

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฅ
รายการสัญลักษณ์	ฉ
ประมวลคำศัพท์และคำย่อ	ฐ

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัย	2
1.4 สมมุติฐานของงานวิจัย	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในงานวิจัย	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เครื่องกัดซีเอ็นซี	4
2.2 วัสดุที่ใช้ทำมีดกัด (Tool Materials)	10
2.3 การขึ้นรูปชิ้นงานโดยการกัด	14
2.4 อะคูมิเนียมผสม และการบ่มแข็ง (Aging)	19
2.5 ความเรียบของผิวงาน	28
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. วิธีดำเนินงานวิจัย	35
3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	35
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	36
3.3 ขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงาน	38
3.4 การทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)	40
3.5 การออกแบบการทดลอง	41
3.6 ขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล	43
3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	45
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	48
4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)	48
4.2 ผลของการทดลอง	50
4.3 ผลการวิเคราะห์การทดลองทางสถิติ	53
4.4 วิเคราะห์หาความแปรปรวนของปัจจัย	54
4.4 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	59
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการทดลอง	62
5.2 อภิปรายผลการทดลอง	64
5.3 ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	67

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ก. ตารางบันทึกผลการทดลอง	70
ข. ตารางวิเคราะห์ข้อมูล	74
ค. รูปประกอบขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย	79

ประวัติผู้วิจัย

86

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สัญลักษณ์อะลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นและอะลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นผสม	19
2.2 การกำหนดการให้ความร้อนอะลูมิเนียมผสม	20
2.3 คุณสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมสังกะสีหมายเลข 7075	28
3.1 ค่าส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดสอบ	39
3.2 แสดงแผนการทดลองเบื้องต้น	40
3.3 แสดงแผนการทดลอง	41
3.4 การสุ่มเลือกดอกกัดและชิ้นงานสำหรับการทดลอง	43
4.1 แสดงค่าเฉลี่ยความเรียบผิวจากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)	49
4.2 แสดงข้อมูลค่าความเรียบผิวจากผลการทดลอง ครั้งที่ 1	50
4.3 แสดงข้อมูลค่าความเรียบผิวจากผลการทดลอง ครั้งที่ 2	51
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ANOVAของค่าตัวแปร ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวงานกัด (μm)	54
4.5 สมการถดถอยระหว่างความเร็วรอบ, อัตราป้อนกับความเรียบของผิวงานกัด	59
4.6 แสดงค่าพยากรณ์ความเรียบผิวงานกัดที่ได้จากสมการถดถอย	60
ก.1 ตารางบันทึกค่าความแข็งของอะลูมิเนียมผสมเกรด AA7075	71
ก.2 ตารางบันทึกค่าความแข็งของดอกกัด (End Mill)	71
ก.3 ตารางบันทึกค่าทดสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงาน	71
ก.4 แสดงค่าความเรียบผิวจากผลการทดลอง ครั้งที่ 1	72
ก.5 แสดงค่าความเรียบผิวจากผลการทดลอง ครั้งที่ 2	73
ข.1 แสดงผลการวิเคราะห์ANOVAของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวงานกัด (μm)	75
ข.2 สมการถดถอยระหว่างความเร็วรอบ, อัตราป้อน กับความเรียบของผิวงานกัด	77

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 เครื่องกัดซีเอ็นซีเพลตตั้ง	4
2.2 เครื่องกัดซีเอ็นซีเพลตนอน	4
2.3 ทิศทางของแนวแกนป้อน	5
2.4 ลักษณะระบบจับป้อนของซีเอ็นซี	6
2.5 การวัดตำแหน่งโดยตรง	6
2.6 การวัดตำแหน่งทางอ้อม	7
2.7 การวัดตำแหน่งแบบสัมผัส	7
2.8 การวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง	8
2.9 แบบเทอร์เทียคเครื่องมือ	8
2.10 แบบแม็กกาซีนยึดเครื่องมือ	8
2.11 เพลงานเครื่องกัด	9
2.12 แนวแกนหมุนของโต๊ะงานและส่วนหัวของเพลงาน	10
2.13 ลักษณะการกัด (a) การกัดตั้ง (b) การกัดนอน	14
2.14 ลักษณะการกัดนอนแบบต่าง ๆ	15
2.15 ลักษณะการกัดตั้งแบบต่าง ๆ	15
2.16 ดอกกัดแบบปลายหน้าตัดตรง	16
2.17 ดอกกัดแบบปลายครึ่งวงกลม	16
2.18 ดอกกัดปาดหน้า (Face milling cutter)	17
2.19 อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือตัด	17
2.20 ปลอกจับ (collet) เครื่องมือตัด	17
2.21 ส่วนต่าง ๆ ของดอกกัด (End mill)	18
2.22 แผนภาพสมดุลอะลูมิเนียมผสมสังกะสี	23
2.23 แผนภาพสมดุลการทำเองจึงธรรมชาติ	25
2.24 แผนภาพสมดุลการทำเองจึงเทียม	25
2.25 แผนภาพสมดุลการทำ Duplex Hight	26
2.26 แผนภาพสมดุลการทำ Duplex Low	26

