

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ฏ

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.6 นิยามคำศัพท์	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การเชื่อมทิก (GTAW: Gas Tungsten Arc Welding)	5
2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมแบบ TIG	22
2.3 เหล็กกล้าคาร์บอน	23
2.4 การตรวจสอบโครงสร้างโลหะ	24
2.5 อิทธิพลของกระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อม (Current and Speed)	29
2.6 ผลกระทบจากการเชื่อมที่บริเวณ HAZ ของเหล็กกล้าคาร์บอน	30
2.7 การทดสอบความแข็ง	33
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	วิธีดำเนินการวิจัย	43
3.1	ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	43
3.2	กำหนดปัจจัยการทดลอง	43
3.3	เครื่องมือและอุปกรณ์	43
3.4	การทดลองเบื้องต้น	47
3.5	การออกแบบการทดลอง	48
3.6	ขั้นตอนการดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล	50
3.7	การดำเนินการทดลอง	51
3.8	การทดสอบและเก็บข้อมูล	53
3.9	สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล	58
4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	61
4.1	ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงในการทดลอง	61
4.2	ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อการหลอมลึก (Dilution)	61
4.3	ลักษณะการหลอมลึกของชิ้นงานจากการเชื่อมโดยทาฟลักซ์และไม่ทาฟลักซ์	67
4.4	ระยะการหลอมลึกของชิ้นงานจากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์และไม่ใช้ฟลักซ์	71
5	สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	87
5.1	สรุปผลการทดลอง	87
5.2	อภิปรายผล	89
5.3	ข้อเสนอแนะ	91
	เอกสารอ้างอิง	92

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ก. ข้อมูลการทดลอง

95

ข. รูปโครงสร้างงานเชื่อม

110

ประวัติผู้วิจัย

121

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ชนิดของทั้งสแตนเลสเหล็กโครดตาม AWS – ASTM	14
2.2 การเลือกใช้แก๊สปกคลุม	19
2.3 แสดงอัตราส่วน P/D2	34
2.4 แสดงการวัดความแข็งแบบ Rockwell สเกลต่างๆ	37
3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบหาประสิทธิภาพ ในการออกแบบ การทดลองเบื้องต้น	48
3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์การเชื่อม ในการทดลองจริง (Experimental design)	49
3.3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง	59
4.1 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนต่อความแข็ง	63
4.2 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนต่ออัตราการใช้เหล็ก (Dilution)	66
4.3 ข้อมูลเปรียบเทียบระยะการหลอมละลายเหล็กของแนวเชื่อมจากเหล็กกล้า คาร์บอนปานกลาง เกรด S45C จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์และไม่ใช้ฟลักซ์	84
ก.1 ตารางเทียบมาตรฐานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง Medium Carbon Steel (S45C)	109

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 แสดงกระบวนการเชื่อมแบบทิก (Tungsten Inert Gas Arc Welding)	6
2.2 แสดงภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อม	8
2.3 แสดงภาพเครื่องเชื่อมทิก	9
2.4 แสดงข้อของกระแสไฟฟ้าที่หัวเชื่อมและชิ้นงานในการเชื่อมแบบ D.C.S.P	9
2.5 แสดงแนวเชื่อมที่แคบและลึกในการเชื่อมแบบ D.C.S.P	9
2.6 แสดงข้อของกระแสไฟฟ้าที่หัวเชื่อมและชิ้นงานในการเชื่อมแบบ D.C.R.P	10
2.7 แสดงแนวเชื่อมที่กว้างแต่ไม่ลึกในการเชื่อมแบบ D.C.R.P	10
2.8 แสดงแสดงผิวของชิ้นงานในการเชื่อมแบบ D.C.R.P.	11
2.9 แสดงชิ้นส่วนที่ประกอบในหัวเชื่อมแบบ TIG ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ	12
2.10 แสดงชิ้นส่วนที่ประกอบในหัวเชื่อมแบบ TIG ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ	12
2.11 แสดงแนวเส้นการแตงปลายทั้งสเดนที่ถูกต้องสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม	15
2.12 แสดงแนวเส้นการแตงปลายทั้งสเดนที่ผิดสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม	16
2.13 แสดงปลายที่เจียรนัยแล้วของทั้งสเดนอิเล็กโทรดในการเชื่อมแต่ละแบบ	16
2.14 แสดงปลายที่เจียรนัยแล้วของทั้งสเดนอิเล็กโทรดในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม	16
2.15 เปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะแนวเชื่อมเมื่อใช้แก๊สอาร์กอน และฮีเลียม	17
2.16 อุปกรณ์ปรับความดัน แบบ Manometer	21
2.17 อุปกรณ์ปรับความดัน แบบ Flow-Meter	21
2.18 แสดงความสัมพันธ์ชนิดของแก๊สต่อกระแสเชื่อมและเปอร์เซ็นต์ของเม็ดโลหะ และประสิทธิภาพของการหลอมลวดเชื่อม	26
2.19 อัตราส่วนระหว่างความลึกต่อความกว้างของแนวเชื่อม	27
2.20 การหาอัตราการหลอมลึกตามมาตรฐาน AWS	28
2.21 แสดงลักษณะการแผ่กระจายของวงจรรความร้อนเมื่อความเร็วในการเชื่อมต่างกัน	29
2.22 แสดงการเกิดโครงสร้างของรอยเชื่อมกรณีใช้ความเร็วต่างกัน	29
2.23 การทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบ 3 ²	31

