

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 วัสดุ	4
2.2 การเชื่อมโลหะ	10
2.3 การทดสอบสมบัติของวัสดุ	22
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	31
3.1 แผนการดำเนินงาน	31
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง	38
3.3 การเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่สภาวะการเชื่อมต่างๆ	43
3.4 การทดสอบสมบัติทางกล	46
3.5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	50
4.1 สมบัติของรอยต่อที่ความเร็วรอบ 500 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	50
4.2 สมบัติของรอยต่อที่ความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	57
4.3 สมบัติของรอยต่อที่ความเร็วรอบ 1500 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	63
4.4 สมบัติของรอยต่อที่ความเร็วรอบ 2000 rpm และความเร็วเดินแนว 50-200 mm/min	72

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	81
5.1 สรุปผลการทดลอง	81
5.2 ข้อเสนอแนะ	83
บรรณานุกรม	84
ภาคผนวก	88

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติทางกายภาพของอลูมิเนียมบริสุทธิ์	4
2.2	การแบ่งเกรดของอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม	5
2.3	สมบัติของอลูมิเนียมผสม	5
2.4	อักษรห้อยท้ายที่แสดงรายละเอียดของการผลิต	7
2.5	ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมเกรด 6063	9
2.6	สมบัติทางกลของอลูมิเนียมเกรด 6063	9
2.7	สมบัติทางกายภาพของอลูมิเนียมเกรด 6063	9
2.8	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า SKH57	10
2.9	โมดูลัสการยืดหยุ่นของโลหะบางชนิด	24
2.10	ความแข็งแรงครากและความแข็งแรงสูงสุดของโลหะบางชนิด	25
3.1	ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	31

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานแบบกวน (FSW)	3
2.2	กลไกการเกิดการรวมตัวของวัสดุ	4
2.3	ตำแหน่งการเริ่มสอดตัวกวนเข้าสู่แนวรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็ก	7
2.4	การทดสอบแรงดึง: (ก) การให้แรงแก่ชิ้นงาน (ข) ชิ้นทดสอบ (ค) เครื่องทดสอบ	12
2.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียด	12
2.6	การกระจายตัวของความเค้นเนื่องจาก (ก) รูวงกลม และ (ข) รูวงรี	17
2.7	องค์ประกอบความเข้มข้นของความเค้นทางทฤษฎีสำหรับชิ้นงานรูปร่างต่างๆ	17
2.8	การเตรียมชิ้นทดสอบ โครงสร้างจุลภาค	19
2.9	การขัดผิวชิ้นทดสอบ	19
2.10	ภาพแสดงอำนาจแยกแยะของ SEM	22
2.11	แผนภาพแสดงการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด	23
2.12	แผนภาพแสดงสัญญาณต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับสาร	24
2.13	ภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิ	24
2.14	ภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ	25
2.15	สเปกตรัมของเทคนิคเอเนอร์จีดีสเพอร์ซีฟสเปกโตรเมตรี (EDS)	25
3.1	แผนภาพการไหลโดยรวมขั้นตอนการดำเนินงาน	27
3.2	อุปกรณ์จับยึด	28
3.3	เครื่องกัดอัตโนมัติซีเอ็นซี (CNC Milling Machine)	29
3.4	เครื่องตัดชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางมหภาค	29
3.5	เครื่องกลึง (Machine lathe)	30
3.6	เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง	30
3.7	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	31
3.8	ส่วนต่างๆ ของตัวกวน	31
3.9	ลักษณะและขนาดของตัวกวนรูปทรงกระบอก (หน่วย : มม.)	32
3.10	ลักษณะและขนาดของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียว (หน่วย : มม.)	33
3.11	ลักษณะและขนาดของตัวกวนรูปทรงกรวย (หน่วย : มม.)	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.12	ลักษณะและขนาดของตัวกวนรูปทรงกรวยเกลียว (หน่วย : มม.)	34
3.13	การขึ้นรูปเครื่องมือเชื่อมด้วยการกลึง	34
3.14	การขึ้นรูปเครื่องมือเชื่อมด้วยการกลึง	35
3.15	ตำแหน่งการตัดชิ้นงานเชื่อมเพื่อทำขึ้นทดสอบแรงดึงแบบเหนือน (หน่วย : มม.)	36
3.16	ใบเครื่องมือตัด	37
3.17	ชิ้นงานทดสอบแรงดึง (หน่วย : มม.)	37
3.18	อุปกรณ์การหล่อเรซิน	38
3.19	ชิ้นงานหลังการหล่อเรซิน	38
3.20	การขัดกระดาษทราย	39
3.21	น้ำยาที่ใช้ในการกัดกรด	39
3.22	เครื่องสแกน	40
3.23	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด	40
4.1	ผิวหน้ารอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกระบอกและความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที	43
4.3	รอยลักษณะที่เกิดจากการทดสอบความแข็งแรงดึงของตัวกวนรูปทรงกระบอก ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที (ก) 50 (ข) 75 (ค) 100 (ง) 125 (จ) 150 และ(ฉ) 175 มม./นาที	44
4.4	รอยลักษณะภาคตัดขวางของตัวกวนรูปทรงกระบอก ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ (ก) 50 (ข) 75 (ค) 100 (ง) 125 (จ) 150 และ (ฉ) 175 มม./นาที	45
4.5	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อชนของตัวกวนรูปทรงกระบอก ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ (ก) 50 (ข) 75 (ค) 100 (ง) 125 (จ) 150 และ(ฉ) 175 มม./นาที	46
4.6	ผิวหน้ารอยเชื่อมของตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาทีและความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	47

