



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลึกโดยการประยุกต์
ใช้ครอว์ปีสยางเสริมแรง

**An Application of the Rubber Reinforce on the Deep Drawing
Sheet Metal Process**

ผศ.สมชาย เอี่ยมเจริญ
นายองกมล สุภารัตน์

หัวหน้าโครงการ
ผู้วิจัยร่วม

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลิคโดยการประยุกต์
ใช้ครอว์ปีสยางเสริมแรง

**An Application of the Rubber Reinforce on the Deep Drawing
Sheet Metal Process**

โดย

ผศ.สมชาย เอี่ยมเจริญ
นายจกกล สุภารัตน์

หัวหน้าโครงการ
ผู้วิจัยร่วม

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2554

ส่วนที่ 1 รายละเอียดโครงการ

- ชื่อโครงการวิจัย** การศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลิคโดยการประยุกต์ใช้ครอว์บีสยางเสริมแรง
(An Application of the Rubber Reinforce on the Deep Drawing Sheet Metal Process)
- หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบงานวิจัย และสถานที่ตั้งพร้อมทั้งชื่อหน่วยงาน และลักษณะของการร่วมงานวิจัยกับหน่วยงานอื่น (ถ้ามี)**
หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบ
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02-549-3490 โทรสาร 02-549-3442

3. คณะผู้วิจัย บทบาทของนักวิจัยแต่ละคนในการทำวิจัย และสัดส่วนที่ทำการวิจัย (%)

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	บทบาทนักวิจัย	สัดส่วนการทำวิจัย
1	ผศ.สมชาย เอี่ยมเจริญ Asst.Prof. Somchai Iemcharoen	หัวหน้าโครงการ และผู้วิจัยหลัก	65%
2	นายจกกล สุภารัตน์ Mr.Chongkol Supharattan	ผู้ร่วมวิจัย	35%

4. ประเภทของการวิจัย การวิจัยและพัฒนา

5. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย สาขาวิศวกรรมศาสตร์ และอุตสาหกรรมวิจัย

ส่วนที่ 2 เนื้อหาโครงการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดครอว์ปัด ซึ่งประกอบด้วยครอว์ปัดโลหะ ครอว์ปัดเสริมยางธรรมชาติ และครอว์ปัดเสริมยางสังเคราะห์ ทำการศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลึงรูปทรงไม่สมมาตร โดยลากขึ้นรูปวัสดุขึ้นงานแผ่นเหล็กเกรด SPCC ความหนา 1.0 มม. ใช้แรงกดขึ้นงานเท่ากับ 30%, 50% และ 70% ของแรงที่ใช้ลากขึ้นรูป ผลการทดลองลากขึ้นรูปด้วยลึงกับครอว์ปัดทั้งสามชนิด พบว่าแรงกดขึ้นงานสูงทำให้เกิดความเครียดบนชิ้นงานสูงถึง 0.469 ซึ่งเกิดกับครอว์ปัดโลหะ รองลงมาเป็นครอว์ปัดยางสังเคราะห์ และครอว์ปัดยางธรรมชาติ ตามลำดับ สำหรับแรงกดขึ้นงานที่เหมาะสมคือ 70% ของแรงลากขึ้นรูปซึ่งจะทำให้ไม่เกิดรอยยับบริเวณขอบปีกและผนังด้านข้าง

คำสำคัญ: ครอว์ปัด, การลากขึ้นรูป, แรงกดขึ้นงาน, ยางธรรมชาติ

Abstract

This research is intended to study the influence of different kinds of draw bead, which are metal draw bead, natural rubber draw bead and synthetic rubber draw bead. The study would offer an understanding of sheet metal flow during the process of deep drawing in nonsymmetrical deep drawing die by applying deep drawing cold rolled sheet (SPCC) with 1.0 mm. thickness and 30 %, 50%, and 70 % of blank holder force. After examined closely to the three kinds of draw bead, it could be concluded that the blank holder force had been made by metal draw bead created a strain of 0.469. Subsequently, natural rubber draw bead had created lesser and synthetic rubber draw beat had created least. The perfect blank holder force that should be made during process was 70 % and that wouldn't be created any wrinkleless at the die edge and wall.

Keyword (s): Drawbead, Deep Drawing, Blank Holder Force, Natural Rubber

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับใช้ในการทดสอบ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณประจำปี 2554 ในงานวิจัยฉบับนี้ จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ สามารถจะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับงานวิจัยฉบับนี้ต่อไป

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 นิยามศัพท์	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.3 ทฤษฎีที่สำคัญ	6
2.3.1 ทฤษฎีการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปลึก	6
2.3.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการดึงขึ้นรูป	8
2.3.3 สมบัติเชิงกลและความสามารถในการขึ้นรูป	12
2.3.4 สารหล่อลื่นในงานดึงขึ้นรูปลึก	17
2.3.5 ข้อบกพร่องในระหว่างการขึ้นรูป	19
2.3.6 ชนิดของเหล็กแผ่นที่ใช้ในการขึ้นรูป	21
2.3.7 ครอว์ปีด	22
2.3.8 การเปลี่ยนรูปของโลหะแผ่นในระนาบความเค้น	24
2.3.9 แผนภาพความเครียด	24
2.3.10 คุณสมบัติของยาง	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	30
3.1 แผนการดำเนินโครงการ	30
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	31
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	33

