

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 นิยามคำศัพท์	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความหมายของเหล็กกล้าไร้สนิม	5
2.2 ประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิม	5
2.3 ธาตุและการให้คุณสมบัติของธาตุที่ผสมลงในเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิม	7
2.4 การเลือกใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิม	8
2.5 เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	9
2.6 กระบวนการเชื่อม Gas Tungsten Arc Welding	19
2.7 การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม	30
2.8 โลหะวิทยาในรอยเชื่อม (Welding Metallurgy)	32
2.9 การทดสอบความแข็งของวัสดุ	37
2.10 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค	39
2.11 การอบอ่อน Annealing	40
2.12 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	45
3.1	ศึกษาเอกสารตำราที่เกี่ยวข้อง	45
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์	45
3.3	ขั้นตอนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น	51
3.4	การออกแบบการทดลอง Experimental design	51
3.5	ขั้นตอนการดำเนินการเก็บข้อมูล	52
3.6	สถิติที่ใช้ในการทดลอง	56
4.	ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	58
4.1	การวิเคราะห์ทางสถิติของผลการทดลองเบื้องต้น	58
4.2	การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลา มีผลต่อค่าความแข็ง	62
4.3	การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่มีผล ต่อปริมาณเฟอร์ไรต์	69
4.4	การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (Microstructure)	77
5.	สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	83
5.1	สรุปผลการทดลอง	83
5.2	อภิปรายผล	85
5.3	ข้อเสนอแนะ	86
	เอกสารอ้างอิง	87

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ก. โครงสร้างจุลภาค	90
ข. ข้อมูลการทดลอง	95
ค. รูปชิ้นงานทดลองและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	102
ง. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่	106
ประวัติผู้วิจัย	117

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ส่วนผสมทางเคมี ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	9
2.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	13
2.3 สมบัติทางกลที่อุณหภูมิห้องของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	13
2.4 การประยุกต์ใช้งานของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	15
2.5 แสดงมาตรฐานของลวดเชื่อมทั้งสแตน	30
3.1 ส่วนผสมทางเคมี ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	46
3.2 ค่าตัวแปรสำหรับการทดลอง เบื้องต้น	51
3.3 การสุ่มชิ้นงานทดลอง Experimental design	52
4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งแรงบริเวณเนื้องาน (Base Metal)	63
4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งแรงบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)	65
4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ต่อความแข็งแรง บริเวณแนวเชื่อม (Welded)	67
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ต่อปริมาณเฟอร์ไรต์ บริเวณเนื้องาน (Base Metal)	70
4.5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบอ่อน บริเวณเนื้องาน(Base Metal)	71
4.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเวลา ที่ใช้ในการอบอ่อน บริเวณเนื้องาน (Base Metal)	71
4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ปริมาณเฟอร์ไรต์ บริเวณ เขตอิทธิพลความร้อน(HAZ)	75
4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ต่อปริมาณเฟอร์ไรต์บริเวณแนวเชื่อม (Welded)	74
ข.1 ข้อมูลการทดสอบหาค่าความแข็งแรงบริเวณเนื้องาน (Base Metal)	95
ข.2 ข้อมูลการทดสอบหาค่าความแข็งแรงบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน(HAZ)	96
ข.3 ข้อมูลการทดสอบหาค่าความแข็งแรงบริเวณแนวเชื่อม (Welded)	97
ข.4 ข้อมูลการทดสอบหาค่าปริมาณเฟอร์ไรต์ บริเวณเนื้องาน (Base Metal)	98
ข.5 ข้อมูลการทดสอบหาค่าปริมาณเฟอร์ไรต์บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)	99
ข.6 ข้อมูลการทดสอบหาค่าปริมาณเฟอร์ไรต์บริเวณแนวเชื่อม (Welded)	100

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1	ไดอะแกรมการเปลี่ยนแปลงเวลา-อุณหภูมิ (TTT-Diagram)
2.2	แผนภูมิ WRC-1992 สำหรับทำนายปริมาณเฟอร์ไรต์ในเหล็กกล้าไร้สนิม
2.3	ลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรด
2.4	ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อดูเพล็กซ์เกรด
2.5	แผนภาพกิ่งสมดุลการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก-โครเมียม-นิกเกิล
2.6	ส่วนประกอบที่สำคัญของการเชื่อม
2.7	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้กับการเชื่อม
2.8	เครื่องเชื่อม
2.9	กระแสดรงขั้วลบ
2.10	กระแสดรงขั้วบวก
2.11	กระแสไฟสลับและระบบความถี่สูง
2.12	หัวเชรามิกส์ครอบทั้งสแตนเลสเหล็กโครด
2.13	แสดงส่วนประกอบหัวเชื่อม
2.14	แสดงแนวเส้นการแตงปลายทั้งสแตนเลสที่ถูกต้องสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม
2.15	แสดงแนวเส้นการแตงปลายทั้งสแตนเลสที่ผิดสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม
2.16	แสดงปลายที่เจียรนัยแล้วของทั้งสแตนเลสโครดในการเชื่อมแต่ละแบบ
2.17	แสดงปลายที่เจียรนัยแล้วของทั้งสแตนเลสโครดในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม
2.18	การเปรียบเทียบโครงสร้างทางจุลภาคบริเวณ HAZ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์
2.19	โนโมแกรมสำหรับการทำนายเวลาที่ใช้ในการเย็นตัวช่วง $\Delta t_{12/8}$ ของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ดูเพล็กซ์
2.20	โครงสร้างทางมหภาค Columnar ของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์แบบหลายแนวเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GTAW
2.21	ผลของระดับปริมาณไนโตรเจนในเนื้อรอยเชื่อม
2.22	การทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์
3.1	แผนภาพกิ่งสมดุลการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์
3.2	การจับยึดชิ้นงานกับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน
3.3	ชิ้นงานทดลองเชื่อมบากร่องตัวด้วยกระบวนการเชื่อม TIG

