

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ญ
เนื้อหา	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากโครงการ	3
2. ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง	
2.1 นิยามคำศัพท์สำคัญ	5
2.2 การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding)	5
2.3 รูปทรงของแกนหมุนกวน	7
2.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกลโดยการดึง (Tensile Test)	9
2.5 การทดสอบโครงสร้างมหภาค (Macro Testing)	13
2.6 อลูมิเนียม (Aluminum)	14
2.7 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)	23
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
3. วิธีการดำเนินงาน	
3.1 บทนำ	48
3.2 การวางแผนและเตรียมการ	48
3.3 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล	50
3.4 การออกแบบเครื่องมือ	51

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา	หน้า
3.5 ขั้นตอนการจัดเตรียมวัสดุ	54
3.6 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ	55
3.7 ขั้นตอนการทดลอง	57
 4. ผลการดำเนินงาน	
4.1 บทนำ	66
4.2 ผลการทดลองความแข็งแรงแรงดึง (Tensile Strength)	66
4.3 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิ (Temperature)	72
4.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของการเชื่อม	84
4.5 การวิจารณ์ผลการทดลอง	89
 5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทนำ	99
5.2 สรุปผลที่ได้จากการทำวิจัย	99
5.3 ปัญหาที่พบในดำเนินงานวิจัย	100
5.4 ข้อเสนอแนะ	101
 เอกสารอ้างอิง	102
ภาคผนวก ก ประวัติผู้วิจัย	105
ภาคผนวก ข แบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	115

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่างๆ ไป	33
2.2 วิธีทำความสะอาดสำหรับคราบสกปรกทั่ว ๆ ไป	34
2.3 ความรู้และเทคนิค	35
3.1 การทดสอบแรงดึงโดยใช้หัวกวนแบบเกลียว	67
3.2 การทดสอบแรงดึงโดยใช้หัวกวนแบบกรวยขนาด 3 มม.	68
3.3 การทดสอบแรงดึงโดยใช้หัวกวนแบบกรวยขนาด 4 มม.	69
3.4 ค่าความแข็งแรงของของอลูมิเนียม	70
3.5 ค่าความแข็งแรงของสแตนเลส SUS 304	71
4.1 เปรียบเทียบความแข็งแรงแรงดึงที่ความเร็วรอบ 830 รอบ/นาที และอัตราป้อน 67 มม./นาที	77
4.2 เปรียบเทียบความแข็งแรงแรงดึงที่ความเร็วรอบ 530 รอบ/นาที และอัตราป้อน 44 มม./นาที	78
4.3 เปรียบเทียบความแข็งแรงแรงดึงที่ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที และอัตราป้อน 102 มม./นาที	79
4.4 เปรียบเทียบความแข็งแรงแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดระหว่าง AI 6063 AISI 304 และการเชื่อมแบบเสียดทานระหว่าง AI 6063 และ AISI 304	80
4.5 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ความเร็ว 830 รอบ/นาที และอัตราป้อน 67 มม./นาที	81
4.6 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ความเร็ว 580 รอบ/นาที และอัตราป้อน 44 มม./นาที	82
4.7 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ความเร็ว 750 รอบ/นาที และอัตราป้อน 102 มม./นาที	83

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเชื่อมความเสียดทานหมุนกวน	6
2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาชิ้นงานกับความยาวของสลักแกนหมุน	8
2.3 เครื่องทดสอบแรงดึง	10
2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียด	11
2.5 การหาค่าความเค้นพิสูจน์	12
2.6 ชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นเรือนด้วยสารขึ้นเรือนชนิดต่าง ๆ	13
2.7 แสดงแผนภูมิการรวมตัวของอลูมิเนียม - ซิลิกอน ในระบบสมดุล	21
2.8 แสดงแผนภูมิการรวมตัวของอลูมิเนียม - แมกนีเซียม ในระบบสมดุล	21
2.9 แสดงแผนภูมิการรวมตัวของอลูมิเนียม - สังกะสี ในระบบสมดุล	22
2.10 ท่อไอเสียรถยนต์ที่ทำจากสแตนเลส	24
2.11 แสดงท่อไอเสียรถยนต์โครงสร้างจุลภาคที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนนิติก	25
2.12 แสดงใบจักรเครื่องสันดาป และรางสกรูที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม มาร์เทนซิติก	26
2.13 อุตสาหกรรมการงานท่อโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	27
2.14 ชิ้นงานเชื่อม โครงสร้างจุลภาคทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมพรีซิเพชัน	28
2.15 ข้อเหวี่ยงเหล็กกล้าไร้สนิมพรีซิเพชัน	29
2.16 ผลการวัดอุณหภูมิ และโครงสร้างจุลภาค	36
2.17 ขั้นตอนการเชื่อม และโครงสร้างจุลภาคของงานเชื่อม	41
2.18 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซผ่านกล้อง SEM และ โครงสร้างจุลภาคผ่านกล้อง TEM	42
2.19 โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับอลูมิเนียม	43
2.20 แสดงลักษณะการร้าวของชิ้นงานเชื่อม	44
2.21 แสดงแผนภาพสมดุลของเหล็กกับอลูมิเนียม	45
2.22 แสดงค่าความเค้นพิสูจน์ของเฟส FeAl ที่เกิดขึ้น ณ ส่วนผสมของ Al	46
3.1 แสดงการดำเนินโครงการ	49