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4 วิธีการวัดผลการทดลอง	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	47
4.1 ผลการทดสอบ	47
4.1.1 ผลการทดลองแรงลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงาน	47
4.1.2 ผลการทดลองของขึ้นงานลากขึ้นรูป	55
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	60
4.2.1 วิเคราะห์แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด	60
4.2.2 วิเคราะห์ความเครียดแนวความหนาของขึ้นงานในแต่ละจุด	64
4.2.3 วิเคราะห์คุณภาพขึ้นงานหลังการขึ้นรูป	67
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการทดลอง	69
5.1.1 การใช้ดรอว์บีดโลหะ	69
5.1.2 การใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ	70
5.1.3 การใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์	70
5.3 ข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม	72
ภาคผนวก ก	74
การคำนวณ	
ภาคผนวก ข	82
ข้อมูลการทดลอง	
ภาคผนวก ค	86
แบบขึ้นส่วนแม่พิมพ์	
ภาคผนวก ง	102
ผลงานนำเสนอต่อการประชุมวิชาการที่มีรายงานการประชุม	

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางแสดงค่าอัตราส่วนการขึ้นรูปสูงสุด	12
2.2	สมบัติเชิงกลของแผ่นเหล็กกล้ารีดเย็น	14
2.3	สารหล่อลื่นที่ใช้กับการดัดขึ้นรูปลึก	18
2.4	เหล็กรีดเย็น (มาตรฐาน JIS) มาตรฐาน	21
2.5	เหล็กรีดเย็น (มาตรฐาน JIS) สมบัติทางกล	22
2.6	คุณสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ	28
3.1	ตารางแผนการดำเนินงาน	31
3.2	ตารางขึ้นส่วนแม่พิมพ์	37
3.3	ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด	46
3.4	ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ของดรอว์บีดแต่ละชนิด	46
4.1	ตารางเปรียบเทียบความเครียดในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิดที่แรงกดขึ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์	65
4.2	ตารางเปรียบเทียบความเครียดในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิดที่แรงกดขึ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์	66
4.3	ตารางเปรียบเทียบความเครียดในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิดที่แรงกดขึ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์	67
ข.1	ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดใช้ดรอว์บีดชนิดโลหะ	82
ข.2	ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ	84
ข.3	ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์	82
ข.4	ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดขึ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์	83
ข.5	ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดขึ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์	84
ข.6	ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดขึ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์	85

