สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง	**5**
2.1 การเชื่อมฟริกชั่นสเตอร์	5
2.2 ตัวแปรการเชื่อมฟริกชั่นสเตอร์	6
2.3 โลหะวิทยาพื้นฐานของอลูมิเนียม	8
2.4 การทดสอบสมบัติทางกล	10
2.5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	14
2.6 เทอร์โมคัพเพิล	16
2.7 โปรแกรมแมทแลป (MATHLAB)	18
2.8 การคำนวณพลศาสตร์ของไหล	20
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	**34**
3.1 การออกแบบและวางแผนดำเนินการ	34
3.2 วัสดุ	36
3.3 กระบวนการเชื่อม	37
3.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค มหภาคและการทดสอบสมบัติทางกล	42
3.5 การตรวจสอบอุณหภูมิ	44
3.6 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบอุณหภูมิด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล	46
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	**47**
4.1 การหาตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อมรอยต่อชนของอลูมิเนียมผสมเกรด 6063	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการวัดอุณหภูมิของรอยต่อชนด้วยเทอร์โมคัพเพิล	55
4.3 ผลการพยากรณ์ด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล	65
4.4 การเปรียบเทียบผลการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัพเพิลและการพยากรณ์ด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล	70
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	**72**
5.1 ผลการดำเนินงานวิจัย	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม	74
ภาคผนวก ก	77

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติทางกายภาพของอลูมิเนียมบริสุทธิ์	9
2.2	การแบ่งเกรดของอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม	9
2.3	อักษรห้อยท้ายที่แสดงรายละเอียดของการผลิต	9
2.4	สมบัติของอลูมิเนียมผสม	10
2.5	ความแข็งแรงครากและความแข็งแรงสูงสุดของโลหะบางชนิด	13
2.6	รูปแบบเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกด แรงกด และวัสดุทดสอบตาม JIS-Z2243	30
3.1	แผนการดำเนินงาน	34
3.2	ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมผสมเกรด 6063 (% โดยน้ำหนัก)	36

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กระบวนการ FSW	1
2.1	ภาพรวมกระบวนการ FSW	5
2.2	รูปแบบของรอยต่อการเชื่อมฟริกชั่นสเตอร์	7
2.3	ลักษณะการเกิดความเค้นและความเครียด	10
2.4	การทดสอบแรงดึง: (ก) การให้แรงแก่ชิ้นงาน (ข) ชิ้นทดสอบ (ค) เครื่องทดสอบ	11
2.5	เส้นโค้งการทดสอบแรงดึง	12
2.6	การเตรียมชิ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาค	14
2.7	การขัดผิวชิ้นทดสอบ	15
2.8	การกำหนดพิกัดของท่อทรงกระบอกในแนว 2 มิติ	21
2.9	การใช้พิกัดอ้างอิงที่เป็นเส้นโค้งตัดกันไปมาเป็นรูปสี่เหลี่ยม	23
2.10	การใช้ Structured Grid	24
2.11	การใช้ Structured Grid แบบ H-Grid	25
2.12	การใช้ Structured Grid แบบ O-Grid	25
2.13	การใช้ Structured Grid แบบ C-Grid	25
2.14	การใช้ Block - Structured Grid	26
2.15	การใช้ Unstructured Grid	27
2.16	การกำหนดตำแหน่งของการดิสครีไท	28
2.17	แผนภูมิการคำนวณด้วยวิธีซิมเพล็ก	30
3.1	ภาพรวมการทดลอง	35
3.2	มิติของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ (หน่วย: มม.)	36
3.3	ส่วนต่างๆของตัวกวน	38
3.4	มิติของตัวกวนเครื่องมือเชื่อม (หน่วย: มม.)	39
3.5	อุปกรณ์จับยึด	40
3.6	เครื่องอัตโนมัติ NC Milling	41
3.7	แผงควบคุมของเครื่อง NC Milling	41
3.8	การจับยึดชิ้นงาน	42
3.9	ตำแหน่งการตัดชิ้นงาน	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.10	เครื่องหล่อตัวเรือนเบกาไลท์	43
3.11	ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อตัวเรือนเบกาไลท์	44