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
3.4	ชิ้นงานที่ใช้ในการอบอ่อน ขนาด $10 \times 70 \times 10$ มิลลิเมตร
3.5	การตัดชิ้นงานทดลองด้วยเครื่องตัด Wire-Cut
3.6	เตาอบชิ้นงาน (Heat Teatment)
3.7	กล้องจุลทรรศน์แบบแสงวิเคราะห์โครงสร้างและหาสัดส่วน เฟอไรต์
3.8	เครื่องขัดมัน (Polishing)
3.9	เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Test)
3.10	แสดงตำแหน่งบริเวณที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน
3.11	แสดงตำแหน่งบริเวณที่ตรวจสอบค่าความแข็ง
4.1	การทดสอบการแข็งข้อมูล ค่าความแข็งบริเวณ เนื้องาน (Base Metal)
4.2	การทดสอบการแข็งข้อมูล ค่าความแข็งบริเวณ เขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)
4.3	การทดสอบการแข็งข้อมูลค่าความแข็งบริเวณแนวเชื่อม (Welded)
4.4	การทดสอบการแข็งข้อมูลปริมาณเฟอไรต์ บริเวณเนื้องาน (Base Metal)
4.5	การทดสอบการแข็งข้อมูลปริมาณเฟอไรต์ เขตอิทธิพลความร้อน ((HAZ)
4.6	การทดสอบการแข็งข้อมูลปริมาณเฟอไรต์ บริเวณแนวเชื่อม (Welded)
4.7	กราฟเปรียบเทียบค่าความแข็ง อุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อนที่ บริเวณเนื้องาน (Base Metal))
4.8	กราฟเปรียบเทียบค่าความแข็ง อุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อนที่ บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)
4.9	กราฟเปรียบเทียบค่าความแข็ง อุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อนที่ บริเวณแนวเชื่อม (Welded)
4.10	กราฟเปรียบเทียบค่าความแข็งชิ้นงานที่ไม่ผ่านกรรมวิธีการอบอ่อนและชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 850°C
4.11	กราฟเปรียบเทียบปริมาณเฟอไรต์ อุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อนที่ บริเวณเนื้องาน (Base Metal)
4.12	กราฟเปรียบเทียบปริมาณเฟอไรต์ อุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อนที่ บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ)
4.13	กราฟเปรียบเทียบปริมาณเฟอไรต์ อุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อนที่ บริเวณแนวเชื่อม (Welded)

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
4.14 กราฟเปรียบเทียบปริมาณเฟอร์ไรต์ของชิ้นงานทดลองที่ไม่ผ่านกรรมวิธีการ อบอ่อนและชิ้นงานทดลองที่ผ่านกรรมวิธีการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 1,050° C	77
4.15 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดลองที่ไม่ผ่านกระบวนการอบอ่อนที่กำลังขยาย 400 เท่า	78
4.16 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอบอ่อนที่มีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดที่บริเวณเนื้องาน (Base Metal)บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (HAZ) และบริเวณแนวเชื่อม (Weld metal) เปรียบเทียบที่กำลังขยาย 400 เท่า	80
4.17 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอบอ่อนที่มีปริมาณเฟอร์ไรต์ เฉลี่ยสูงสุดที่บริเวณ เขตอิทธิพลความร้อน HAZ	81
ก.1 โครงสร้างจุลภาค ชิ้นงานที่มีค่าความแข็งสูงสุด	90
ก.2 แสดงโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงานที่มีปริมาณสูงสุด	92
ค.1 แสดงชิ้นงานทดลองเชื่อมบากร่องตัวด้วยกระบวนการเชื่อม TIG	102
ค.2 แสดงชิ้นงานที่ใช้ในการอบอ่อน ขนาด 10 × 70 × 10 มิลลิเมตร	103
ค.3 แสดงชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างและวัดค่าความแข็ง ขนาด 10 × 70 × 10 มิลลิเมตร	103
ค.4 แสดงการตัดชิ้นงานทดลองด้วยเครื่องตัด Wire-Cut	
ค.5 แสดงเตาอบชิ้นงานทดลอง	104
ค.6 แสดงกล้องจุลทรรศน์แบบแสงวิเคราะห์โครงสร้างและหาสัดส่วน เฟอร์ไรต์	104
ค.7 แสดงเครื่องขัดมัน (Polishing)	105
ค.8 เครื่องทดสอบความแข็ง(Micro Hardness Test)	105