สารบัญ

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

บทที่

1.	**บทนำ**	**1**
	1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
	1.3 สมมุติฐานการวิจัย	3
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
	1.5 ขอบเขตการวิจัย	3
	1.6 นิยามคำศัพท์	4
2.	**ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	**5**
	2.1 เหล็กกล้าคาร์บอนชุบแข็ง เกรด AISI 4140	5
	2.2 กรรมวิธีการชุบแข็ง (Hardening)	6
	2.3 กระบวนการชุบแข็ง เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI4140	9
	2.4 กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุม (Gas Metal Arc Welding)	15
	2.5 ก๊าซปกคลุม (Shielding Gas)	21
	2.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ในกระบวนการเชื่อม MIG	24
	2.7 ตัวแปรในการเชื่อม (Welding Parameter)	25
	2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. วิธีดำเนินการวิจัย **31**

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล 31

3.2 กำหนดปัจจัยการทดลอง 31

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย 31

3.4 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น 34

3.5 การออกแบบการทดลอง 35

3.6 การดำเนินการทดลอง 36

3.7 การดำเนินการรวบรวมข้อมูล 37

3.8 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล 43

4. ผล และการวิเคราะห์ผลการทดลอง **45**

4.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึง ในการทดลองขั้นต้น 45

4.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึง ในการทดลอง 46

4.3 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก ในการทดลองขั้นต้น 49

4.4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก ในการทดลอง 49

4.5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งบริเวณโลหะงาน การทดลองขั้นต้น 52

4.6 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งบริเวณโลหะงานในการทดลอง 52

4.7 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งบริเวณกระทบร้อนในการทดลองขั้นต้น 55

4.8 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งบริเวณกระทบร้อนการทดลอง 55

4.9 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อมในการทดลองขั้นต้น 58

4.10 การวิเคราะห์พารามิเตอร์การเชื่อมต่อความแข็งบริเวณรอยเชื่อมในการทดลอง 59

4.11 การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาคและจุลภาค 62

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5. สรุป วิจารณ์ และข้อเสนอแนะ **66**

5.1 สรุปผลการทดลอง 66

5.2 อภิปรายผล 68

5.3 ข้อเสนอแนะ 70

เอกสารอ้างอิง **71**

ภาคผนวก

ก. โครงสร้างจุลภาค 74

ข. ข้อมูลการทดลอง 77

ค. รูปชิ้นงานทดลองและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 81

ง. ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ 87

ประวัติผู้วิจัย **95**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 เหล็กโครเมียม-โมลิบดีนัม ส่วนผสมทางเคมีและการนำไปใช้งาน 9

3.1 แสดงตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบหาประสิทธิภาพในการเชื่อม (Pilot Study) 34

3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในทดสอบจริง (Design of Experimental) 35

4.1 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนต่อความแข็งแรงดึงในการทดลอง 47

4.2 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนต่อความแข็งแรงดึงจุดครากในการทดลอง 50

4.3 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนต่อความแข็งบริเวณโลหะงานในการทดลอง 53

4.4 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนต่อความแข็งบริเวณได้รับผลกระทบร้อน ในการทดลอง 56

4.5 ตารางการวิเคราะห์แปรปรวนต่อความแข็งบริเวณแนวเชื่อมในการทดลอง 60

ข.1 ข้อมูลการทดลองวัดค่าความแข็งแรงดึง 78

ข.2 ข้อมูลการทดลองวัดค่าความแข็งแรงดึงจุดคราก 79

ข.3 ข้อมูลการทดลองวัดค่าความแข็ง 80

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโครงสร้างของเหล็กกล้า	7
2.2	แสดงอุณหภูมิในการทำ Tempering ต่อความแข็งแรงของเหล็กกล้า	8
2.3	C-C-T diagram ของเหลว 4140	10
2.4	แสดงค่าความแข็งที่อุณหภูมิ Austenitizing	11
2.5	เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI4140 อบทำ Full Annealing ที่ 845 ^{0}C	12
2.6	เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI4140 หลังการชุบแข็งโดยอบที่ 843 ^{0}C	12
2.7	โครงสร้าง Laths Martensite จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในเหล็กกล้าคาร์บอน	13
2.8	แสดงกราฟความเค้น-ความเครียดของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ผ่านการชุบแข็ง	13
2.9	แสดงกราฟความเค้น-ความเครียดของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ผ่านการอบอ่อนและรีดปรับผิว	14
2.10	คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า Cr-Mo-low allow steel AISI 4140 หลังการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลด้วยการอบ-ชุบและ tempered ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ กัน	15
2.11	แสดงการอาร์คของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุม	16
2.12	แสดงการอาร์คของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุมแบบลัดวงจร	17
2.13	แสดงการอาร์คของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุมแบบละออง	18
2.14	แสดงการอาร์คของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุมแบบหยดขนาดใหญ่	19
2.15	แสดงการอาร์คของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุมแบบพัลส์	21
2.16	แสดงผลการซึมลึกจากการใช้ก๊าซปกคลุมชนิดต่างๆ	23
2.17	แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม MIG	25
2.18	แสดงระยะโผล่ลวดเชื่อม	27
3.1	เตาอบ	32
3.2	เครื่องเชื่อมมิก (GMAW) รุ่น Transmig 400	32
3.3	เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับด้วยมอเตอร์ รุ่น TANATA KT-5N	33
3.4	อุปกรณ์รองหลังงานเชื่อมและอุปกรณ์จับยึดในงานเชื่อม	33
3.5	กล้องมาโครสโคป (Macro structure) รุ่น EZ4D	33