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกระบอกเกลียวและความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที	48
4.8	รอยร้าวขนาดขึ้นทดสอบความแข็งแรงดึงของตัวถ่วงรูปทรงกระบอกเกลียว ที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาทีและความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	48
4.9	รอยร้าวขนาดภาคตัดขวางของตัวถ่วงรูปทรงกระบอกเกลียว ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	49
4.10	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อชนของตัวถ่วงรูปทรงกระบอกเกลียว ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	49
4.11	ผิวหน้ารอยเชื่อมของตัวถ่วงรูปทรงกรวย ที่ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	51
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ ที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยและความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	51
4.13	รอยร้าวขนาดขึ้นงานที่เชื่อมตัวถ่วงรูปทรงกรวยที่ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	52
4.14	รอยร้าวขนาดของขึ้นงานที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวย ที่ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	54

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกรวยที่ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	54
4.16	ผิวหน้ารอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกรวยเกลียว ที่ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	55
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกรวยเกลียวที่ความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที	55
4.18	รอยลักษณะที่ทดสอบความแข็งแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกรวยเกลียว ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	57
4.19	รอยลักษณะภาคตัดขวางของตัวกวนรูปทรงกรวยเกลียว ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 (ข) 75 (ค) 100 (ง) 125 (จ) 150 และ(ฉ) 175 มม./นาที	57
4.20	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียว ความเร็วรอบที่ 250 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	58
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง และความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปร่างต่างๆ ที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 250 รอบ/นาที	59
4.22	ผิวหน้ารอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกระบอก ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	60
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกระบอก ที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.24	รอยลักษณะของชั้นทดสอบที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกระบอก ความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	61
4.25	รอยลักษณะภาคตัดขวางของตัวกวนรูปทรงกระบอก ความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	62
4.26	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อชนของตัวกวนรูปทรงกระบอก ความเร็วรอบที่ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ (ก) 50 (ข) 75 (ค) 100 (ง) 125 (จ) 150 และ (ฉ) 175 มม./นาที	62
4.27	ผิวหน้ารอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียว ที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	63
4.28	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและความเร็วเดินแนวเชื่อมของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที	64
4.29	รอยลักษณะของชั้นทดสอบแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	65
4.30	รอยลักษณะของรอยต่อของชั้นทดสอบแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	66
4.31	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกระบอกเกลียวที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.32	ผิวหน้ารอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที่ และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที่ (ข) 75 มม./นาที่ (ค) 100 มม./นาที่ (ง) 125 มม./นาที่ (จ) 150 มม./นาที่ และ(ฉ) 175 มม./นาที่	68
4.33	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที่	68
4.34	รอยลักษณะของชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที่ และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที่ (ข) 75 มม./นาที่ (ค) 100 มม./นาที่ (ง) 125 มม./นาที่ (จ) 150 มม./นาที่ และ(ฉ) 175 มม./นาที่	69
4.35	รอยลักษณะภาคตัดขวางของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที่ และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที่ (ข) 75 มม./นาที่ (ค) 100 มม./นาที่ (ง) 125 มม./นาที่ (จ) 150 มม./นาที่ และ(ฉ) 175 มม./นาที่	70
4.36	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อชนที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที่ และความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที่ (ข) 75 มม./นาที่ (ค) 100 มม./นาที่ (ง) 125 มม./นาที่ (จ) 150 มม./นาที่ และ(ฉ) 175 มม./นาที่	70
4.37	ผิวหน้ารอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยเกลียว ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที่ ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที่ (ข) 75 มม./นาที่ (ค) 100 มม./นาที่ (ง) 125 มม./นาที่ (จ) 150 มม./นาที่ และ(ฉ) 175 มม./นาที่	72
4.38	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยเกลียวที่ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที่	73
