

โครงการวิจัย เรื่อง

การเชื่อมแกสเฉื่อยปกคลุมรอยต่อเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิม ในงานโครงสร้างอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล Metal Inert Gas Welding of Carbon Steel and Stainless Steel Joint in Sugar Production Industry

โดย

พ.อ.อ.ศักดิ์ชัย ผศ.ดร.กิตติพงษ์ ผศ.สุรัตน์ จันทศรี กิมะพงศ์ ตรัยวนพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งบประมาณประจำปี 2556

ผู้วิจัย	:	พ.อ.อ.ศักดิ์ชัยจันทศรี
		ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
		ผศ.สุรัตน์ ตรัยวนพงศ์
ชื่องานวิจัย	:	การเชื่อมแกสเฉื่อยปกคลุมรอยต่อเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมในงาน
		โครงสร้างอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล
หน่วยงาน	:	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

รอยต่อเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมมีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้นในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากข้อดีของโลหะทั้งสองทำให้สามารถเพิ่มอายุการใช้งานของโครงสร้างสำคัญได้ดีอย่างไรก็ตาม การเชื่อมรอยต่อโลหะทั้งสองทำได้ค่อนข้างยากเนื่องจากความแตกต่างของสมบัติวัสดุทั้งสองชนิดทำ ให้เกิดจุดบกพร่องต่างๆ ในโลหะเชื่อมด้วยเหตุนี้การเชื่อมที่ทำให้เกิดแนวเชื่อมสมบูรณ์และสมบัติที่ดี ควรมีการศึกษาต่อไป งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการเชื่อมรอยต่อชนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 โดยการเชื่อมอาร์กโลหะก๊าซคลุมและศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมที่มีผล ต่อสมบัติของรอยต่อ

แผ่นรีดรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI430 ถูกวาง เป็นรอยต่อชนในอุปกรณ์จับยึดและเชื่อมด้วยการเชื่อมอาร์กโลหะก๊าซคลุมโดยการเปลี่ยนแปลงตัว แปรการเชื่อม เช่น กระแสไฟเชื่อม ความเร็วเดินเชื่อม และชนิดของแก๊ส รอยต่อเชื่อมถูกนำไปทำการ เตรียมชิ้นทดสอบเพื่อทดสอบสมบัติรอยต่อ เช่น ความแข็งแรง(ASTM E8) ความแข็ง (ASTM E92) และโครงสร้างจุลภาค

ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึง 448 MPa คือ กระแสไฟเชื่อม 110 แอมแปร์ ความเร็วเดินเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที และแก๊สผสม 80%Ar + 20%CO₂ การเพิ่มกระแสและความเร็วเดินเชื่อมส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นและ ลดลงตามลำดับ ปริมาณแก๊สผสมที่เพิ่มขึ้นทำให้แนวเชื่อมมีคุณภาพสูงและเพิ่มค่าความแข็งแรงดึง ของรอยต่อ การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมพบเกรนคอลัมนาในโลหะเชื่อมและเกรน หยาบในพื้นที่กระทบร้อนนอกจากนั้นพบเฟสตกผลึกความแข็งสูงที่ขอบเกรนของโลหะเชื่อมและพื้นที่ กระทบร้อน

คำสำคัญ : เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าคาร์บอน การเชื่อมมิก พื้นที่กระทบร้อน

Name	:	FS1.Sakchai Chantasri
		Assist. Prof. Kittipong Kimapong, Ph.D.
		Assist. Prof.Surat Traiwanapong
Research	:	Metal Inert Gas Welding of Carbon Steel and Stainless Steel Joint
Title		in Sugar Production Industry
หน่วยงาน	:	Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering
		Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Abstract

The application of SS400 carbon steel and AISI430 Ferritic stainless steel joint was increased in industries because the advantage of both metals was able to increase the service life time of the important structures. However, a fusion welding of this joint was difficult because the different of materials properties could produce various defect types in the weld metal. Therefore, a fusion welding process that could produce a sound weld and good joint properties should be optimized. This research aimed to weld a butt joint of SS400 carbon steel and AISI430 ferritic stainless steel using Metal Inert Gas (MIG) welding process and to study the effect of welding parameters on joint properties.

Rolled plates in rectangular shape of SS400 carbon steel and AISI430 ferritic stainless steel were clamped in a jig to be a butt joint and welded the joint using MIG welding. The variation of the welding parameter such as welding current, welding speed and gas type were optimized. The welded joint was prepared and examined for the joint properties such as tensile strength (ASTM E8), hardness (ASTM E92) and microstructure.

