

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง.....	4
2.2 ทฤษฎีการขึ้นรูปโลหะ.....	5
2.3 กระบวนการลากขึ้นรูปโลหะ.....	6
2.4 สารหล่อลื่น.....	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	27
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	27
3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุในการดำเนินการวิจัย.....	28
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.4 วิธีการดำเนินงาน.....	36
3.5 การคำนวณทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	36
3.6 ปัจจัยของการทดลอง.....	42
3.7 การติดตั้งแม่พิมพ์.....	43
3.8 การทดสอบแม่พิมพ์.....	47

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3.9 การเชื่อมต่ออุปกรณ์บันทึกข้อมูล	49
3.10 วิธีการเก็บข้อมูลในการทดลอง.....	50
3.11 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	52
4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	53
4.1 อิทธิพลของรัศมีบ่าคายที่มีผลต่อแรงสูงสุดที่ใช้ในการลากขึ้นรูป.....	53
4.2 อิทธิพลของรัศมีบ่าคายที่มีผลต่อคุณภาพของถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัส	59
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ5.....	65
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
รายการอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก ตารางแสดงคุณสมบัติของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SAPH.....	73
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ผลทดลองทางสถิติ	77
ภาคผนวก ค ตารางแสดงผลการทดลอง	84
ภาคผนวก ง ตารางแสดงผลการทดลอง	104

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การหาขนาดชิ้นงานเริ่มต้นด้วยทรงกลมกรณีมีปีกและไม่มีปีกชิ้นงาน	9
2.2	ขีดจำกัดการขึ้นรูปสูงสุดของวัสดุแต่ละชนิด.....	10
2.3	ค่า a_{cr} ของวัสดุชนิดต่างๆ	14
2.4	ระยะช่องว่างระหว่างพื้นซ์และคาน.....	14
3.1	องค์ประกอบทางเคมีของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH 440.....	31
3.2	สมบัติทางกลของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH 440	31
3.3	ตัวอย่างใบบันทึกผลการทดลองแรงสูงสุดที่ใช้ลากขึ้นรูปด้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก.	50
3.4	ตัวอย่างใบบันทึกผลการทดลองการวัดค่าความหยาบผิว.....	51
3.5	ตัวอย่างใบบันทึกผลการทดลองการวัดค่าความหนาของชิ้นงาน	52

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ชิ้นส่วนรถยนต์ที่ผลิตด้วยกระบวนการพับขึ้นรูปตัวยู และกระบวนการลากขึ้นรูป	1
2.1	ประเภทของเหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ แบ่งตามความสัมพันธ์ของความแข็งแรง	5
2.2	กระบวนการลากขึ้นรูปโลหะแผ่น	6
2.3	ลักษณะของแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการลากขึ้นรูป	7
2.4	ก่อนและหลังการลากขึ้นรูปโลหะ	8
2.5	ความเค้นที่เกิดขึ้นของโลหะแผ่นและค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงไป	9
2.6	ขีดจำกัดอัตราส่วนการขึ้นรูปสูงสุด β_{max}	11
2.7	ค่าแรงดันของแผ่นจับยึดชิ้นงานที่ต้องการในการลากขึ้นรูปครั้งแรก	12
2.8	การแบ่งกล่องสี่เหลี่ยมออกเป็นส่วนต่างๆ	16
2.9	การวิเคราะห์ที่มุมของกล่องสี่เหลี่ยม	17
2.10	การไหลของของโลหะที่บริเวณผนังส่วนตรงของการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม	18
2.11	ลักษณะของรอยย่นที่เกิดจากอัตราการไหล	19
2.12	แรงลากขึ้นรูปที่ได้จากการทดลองและการจำลองวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์	19
2.13	แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมเทียบกับรัศมีคายต่างๆ	23
2.14	ความหนาบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสในตำแหน่งต่างๆ	23
2.15	ความหยาบผิวของชิ้นงานเหล็กเกรด SAPH 440 หลังการพับขึ้นรูปตัวยู	25
2.16	ความหยาบผิวของชิ้นงานเหล็กเกรด SPFH 590 หลังการพับขึ้นรูปตัวยู	25
3.1	แผนภาพการไหลแสดงกระบวนการในการทำวิจัย	28
3.2	ขนาดของแผ่นชิ้นงานก่อนการลากขึ้นรูป	29
3.3	ชิ้นงานทดสอบความต้านแรงดึงและความยืด	29
3.4	เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test)	30
3.5	เครื่องปั๊มไฮดรอลิกแรงอัดสูงสุด 80 ตัน	32
3.6	อุปกรณ์เครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงาน	33
3.7	เครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงาน	33
3.8	เครื่องมือวัดความหนาของชิ้นงาน	34
3.9	ลักษณะของชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปด้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.10 ภาพหน้าตัดของรัศมีมุมพื้นซ์ (r_p) และรัศมีมุมตาย (r_d).....	35
3.11 ลักษณะชิ้นงานที่ต้องการ.....	40
3.12 เพื่อช่วยประมาณค่าแผ่นชิ้นงาน	42
3.13 การนำแม่พิมพ์ขึ้นเครื่องปั๊มไฮดรอลิก	44
3.14 การกดแม่พิมพ์ด้วยเครื่องปั๊มไฮดรอลิก	44
3.15 การยึดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มไฮดรอลิก.....	45
3.16 การตั้งระยะคูชิ้น	45
3.17 การตั้งลิมิตสวิทช์ (Limit Switch)	46
3.18 แม่พิมพ์พร้อมใช้งาน	46
3.19 ชิ้นงานจากการทดสอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 1.....	47
3.20 ชิ้นงานจากการทดสอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 2.....	48
3.21 ชิ้นงานจากการทดสอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 3.....	48
3.22 การเชื่อมต่ออุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ	49
3.23 ตำแหน่งในการวัดค่าความหนาผิว.....	50
3.24 ตำแหน่งในการวัดความหนาของผนังถ้วย	51
4.1 แรงลากขึ้นรูปชิ้นงานเกลียวเหล็ก SPCC ที่รัศมีบิดายแต่ละระดับ	54
4.2 ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากการลากขึ้นรูปเหล็ก SPCC ที่รัศมีบิดายแต่ละระดับ	54
4.3 แรงลากขึ้นรูปและแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานเกลียวต่อระยะกดดัดเหล็ก SPCC	55
4.4 แรงลากขึ้นรูปชิ้นงานเกลียวเหล็ก SAPH 440 ที่รัศมีบิดายแต่ละระดับ.....	56
4.5 ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากการลากขึ้นรูปเหล็ก SAPH 440 ที่รัศมีบิดายแต่ละระดับ.....	57
4.6 แรงกดขึ้นรูปและแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานต่อระยะกดดัดเหล็ก SAPH 440.....	57
4.7 แรงลากขึ้นรูปชิ้นงานเกลียวเหล็ก SPCC กับเหล็ก SAPH 440 ที่รัศมีบิดายแต่ละระดับ .	58
4.8 แรงลากขึ้นรูปชิ้นงานจากการทดลองและการคำนวณ ที่รัศมีบิดายแต่ละระดับ	59
4.9 ความกว้างของชิ้นงานรวมปีกเกลียวเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH 440 ที่รัศมีบิดายแต่ละระดับ.....	60
4.10 ความหนาผนังด้านตรงของชิ้นงานเกลียวเหล็ก SPCC ที่รัศมีบิดายแต่ละระดับ	61
4.11 ความหนาผนังด้านตรงของชิ้นงานเกลียวเหล็ก SAPH 440 ที่รัศมีบิดายแต่ละระดับ	61