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แม่พิมพ์แบบจังหวะเดียวไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงาน	6
2.2	แม่พิมพ์แบบจังหวะเดียวมีแผ่นจับยึดชิ้นงาน	7
2.3	แม่พิมพ์แบบสองจังหวะมีตัวสไลด์แผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่	7
2.4	แม่พิมพ์แบบสามจังหวะมีแผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่และตัวคายคู่ชั้น	8
2.5	ค่าแรงกดดันของแผ่นจับยึดชิ้นงานที่ต้องการในการดึงขึ้นรูปครั้งแรก	10
2.6	อัตราส่วนการขึ้นรูป	12
2.7	(Round Bead) (ก) แบบเดี่ยว (Single bead) (ข) แบบคู่ (Double bead)	23
2.8	(Square bead) (ก) แบบเดี่ยว (Single bead) (ข) แบบคู่ (Double bead)	23
2.9	(ก) สามเหลี่ยม (Three angle bead) (ข) แบบไม่ไหลตัว (Lock bead)	23
2.10	กรณีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริด	24
2.11	การเปลี่ยนแปลงของกริดวงกลม	25
3.1	เครื่องปั๊มโลหะขนาด 80 ตัน	32
3.2	แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร	32
3.3	เครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC automatic machine)	32
3.4	ชิ้นงานสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาด 220 x 160 มม.	33
3.5	การจับยึด (Fixture) บนเครื่องกัด CNC	33
3.6	การจับยึดชิ้นงานบนเครื่องกัด CNC	34
3.7	การเดินกัดชิ้นงาน	34
3.8	การกัดขึ้นรูป (Profile) ครอว์บีด	35
3.9	การเดินกัดร่อง (Slot) ด้านใน	35
3.10	การเดินกัดปลายโค้งมนของครอว์บีด	35
3.11	การเดินกัดกัดยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์	36
3.12	ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ขึ้นรูปลึก	36
3.13	การประกอบชุดแม่พิมพ์ตัวบน	37
3.14	การใส่แผ่นเสริมรองขนาด	38
3.15	การสวมชุดแม่พิมพ์ตัวบนกับชุดแม่พิมพ์ตัวล่าง	38
3.16	การติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม	39
3.17	การประกอบครอว์บีดกับแผ่นกดชิ้นงาน	39
3.18	การปรับตั้ง (Limit switch) เครื่องปั๊ม	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.19	แม่พิมพ์พร้อมใช้งาน	40
3.20	แผ่นตัดเปล่าคำนวณโดยการประมาณค่า	41
3.21	ดรอว์บีดที่เป็นโลหะเหล็กชนิด S45C	42
3.22	ดรอว์บีดที่เสริมยางธรรมชาติ	42
3.23	ดรอว์บีดที่เสริมยางสังเคราะห์	43
3.24	แผ่นพลาสติกโพลีเอทธีลีนหนา 0.10 มม.	43
3.25	(ก) อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำมัน (ข) อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ	44
3.26	การติดตั้งอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณต่อเข้ากับเครื่องเพรส	44
3.27	บริเวณจุดที่ตรวจวัดความเครียดบนชิ้นงาน	45
3.28	เครื่องวัดความหนาชิ้นงาน	45
4.1	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซนต์ โดยใช้ดรอว์บีดโลหะ	47
4.2	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซนต์ โดยใช้ดรอว์บีดโลหะ	48
4.3	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซนต์ โดยใช้ดรอว์บีดโลหะ	49
4.4	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 30 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ	50
4.5	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 50 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ	51
4.6	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 70 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ	52
4.7	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 30 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์	53
4.8	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 30 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์	54
4.9	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 30 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์	55
4.10	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดโลหะแรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซนต์	56
4.11	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดโลหะแรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซนต์	56
4.12	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดโลหะแรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซนต์	57
4.13	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซนต์	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.14	ชิ้นงานใช้ดรอว์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติ แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์	58
4.15	ชิ้นงานใช้ดรอว์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติ แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์	58
4.16	ชิ้นงานใช้ดรอว์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์	59
4.17	ชิ้นงานใช้ดรอว์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์	59
4.18	ชิ้นงานใช้ดรอว์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์	60
4.19	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอว์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกด 30 %	61
4.20	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอว์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกด 50 %	62
4.21	กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอว์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกด 70 %	63
4.22	บริเวณจุดที่ตรวจวัดความเครียดบนชิ้นงาน	64
4.23	กราฟแสดงความเครียดแนวความหนาชิ้นงานในแต่ละจุด ที่แรงกด 30 %	64
4.24	กราฟแสดงความเครียดแนวความหนาชิ้นงานในแต่ละจุด ที่แรงกด 50 %	65
4.25	กราฟแสดงความเครียดแนวความหนาชิ้นงานในแต่ละจุด ที่แรงกด 70 %	66
ก.1	เส้นรอบรูปชิ้นงานหาความยาว Lt	75
ก.2	การคำนวณแผ่นตัดเปล่า	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันธุรกิจมีการแข่งขันทางการค้าสูงมากในประเทศไทยมีผู้ประกอบการธุรกิจอุตสาหกรรมหลายสาขาได้มีการปรับปรุงคุณภาพการผลิตสินค้าและขยายตัวไปอย่างรวดเร็วมีการแข่งขันทางธุรกิจอุตสาหกรรมเกิดขึ้นตลอดเวลาทั้งทางด้านการตลาด รูปแบบของผลิตภัณฑ์ และเงินทุนผู้ประกอบการอุตสาหกรรมแต่ละแห่งต้องเร่งพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีต่างๆ [1] การขึ้นรูปโลหะมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมยานยนต์ หรืออุตสาหกรรมครัวเรือน การพัฒนากระบวนการขึ้นรูปโลหะจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อลดต้นทุนการผลิต การพัฒนาผลิตภัณฑ์และการเพิ่มคุณภาพของงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นสำหรับการขึ้นรูปด้วยกลึงเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น โดยใช้แม่พิมพ์ทำการขึ้นรูปแผ่นโลหะเข้าไปในแม่พิมพ์ได้ชิ้นงานลักษณะรูปทรงถ้วย การขึ้นรูปด้วยกลึงเป็นกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยอาศัยแรงดึงและแรงอัด [2] การขึ้นรูปด้วยมีดตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการขึ้นรูป ได้แก่ ชนิดของโลหะแผ่น (Material) อัตราการลดรูป (Do/Dp) รัศมีของแม่พิมพ์ตัวผู้ (Punch radius) รัศมีของแม่พิมพ์ตัวเมีย (Die radius) แรงกดโลหะแผ่น (Blank holding force) ความเสียดทาน (Friction) และสารหล่อลื่น (Lubrication) [3]

การขึ้นรูปด้วยกลึงยังคงมีขีดจำกัดมากมาย โดยเฉพาะการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีผนังบางและมีความลึกมาก ๆ ถึงแม้มีการควบคุมตัวแปรต่างๆ ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่ก็ประสบปัญหาในการควบคุมการไหลตัวของโลหะแผ่น จึงมีการติดตั้งดรอว์บีด (Draw beads) [2] ในแม่พิมพ์การขึ้นรูปด้วยกลึง ซึ่งมีหน้าที่สำหรับควบคุมการไหลตัวของชิ้นงานเข้าสู่แม่พิมพ์ (Draw beads) ควบคุมการไหลของแผ่นโลหะด้วยการดัด (Bending and Unbending) แผ่นโลหะตามรูปทรงของ (Draw beads) ระหว่างการขึ้นรูป การใช้ (Draw beads) ทำให้ต้องเพิ่มแรงในการขึ้นรูปชิ้นงานเข้าสู่แม่พิมพ์แต่ (Draw beads) ช่วยลดแรงหนีบ (Blank holding force)