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
2.24 การทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบ 3^2 ในลักษณะ 3 มิติ	32
2.25 แสดงการทดสอบแบบ Brinell	34
2.26 แสดงลักษณะการทดสอบแบบ Brinell ที่ไม่ถูกต้อง	34
2.27 แสดงลักษณะรอยกดจากหัวเพชรของ Vickers Hardness Test	36
2.28 การพาโลหะหลอมเหลว อันเนื่องมาจากการเติมสารที่ส่งผลของผิวโลหะหลอมเหลว (ก) ไม่มีการเติมสารที่ส่งผลต่อสมบัติของผิวโลหะหลอมเหลว (ข) เมื่อเติมสารที่ส่งผลต่อสมบัติของผิวโลหะหลอมเหลว	41
3.1 เครื่องเชื่อมทิก เอช.ดีซี. TIG 215P AC/DC	44
3.2 เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ TANATA KT-5N	44
3.3 Wire Cut Machines (AQ325L)	45
3.4 เครื่องเลื่อยกล รุ่น MEBA 320	45
3.5 ฟลักซ์ 3 ชนิด คือ Titanium Oxide (TiO_2) Silica Oxide (SiO_2) และ Aluminium Oxide (Al_2O_3)	45
3.6 แผ่นทองแดงรองหลังงานเชื่อมและการตั้งปลายหัวเชื่อม	46
3.7 เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Tester) รุ่น MATSUZAWA Model MMT-X7B	46
3.8 กล้องจุลทรรศน์ Stereo Microscope	47
3.9 แสดงขนาดชิ้นงานที่เตรียมทำการเชื่อม	50
3.10 Titanium Oxide (TiO_2) Silica Oxide (SiO_2) Aluminium Oxide (Al_2O_3) และ Acetone	50
3.11 แสดงวิธีการประกบแผ่นหลังชิ้นงานเชื่อมด้วย แผ่นทองแดง	51
3.12 แสดงวิธีการร่างแบบชิ้นงานเชื่อม เพื่อเปรียบเทียบการเชื่อมที่ทาฟลักซ์กับ ไม่ทาฟลักซ์	52
3.13 ชิ้นงานเชื่อมที่ร่างแบบเสร็จเตรียมเชื่อมเปรียบเทียบรอยเชื่อมที่ทาฟลักซ์กับ ไม่ทาฟลักซ์	52
3.14 แสดงการตรวจสอบหัวเชื่อมก่อนการเชื่อม โดยใช้แผ่นทองแดงประกบด้านหลัง	52
3.15 แสดงวิธีการเชื่อมชิ้นงาน ด้วยการเชื่อมมิก	53

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.16 แสดงการออกแบบชิ้นงานเชื่อม เพื่อตัดทำการทดสอบความแข็ง ศึกษาโครงสร้างและการหลอมลึก (Dilution)	54
3.17 เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Tester)	55
3.18 แสดงตำแหน่งการทดสอบความแข็ง บริเวณแนวเชื่อม บริเวณกระทบริ้นและโลหะงาน	55
3.19 การบันทึกผลการทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Tester)	56
3.20 แสดงการขัดชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องขัด	57
3.21 กล้องจุลทรรศน์ (Stereo Microscope) ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคเพื่อดูลักษณะรูปร่างแนวเชื่อม โดยกล้องมีกำลังขยายตั้งแต่ 8 เท่า - 30 เท่า	57
4.1 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็ง ในการทดลองขึ้นต้น	62
4.2 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของอัตราการซึมลึก (Dilution)	64
4.3 ลักษณะของแนวเชื่อมจากการทาฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO ₂) กระแส 185 Amp	65
4.4 ลักษณะของแนวเชื่อมจากการทาฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO ₂) กระแส 200 Amp	66
4.5 ลักษณะของแนวเชื่อมจากการทาฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO ₂) กระแส 215 Amp	67
4.6 ลักษณะของแนวเชื่อมทาฟลักซ์ Silica Oxide (SiO ₂) กระแส 185 แอมแปร์	67
4.7 ลักษณะของแนวเชื่อมทาฟลักซ์ Silica Oxide (SiO ₂) กระแส 200 แอมแปร์	68
4.8 ลักษณะของแนวเชื่อมทาฟลักซ์ Silica Oxide (SiO ₂) กระแส 215 แอมแปร์	68
4.9 ลักษณะของแนวเชื่อมทาฟลักซ์ Aluminium Oxide(Al ₂ O ₃) กระแส 185 แอมแปร์	69
4.10 ลักษณะของแนวเชื่อมทาฟลักซ์ Aluminium Oxide(Al ₂ O ₃) กระแส 200 แอมแปร์	69
4.11 ลักษณะของแนวเชื่อมทาฟลักซ์ Aluminium Oxide(Al ₂ O ₃) กระแส 215 แอมแปร์	70
4.12 ลักษณะการหลอมละลายลึกของแนวเชื่อม ที่ได้จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO ₂) ทาก่อนเชื่อมเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ที่กระแส 185 แอมป์แปร์	70
4.13 ลักษณะการหลอมละลายลึกของแนวเชื่อม ที่ได้จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO ₂) ทาก่อนเชื่อมเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ที่กระแส 200 แอมป์แปร์	71

