟฟ้าเชื่อม 150 แอมแปร์ จากการศึกษารายสรุปได้ว่าฟลักซ์ที่ใช้ทาก่อนการเชื่อม มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อม (Depth/Width ratio) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ก่อนทำการเชื่อม

ส่วนการเพิ่มระดับกระแสไฟเชื่อมทำให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมลดลง เมื่อใช้ฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์และฟลักซ์ไทเทเนียมออกไซด์ แต่สำหรับฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์จะส่งผลต่ออัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมลดลงเมื่อใช้กระแสไฟต่ำลง

ตารางที่ 3 ข้อมูลเปรียบเทียบอัตราการซึมลึกเฉลี่ยจากแนวเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์และไม่ใช้ฟลักซ์

ชนิดฟลักซ์ที่ใช้	D/W Ratio	เพิ่มจากเมื่อไม่ใช้ฟลักซ์ (%)
1. ไม่ใช้ฟลักซ์	0.208	0
2. ฟลักซ์อลูมิเนียมออกไซด์	0.250	20.19
3. ฟลักซ์ซิลิกอนออกไซด์	0.726	49.04
4. ฟลักซ์ไทเทเนียมออกไซด์	0.481	31.25



รูปที่ 10 เปรียบเทียบอัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมเฉลี่ยของแนวเชื่อมจากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์และไม่ใช้ฟลักซ์ทำก่อนทำการเชื่อม

4. อภิปรายผล

4.1 อภิปรายผล ต่อสมบัติทางกลด้านความแข็ง

จากการทดลอง พบว่าฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ (SiO₂) ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าความแข็งของสูงที่สุดเท่ากับ 283.089 HV ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 150 แอมแปร์ และฟลักซ์ที่ให้ประสิทธิภาพค่าความแข็งต่ำสุดคือฟลักซ์ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO₂) โดยมีค่าความแข็งเท่ากับ 268.402 HV ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 210 แอมแปร์ เนื่องจากว่า คุณสมบัติของธาตุ ซิลิคอน (Silicon : Si) ซิลิคอนในเนื้อเหล็กจะรวมตัวกับคาร์บอนเกิดเป็นซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ซึ่งมีความแข็งมาก ดังนั้นเหล็กที่มีซิลิคอนผสมอยู่มากเกินไปจะมีความเปราะและแตกหักง่าย สมบัติในการเชื่อมประสานและปากผิวด้านล่าง ใช้เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซิง (Oxidizing) ทำให้เหล็กแข็งแรงและทนทานต่อการเสียดสีได้ดีขึ้น เพิ่มค่าแรงดึงที่จุดคราก (Yield Point) ของเหล็กให้สูงขึ้น

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

เหล็กกล้าที่มีซิลิกอนสูงจะมีเกรนหยาบ ส่วนไทเทเนียมเป็นโลหะที่แข็งมาก ทำให้เกิดคาร์ไบด์ได้ เป็นธาตุผสมที่สำคัญในเหล็กสเตนเลส เพื่อป้องกันการผุกร่อนตามขอบเกรน นอกจากนั้น ไทเทเนียมยังช่วยทำให้เหล็กมีเกรนละเอียด และธาตุออลูมิเนียมเป็นธาตุที่นิยมใช้เป็นตัวได้แก๊สออกซิเจน และไนโตรเจน (Deoxidizer และ Denitrizer) มากที่สุด ซึ่งผสมอยู่เล็กน้อยในเหล็ก จะมีผลทำให้เนื้อละเอียดขึ้น เมื่อใช้ผสมลงในเหล็กซึ่ง

4.2 อภิปรายผล ต่อการเปลี่ยนโครงสร้างมหภาค

จากการทดลอง พบว่าฟลักซ์ที่ทำจากผงซิลิกอนออกไซด์ ส่งผลให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมสูงสุดเท่ากับ 0.778 ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 150 แอมแปร์ และฟลักซ์ที่ทำจากผงออลูมิเนียมออกไซด์ ส่งผลให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมต่ำสุดเท่ากับ 0.231 ที่ระดับกระแสไฟเชื่อม 150 แอมแปร์ แต่อย่างไรก็ตาม ฟลักซ์ที่ทำจากผงออลูมิเนียมออกไซด์และฟลักซ์ที่ทำจากผงไทเทเนียมออกไซด์ส่งผลให้อัตราการซึมลึกของแนวเชื่อมมีแนวโน้มสูงกว่าชิ้นงานเชื่อมที่ไม่ทาฟลักซ์

5. ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงเศรษฐศาสตร์ต่อไปว่า แต่ละเงื่อนไขของการเชื่อมมีความแตกต่างกันอย่างไรบ้าง ฟลักซ์และกระแสไฟเชื่อมมีลำดับความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของอย่างไร
2. ในการตรวจสอบค่าความแข็งและตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเพื่อหาค่าเฉลี่ย ต้องมีความละเอียดและแม่นยำในการวัดและตรวจสอบ
3. การศึกษางานวิจัยครั้งนี้ทำให้มองเห็นประโยชน์ในด้านการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติทางกล อย่างไรก็ดีขอบเขตจำกัด แต่ทุกกรณี อยู่ภายใต้หลักวิชาการที่นำมาใช้อ้างอิง เป็นข้อเท็จจริงที่สามารถพิสูจน์ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ดำเนินการสำเร็จลงด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาช่วยเหลือ ตลอดจนได้รับคำแนะนำและชี้แนะ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอน และอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้แนวคิดและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาวิจัยตลอดจนแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้การอนุเคราะห์เครื่องมือ และเครื่องจักรที่ใช้ในการจัดทำงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

สมาคมพัฒนาสเตนเลสไทย. “ (26 เมษายน 2553) เหล็กกล้าไร้สนิม”, [Online] <http://www.wikipedia.org>.
 ชัชชัย อินนุมาต, 2553, อิทธิพลของอนินทรีย์ฟลักซ์ต่อการหลอมลึกและสมบัติทางกลในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม กลุ่มอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรมวิจัยการเชื่อมแบบก๊าซทั้งสเตนอาร์ค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
 บริษัท-ฟอร์แมจด์. “ความหมายของเหล็กกล้า”, [Online] [http:// www.trf.or.th](http://www.trf.or.th)

การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6 ปีการศึกษา 2555

คะเนย์ วรรณโท, 2538, การเชื่อมโลหะในระบบGMAW, ฝ่ายปฏิบัติการทางเทคนิค 2 สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ, หน้า 5-1 - 5-19.

“ส่วนประกอบที่สำคัญของการเชื่อม TIG”, [Online] [http:// sky-horse-argon-welding.blogspot.com](http://sky-horse-argon-welding.blogspot.com)

“อุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับการเชื่อมด้วยวิธีทิก”. กันยายน 2553 , [Online] www.mecboard.com.

ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยานและสาโรช จิตติเกียรติพงศ์, 2538, วัสดุในงานวิศวกรรม, พิมพ์ ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: บริษัท พิมอ. ลิฟวิ่ง จำกัด. หน้า 161-209

ขจรศักดิ์ ศิริมัย, 2538, โลหะวิทยาในงานอุตสาหกรรม, วิศวกรรมอุตสาหกรรมสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี,

Nowacki and A. Lukojc., 2005, ศึกษาอิทธิพลของการตกตะกอนของออกไซด์ในโพสที่สอง ใน HAZ ของการเชื่อมรอยเชื่อมต่อชนในเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิค ด้านความแข็งแรง และความต้านทานการกัดกร่อน.