ได้มีการวิจัยมากมายที่การศึกษาอิทธิพลของดรอว์บีด เช่น (F.Mehmet) [4] ได้วิเคราะห์การไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการขึ้นรูปด้วยกลึงโลหะแผ่น เป็นต้น แต่งานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นเป็นการออกแบบดรอว์บีดและทำมาจากวัสดุโลหะทั้งสิ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ดรอว์บีดยางธรรมชาติ (Natural Rubber : NR) และยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber : SR) โดยการทดลองทำการเปรียบเทียบกับดรอว์บีดแบบปกติที่ทำมาจากโลหะทั้งที่เข้ากับดรอว์บีดที่ทำจากยาง เนื่องจากคุณสมบัติของยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นตัว จึงอาศัยคุณสมบัตินี้เพื่อลดการเกิดรอยเสียหายบนผิวโลหะแผ่นและ ลดแรงกดได้ นอกจากนี้ทำให้เกิดการไหลตัวได้ดีอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลิคโดยใช้ครอว์บีค
ยางเสริมแรง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแรงลากขึ้นรูประหว่างครอว์บีคโลหะกับครอว์บีคเสริมแรงยาง
ธรรมชาติและยางสังเคราะห์
- 1.2.3 เพื่อนำยางธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์

1.3 ขอบเขต

- 1.3.1 วัสดุชิ้นงานแผ่นเหล็กรีดเย็น SPCC ความหนา 1.0 มม. ทำการลากขึ้นรูปด้วยลิค
รูปทรงที่ไม่สมมาตร
- 1.3.2 ออกแบบแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปขนาด 240x420x292 มม.
- 1.3.3 ศึกษาอิทธิพลของแรงที่แผ่นกดขึ้นงาน(Blank holder force)โดยเปรียบเทียบจาก
เปอร์เซ็นต์ของแรงที่ขึ้นรูป แรงกดขึ้นงาน(Blank holder force)ใช้เท่ากับ 30%,50%
และ 70% ของแรงที่ใช้เพื่อขึ้นรูปลิค
- 1.3.4 ศึกษาอิทธิพลของชนิดครอว์บีค
 - 1) ครอว์บีคที่ทำจากโลหะเหล็กชนิด S50C
 - 2) ครอว์บีคที่เสริมแรงยางธรรมชาติ
 - 3) ครอว์บีคที่เสริมแรงยางสังเคราะห์
- 1.3.5 สารหล่อลื่นแผ่นพลาสติกโพลีเอทรีลีนความหนา 0.1 มม.
- 1.3.6 วิเคราะห์แรงลากขึ้นรูปและวัดความเครียดจากความหนาของชิ้นงาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถเลือกใช้แรงที่เหมาะสมในการกดขึ้นงานของแผ่นกด (Blank holder force)
- 1.4.2 สามารถใช้ครอว์บีคได้อย่างเหมาะสม
- 1.4.3 สามารถนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตัดสินใจที่จะนำยางธรรมชาติ และยาง
สังเคราะห์มาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปด้วยลิค
- 1.4.4 ได้ทราบข้อดีและข้อเสียของยางแท่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลิค

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการสร้างแม่พิมพ์มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำเอาความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีการออกแบบแม่พิมพ์มาใช้ในการออกแบบ เพื่อนำพิจารณาลักษณะขนาดแรง หน้าที่ใช้งาน และชิ้นส่วนอื่นๆ ที่ทำขึ้นเอง ก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์หาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการขึ้นรูป เพื่อนำมาเปรียบเทียบหาตัวแปรที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป ที่จะนำไปพัฒนาปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.1 นิยามศัพท์ที่สำคัญ

2.1.1 การขึ้นรูปลึก (Deep drawing) คือ การแปรรูป โลหะจากแบบเรียบให้เป็นภาชนะรูปถ้วย (shell) การเปลี่ยนสภาพนี้ทำได้โดยการกดโลหะแผ่นเรียบด้วยพื้นที่เข้าไปในช่องว่างของดาย ซึ่งรูปแบบอาจเป็นรูปทรงกระบอก รูปกล่อ่งที่มีด้านตรงเอียง และเป็นเส้นโค้งเป็นต้น [1]

2.1.2 แรงกดขึ้นงาน (Blank holder force) คือ ขนาดของแรงกดของแผ่นกดขึ้นงาน (Blank holder) ที่พอเหมาะสำหรับป้องกันไม่ให้งานเกิดรอยย่นหรือขึ้นงานเกิดรอยฉีกขาด เช่น ถ้าแรงกดมากเกินไปจะทำให้ขึ้นงานเกิดรอยฉีกขาดหรือถ้าแรงกดน้อยเกินไปจะทำให้ขึ้นงานเกิดรอยย่นได้ [1]

