

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ต
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ถ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.6 นิยามคำศัพท์	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กรรมวิธีการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding)	4
2.2 การถ่ายเทโลหะ (Metal Transfer)	6
2.3 อุปกรณ์ในการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม(GMAW)	9
2.4 ผลกระทบจากการเชื่อมที่บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนของเหล็กกล้า (Heat Affected Zone in Carbon Steels)	18
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
3. การดำเนินงานวิจัย	25
3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	25
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ขั้นตอนก่อนการออกแบบการทดลอง	30
3.4 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง	30
3.5 ขั้นตอนวิธีการดำเนินการทดลอง	30
3.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล	33
3.7 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม	35
3.8 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	37
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	38
4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น	38
4.1.1 อิทธิพลการเชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาทีที่มีผลต่อสมบัติทางกลด้านความแข็ง	38
4.1.2 อิทธิพลการเชื่อมด้วยกระแสไฟ 300 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 450 มิลลิเมตรต่อนาทีที่มีผลต่อสมบัติทางกลด้านความแข็ง	41
4.1.3 อิทธิพลการเชื่อมด้วยกระแสไฟ 350 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 500 มิลลิเมตรต่อนาทีที่มีผลต่อสมบัติทางกลด้านความแข็ง	43
4.2. การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค	47
4.2.1 โครงสร้างมหภาคของชิ้นงานเชื่อม	47
4.2.2 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อม	51
5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุป	65
5.2 อภิปรายผล	65
5.3 ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก	
ก. ข้อมูลการวิจัย	70
ข. ส่วนผสมทางเคมี	89

สารบัญ (ต่อ)

ประวัติผู้วิจัย

หน้า

93

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ช่วงกระแสแบบ Short Arc สำหรับลวดเหล็กขนาดต่างๆ	6
3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010	26
3.2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม (Filler Metal) ER-70S6	27
ก.1.1 ข้อมูลคุณสมบัติทางกลด้านค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม เชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 Amp ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที ที่เชื่อมทับ 0 เฟอร์เซ็นต์	71
ก.1.2 ข้อมูลคุณสมบัติทางกลด้านค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม เชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 Amp ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที ที่เชื่อมทับ 10 เฟอร์เซ็นต์	71
ก.1.3 ข้อมูลคุณสมบัติทางกลด้านค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม เชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 Amp ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที ที่เชื่อมทับ 20 เฟอร์เซ็นต์	72
ก.1.4 ข้อมูลคุณสมบัติทางกลด้านค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม เชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 Amp ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที ที่เชื่อมทับ 30 เฟอร์เซ็นต์	72
ก.1.5 ข้อมูลคุณสมบัติทางกลด้านค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม เชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 Amp ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที ที่เชื่อมทับ 40 เฟอร์เซ็นต์	73
ก.1.6 ข้อมูลคุณสมบัติทางกลด้านค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม เชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 Amp ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที ที่เชื่อมทับ 50 เฟอร์เซ็นต์	73
ก.1.7 ข้อมูลคุณสมบัติทางกลด้านค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม เชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 Amp ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที ที่เชื่อมทับ 60 เฟอร์เซ็นต์	74
ก.1.8 ข้อมูลคุณสมบัติทางกลด้านค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม เชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 Amp ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที ที่เชื่อมทับ 70 เฟอร์เซ็นต์	74
ก.1.9 ข้อมูลคุณสมบัติทางกลด้านค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม เชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 Amp ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที ที่เชื่อมทับ 80 เฟอร์เซ็นต์	75
ก.1.10 ข้อมูลคุณสมบัติทางกลด้านค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม เชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 Amp ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที ที่เชื่อมทับ 90 เฟอร์เซ็นต์	75
ก.1.11 ข้อมูลคุณสมบัติทางกลด้านค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม เชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 Amp ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตรต่อนาที ที่เชื่อมทับ 100 เฟอร์เซ็นต์	76