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
3.2 แบบอุปกรณ์จับยึด (Drawing Fixture)	51
3.3 ลักษณะของตัวกวน	53
3.4 ลักษณะการทำงานของตัวกวน	53
3.5 เหล็ก High Speed Steel (HSS)	54
3.6 เหล็ก S45C	54
3.7 การประกอบแผ่นฐานกับแผ่นรอง	55
3.8 การประกอบแผ่นฐานกับ Plate Stopper	55
3.9 การตัว T-Slot กับแผ่นฐาน	56
3.10 การประกอบตัวปรับระยะกับแผ่นฐาน	56
3.11 การประกอบตัวยึดชิ้นงาน	56
3.12 การประกอบตัวยึดชิ้นงาน	57
3.13 ชิ้นงานอลูมิเนียม 6063 และสแตนเลส 304	57
3.14 ปรับแนวอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	58
3.15 การจับยึดชิ้นงาน	58
3.16 การตั้งตำแหน่งของหัวกวน	58
3.17 การตั้งปรับความเร็วรอบและความเร็วเดินแนว	59
3.18 เริ่มเชื่อมชิ้นงาน	59
3.19 ชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อม	60
3.20 การตรวจจับความร้อนด้วยเทอร์โมคัปเปิล	60
3.21 ขั้นตอนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน	61
3.22 แบ่งชิ้นงานทดสอบแรงดึงออกเป็นชั้น ๆ	62
3.23 ชิ้นงานสำหรับเตรียมทดสอบ	62
3.24 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Machine)	63
3.25 ตัดแบ่งชิ้นงานเพื่อนำไปขัด	63
3.26 วิธีการขัดชิ้นงาน	64
3.27 การกัดกรดชิ้นงาน	64
3.28 โครงสร้างแบบมหภาค	65

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
3.29 แสดงโครงสร้างแบบจูลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของงานเชื่อม	65
4.1 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงที่ความเร็วรอบ 830 รอบ/นาที อัตราป้อน 67 มม./นาที	72
4.2 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงที่ความเร็วรอบ 830 รอบ/นาที และ อัตราป้อน 67 มม./นาที	73
4.3 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงที่ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที และ อัตราป้อน 102 มม./นาที	73
4.4 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงระหว่าง A1 6063 AISI 304 และ การเชื่อมแบบเสียดทานระหว่าง A1 6063 และ AISI 304	74
4.5 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงที่ความเร็วรอบ 830 รอบ/นาที และ อัตราป้อน 67 มม./นาที	75
4.6 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงที่ความเร็วรอบ 580รอบ/นาที และ อัตราป้อน 44 มม./นาที	75
4.7 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงที่ความเร็วรอบ 750รอบ/นาที และ อัตราป้อน 102 มม./นาที	76
4.8 โครงสร้างจูลภาคของรอยต่อของการเชื่อมหัวกวนแบบเกลียวที่ค่า ความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด 9,170 N	76
4.9 โครงสร้างจูลภาคของรอยต่อของการเชื่อมหัวกวนแบบกรวย 3 มิลลิเมตรที่ค่า ความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด 5,940 N	77
4.10 โครงสร้างจูลภาคของรอยต่อของการเชื่อมหัวกวนแบบกรวย 4 มิลลิเมตรที่ค่า ความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด 6,750 N	78
4.11 เปรียบเทียบแรงดึงที่ความเร็วรอบ 580 รอบ/นาที และอัตราป้อน 67 มม./นาที	79
4.12 เปรียบเทียบแรงดึงที่ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที และอัตราป้อน 102 มม./นาที	79
4.13 กราฟเปรียบเทียบแรงดึงของ A1 6063 AISI 304 และการขึ้นงานเชื่อมแบบเสียดทาน ระหว่าง A1 6063 และ AISI 304	80
4.14 เปรียบเทียบแรงดึงที่ความเร็วรอบ 830 รอบ/นาที และอัตราป้อน 67มม./นาที	82
4.15 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ความเร็วรอบ 580 รอบ/นาที และอัตราป้อน 44 มม./นาที	83
4.16 เปรียบเทียบแรงดึงที่ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที และอัตราป้อน 102 มม./นาที	84

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
4.17 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อของการเชื่อมหัวกวนแบบเกลียวที่ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด 9,170 N	85
4.18 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อของการเชื่อมหัวกวนแบบกรวยที่ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด 5,940 N	86
4.19 โครงสร้างจุลภาคของรอยต่อของการเชื่อมหัวกวนแบบกรวยที่ค่าความแข็งแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด 6,750 N	87
4.20 ลักษณะของรอยเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน	89
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงกับรูปทรง ของตัวกวน	90
4.23 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับชนิดหัวกวน	91
4.24 โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของเหล็ก แอลูมิเนียม	92
4.25 การขาดของชิ้นงานเชื่อม	93
4.26 ลักษณะ โครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมเหล็กและอลูมิเนียม	94
4.27 สารประกอบบริเวณอินเทอร์เฟซ	95
4.26 ลักษณะ โครงสร้างจุลภาคและการกระจายพลังงานบริเวณต่าง ๆ ของงานเชื่อม	96