2.1.3 ดรอว์บีด (Draw bead) มีหน้าที่ในการควบคุมการไหลตัวของโลหะที่จะเข้าไปในดาย และช่วยป้องกันไม่ให้เกิดรอยย่น (Wrinkle) ในขณะที่ขึ้นรูป นอกจากยังช่วยลดแรงกดของเบงก์โฮลเดอร์ตลอดจนทำหน้าที่เหมือนกับ ปรับตัวรีดโลหะให้มีความเครียด (Strain) ลดลง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการขึ้นรูปของโลหะ [2]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติภฏ รัตนจันทร์ เพื่อศึกษาหาความสามารถในการควบคุมการไหลของโลหะแผ่นของดรอว์บีด (Draw bead) ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวต่างกันเช่นรูปร่างและความสูงของดรอว์บีด ความเร็วในการดึงขึ้นรูป สภาพการหล่อลื่นและสมบัติของโลหะแผ่น สำหรับในการวิจัยนี้ใช้ดรอว์บีดที่มีรูปร่างแบบครึ่งทรงกระบอกกลม (Half-round draw bead) โดยมีตัวแปรที่สนใจคือความสูงของดรอว์บีด สภาพการหล่อลื่นและความเร็วในการดึงขึ้นรูป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความสูงของดรอว์บีดและการหล่อลื่นมีผลกระทบต่อการควบคุมการไหลของโลหะแผ่นที่จะเข้าสู่ช่องเปิดดายเป็นอย่างมาก เมื่อเพิ่มความสูงดรอว์บีดให้สูงขึ้นจะต้องใช้แรงกดเบงก์โฮลเดอร์เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่รอยย่นที่เกิดขึ้นจะลดลง ในส่วนของการหล่อลื่นพบว่าเมื่อไม่ใช้สารหล่อลื่นจะ

ไม่สามารถดึงขึ้นรูปได้เพราะจะเกิดการฉีกขาดที่ผนังชิ้นงานก่อน สำหรับความเร็วในการดึงขึ้นรูปในช่วงที่ใช้ในการทดลองพบว่า มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานสำเร็จน้อยมาก [2]

บุญส่ง จงกลณี ได้ศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์ที่จะใช้ในการลากขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีลักษณะไม่สมมาตร เพื่อใช้ในการทดสอบอิทธิพลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการขึ้นรูป 4 ตัวแปร รูปร่างแผ่นเปล่า (Blank geometry) ขนาดแรงกดขึ้นงาน (Blank holding force : BHF) ชนิดของสารหล่อลื่น (Lubricant type) และรูปร่างครอว์บีด (Draw bead geometry) ในขั้นตอนการทดสอบจะมีการบันทึกผลแรงกดขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในขณะที่ขึ้นรูปทุกครั้ง การวัดผลการทดลองจะนำเอาชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้วมาตรวจสอบความเสียหายและวัดขนาดของความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นในตำแหน่งต่างๆบนชิ้นงานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป จากการทดลองพบว่า รูปร่างของแผ่นตัดเปล่า และแรงกดขึ้นงานที่เหมาะสมนอกจากจะสามารถลดแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปแล้วยังสามารถลดระดับความเครียดบนชิ้นงานได้อีกด้วย ขนาดของแรงกดขึ้นงานที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นตัดเปล่าและกลไกของแม่พิมพ์ สารหล่อลื่นจะลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ผิวสัมผัสของชิ้นงานโดยตรง และการใช้ครอว์บีดที่มีขนาดที่เหมาะสม จะสามารถควบคุมการไหลของแผ่นตัดเปล่าเข้าสู่ดายได้ดี จะทำให้สามารถลดขนาดของความเครียดในบริเวณวิกฤติได้ดี อย่างไรก็ตามการใช้ครอว์บีดจะต้องมีการปรับขนาด แผ่นตัดเปล่าให้โตขึ้น เพิ่มแรงกดขึ้นงาน และเลือกใช้สารหล่อลื่นให้เหมาะสม [5]

ทวีภัทร บุรณชิต, ทัศนัย ผ่องผาย การขึ้นรูปโลหะแผ่นในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์มักจะเกิดปัญหาการเกิดรอยย่น การฉีกขาด และการสปริงตัวกลับ ทั้งนี้กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นนั้นมีการกำหนดค่าตัวแปรกระบวนการผลิตต่างๆ ที่สำคัญเช่น แรงกดของตัวประสานหรือแรงจับยึดแบบลงค์ตำแหน่งของครอว์บีด และขนาดรูปร่างของแบบลงค์ เป็นต้นงานวิจัยนี้ได้นำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้นมาประยุกต์ในการจำลองสถานการณ์และการวิเคราะห์การขึ้นรูปโลหะแผ่นของชิ้นส่วนขวางยึดเครื่องยนต์มาเป็นกรณีศึกษา โดยทำการศึกษาถึงอิทธิพลของแรงกดของตัวประสานและตำแหน่งครอว์บีดแบบต่างๆ ต่อการไหลของวัสดุในกระบวนการขึ้นรูปโลหะที่มีต่อการฉีกขาดและการเกิดรอยย่นซึ่งเป็นเงื่อนไขการออกแบบหลัก แผ่นโลหะที่ใช้ในการศึกษานี้คือ เหล็กกล้า JSC440W ที่มีความหนาเริ่มต้น 1 มม. ความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นส่วนนี้ถูกพิจารณาโดยการเปรียบเทียบกับแผนภูมิขีดจำกัดการขึ้นรูป ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญทางด้านความไม่เสถียรทางพลาสติกของแต่ละชนิดโลหะแผ่น ผลจากการศึกษาพบว่าครอว์บีดสามารถควบคุมการไหลของวัสดุได้ดีกว่าการใช้แรงกดของตัวประสานเพียงอย่างเดียว การเลือกตำแหน่งครอว์บีดมีความสำคัญ โดยการวางแนวครอว์บีดอย่างสม่ำเสมอ นั้นไม่เพียงพอต่อการขึ้นรูปสำหรับกรณีศึกษาการใช้ครอว์บีดแบบ 6 ช่วงตำแหน่ง จะสามารถช่วยในการลดปัญหาทั้งการฉีกขาดและรอยย่นได้ดีในกรณีศึกษานี้ [6]