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	แสดงพื้นฐานหลักการอาร์คของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม GMAW	5
2.2	การถ่ายเทโลหะแบบ Short Circuit	7
2.3	การถ่ายเทโลหะแบบ Spray arc	8
2.4	การถ่ายเทโลหะแบบ Globular	8
2.5	การถ่ายเทโลหะแบบ Pulsed	8
2.6	อุปกรณ์เชื่อม GMAW	10
2.7	แสดง Curve ของ Constant Current และ Constant Voltage	10
2.8	หัวเชื่อมแบบ Air Cooled	12
2.9	หัวเชื่อมแบบ Water cooled	13
2.10	แนวเชื่อมใช้แก๊สอาร์กอนปกคลุม	15
2.11	แนวเชื่อมใช้แก๊สฮีเลียมปกคลุม	15
2.12	แสดงพื้นที่ของแนวเชื่อมบริเวณผลกระทบจากการเชื่อม	18
2.13	แสดงลักษณะของโครงสร้างที่ได้รับผลกระทบจากการเชื่อมของโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน	20
2.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ เวลา และขนาดของเกรน	21
2.15	แสดงความสัมพันธ์ของกรรมวิธีการเชื่อม กับอุณหภูมิ เวลา และขนาดของเกรน	21
3.1	ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง	26
3.2	เครื่องเชื่อม CIGWELD รุ่น TRANSMIG 400	26
3.3	ลวดเชื่อม ER-70S6	27
3.4	เครื่องผสมแก๊ส (Gas Mixer)	27
3.5	อุปกรณ์ช่วยการเชื่อม	28
3.6	เครื่องทดสอบความแข็ง	28
3.7	เครื่องขัดผิวมัน	29
3.8	กล้องจุลทรรศน์	29
3.9	การจับยึดชิ้นงาน	31

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า	
3.10	อุปกรณ์เดินแนวเชื่อมอัตโนมัติ	31
3.11	ชั้นงานทดลอง	32
3.12	ขั้นตอนการเชื่อมชั้นงาน	32
3.13	ชั้นงานที่เชื่อมเสร็จแล้ว	33
3.14	ชั้นงานที่ตัดด้วยเครื่อง Weir Cut	33
3.15	การจัดตำแหน่งชั้นงานในการทดสอบหาค่าความแข็ง	34
3.16	การทดสอบหาค่าความแข็งของชั้นงาน	34
3.17	รูปร่างของชั้นงานทดสอบหาค่าความแข็ง	34
3.18	สารเคมีที่ใช้ในการกัดกร่อนผิวหน้างาน	35
3.19	แสดงโครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อชั้นงาน, เนื้อแนวเชื่อม และบริเวณผลกระทบร้อน	35
3.20	แสดงโครงสร้างจุลภาคของชั้นงาน	36
3.21	แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณผลกระทบร้อนก่อนเชื่อมอบคืนตัวรอยเชื่อมและรูป	36
3.22	แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณผลกระทบร้อนหลังเชื่อมอบคืนตัวรอยเชื่อม	36
3.23	แสดงโครงสร้างมหภาคของส่วนหน้าตัดขวางของแนวเชื่อมตามเปอร์เซ็นต์ที่เชื่อมทับแนว	37
4.1	แสดงค่าความแข็งของเนื้อแนวเชื่อมแถวที่ 1, 2 และ 3 ที่เชื่อมทับกัน 10 เปอร์เซ็นต์	38
4.2	แสดงค่าความแข็งของเนื้อแนวเชื่อมแถวที่ 1, 2 และ 3 ที่เชื่อมทับกัน 50 เปอร์เซ็นต์	39
4.3	แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมตามช่วงเปอร์เซ็นต์ที่เชื่อมทับแนว	40
4.4	แสดงการแจกแจงปกติข้อมูลของค่าความแข็งของชั้นงานเชื่อมในการเชื่อมทับแนวตั้งแต่ 0 – 100 เปอร์เซ็นต์	40
4.5	แสดงค่าความแข็งของเนื้อแนวเชื่อมแถวที่ 1, 2 และ 3 ที่เชื่อมทับกัน 10 เปอร์เซ็นต์	41
4.6	แสดงค่าความแข็งของเนื้อแนวเชื่อมแถวที่ 1, 2 และ 3 ที่เชื่อมทับกัน 50 เปอร์เซ็นต์	42
4.7	แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมตามช่วงเปอร์เซ็นต์ที่เชื่อมทับแนว	42
4.8	แสดงการแจกแจงปกติข้อมูลของค่าความแข็งของชั้นงานเชื่อมในการเชื่อมทับแนวตั้งแต่ 0 – 100 เปอร์เซ็นต์	43