The experimental results were concluded as follows. The optimized welding parameter that produced the tensile strength of 448 MPa was the welding current of 110A, the welding speed of 400 mm/min and the mixed gas of 80%Ar + 20%CO₂. Increase of the welding current and speed affected to increase and decrease the tensile strength of the joint, respectively. Increase of the amount of a mixed gas type produced a better weld quality and increased the tensile strength of the joint. Microstructure investigation of the welded joint showed a columnar grain in the weld metal and a coarse grain in the heat affected zone (HAZ). The unknown hard precipitated phases were also found at the grain boundaries of the weld metal and HAZ.

Keywords: stainless steel, carbon steel, metal inert gas welding, heat affected zone

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการ วิจัยประจำปี 2556 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ดังที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง ทำให้การทดลองสามารถดำเนิน การไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จน ทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนั้นขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยว ข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอ มอบแด่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

> ศักดิ์ชัย จันทศรี กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ สุรัตน์ ตรัยวนพงศ์

สารบัญ

	-	หน้า	
บทคัดย่อ	บทคัดย่อ		
บทคัดย่อภา	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		
กิตติกรรมป	ዋ		
สารบัญ	٦		
สารบัญตารา	้สารบัญตาราง		
สารบัญรูป		ฉ	
บทที่ 1 บท	น้ำ	1	
1.	1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1	
1.	2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2	
1.	3 ขอบเขตการวิจัย	2	
1.4	1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2	
บทที่ 2 ทฤ	ษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4	
2.	1 เหล็กกล้าคาร์บอน SS400	4	
2.	2 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430	5	
2.	3 ลวดเชื่อม MIG	8	
2.	1 แกสปกคลุม	9	
2	5 การเชื่อมอาร์กโลหะแกสคลุม	13	
2.	5 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	20	
2.	7 อิทธิพลของความเร็วและอุณหภูมิที่มีผลต่องานเชื่อม	23	
2.8	3 การทดสอบหาค่าการรับแรงดึง	26	
2.	9 การทดสอบหาค่าความแข็ง	28	
2.	10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31	
บทที่ 3 วิธีก	าารดำเนินงาน	37	
3.	1 วัสดุ	37	
3.	2 การเชื่อมทดลอง	39	
3.:	3 การทดสอบทางกล	43	
3.	1 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	47	
บทที่ 4 ผลเ	าารดำเนินงาน	51	
4.	1 อิทธิพลของกระแสเชื่อมต่อสมบัติของแนวเชื่อม	51	
4	2 อิทธิพลของแกสปกคลุมต่อสมบัติของแนวเชื่อม	58	
4.:	3 อิทธิพลของความเร็วในการเชื่อมต่อสมบัติของแนวเชื่อม	67	
บทที่ 5 สรุเ	Jผลการทดลอง	77	
5.	1 สรุปผลการทดลอง	77	
5.2	2 ข้อเสนอแนะ	78	
บรรณานุกระ	μ	80	
ภาคผนวก	82		

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400	4
2.2	สมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400	4
2.3	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430	6
2.4	สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430	7
2.5	ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม	9
2.6	อัตราการไหลของแกสคลุมและระยะห่างของหัวฉีดที่เหมาะสม	13
2.7	ขนาดน้ำหนักที่ใช้กดแต่ละเสกล	29
3.1	การออกแบบการทดลอง	42

