สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
รายการตาราง ซ
รายการรูปประกอบ ฌ
รายการสัญลักษณ์ ฎ

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 3

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 แก๊สปกคลุม (Shielding Gas) 5
2.2 กรรมวิธีการเชื่อมแบบแก๊สเมตัลอาร์ค (Gas Metal Arc Welding : GMAW) หรือการเชื่อมมิก/แม็ก (MIG/MAG) 8
2.3 การจำแนกประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิม 12
2.4 เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มดุเพล็กซ์ (Duplex Stainless Steels) 13
2.5 เหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก 20
2.6 สมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิมต่อความสามารถในการเชื่อม 21
2.7 ผลของธาตุผสมในเหล็กกล้าไร้สนิม 23
2.8 การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ 24

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.9 โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ที่ได้หลังการเชื่อม	26
	2.10 การควบคุมปริมาณความร้อน (Heat input)	27
	2.11 การทดสอบความแข็ง (Hardness test)	28
	2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
3.	**วิธีการดำเนินการวิจัย**	**39**
	3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	39
	3.2 กำหนดปัจจัยการทดลอง	39
	3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	39
	3.4 การทดลองเบื้องต้น	42
	3.5 การออกแบบการทดลอง	43
	3.6 การเตรียมชิ้นงานทดลอง	47
	3.7 การดำเนินการทดลอง	48
	3.8 การทดสอบและเก็บข้อมูล	49
	3.9 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล	53
4.	**ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล**	**56**
	4.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งในการทดลองขั้นต้น	56
	4.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งในการทดลอง	57
	4.3 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความเค้นแรงดึงสูงสุด ในการทดลองขั้นต้น	61
	4.4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความเค้นแรงดึงสูงสุด ในการทดลอง	62
	4.5 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค	65
5.	**สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ**	**75**
	5.1 สรุปผลการทดลอง	75
	5.2 อธิปลายผล	77
	5.3 ข้อเสนอแนะ	78

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง **79**

ภาคผนวก

ก. ตารางค่าแรงดึง 81

ข. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ 85

ประวัติผู้วิจัย **89**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 สมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเตนนิติค เกรด AISI 304 21

2.2 แสดงอัตราส่วน P/D^2 29

2.3 แสดงการวัดความแข็งแบบ Rockwell สเกลต่าง ๆ 32

3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบหาประสิทธิภาพ ในการทดลองเบื้องต้น 43

3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์การเชื่อม ในการทดลองจริง 44

3.3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง 54

4.1 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนต่อความแข็ง 58

4.2 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ต่อความเค้นแรงดึงสูงสุด 63

4.3 แสดงความแตกต่างของระดับของความเร็วในการเชื่อม โดยวิธี LSD ต่อความเค้นแรงดึงสูงสุด 64

4.4 แสดงความแตกต่างของความเร็วในการเชื่อม ที่มีอิทธิพลต่อความเค้นแรงดึงสูงสุด 64

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	แสดงเครื่องเชื่อมสำหรับกระบวนการเชื่อมแบบเมตัลอาร์ค	9
2.2	แสดงพื้นฐานหลักการอาร์คของกระบวนการเชื่อมแบบเมตัลอาร์ค	9
2.3	โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติค	12
2.4	โครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	14
2.5	แสดงไดอะแกรมการเปลี่ยนแปลงเวลา – อุณหภูมิ ที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการตกผลึกของธาตุผสมในเหล็กกล้าสเตนเลสดูเพล็กซ์	19
2.6	แสดงผลของสมบัติทางกายภาพต่อการเชื่อม	22
2.7	แสดงการเปรียบเทียบการขยายตัว เนื่องจากความร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิมกับเหล็กกล้าคาร์บอน	23
2.8	แผนภูมิเดอลองแสดงอิทธิพลของส่วนผสมทางเคมี ต่อโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะเชื่อม	27
2.9	แสดงการทดสอบแบบ Brinell	29
2.10	แสดงลักษณะการทดสอบแบบ Brinell ที่ไม่ถูกต้อง	29
2.11	แสดงลักษณะรอยกดจากหัวเพชรของVickers Hardness Test	31
3.1	เครื่องเชื่อมมิก รุ่น HOBART RC-256	40
3.2	เครื่องผสมแก๊ส	40
3.3	เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับด้วยมอเตอร์ รุ่น TANATA KT-5N	41
3.4	อุปกรณ์รองหลังงานเชื่อมและอุปกรณ์จับยึดในงานเชื่อม	41
3.5	เครื่องทดสอบความแข็ง รุ่น MMT-X7	41
3.6	เครื่องออฟติคอลอิมิชชั่นสเปคโตมิเตอร์ รุ่น DV 6	42
3.7	เครื่องทดสอบแรงดึง	42
3.8	แสดงวิธีการต่อชิ้นงานแบบต่อชน	47
3.9	แสดงวิธีการเชื่อมยึดหัว-ท้าย ชิ้นงานด้วยแผ่นเหล็กกล้า	47
3.10	แสดงการจับยึดชิ้นงานก่อนการเชื่อมโดยใช้แผ่นทองแดงประกบด้านหลัง	48
3.11	แสดงวิธีการเชื่อมชิ้นงาน ด้วยการเชื่อมมิก	48