4.39	รอยลักษณะชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยเกลียว ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที่ ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที่ (ข) 75 มม./นาที่ (ค) 100 มม./นาที่ (ง) 125 มม./นาที่ (จ) 150 มม./นาที่ และ(ฉ) 175 มม./นาที่	74
4.40	รอยลักษณะภาคตัดขวางของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยเกลียว ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที่ ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที่ (ข) 75 มม./นาที่ (ค) 100 มม./นาที่ (ง) 125 มม./นาที่ (จ) 150 มม./นาที่ และ(ฉ) 175 มม./นาที่	74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.41	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อชนที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกรวยเกลียว ความเร็วรอบ 500 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	74
4.42	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ความเร็วเดินแนวเชื่อม รูปแบบตัวกวนที่ความเร็วรอบ* 500 รอบ/นาที	75
4.43	ผิวหน้ารอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงระบอก ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	76
4.44	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงระบอกที่ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที	77
4.45	รอยลักษณะที่ทดสอบความแข็งแรงดึงที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงระบอก ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	77
4.46	รอยลักษณะภาคตัดขวางของชิ้นงานที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงระบอก ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ (ฉ) 175 มม./นาที	79
4.47	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงระบอก ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	79
4.48	ผิวหน้ารอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกรวย ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	80
4.49	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปทรงกรวยที่ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.50	รอยฉีกขาดซึ่งทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวย ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	81
4.51	รอยฉีกขาดภาคตัดขวางของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวย ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	83
4.52	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวย ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	83
4.53	ผิวหน้ารอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยเกลียว ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	84
4.54	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยเกลียวที่ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที	85
4.55	รอยฉีกขาดซึ่งทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยเกลียว ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	85
4.56	รอยฉีกขาดภาคตัดขวางของซึ่งทดสอบความแข็งแรงดึงของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยเกลียว ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	86
4.57	โครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยตัวถ่วงรูปทรงกรวยเกลียว ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ: (ก) 50 มม./นาที (ข) 75 มม./นาที (ค) 100 มม./นาที (ง) 125 มม./นาที (จ) 150 มม./นาที และ(ฉ) 175 มม./นาที	86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.58	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง และความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปร่างต่างๆ ที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที	88
4.59	ตำแหน่งโครงสร้างจุลภาครอยรอยขีดของรอยเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก	88
4.60	ตำแหน่งโครงสร้างจุลภาครอยรอยขีดรอยเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอก	89
4.61	ตำแหน่งโครงสร้างจุลภาครอยรอยขีดของรอยเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียว	90
4.62	ตำแหน่งโครงสร้างจุลภาครอยรอยขีดของรอยเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกเกลียว	91
4.63	ตำแหน่งโครงสร้างจุลภาครอยรอยขีดรอยเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวย	91
4.64	ตำแหน่งโครงสร้างจุลภาครอยรอยขีดรอยเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวย	92
4.65	ตำแหน่งโครงสร้างจุลภาครอยรอยขีดรอยเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียว	93
4.66	ตำแหน่งโครงสร้างจุลภาครอยรอยขีดรอยเชื่อมที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุด เชื่อมด้วยตัวกวนทรงกรวยเกลียว	93
4.67	โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยเชื่อมตัวตัวกวนทรงกระบอกที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด – ต่ำสุด	95
4.68	โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยเชื่อมตัวตัวกวนทรงกระบอกเกลียว ที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด – ต่ำสุด	96
4.69	โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยเชื่อมตัวตัวกวนทรงกรวยที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด – ต่ำสุด	97
4.70	โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยเชื่อมตัวตัวกวนทรงกรวยเกลียวที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด - ต่ำสุด	98
4.71	โครงสร้างอินเทอร์เฟซของรอยเชื่อมที่แสดงความแข็งแรงดึงสูงสุด: (ก) โครงสร้างมหภาคของรอยต่อ (ข)-(ค) ทรงกระบอก (ง)-(จ) ทรงกระบอกเกลียว (ฉ)-(ช) ทรงกรวย และ (ซ)-(ฅ) ทรงกรวยเกลียว	100