F. Mehmet [4] ได้วิเคราะห์ลักษณะการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วย ลีกลโดยการใส่ครอวิส ว่าเกิดขึ้นในลักษณะใด และส่งผลต่อการขึ้นรูปมากน้อยเพียงใด พบว่า การนำ ครอวิสมาใช้สามารถช่วยให้การไหลของโลหะได้ดีขึ้นอย่างชัดเจน

M. Samuel [7] ได้ศึกษาอิทธิพลของรูปทรงครอวิสที่ส่งผลต่อการลากขึ้นรูปด้วยลีกลโลหะ แผ่น ได้พบว่ารูปทรงของครอวิสมีอิทธิพลสูงมากกับการไหลตัวของแผ่นโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูปทรงที่มีความโค้งมนจะสามารถพาโลหะไหลได้ดีกว่ารูปทรงเหลี่ยม

H. Naceur [8] ได้หาความเหมาะสมในการออกแบบครอวิสในกระบวนการลากขึ้นรูปโลหะ แผ่น โดยการใช้วิธีการ Inverse Approach (IA) ซึ่งจะทำการ Restraining Force ไว้เพื่อการออกแบบ ครอวิส

Y. Ghoo [9] ได้นำวิธีการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการออกแบบครอวิส เพื่อ วิเคราะห์การไหลตัวและลักษณะความเสียหายที่จะเกิดขึ้นของแผ่นโลหะ

R. Li [10] ได้ศึกษาความเหมาะสมของกระบวนการลากขึ้นรูปโลหะแผ่น AA 6111-T4 โดย การใส่ครอวิส ทำการวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดขึ้นกับแผ่นโลหะ พบว่าการเพิ่มความสูงตั้งฉาก กับแผ่นโลหะจาก 0-5 มม. สามารถเพิ่มการไหลตัวได้ดี ซึ่งได้เปรียบเทียบระหว่างความลึกลับกับแรง กดเหยียบ (Blankholder Force)

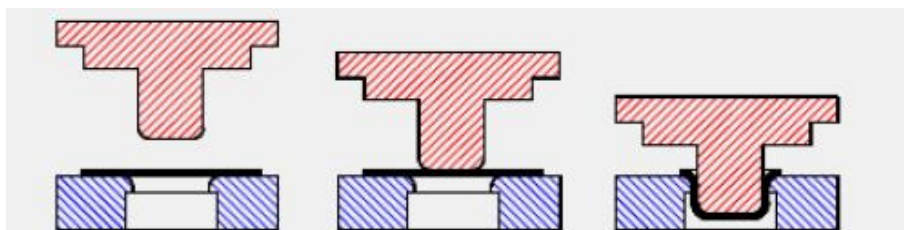
เป็นต้น แต่งานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นเป็นการออกแบบครอวิสและทำมาจากวัสดุโลหะ ทั้งสิ้น ซึ่งผลลัพธ์ส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่าการใส่ครอวิสช่วยในการควบคุมการไหลตัวของ ชิ้นงานนั้น ยังขึ้นอยู่กับวัสดุชิ้นงาน รูปร่างของครอวิสเอง ซึ่งงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบ ครอวิสที่ทำมาจากยางธรรมชาติ (ยางแท่ง STR) แล้วเสริมแรงด้วยแผ่นโลหะ โดยทำการศึกษา การไหลตัวของโลหะแผ่นต่างชนิดกันในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลีกล เพื่อศึกษาพฤติกรรม การไหลตัวของโลหะแต่ละชนิด, ลดความเสียหายของชิ้นงาน และได้ขนาดชิ้นงานที่สม่ำเสมอ

2.3 ทฤษฎีที่สำคัญ

2.3.1 ทฤษฎีการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปลึก

การขึ้นรูปลึกโดยใช้ แม่พิมพ์ (Die) การดึงขึ้นรูปโดยใช้สื่อแรงดัน (Pressure medium) การดึงขึ้นรูปโดยใช้พลังงานกระตุ้น (Energy activation) การแบ่งแม่พิมพ์ตามโครงสร้างของแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปแบ่งออกเป็น 4 แบบ ดังต่อไปนี้

1) แม่พิมพ์ที่ไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แม่พิมพ์แบบจังหวะเดียวไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงาน [11]

แม่พิมพ์ที่ไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และปราศจากรอยย่นที่ชิ้นงาน ถ้าความต้านทานการโก่งตัวของโลหะแผ่นด้านความเค้นแรงกดที่ตั้งฉากกับแนวรัศมีได้สูงพอ สิ่งนี้จะเป็นจริงได้เมื่ออัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นงานต่อความหนา คือ d_0 ต่อ s_0 มีค่า 25 ถึง 40 ค่าน้อยที่สุดเป็นค่าสามารถใช้อัตราส่วนการขึ้นรูป β ค่ามากได้ ดังแสดงในสมการที่ 2.1 [11]