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

3.12 แสดงการออกแบบชิ้นงานเชื่อม เพื่อตัดทำการทดสอบความแข็ง แรงดึงและศึกษาโครงสร้างจุลภาค 49

3.13 แสดงตำแหน่งการทดสอบความแข็ง บริเวณแนวเชื่อม บริเวณกระทบร้อน และโลหะงาน 50

3.14 แสดงวิธีการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส 50

3.15 แสดงลักษณะชิ้นงานใช้ทดสอบความเค้นแรงดึงสูงสุด ตามมาตรฐาน ASME Section IX 51

3.16 แสดงการขัดชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องขัด 52

3.17 แสดงวิธีการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ของชิ้นงานทดลองด้วยกล้องจุลทรรศน์ 52

4.1 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็ง ในการทดลองขั้นต้น 56

4.2 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็งในการทดลอง 57

4.3 กราฟแสดงอิทธิร่วมต่อความแข็ง ของแก๊สปกคลุม กระแสเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม 250 ม.ม./นาที 59

4.4 กราฟแสดงอิทธิร่วมต่อความแข็ง ของแก๊สปกคลุม กระแสเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม 300 ม.ม./นาที 60

4.5 กราฟแสดงอิทธิร่วมต่อความแข็ง ของแก๊สปกคลุม กระแสเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม 350 ม.ม./นาที 60

4.6 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด ในการทดลองขั้นต้น 61

4.7 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของแรงดึงสูงสุด ในการทดลอง 62

4.8 แสดงลักษณะส่วนต่างๆ ของชิ้นงานเชื่อม และบริเวณที่ได้รับอิทธิพลของความร้อนจากการเชื่อม ในการเชื่อมต่อชน (Butt Joint) เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก (AISI 304) 65

4.9 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาค บริเวณโลหะงานด้านเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก (AISI 304) 66

4.10 แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณโลหะ ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) 66

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.11 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบร้อน ด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความแข็งสูงที่สุด 67

4.12 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความแข็งสูงที่สุด 68

4.13 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบร้อน ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความแข็งสูงที่สุด 68

4.14 แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณกระทบร้อน ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก (AISI 304) ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความแข็งต่ำที่สุด 69

4.15 แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณรอยเชื่อม ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความแข็งต่ำที่สุด 69

4.16 แสดงลักษณะโครงสร้างบริเวณกระทบร้อน ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความแข็งต่ำที่สุด 70

4.17 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบร้อน ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก (AISI 304) ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงที่สุด 71

4.18 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงที่สุด 71

4.19 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบร้อน ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงที่สุด 72

4.20 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบร้อน ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก (AISI 304) ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงต่ำที่สุด 72

4.21 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงต่ำที่สุด 73

4.22 แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบร้อน ด้านเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) ชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงต่ำที่สุด 73

รายการสัญลักษณ์

Ar	=	อาร์กอน
CO_2	=	คาร์บอนไดออกไซด์
ER	=	Electrode Rod
FN	=	Ferrite Number
H_2	=	ไฮโดรเจน
N_2	=	ไนโตรเจน
O_2	=	ออกซิเจน
T	=	อุณหภูมิ
η	=	ประสิทธิภาพของการเชื่อม
γ	=	สัมประสิทธิ์แรงตึงผิว
r	=	ระยะรัศมีจากจุดอาร์ค
ρ	=	ความหนาแน่น