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.9	แสดงค่าความแข็งของเนื้อแนวเชื่อมแถวที่ 1, 2 และ 3 ที่เชื่อมทับกัน 10 เปอร์เซ็นต์	44
4.10	แสดงค่าความแข็งของเนื้อแนวเชื่อมแถวที่ 1, 2 และ 3 ที่เชื่อมทับกัน 50 เปอร์เซ็นต์	44
4.11	แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมตามช่วงเปอร์เซ็นต์ที่เชื่อมทับแนว	45
4.12	แสดงการแจกแจงปกติข้อมูลของค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อมในการเชื่อมทับแนว ตั้งแต่ 0 – 100 เปอร์เซ็นต์	46
4.13	แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมตามช่วงเปอร์เซ็นต์ที่เชื่อมทับแนว	46
4.14	แสดงโครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อชิ้นงาน, เนื้อแนวเชื่อม และบริเวณผลกระทบร้อน	47
4.15	แสดงโครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อชิ้นงาน, บริเวณเนื้อแนวเชื่อม และบริเวณผลกระทบร้อนในช่วงการเชื่อมทับแนวเชื่อมทับแนว 10 เปอร์เซ็นต์	48
4.16	แสดงโครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อชิ้นงาน, บริเวณเนื้อแนวเชื่อม และบริเวณผลกระทบร้อนในช่วงการเชื่อมทับแนวเชื่อมทับแนว 20 เปอร์เซ็นต์	48
4.17	แสดงโครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อชิ้นงาน, บริเวณเนื้อแนวเชื่อม และบริเวณผลกระทบร้อนในช่วงการเชื่อมทับแนวเชื่อมทับแนว 30 เปอร์เซ็นต์	48
4.18	แสดงโครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อชิ้นงาน, บริเวณเนื้อแนวเชื่อม และบริเวณผลกระทบร้อนในช่วงการเชื่อมทับแนวเชื่อมทับแนว 40 เปอร์เซ็นต์	49
4.19	แสดงโครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อชิ้นงาน, บริเวณเนื้อแนวเชื่อม และบริเวณผลกระทบร้อนในช่วงการเชื่อมทับแนวเชื่อมทับแนว 50 เปอร์เซ็นต์	49
4.20	แสดงโครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อชิ้นงาน, บริเวณเนื้อแนวเชื่อม และบริเวณผลกระทบร้อนในช่วงการเชื่อมทับแนวเชื่อมทับแนว 60 เปอร์เซ็นต์	49
4.21	แสดงโครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อชิ้นงาน, บริเวณเนื้อแนวเชื่อม และบริเวณผลกระทบร้อนในช่วงการเชื่อมทับแนวเชื่อมทับแนว 70 เปอร์เซ็นต์	50
4.22	แสดงโครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อชิ้นงาน, บริเวณเนื้อแนวเชื่อม และบริเวณผลกระทบร้อนในช่วงการเชื่อมทับแนวเชื่อมทับแนว 80 เปอร์เซ็นต์	50
4.23	แสดงโครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อชิ้นงาน, บริเวณเนื้อแนวเชื่อม และบริเวณผลกระทบร้อนในช่วงการเชื่อมทับแนวเชื่อมทับแนว 90 เปอร์เซ็นต์	50

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.24 แสดงโครงสร้างมหภาคบริเวณเนื้อชิ้นงาน, บริเวณเนื้อแนวเชื่อม และบริเวณผลกระทบร้อนในช่วงการเชื่อมทับแนวเชื่อมทับแนว 100 เปอร์เซนต์	51
4.25 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเนื้อชิ้นงาน (Parent Metal) ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 กำลังขยาย (a) 100 เท่า, (b) 500 เท่า	52
4.26 แสดงโครงสร้างจุลภาคของบริเวณของเนื้อแนวเชื่อม (Weld metal) ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 กำลังขยาย (a) 100 เท่า, (b) 500 เท่า	53
4.27 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณผลกระทบร้อน (a) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณผลกระทบร้อนก่อนเชื่อมอบคืนตัวกำลังขยาย 100 เท่า (b) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณผลกระทบร้อนหลังเชื่อมอบคืนตัวกำลังขยาย 100 เท่า (c) แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณผลกระทบร้อนหลังเชื่อมอบคืนตัวกำลังขยาย 500 เท่า	54
4.28 แสดงโครงสร้างจุลภาคของบริเวณผลกระทบร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 250 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 400 มิลลิเมตร ต่อนาทีตามเปอร์เซ็นต์ของการเชื่อมทับแนวตั้งแต่ 00 – 100 เปอร์เซนต์	55
4.29 แสดงโครงสร้างจุลภาคของบริเวณผลกระทบร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 300 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 450 มิลลิเมตร ต่อนาทีตามเปอร์เซ็นต์ของการเชื่อมทับแนวตั้งแต่ 00 – 100 เปอร์เซนต์	58
4.30 แสดงโครงสร้างจุลภาคของบริเวณผลกระทบร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 ที่เชื่อมด้วยกระแสไฟ 350 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 500 มิลลิเมตร ต่อนาทีตามเปอร์เซ็นต์ของการเชื่อมทับแนวตั้งแต่ 00 – 100 เปอร์เซนต์	61