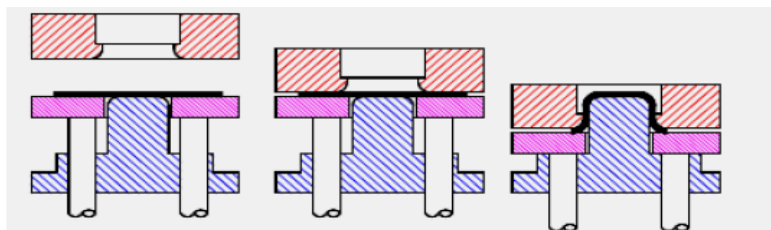
$$\frac{d_0}{s_0} \text{ มีค่าอยู่ระหว่าง 25 ถึง 40} \quad (2.1)$$

d_0 = เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นชิ้นงาน (mm)

s_0 = ความหนาของชิ้นงาน (mm)

การขึ้นรูปโดยไม่มีแผ่นจับยึดงานเป็นการใช้เครื่องมือที่มีโครงสร้างแบบง่ายๆ เนื่องจากไม่มี ความเสียดทานที่เกิดจากแผ่นจับยึดงานจึงทำให้แรงในการขึ้นรูปลดลง และขอบเขตของอัตราส่วน β อาจจะเพิ่มขึ้น สิ่งจำเป็นสำหรับการขึ้นรูปของแม่พิมพ์จังหวะเดียวเมื่อใช้แม่พิมพ์ที่ไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงานที่ค้ำมีรูปทรงเรขาคณิตลักษณะพิเศษแต่ในการขึ้นรูปที่อัตราส่วนการขึ้นรูป β น้อยสามารถทำได้ดีก่อนที่จะขอบของแผ่นงานจะถูกยกตัวขึ้น

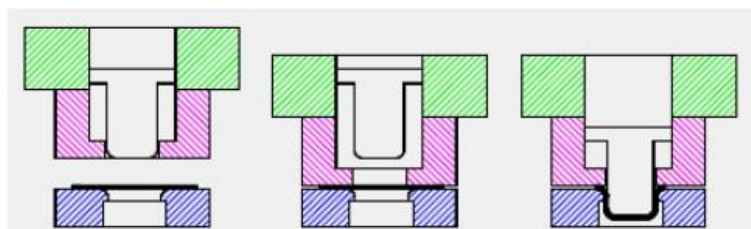
2) แม่พิมพ์จังหวะเดียวมีแผ่นจับยึดชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แม่พิมพ์แบบจังหวะเดียวมีแผ่นจับยึดชิ้นงาน [11]

แผ่นจับยึดชิ้นงานจะทำควบคู่กันกับคานยกชิ้นแท่นเครื่องปั๊ม ดังนั้นเมื่อพื้นที่ถูกยึดกับแท่นเครื่องและคานถูกยึดติดกับส่วนป็นตัวสไลด์เครื่องที่ด้านบนของแม่พิมพ์ในตำแหน่งแรงของแผ่นจับยึดชิ้นงานอยู่ในตอนเริ่มต้น ขึ้นรูป แผ่นชิ้นงานและคานสามารถจะไถ่เข้าไปในคาน ได้ในตอนเริ่มต้นของการขึ้นรูปแผ่นจับยึดชิ้นงานและคานจะเป็นตัวไปกดแผ่นชิ้นงาน เมื่อสไลด์ส่วนบนเครื่องที่ลงมาคานยกชิ้นจะส่งแรงด้านด้านล่างผ่านสลักนำไปดันที่นำไปดันที่แผ่นจับชิ้นงาน ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นแรงในการขึ้นรูปมีแรงต่างกัน คือ แรงกดระหว่างพื้นที่และแผ่นจับยึดชิ้นงาน

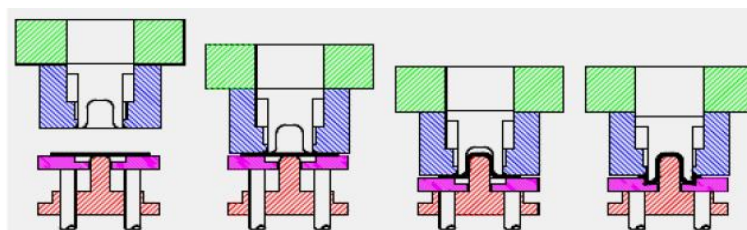
3) แม่พิมพ์สองจังหวะมีตัวสไลด์แผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แม่พิมพ์แบบสองจังหวะมีตัวสไลด์แผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่ [11]

จากรูปที่ 2.3 แผ่นจับยึดชิ้นงานเป็นส่วนหนึ่งของตัวสไลด์ส่วนเคลื่อนที่ด้านบนทิศทางการทำงานของแผ่นจับยึดชิ้นงานจะไปในทิศทางเดียวกันกับตัวสไลด์พื้นที่ของเครื่องปั๊มคานของแม่พิมพ์จะยึดติดแน่นกับแท่นของเครื่องปั๊ม การไถ่แผ่นชิ้นงานลงไปนคานจะกระทำในขณะที่พื้นที่และแผ่นจับยึดชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งบนในขั้นตอนแรกของการขึ้นรูปแผ่นจับยึดชิ้นงานจะกดลงบนแผ่นชิ้นงานและ ในขั้นที่สอง พื้นที่จะเคลื่อนตัวลงมาทำการขึ้นรูปต่อไป