3.12	ชิ้นทดสอบแรงดึง	44
3.13	เครื่องทดสอบแรงดึง	45
3.14	ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัพเพิล	45
4.1	ผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงกระบอกที่ความเร็วเดินแนวต่างๆ ค่า EP= จุดบกพร่องที่จุดสุดท้าย และค่า WP=จุดบกพร่องบนแนวเชื่อม (หน่วยสเกล: ซม.)	48
4.2	ผิวหน้ารอยเชื่อมด้วยตัวกวนทรงเกลียววนขวาที่ความเร็วเดินแนวเชื่อมต่างๆ (หน่วยสเกล: ซม.)	49
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงและความเร็วเดินแนวของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปร่างต่างๆ	49
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยืดตัวและความเร็วเดินแนวของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปร่างต่างๆ	50
4.5	โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยตัวกวนรูปร่างต่างๆ ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm และ 125 mm/min.	50
4.6	ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงที่ความเร็วเดินแนวเชื่อม 125 mm/min.: (ก) ทรงกระบอก (ข) ทรงเกลียวซ้าย (ค) ทรงเกลียวขวา และ (ง) ทรงกรวย	51
4.7	โครงสร้างแนวเชื่อมตัวกวนเกลียวซ้าย: (ก) โครงสร้างมหภาค (ข) โครงสร้างอลูมิเนียมหลัก (ค) บริเวณพื้นที่อิทธิพลความร้อน-กลและพื้นที่การกวน (ง) พื้นที่การกวน (จ) พื้นที่นักเกต (ฉ) พื้นที่ใต้บ่าครื่องมือ	53
4.8	การติดตั้งเทอร์โมคัพเพิลลงบนแผ่นอลูมิเนียม	55
4.9	จุดต่อของอุปกรณ์ขยายสัญญาณ	56
4.10	การลดความร้อนของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานหลังจากการเชื่อมแนวแรก	56
4.11	การกระจายความร้อนบริเวณจุดเริ่มต้นของรอยต่อเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าสัมผัสกับอลูมิเนียมที่เวลา 2 วินาที	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	การกระจายความร้อนบริเวณจุดเริ่มต้นของรอยต่อเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าสัมผัสกับอลูมิเนียมที่เวลา 62 วินาที	57
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ที่จุดเริ่มต้นของแนวเชื่อม	58
4.14	การกระจายความร้อนบริเวณจุดเริ่มต้นของรอยต่อเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าสัมผัสกับอลูมิเนียมที่เวลา 78 วินาที	60
4.15	การกระจายอุณหภูมิแนวตัดขวางทิศทางการเชื่อมที่ระยะเวลา 78 วินาที	60
4.16	การกระจายความร้อนบริเวณจุดเริ่มต้นของรอยต่อเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าสัมผัสกับอลูมิเนียมที่เวลา 110 วินาที	61
4.17	การกระจายอุณหภูมิแนวตัดขวางทิศทางการเชื่อมที่ระยะเวลา 110 วินาที	62
4.18	การกระจายความร้อนบริเวณจุดเริ่มต้นของรอยต่อเมื่อตัวกวนถูกสอดเข้าสัมผัสกับอลูมิเนียมที่เวลา 136 วินาที	63
4.19	การกระจายอุณหภูมิแนวตัดขวางทิศทางการเชื่อมที่ระยะเวลา 136 วินาที	64
4.20	การกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆจาก 2 – 80 วินาทีที่จุดเริ่มต้น	65
4.21	การจำลองการกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆจาก 2 – 80 วินาทีที่จุดเริ่มต้น	66
4.22	การกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆจาก 2 – 80 วินาทีที่จุดกึ่งกลาง	67
4.23	การจำลองการกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆจาก 2 – 80 วินาทีที่จุดกึ่งกลาง	67
4.24	การกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆจาก 2 – 80 วินาทีที่จุดสิ้นสุด	68
4.25	การจำลองการกระจายอุณหภูมิตามความยาวที่เวลาต่างๆจาก 2 – 80 วินาทีที่จุดสิ้นสุด	69
4.26	การกระจายอุณหภูมิแนวตัดขวางทิศทางการเชื่อมที่ระยะเวลา ต่างๆ เปรียบเทียบกับแบบจำลองทางด้านพลศาสตร์ของไหล CFD	70