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะรอยเชื่อมเหล็กกล้าเมื่อใช้แกสอาร์กอน และแกสอาร์กอนผสมออกซิเจน	11
2.2	ลักษณะรอยเชื่อม และการซึมลึกเมื่อใช้ แกสปกคลุมชนิดต่างๆ	12
2.3	ลักษณะของกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแกสคลุม	13
2.4	การเปรียบเทียบความยาวอาร์กที่แตกต่างกันด้วยเส้นโค้งสมบัติแรงดันและกระแส	14
	ของเครื่องเชื่อมชนิดแรงดันคงที่	
2.5	ลักษณะการถ่ายโอนน้ำโลหะทั้ง 4 แบบ	16
2.6	ลักษณะการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่	17
2.7	การถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร	18
2.8	ลักษณะกระแสและขั้นตอนการถ่ายโอนโลหะแบบพัลส์	19
2.9	ลักษณะของโครงสร้างจุลภาค	21
2.10	ลักษณะของโครงสร้างมหภาค	23
2.11	ช่วงอุณหภูมิบริเวณแอ่งหลอมละลายกระจายออกไป	23
2.12	การกระจายอุณหภูมิของการเชื่อมงานแผ่นบาง	24
2.13	การกระจายอุณหภูมิของการเชื่อมงานหนา	24
2.14	ลักษณะโครงสร้างแนวเชื่อมเมื่อแข็งตัวหลังจากการหลอมละลาย	25
2.15	แผนภูมิสมดุลย์ของเหล็ก และเหล็กคาร์ไบด์	25
2.16	ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดวงกลม	26
2.17	ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก	26
2.18	ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดขวางกลมหลังจากขาด	27
2.19	ลักษณะปลายยึดชิ้นทดสอบโดยการดึง	28
2.20	เครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์	29
2.21	เครื่องทดสอบไมโครฮาร์ดเน็ตวิกเกอร์	30
2.22	ลักษณะการกดและรอยกดที่เกิดขึ้นจากหัวกดเพชรรูปทรงพีระมิด	30
3.1	แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน JIS G3101 - SS400	36
3.2	แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI430	37
3.3	ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดลองด้วยเครื่องตัดโลหะแผ่น	37
3.4	ลักษณะชิ้นงานทดลองเมื่อตัดเรียบร้อย	38
3.5	การเชื่อมยึดชิ้นงานหัวท้ายก่อนทำการเชื่อม	38
3.6	การเตรียมเครื่องเชื่อมสำหรับการทดลอง	39
3.7	ลักษณะเครื่องตัดแกสแบบเส้นตรงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์	40
3.8	ลักษณะลวดเชื่อมมิก ตามมาตรฐาน AWS A 5.9 ขนาด 1.2 มม.	40
3.9	ลักษณะของถังแกสชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการปกคลุม	41
3.10	ลักษณะการจับยึดชิ้นงาน	41
3.11	ลักษณะเครื่องทดสอบแรงดึง	43
3.12	เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครฮาร์ดเน็ตวิกเกอร์	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.13	การตรวจสอบทางกายรูปของแนวเชื่อมก่อนนำไปทดสอบทางกล	44
3.14	ลักษณะการตัดชิ้นงานสำหรับการทดสอบ	45
3.15	ลักษณะตำแหน่งในการกดทดสอบความแข็ง	45
3.16	ลักษณะชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามขนาดสเกลที่กำหนด	46
3.17	ลักษณะการใช้เครื่องกัดชิ้นงานทดสอบแรงดึง	46
3.18	ลักษณะชิ้นงานทดสอบแรงดึงเมื่อผ่านการกัดด้วยเครื่องจักร	46
3.19	การหล่อเรซินชิ้นงานสำหรับการขัดตรวจสอบโครงสร้าง	47
3.20	ลักษณะของเครื่องขัดผิว	48
3.21	กล้องจุลทรรศน์ และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล	48
4.1	การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงจากปัจจัยด้านกระแสไฟ ที่กระแส 90 – 120 A	50
4.2	การเปรียบเทียบตำแหน่ง และระยะที่ชิ้นงานขาดออกจากกันโดยวัดจากกึ่งกลางแนว	51
	เชื่อมที่กระแส 90 – 120 A แกสปกคลุม Ar80% + CO ₂ 20%	
4.3	การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อม (Weld) จากปัจจัยด้านกระแสไฟ ที่	52
	กระแส 90 – 120 A แกสปกคลุม Ar80% + CO ₂ 20%	
4.4	การเปรียบเทียบค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430	53
	จากปัจจัยด้านกระแสไฟเชื่อม ที่กระแส 90 – 120 A แกสปกคลุม Ar80% + CO ₂	
	20%	
4.5	การเปรียบเทียบค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400	53
	จากปัจจัยด้านกระแสไฟเชื่อม ที่กระแส 90 – 120 A แกสปกคลุม Ar80% +	
	CO ₂ 20%	
4.6	การเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมและระบุตำแหน่งที่ใช้สำหรับ	55
	วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของกระแสเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดและต่ำสุด ที่	
	ความเร็ว 400 mm/min	