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
2.27 ส่วนต่างๆของความเรียบผิวงาน	29
2.28 แสดงการหาค่าความหยาบผิวขนาดโดยรวม	30
2.29 แสดงการหาค่าความหยาบผิวขนาดหลุมลึกที่สุด	30
2.30 แสดงการหาค่าความหยาบผิวขนาดยอดสูงสุด	31
2.31 แสดงการหาค่าความหยาบผิวขนาดหลุมลึกที่สุด	31
2.32 แสดงการหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต	32
2.33 ค่าความเรียบผิวของกรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆ	32
3.1 เครื่องกัด ยี่ห้อ CHEVALIER รุ่น QP2026-L	36
3.2 เครื่องทดสอบความแข็ง (Micro Hardness Tester)	37
3.3 เครื่องวัดความเรียบผิว	37
3.4 ดอกกัด (End Mill)	38
3.5 แท่งอะลูมิเนียมผสมเกรด AA 7075	38
3.6 การทดสอบส่วนผสมเคมี	39
3.7 การทดสอบค่าความแข็ง	39
3.8 แท่งอะลูมิเนียมผสมที่ผ่านการบ่มแข็ง	39
3.9 แสดงตำแหน่งวัดและจุดวัดความเรียบผิวงาน	45
4.1 แสดงการแจกแจงของข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)	49
4.2 แสดงการแจกแจงของข้อมูลจากการทดลอง	53
4.3 ความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 100 มม./นาที	55
4.4 ความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 140 มม./นาที	56
4.5 ความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 180 มม./นาที	56
4.6 กราฟแสดงค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ยของปัจจัยความเร็วรอบ	57
4.7 กราฟแสดงค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ยของปัจจัยอัตราป้อน	58
4.8 กราฟแสดงค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ยของปัจจัยอัตราป้อน	58
4.9 ค่าความเรียบของผิวงานกัดที่ได้จากการพยากรณ์	60
ข.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 100 มม./นาที	76
ข.2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 140 มม./นาที	76

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
ข.3 ความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 180 มม./นาที	77
ค.1 การทดสอบส่วนผสมทางเคมี	80
ค.2 การทดสอบค่าความแข็ง	80
ค.3 การเตรียมชิ้นงานเข้าเตาอบไฟฟ้า	81
ค.4 นำชิ้นงานเข้าเตาอบไฟฟ้าเพื่อทำการบ่มแข็ง	81
ค.5 แท่งอะลูมิเนียมผสมที่ผ่านการบ่มแข็ง	82
ค.6 ดอกกัด (End Mill)	82
ค.7 การจับยึดชิ้นงานและดอกกัด (End Mill) เข้ากับเครื่องกัดซีเอ็นซี	83
ค.8 การกัดชิ้นงานแท่งอะลูมิเนียมผสมที่ผ่านการบ่มแข็ง	83
ค.9 ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกัด	84
ค.10 การวัดค่าความเรียบผิวงานตำแหน่งที่ 1	84
ค.11 การวัดค่าความเรียบผิวงานตำแหน่งที่ 2	85
ค.12 การวัดค่าความเรียบผิวงานตำแหน่งที่ 3	85

รายการสัญลักษณ์

d	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของดอกกัด (มิลลิเมตร)
n	=	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)
N	=	จำนวนของข้อมูลทั้งหมด
V	=	ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)
X	=	ข้อมูลแต่ละจำนวน
$S.D.$	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด
μm	=	ไมโครเมตร
$^{\circ}C$	=	องศาเซลเซียส
α	=	โครงสร้าง Ferrite
α'	=	โครงสร้าง Martensite
η	=	เฟส $MgZn_2$ โครงสร้างยูเทคติก
η'	=	เฟส $MgAl_2$ โครงสร้างยูเทคติก
α	=	นัยสำคัญทางสถิติ

ประมวลศัพท์และคำย่อ

Aging Aluminum Alloys	=	อะลูมิเนียมผสมที่ผ่านการบ่มแข็ง
Analysis of Variance (ANOVA)	=	การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน
Computer Numerical Control (CNC)	=	เครื่องกัดที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์
Cutting speed	=	ความเร็วตัด
Dependent Variable	=	ตัวแปรตาม
Depth of cut	=	ระยะป้อนลึก
End mill	=	ดอกกัด, เอ็นมิลล์
Fatigue strength	=	ความคงทนต่อความล้า
Feed rate	=	อัตราป้อน
Hardness Testing Machine	=	เครื่องทดสอบหาค่าความแข็ง
High Speed Steel (HSS.)	=	เหล็กกล้ารอบสูง
Independent Variable	=	ตัวแปรอิสระ
Interaction Effect	=	ตัวแปรที่เป็นปัจจัยร่วม
Main Effect	=	ตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลัก
Multiple Regression Analysis	=	การวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน
Revolutions per minute (rpm)	=	รอบต่อนาที
Roughness Average (Ra)	=	วัดความเรียบผิวเฉลี่ย
Spectrometer	=	เครื่องทดสอบหาค่าส่วนผสมทางเคมี
Speed	=	ความเร็วรอบ
Surface contouring	=	พื้นผิวโค้ง
Surface roughness	=	ความเรียบผิวงาน
Surface Roughness Testing Machine	=	เครื่องวัดความเรียบผิวงาน
Tempering	=	การชุบแข็ง

ประมวลศัพท์และคำย่อ (ต่อ)

AA 7075	=	อะลูมิเนียมผสมสังกะสี เกรด 7075
HB	=	Brinell Hardness
HRC	=	Hardness Rock well Scale C
GP Zone	=	Guinier –Preston
MPa	=	Mega Pascal
Hv	=	Vickers Hardness
LSD	=	Least Significant Difference
g/cm^3	=	gram per cubic centimeter
J/kg.K	=	Joule per kilogram Kelvin
$\text{m}/\Omega.\text{mm}^2$	=	meter per ohm square millimeter
10^3N/mm^2	=	Kilo Newton per square millimeter
$\mu\text{m/m.K}$	=	micron per Kelvin meter