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.14 ลักษณะการหลอมละลายลิกของแนวเชื่อม ที่ได้จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO_2) ทาก่อนเชื่อมเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ กระแส 215 แอมป์แปร์	72
4.15 ลักษณะการหลอมละลายลิกของแนวเชื่อม ที่ได้จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์ Silica Oxide (SiO_2) ทาก่อนเชื่อมเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ กระแส 185 แอมป์แปร์	74
4.16 ลักษณะการหลอมละลายลิกของแนวเชื่อม ที่ได้จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์ Silica Oxide (SiO_2) ทาก่อนเชื่อมเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ กระแส 200 แอมป์แปร์	75
4.17 ลักษณะการหลอมละลายลิกของแนวเชื่อม ที่ได้จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์ Silica Oxide (SiO_2) ทาก่อนเชื่อมเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ กระแส 215 แอมป์แปร์	76
4.18 ลักษณะการหลอมละลายลิกของแนวเชื่อม ที่ได้จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์ Aluminium Oxide(Al_2O_3)ทาก่อนเชื่อมเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ กระแส 185 แอมป์แปร์	77
4.19 ลักษณะการหลอมละลายลิกของแนวเชื่อม ที่ได้จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์ Aluminium Oxide(Al_2O_3) ทาก่อนเชื่อมเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ กระแส 200 อมป์แปร์	78
4.20 ลักษณะการหลอมละลายลิกของแนวเชื่อม ที่ได้จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์ Aluminium Oxide(Al_2O_3) ทาก่อนเชื่อมเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ กระแส 215 แอมป์แปร์	80
4.21 ลักษณะการหลอมละลายลิกของแนวเชื่อม ที่ได้จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์ Aluminium Oxide(Al_2O_3) ทาก่อนเชื่อมเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ กระแส 200 แอมป์แปร์	81
4.22 ลักษณะการหลอมละลายลิกของแนวเชื่อม ที่ได้จากการเชื่อมโดยใช้ฟลักซ์ Aluminium Oxide(Al_2O_3) ทาก่อนเชื่อมเปรียบเทียบกับไม่ทาฟลักซ์ กระแส 215 แอมป์แปร์	83
4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ การหลอมลิกของแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้น ที่ระดับกระแสไฟ เชื่อม 3 ระดับ คือ 185 Amp, 200 Amp และ 215 Amp จากการทาฟลักซ์ 3 ชนิด ก่อนการเชื่อม	85

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ ความกว้างของแนวเชื่อมที่เพิ่มขึ้น ที่ระดับกระแสไฟ เชื่อม 3 ระดับ คือ 185 Amp, 200 Amp และ 215 Amp จากการทาฟลักซ์ 3 ชนิด ก่อนการเชื่อม	86
ก.1 Ti-185 ลักษณะของแนวเชื่อมจากการทาฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO_2) กระแส 185 Amp	96
ก.2 Ti-200 ลักษณะของแนวเชื่อมจากการทาฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO_2) กระแส 200 Amp	96
ก.3 Ti-215 ลักษณะของแนวเชื่อมจากการทาฟลักซ์ Titanium Oxide (TiO_2) กระแส 215 Amp	97
ก.4 Si-185 ลักษณะของแนวเชื่อมทาฟลักซ์ Silica Oxide (SiO_2) กระแส 185 แอมแปร์	97
ก.5 Si-200 ลักษณะของแนวเชื่อมทาฟลักซ์ Silica Oxide (SiO_2) กระแส 200 แอมแปร์	98
ก.6 Si-215 ลักษณะของแนวเชื่อมทาฟลักซ์ Silica Oxide (SiO_2) กระแส 215 แอมแปร์	98
ก.7 Al-185 ลักษณะของแนวเชื่อมทาฟลักซ์ Aluminium Oxide(Al_2O_3) กระแส 185 แอมแปร์	99
ก.8 Al-200 ลักษณะของแนวเชื่อมทาฟลักซ์ Aluminium Oxide(Al_2O_3) กระแส 200 แอมแปร์	99
ก.9 Al-215 ลักษณะของแนวเชื่อมทาฟลักซ์ Aluminium Oxide(Al_2O_3) กระแส 215 แอมแปร์	100

รายการสัญลักษณ์

ER	=	Electrode Rod
η	=	ประสิทธิภาพของการเชื่อม
T	=	อุณหภูมิ
Ar	=	อาร์กอน
CO ₂	=	คาร์บอนไดออกไซด์
O ₂	=	ออกซิเจน
H ₂	=	ไฮโดรเจน
N ₂	=	ไนโตรเจน