สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ข้อจำกัดของการศึกษา	2
1.5 ชนิดตัวแปรของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 นิยามศัพท์ที่สำคัญ	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.3 ทฤษฎีที่สำคัญ	5
2.3.1 ทฤษฎีการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปลึก	5
2.3.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการดึงขึ้นรูป	7
2.3.3 สารหล่อลื่นในงานดึงขึ้นรูปลึก	11
2.3.4 ข้อบกพร่องในระหว่างการขึ้นรูป	12
2.3.5 ชนิดของเหล็กแผ่นที่ใช้ในการขึ้นรูป	14
2.3.6 ดรอว์บีด	15
2.3.7 การเปลี่ยนรูปของโลหะแผ่นในระนาบความเค้น	16
2.3.8 แผนภาพความเครียด	17
2.3.9 คุณสมบัติของยาง	19
2.3.10 การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	33
3.1 แผนการดำเนินโครงการ	33
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	34
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	35
3.4 การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	44
3.5 วิธีการวัดผลการทดลอง	47

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 52
4.1 ผลการทดสอบ 52
4.1.1 ผลการทดลองแรงลากขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงาน 52
4.1.2 ผลการทดลองของชิ้นงานลากขึ้นรูป 60
4.1.3 ผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ 65
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 68
4.2.1 การวิเคราะห์แรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด 68
4.2.2 การวิเคราะห์ความเครียดแนวความหนาของชิ้นงานในแต่ละจุด 71
4.2.3 การวิเคราะห์คุณภาพชิ้นงานหลังการขึ้นรูป 75
4.2.4 การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ 76
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 78
5.1 สรุปผลการทดลอง 78
5.1.1 การใช้ดรอว์บีดโลหะ 78
5.1.2 การใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ 78
5.1.3 การใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ 79
5.1.4 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างชิ้นงาน 79
5.1.5 ความเค้นของชิ้นงานและดรอว์บีด 79
5.3 ข้อเสนอแนะ 80
บรรณานุกรม 81
ภาคผนวก ก 83
การคำนวณ
ภาคผนวก ข 90
ข้อมูลการทดลอง
ภาคผนวก ค 95
แบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์
ภาคผนวก ง 110
ผลงานนำเสนอต่อการประชุมวิชาการที่มีรายงานการประชุม

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางแสดงค่าอัตราส่วนการขึ้นรูปสูงสุด	11
2.2	สมบัติเชิงกลของแผ่นเหล็กกล้ารีดเย็น	12
2.3	สารหล่อลื่นที่ใช้กับการดึงขึ้นรูปลึก	14
2.4	เหล็กรีดเย็น (มาตรฐาน JIS) มาตรฐาน	15
2.5	เหล็กรีดเย็น (มาตรฐาน JIS) สมบัติทางกล	20
3.1	ตารางแผนการดำเนินงาน	33
3.2	ตารางชิ้นส่วนแม่พิมพ์	40
3.3	ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด	50
3.4	ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ของดรอว์บีดแต่ละชนิด	51
4.1	ตารางเปรียบเทียบความเครียดในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิดที่แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์	73
4.2	ตารางเปรียบเทียบความเครียดในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิดที่แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์	74
4.3	ตารางเปรียบเทียบความเครียดในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิดที่แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์	75
ข.1	ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดใช้ดรอว์บีดชนิดโลหะ	91
ข.2	ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ	91
ข.3	ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์	91
ข.4	ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์	92
ข.5	ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์	93
ข.6	ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์	94