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.12 ความหนาผนังบริเวณมุมด้วยเหล็ก SPCC ที่รัศมีบาคายแต่ละระดับ	62
4.13 ความหนาผนังบริเวณมุมด้วยเหล็ก SAPH 440 ที่รัศมีบาคายแต่ละระดับ	63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A_{BH}	พื้นที่ที่แผ่นกดชิ้นงานสัมผัสชิ้นงาน
A_1	พื้นที่หน้าตัดของพืนซ์
A_0	พื้นที่หน้าตัดของแผ่นชิ้นงาน
a	ความยาวส่วนที่ตรงของกล่องสี่เหลี่ยม
b	ความกว้างส่วนที่ตรงของกล่องสี่เหลี่ยม
c	ตัวประกอบแรงเฉือนขาควมมีค่าอยู่ระหว่าง 2 ~ 3
d_1	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพืนซ์
d_0	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นชิ้นงาน
d_m	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย
F_d	แรงที่ใช้ในการลากชิ้นรูปชิ้นงาน
$F_{d,max}$	แรงสูงสุดที่ใช้ในการลากชิ้นรูปชิ้นงาน
F_{BH}	แรงในการจับยึดชิ้นงาน
F_{cr}	แรงที่ทำให้เกิดการแตก
h	ความสูงของกล่องสี่เหลี่ยมส่วนที่ตรง
h_s	ความสูงของผนังด้านข้างของกล่องสี่เหลี่ยม
$h_{s,a}$	ความสูงของผนังด้านข้างที่เอาออก
$h_{s,a(Correct)}$	ความสูงของผนังด้านข้างที่ถูกต้อง
L_1	ความยาวหลังการทดสอบ
L_0	ความยาวก่อนการทดสอบ
MS_E	ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองเนื่องจากความผิดพลาดแบบสุ่ม
MS_{Tr}	ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองของปัจจัย
P_{BH}	ความดันบนแผ่นกดชิ้นงาน
r_B	รัศมีส่วนเกินของกล่องสี่เหลี่ยม
r_c	รัศมีมุม โคนิ่งของกล่องสี่เหลี่ยม
r_d	รัศมีคายน
r_p	รัศมีพืนซ์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

SS_E	ผลบวกกำลังสองเนื่องจากความผิดพลาดแบบสุ่ม
SS_T	ผลบวกกำลังสองทั้งหมด
SS_{Tr}	ผลบวกกำลังสองเนื่องจากปัจจัย
s_0	ความหนาแน่นเปล่า
S_u	ค่าความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุ
t	ความหนาชิ้นงาน
v_E	ดีกรีของความอิสระ
v_{Tr}	ดีกรีของความอิสระของปัจจัย
a_{cr}	ค่าองค์ประกอบตัวคูณการแตกของวัสดุ
β	อัตราส่วนการลากขึ้นรูป
β_{max}	ขีดจำกัดอัตราส่วนในการลากขึ้นรูป
η_{def}	ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนรูป
σ_t	ค่าการกระจายปกติ
σ_t	ความดันในแนวเส้นรอบวง
σ_r	ความดันในแนวรัศมี
σ_u	ความแข็งแรงดึงสูงสุดของวัสดุ