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.6	เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test)	34
3.7	แสดงลักษณะการเตรียมรอยต่อชนงานแบบต่อชนบากหน้างาน	36
3.8	แสดงการเชื่อมชิ้นงานด้วยกรรมวิธี GMAW ภายใต้การควบคุมตัวแปรที่กำหนด	36
3.9	แสดงลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม	37
3.10	แสดงการออกแบบรอยตัดบนชิ้นงานทดสอบ	38
3.11	แสดงชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่ผ่านการตัดด้วยเครื่อง Wire Cut	39
3.12	แสดงการจับชิ้นงานก่อนทำการทดสอบแรงดึง	39
3.13	แสดงการทดสอบความแข็ง	40
3.14	แสดงการขัดชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องขัด	42
3.15	แสดงชิ้นงานทดสอบที่ขัดเรียบร้อยแล้ว	42
3.16	แสดงการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงานทดลองด้วยกล้องจุลทรรศน์	42
4.1	แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็งแรงดึง ในการทดลองขั้นต้น	45
4.2	แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็งแรงดึงในการทดลอง	46
4.3	จากความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การเชื่อม	48
4.4	แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็งแรงดึงจุดครากในการทดลองขั้นต้น	49
4.5	แสดงผลการทดลองเพื่อหาความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงจุดคราก	50
4.6	แสดงกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสเชื่อมและ ความเร็วในการเชื่อม	51
4.7	แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็งบริเวณโลหะงานในการทดลองขั้นต้น	52
4.8	แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติของความแข็งบริเวณโลหะงานในการทดลอง	53
4.9	แสดงกราฟอิทธิพลร่วม ระหว่างกระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อม	54
4.10	แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติความแข็งบริเวณได้รับผลกระทบร้อนการทดลองขั้นต้น	55
4.11	แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติความแข็งบริเวณได้รับผลกระทบร้อนในการทดลอง	56
4.12	แสดงกราฟอิทธิพลร่วม ระหว่างกระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อม	57
4.13	แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติความแข็งบริเวณแนวเชื่อมในการทดลองขั้นต้น	58

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

4.14 แสดงข้อมูลการแจกแจงแบบปกติความแข็งบริเวณแนวเชื่อมในการทดลอง 59

4.15 แสดงกราฟอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างกระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อม 61

4.16 แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 62

4.17 ก. แสดงลักษณะของโครงสร้างบริเวณโลหะงานมาร์เทนไซต์ (Baste Metal) 63
ข. บริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone) เฟอร์ไรท์ ซีเมนไตท์
ค. แสดงโครงสร้างบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) เป็นโครงสร้างเฟอร์ไรท์ เพิร์ลไลต์

4.18 แสดงโครงสร้างมหภาคของชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด 64

4.19 ก. แสดงลักษณะของโครงสร้างบริเวณโลหะงาน โครงสร้าง มาร์เทนไซต์ 65
ข. บริเวณที่เกิดการหลอมละลาย โครงสร้างเฟอร์ไรท์ และเพิร์ลไลต์
ค. แสดงโครงสร้างบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรท์ เพิร์ลไลต์

ก.1 บริเวณเนื้องาน (Base Metal) 75

ก.2 บริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone) 75

ก.3 บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) 75

ก.4 บริเวณเนื้องาน (Base Metal) 76

ก.5 บริเวณที่เกิดการหลอมละลาย (Fusion Zone) 76

ก.6 บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ) 76

ค.1 เตาอบชิ้นงาน 82

ค.2 เครื่องเชื่อมมิก (GMAW) รุ่น Transmig 400 82

ค.3 เครื่องตัดแก๊สแบบเส้นตรงขับด้วยมอเตอร์ รุ่น TANATA KT-5N 82

ค.4 อุปกรณ์รองหลังงานเชื่อมและอุปกรณ์จับยึดในงานเชื่อม 83

ค.5 แสดงลักษณะการเตรียมรอยต่อชนงานแบบต่อชนบากหน้างาน 83

ค.6 แสดงการเชื่อมชิ้นงานด้วยกรรมวิธี GMAW ภายใต้การควบคุมตัวแปรที่กำหนด 83

ค.7 แสดงลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อม 84

ค.8 แสดงการตัดชิ้นงานทดลองด้วยเครื่องตัด Wire-Cut 84

ค.9 แสดงชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่ผ่านการตัดด้วยเครื่อง Wire Cut 84

ค.10 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test) 85

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป **หน้า**

ค.11 แสดงการจับชิ้นงานก่อนทำการทดสอบแรงดึง 85
ค.12 แสดงชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงดึงเรียบร้อยแล้ว 85
ค.13 แสดงการขัดชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องขัด 86
ค.14 แสดงชิ้นงานทดสอบที่ขัดเรียบร้อยแล้ว 86