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แม่พิมพ์แบบจังหวะเดียวไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงาน	5
2.2	แม่พิมพ์แบบจังหวะเดียวมีแผ่นจับยึดชิ้นงาน	6
2.3	แม่พิมพ์แบบสองจังหวะมีตัวสไลด์แผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่	6
2.4	แม่พิมพ์แบบสามจังหวะมีแผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่และตัวดายคูชั่น	7
2.5	ค่าแรงกดดันของแผ่นจับยึดชิ้นงานที่ต้องการในการดึงขึ้นรูปครั้งแรก	9
2.6	อัตราส่วนการขึ้นรูป	11
2.7	(Round Bead) (ก) แบบเดี่ยว (Single bead) (ข) แบบคู่ (Double bead)	15
2.8	(Square bead) (ก) แบบเดี่ยว (Single bead) (ข) แบบคู่ (Double bead)	16
2.9	(ก) สามเหลี่ยม (Three angle bead) (ข) แบบไม่ไหลตัว (Lock bead)	16
2.10	กรณีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริด	17
2.11	แผนภาพความเครียดตำแหน่งต่าง ๆ ของถ้วยทรงกระบอก	17
2.12	ค่าแรงกระทำต่อเอลิเมนต์ (f) ที่ทำให้โหนดมีการเคลื่อนที่ (U)	23
2.13	ตัวอย่างโหนดในเอลิเมนต์แต่ละมิติ	24
2.14	การใช้ Beam Element ในงานโครงสร้าง	25
2.15	การใช้ Shell Element ในงานที่มีลักษณะเป็นผนัง	25
2.16	ใช้งาน Solid Element ในงานที่เป็นปริมาตรตันที่มีความหนา	26
2.17	ชนิดของเอลิเมนต์ตั้งแต่ 1 – 3 มิติ	26
2.18	ตัวอย่างโครงสร้างเอลิเมนต์ดั้งเดิม	27
2.19	วงจรการวิเคราะห์ (The Analysis Cycle)	30
2.20	ระบบของโปรแกรม Marc	32
3.1	เครื่องปั๊มโลหะขนาด 80 ตัน	34
3.2	แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร	35
3.3	เครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC automatic machine)	35
3.4	ชิ้นงานสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาด 220 x 160 มม.	36
3.5	การจับยึด (Fixture) บนเครื่องกัด CNC	36
3.6	การจับยึดชิ้นงานบนเครื่องกัด CNC	36
3.7	การเดินกัดชิ้นงาน	37
3.8	การกัดขึ้นรูป (Profile) ดรอว์บีด	37
3.9	การเดินกัดร่อง (Slot) ด้านใน	38
3.10	การเดินกัดปลายโค้งมนของดรอว์บีด	38
3.11	การเดินกัดกัดยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์	39
3.12	ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ขึ้นรูปลึก	39
3.13	การประกอบชุดแม่พิมพ์ตัวบน	40
3.14	การใส่แผ่นเสริมรองขนาด	41
3.15	การสวมชุดแม่พิมพ์ตัวบนกับชุดแม่พิมพ์ตัวล่าง	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.16	การติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม	42
3.17	การประกอบดรอว์บิดกับแผ่นกดชิ้นงาน	42
3.18	การปรับตั้ง (Limit switch) เครื่องปั๊ม	43
3.19	แม่พิมพ์พร้อมใช้	43
3.20	การสร้างโมเดลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	44
3.21	การสร้างเอลิเมนต์	45
3.22	การกำหนดแรงกระทำ และเงื่อนไขในการจับยึด	45
3.23	การสร้างผิวสัมผัสแม่พิมพ์	46
3.24	ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นของโครงเครื่องดัด	46
3.25	แผ่นตัดเปล่าคำนวณโดยการประมาณค่า	47
3.26	ดรอว์บีดที่เป็นโลหะเหล็กชนิด S45C	48
3.27	ดรอว์บีดที่เสริมยางธรรมชาติ	48
3.28	ดรอว์บีดที่เสริมยางสังเคราะห์	48
3.29	แผ่นพลาสติกโพลีเอทธีลีนหนา 0.10 มม.	49
3.30	(ก) อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำมัน (ข) อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ	49
3.31	การติดตั้งอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณต่อเข้ากับเครื่องเพรส	50
3.32	เครื่องวัดความหนาชิ้นงาน	50
4.1	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ดรอว์บีดโลหะ	52
4.2	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ดรอว์บีดโลหะ	53
4.3	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ดรอว์บีดโลหะ	54
4.4	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 30 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ	55
4.5	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 50 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ	56
4.6	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 70 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ	57
4.7	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 30 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์	58
4.8	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 30 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์	59
4.9	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 30 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์	60
4.10	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดโลหะแรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์	60
4.11	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดโลหะแรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์	61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดโลหะแรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์	61
4.13	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์	62
4.14	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์	62
4.15	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์	63
4.16	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์	63
4.17	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์	64
4.18	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์	64
4.19	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดรอว์บีสโลหะ โดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	65
4.20	การกระจายความเค้นของดรอว์บีสโลหะ โดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	65
4.21	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดรอว์บีสเสริมยางธรรมชาติ โดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	66
4.22	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดรอว์บีสเสริมยางธรรมชาติ โดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	67
4.23	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดรอว์บีสเสริมยางสังเคราะห์โดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	67
4.24	การกระจายความเค้นของดรอว์บีดเสริมยางสังเคราะห์ โดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	68
4.25	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกด 30 %	69
4.26	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกด 50 %	70
4.27	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกด 70 %	71
4.28	บริเวณจุดที่ตรวจวัดความเครียดบนชิ้นงาน	72
4.29	กราฟแสดงความเครียดแนวความหนาชิ้นงานในแต่ล่ะจุด ที่แรงกด 30 %	72
4.30	กราฟแสดงความเครียดแนวความหนาชิ้นงานในแต่ล่ะจุด ที่แรงกด 50 %	73
4.31	กราฟแสดงความเครียดแนวความหนาชิ้นงานในแต่ล่ะจุด ที่แรงกด 70 %	74
4.32	การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง	76
4.33	การเปรียบเทียบความเค้น	77
ก.1	เส้นรอบรูปชิ้นงานหาความยาว Lt	84
ก.2	การคำนวณแผ่นตัดเปล่า	87