สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประชากร กลุ่มตัวอย่าง และสถานที่ทำการวิจัย 2
1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย 2
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยกระบวนการเชื่อมเลเซอร์ 3
2.2 ประเภทของเลเซอร์ 4
2.2.1 เลเซอร์แก๊ส (Gas Lasers) 4
2.2.2 เลเซอร์ของแข็ง (Solid-State Lasers) 4
2.2.3 เลเซอร์ไฟเบอร์ (Fiber Lasers) 5
2.2.4 เลเซอร์ไดโอด (Diode Lasers) 5
2.3 คุณสมบัติของงานเชื่อมเลเซอร์ 6
2.4 วัสดุแม่พิมพ์เหล็ก มาตรฐาน AISI เกรด P20 6
2.5 การทดสอบคุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties Test) 7
2.5.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) 7
2.5.2 การทดสอบความเหนียว (Impact Test) 8
2.5.3 การทดสอบความยืดหยุ่น (Flexural Test) 8
2.5.4 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test) 8
2.6 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallography Examination) 10
2.6.1 การตรวจสอบระดับมหภาค (Macro-scopic examination) 10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.2 การตรวจสอบระดับจุลภาค (Micro-scopic examination) 10
2.7 บริเวณผลกระทบร้อน (Heat Affected Zone) 11
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....12
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย....15
3.1 เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการวิจัย....16
3.1.1 เครื่องเชื่อมเลเซอร์ EIT Laser Schweissen System รุ่น Smart 225iL....16
3.1.2 เหล็กแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เกรด P20 ตามมาตรฐาน AISI....17
3.1.3 ลวดเชื่อมเติมเนื้อ เกรด P20 ตามมาตรฐาน AISI....17
3.1.4 เครื่องตัด EDM Wire cut ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น MV1200R Wire EDM....18
3.1.5 เครื่องอัดขึ้นเรือนโลหวิทยาแบบร้อน ยี่ห้อ IMT รุ่น G1-10....19
3.1.6 เครื่องขัดกระดาษทรายแบบจานหมุน....19
3.1.7 เครื่องขัดผงอะลูมินา....20
3.1.8 กรด Nital ความเข้มข้น 2%....21
3.1.9 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope Mat....21
3.1.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)....22
3.1.11 เครื่องวัดค่าความแข็งจุลภาคแบบวิกเกอร์รุ่น FM-800....23
3.2 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแนวเชื่อม....24
3.2.1 การศึกษาหาพารามิเตอร์เบื้องต้นในการเชื่อมเลเซอร์ ชนิด Nd: YAG....24
3.2.2 การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อลักษณะของแนวเชื่อม....25
3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางโลหะวิทยา....26
3.3.1 การตรวจสอบทางโครงสร้างทางโลหะวิทยา....26
3.3.2 การตรวจสอบคุณสมบัติของแนวเชื่อม....28
3.4 การวิเคราะห์ผลด้วยสถิติทางคณิตศาสตร์....31
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง....33
4.1 ผลการศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยา....33
4.1.1 ผลการศึกษาโครงสร้างมหภาค (Macrostructure)....33
4.1.2 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure)....37
4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติของแนวเชื่อม....41
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเจือจาง (%Dilution)....41
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ชิ้นงาน (Heat Input)....43
4.2.3 ผลการทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงาน (Hardness Test)....46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลการวิเคราะห์ผลด้วยสถิติทางคณิตศาสตร์ 49
4.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) 49
4.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบการทดลอง 50
5 สรุปผลการวิจัย 53
5.1 สรุปผลการวิจัย 53
รายการอ้างอิง 55
ภาคผนวก บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 58
ประวัติผู้เขียน 75

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็ก AISI P20 7
3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (AISI P20) 17
3.2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมเติมเนื้อ เกรด P20 18
3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อลักษณะของแนวเชื่อม 25
4.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมต่อพารามิเตอร์ระยะเวลาพัลส์ (Pulse Duration: PD) และความถี่พัลส์ (Pulse Frequency: PF) 34
4.2 ค่าเฉลี่ยการเจือจางบริเวณเนื้อโลหะเชื่อม (%Dilution) 42
4.3 การคำนวนค่าความร้อนนำเข้า (Heat Input) ที่พารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน 45
4.4 ผลการทดสอบค่าความแข็งเฉลี่ยของแนวเชื่อม 48

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แผนผังของระบบการผลิตเลเซอร์ Nd: YAG....5
2.2 การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ (Rockwell) 9
2.3 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส 10
2.4 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) 11
3.1 ขั้นตอนการการดำเนินการวิจัย 15
3.2 ส่วนประกอบเครื่องเชื่อมเลเซอร์ EIT Laser Schweissen System รุ่น Smart 225iL 16
3.3 โลหะฐาน (Base Metal) เกรด P20 ตามมาตรฐาน AISI 17
3.4 ลวดเชื่อมเติมเนื้อ เกรด P20 ตามมาตรฐาน AISI.... 18
3.5 เครื่องตัด EDM Wire cut ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น MV1200R Wire EDM 19
3.6 เครื่องอัดขึ้นเรือนโลหวิทยาแบบร้อน ยี่ห้อ IMT รุ่น G1-10 19
3.7 เครื่องขัดกระดาษทรายแบบจานหมุน.... 20
3.8 เครื่องขัดผงอะลูมินา.... 21
3.9 กรด Nital ความเข้มข้น 2%.... 21
3.10 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง.... 22
3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด.... 22
3.12 เครื่องทดสอบวัดค่าความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ รุ่น FM-800 23
3.13 ตำแหน่งจุดทดสอบค่าความแข็งของแนวเชื่อม.... 24
3.14 การเชื่อมแบบเดินแนวบนชิ้นงานด้วยเครื่องเชื่อมเลเซอร์.... 26
3.15 ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นเรือน (Mounting).... 26
3.16 วิธีการวัดค่าความกว้างและความสูงแนวเชื่อม 27
3.17 ความเจือจางของโลหะ (Dilution).... 27
3.18 ตำแหน่งของจุดทดสอบความแข็ง 30
4.1 ค่าเฉลี่ยความกว้างของแนวเชื่อมตามพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน 36
4.2 ลักษณะของแนวเชื่อมที่เกิดการเติมไม่สมบูรณ์ 37
4.3 บริเวณในการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา.... 38
4.4 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคบริเวณเนื้อโละเชื่อม (Weld Metal).... 39
4.5 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคบริเวณผลกระทบร้อน (HAZ) 40
4.6 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคบริเวณโลหะฐาน (Base Metal) 40
4.7 บริเวณการคำนวณอัตราเจือจาง (Dilution Ration).... 42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.8 ตำแหน่งของจุดทดสอบความแข็ง 47
4.9 ผลการวัดค่าความแข็งของชิ้นงานแบบไมโครวิกเกอร์ 47
4.10 การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความกว้างของแนวเชื่อม 50
4.11 แผนภูมิการกระจายตัวของค่าความกว้างแนวเชื่อม..... 51