รายการสัญลักษณ์

ER	=	Electrode Rod
M	=	แรงจากแรงดึงผิวของโลหะเหลว
E	=	แรงจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
B	=	แรงลอยตัว
η	=	ประสิทธิภาพของการเชื่อม
γ	=	สัมประสิทธิ์แรงดึงผิว
FN	=	Ferrite Number
r	=	ระยะรัศมีจากจุดอาร์ค
T	=	อุณหภูมิ
ρ	=	ความหนาแน่น
q	=	ความหนาแน่นของพลังงาน

ประมวลศัพท์และคำย่อ

Aerodynamic Drag Force	=	แรงดึงจากอากาศพลศาสตร์
Applied stress	=	ความเค้นจากการใช้งาน
Affinity	=	การรวมตัวสัมพันธ์
Anodic	=	ขั้วบวก
AISI	=	American Iron and Steel Institute
ASME	=	American Society of Mechanical Engineers
Autogenous Welding	=	การเชื่อมแบบไม่เติมลวดเชื่อม
Base Metal	=	โลหะฐาน
Buoyancy Force	=	แรงลอยตัว
Cathodic	=	ขั้วลบ
Carbide Crystallized	=	การอบคืนตัวของคาร์ไบด์
Depleted Zone	=	บริเวณการตกผลึก
Density	=	ความหนาแน่น
Diffusion	=	กระบวนการแพร่
Electromagnetic Force	=	แรงจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
Electrochemical	=	ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี
Elongation	=	การยืดตัว
Electromagnetic Force	=	แรงอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็ก
FCC	=	Face Centered Cubic
Fluid Flow	=	การไหลของโลหะหลอมเหลว
Fusion Line	=	เส้นแบ่งขอบแนวเชื่อม
GMAW	=	Gas Metal Arc Welding
Grain Boundary	=	ขอบเกรน
Hardness	=	ความแข็ง
Heat Input	=	ความร้อนเข้าสู่ชิ้นงาน
Heat Treatment	=	กรรมวิธีทางความร้อน
Heat Effect Zone	=	บริเวณกระทบทางความร้อน

ประมวลศัพท์และคำย่อ (ต่อ)

Inert Gas	=	แก๊สเฉื่อย
Intergranular Corrosion	=	การกัดกร่อนตามขอบเกรน
Melting point	=	จุดหลอมละลาย
Passive State	=	ความเฉื่อยต่อปฏิกิริยาใด ๆ
Power Density Distribution	=	การกระจายความหนาแน่นของพลังงาน
Physical Properties	=	สมบัติทางกายภาพ
Pushing	=	เทคนิคการเชื่อมแบบเดินไปข้างหน้า
Root	=	แนวเชื่อมราก
Residual	=	ความเค้นตกค้าง
SMAW	=	การเชื่อมด้วยลวดหุ้มฟลักซ์
Solution Part	=	บริเวณส่วนที่หลอมละลาย
Spay Arc	=	การฟ่นละอองของหยดน้ำโลหะเติม
Stainless Steel	=	เหล็กกล้าไร้สนิม
Surface Tension Driven Flow	=	แรงจากแรงตึงผิวของโลหะหลอมเหลว
Step Welding	=	การเชื่อมแบบเว้นระยะ
Thermal Cycle	=	วัฏจักรของความร้อน
Thermal Expansion	=	การขยายตัวเนื่องจากความร้อน
Thermal Conductivity	=	การนำความร้อน
Thermal/Welding stress	=	ความเค้นเนื่องจากความร้อนจากการเชื่อม
Unstable	=	ไม่คงตัว
Ultimate Tensile Strength	=	ความแข็งแรงดึงสูงสุด
Weld Pool	=	แอ่งโลหะรอยเชื่อม
Weld Pool Convection	=	การพาของโลหะหลอมเหลวในแอ่งรอยเชื่อม
Yield Point	=	ความแข็งแรงดึงจุดคราก