4.7	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อมที่กระแส 110 A แกสปกคลุม Ar100%	56
4.8	ลักษณะโครงสร้างแนวเชื่อมกับบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI	56
	430 ที่กระแส 110 A แกสปกคลุม Ar100%	
4.9	ลักษณะโครงสร้างบริเวณแนวเชื่อมกับพื้นที่กระทบร้านด้านเหล็กกล้าคาร์บอน	57
	SS400 ที่กระแส 110 A แกสปกคลุม Ar100%	
4.10	การเปรียบเทียบขนาดเกรน (Grain Size) ของแนวเชื่อม (Weld) พื้นที่กระทบร้อน	58
	(HAZ) และเนื้อโลหะเชื่อม (Base) ที่กระแส 110 A แกสปกคลุม Ar100%	
4.11	การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงสูงสุดจากปัจจัยด้านแกสปกคลุม ที่กระแส 110 A	59
4.12	การเปรียบเทียบตำแหน่งระยะที่ชิ้นงานขาดออกจากกันโดยวัดจากกึ่งกลางแนวเชื่อม	60
	ตัวแปรการเชื่อมด้านแกสปกคลุม ที่กระแส 110 A	
4.13	การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อมจากปัจจัยด้านแกสปกคลุมที่กระแส 110	60
	A	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.14	การเปรียบเทียบค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ตัวแปรการเชื่อบด้านแกสปกคลม ที่กระแส 110 A	61
4.15	การเปรียบเทียบค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 ตัวแปรการเชื่อบด้านแกสปกคลน ที่กระแส 110 A	61
4.16	การเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างมหภาคแนวเชื่อมและตำแหน่งที่ใช้วิเคราะห์ โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่ตัวแปรการเชื่อมด้านแกสปกคลุม ที่กระแส 110 A ความเร็ว 400 mm/min	63
4.17	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม ที่แกสปกคลุม Ar80% + CO ₂ 20% กระแส 110 A	64
4.18	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมกับพื้นที่กระทบร้านด้านเหล็กกล้าไร้ AISI 430 ที่กระแส 110 A แกสปกคลุม Ar80% + CO₂20%	65
4.19	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมกับพื้นที่กระทบร้านด้านเหล็กกล้า คาร์บอนที่แกสปกคลุม Ar80% + CO ₂ 20% กระแส 110 A	65
4.20	การเปรียบเทียบขน ^ำ ดเกรน (Grain Size) ของแนวเชื่อม(Weld) พื้นที่กระทบร้อน (HAZ) และเนื้อโลหะเชื่อม (Base) ที่แกสปกคลุม Ar80% + CO ₂ 20% กระแส 110 A	66
4.21	้การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงจากปัจจัยด้านความเร็วในการเชื่อม กับชนิดของ แกสปกคลมแนวเชื่อม ที่กระแส 110 A	67
4.22	การเปรียบเทียบค่าการรับแรงดึงจากปัจจัยการเชื่อมด้านความเร็วในการเชื่อม กับ กระแสเชื่อมที่แกสปกคลม Ar80% + CO ₂ 20%	68
4.23	การเปรียบเทียบตำแหน่งระยะที่ชิ้นงานขาดออกจากกันโดยวัดจากกึ่งกลางแนวเชื่อม ที่ตัวแปรความเร็วในการเชื่อม กระแส 110 A	69
4.24	การเปรียบเทียบค่าความแข็งของแนวเชื่อม (Weld) จากปัจจัยด้านความเร็วในการ เชื่อม กับแกสปกคลมแนวเชื่อม ที่กระแส 110 A	70
4.25	้ การเปรียบเทียบค่ำความแข็งของแนวเชื่อม (Weld) จากตัวแปรการเชื่อมด้าน ความเร็วในการเชื่อมกับกระแสเชื่อม ที่แกสปกคลม Ar80% + CO220%	70
4.26	การเปรียบเทียบค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 จากปัจจัยการเชื่อมด้านความเร็ว แกสปกคลม Ar80% + CO ₂ 20%	71
4.27	การเปรียบเทียบค่าความแข็งบริเวณพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 จากปัจจัยการเชื่อมด้านความเร็ว แกสปกคลม Ar80% + CO220%	71
4.28	การเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างมหภาคแนวเชื่อม และตำแหน่งวิเคราะห์ โครงสร้างจุลภาคที่ตัวแปรการเชื่อมด้านความเร็วในการเชื่อมที่แกสปกคลุม	73
4.29	Ar80%+CO220% กระแส 110 A ลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมที่ความเร็วในการเชื่อม 400 มม./นาที แกสปกคลุม CO2100% กระแส 110 A	74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.30	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมกับพื้นที่กระทบร้านด้านเหล็กกล้าไร้ AISI	74
	430 ที่กระแส 110 A แกสปกคลุม CO ₂ 100%	
4.31	ลักษณะโครงสร้างบริเวณแนวเชื่อมกับพื้นที่กระทบร้านด้านเหล็กกล้าคาร์บอน	75
	SS400 ที่กระแส 110 A ความเร็ว 400 มม./นาที แกสปกคลุม CO ₂ 100%	
4.32	การเปรียบเทียบขนาดเกรน (Grain Size) ของแนวเชื่อม(Weld) พื้นที่กระทบร้อน	76
	(HAZ) และเนื้อโลหะเชื่อม (Base) ที่ความเร็วในการเชื่อม 400 มม./นาที แกสปก	
	คลุมCO ₂ 100% กระแส110A	