4) แม่พิมพ์สามจังหวะมีแผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่และตัวค้ำคู้ (Die cushion) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แม่พิมพ์แบบสามจังหวะมีแผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่และตัวค้ำคู้ [11]

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแม่พิมพ์สองจังหวะ ที่มีตัวสไลด์แผ่นยึดชิ้นงานเคลื่อนที่กับแม่พิมพ์สามจังหวะที่มีตัวค้ำคู้เพิ่มขึ้นมา จากรูปที่ 2.4 เมื่อเราใส่แผ่นชิ้นงานเข้าไปในค้ำแล้วพื้นที่และแผ่นจับยึดชิ้นงานรวมทั้งตัวค้ำคู้จะอยู่ในตำแหน่งบนของ แม่พิมพ์ ขั้นตอนแรกของการขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานจะถูกกดอยู่ระหว่างแผ่นจับยึดชิ้นงานกับตัวค้ำคู้ในตำแหน่งนี้แม่พิมพ์ส่วนจะเคลื่อนที่ลงมาและเริ่มต้นการขึ้นรูปด้วยพื้นที่ซึ่งถูกติดตั้งไว้ที่แท่นเครื่องในจังหวะที่สองตัวสไลด์ของเครื่องปั๊มที่อยู่ด้านบนจะเคลื่อนตัวลงมา และทำการขึ้นรูปลึกซึ่งการออกแบบแม่พิมพ์ชนิดนี้จะเป็นการขึ้นรูปแบบดึงขึ้นรูปครั้งแรกและดึงขึ้นรูปกลับทางอยู่ในขั้นตอนเดียวกัน ซึ่งแรงในการดึงขึ้นรูปเป็นผลของแรงที่ต่างกันระหว่างพื้นที่และแผ่นจับยึดชิ้นงาน [11]

2.3.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการดึงขึ้นรูป

1) แรงในการดึงขึ้นรูป (Punch force)

แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปจะแปรผันไปตามระยะชักของพื้นที่ สามารถจะกำหนดได้ 2 วิธี คือ การกำหนดสมการจากทฤษฎีการไหลตัวของโลหะ หรือใช้สมการที่ได้จากประสบการณ์จากการทดลอง ซึ่งในทางปฏิบัติส่วนใหญ่การออกแบบแม่พิมพ์จะต้องทราบค่าแรงสูงสุดในการดึงขึ้นรูปจากการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับแรงในการดึงขึ้นรูปที่แสดงถึงแรงสูงสุดนั้น จะขึ้นอยู่กับวัสดุของชิ้นงานและอัตราส่วนการขึ้นรูป ซึ่งจะได้ค่าของ $d_{F,max} \approx 0.07d_0$ การประมาณการหาแรงในการดึงขึ้นรูปสูงสุดที่ดีแสดงในสมการที่ 2.2 โดยแรงสูงสุดสามารถกำหนดจากประสิทธิภาพของการเปลี่ยนรูปของโลหะ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง d_m ในสมการหมายถึงค่าเฉลี่ยระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางในถึงเส้นผ่านศูนย์กลางนอกของชิ้นงาน $d_m = d_1 + s_0$ โดย η_{dfe} มีค่าอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 0.7 [12] และประยุกต์ใช้กับการขึ้นรูปขึ้นงานรูปทรงไม่สมมาตรดังแสดงในสมการที่ 2.3 [9]

$$F_d = \pi \times d_m \times s_0 \left[1.1 \frac{1.3 \times s_u}{\eta_{dfe}} \left[\ln \frac{d_0}{d_1} - 0.25 \right] \right] \quad (2.2)$$

$$F_d = \frac{s_y + s_u}{2} \times L_t \times s_0 \quad (2.3)$$

- F_d = แรงขึ้นรูป (kN)
 d_m = ค่าเฉลี่ยระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางในถึงเส้นผ่าศูนย์กลางนอกของชิ้นงาน (mm)
 s_0 = ความหนาของชิ้นงาน (mm)
 s_u = ความเค้นสูงสุด (N/mm²)
 η_{dfe} = ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนรูปของโลหะ
 d_0 = เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นชิ้นงาน (mm)
 d_1 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของพันธ์ (mm)
 s_y = ความเค้นจุดคราก (N/mm²)
 L_t = ความยาวรอบรูปทั้งหมด (mm)

2) แรงกดของแผ่นจับยึดชิ้นงาน (Blankholder pressure)

ขอบปีกของชิ้นงานที่ดึงขึ้นรูปจะได้รับความเค้นแรงกด ซึ่งเกิดในลักษณะตั้งฉากกับแนวรัศมีเป็นสาเหตุของการเกิดรอยร่นเนื่องจากการโก่งตัวของวัสดุ รอยร่นนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้ขณะทำการดึงขึ้นรูป ถ้าพื้นที่สัมผัสของแผ่นจับยึดชิ้นงาน P_{BH} จะไปกดลงบนแผ่นขอบปีกชิ้นงานขณะทำการดึงขึ้นรูป ถ้าพื้นที่สัมผัสของแผ่นจับยึดชิ้นงาน คือ A_{BH} ดังนั้นการคำนวณค่าแรงกดที่ใช้กับแผ่นจับยึดชิ้นงานดังแสดงในสมการที่ 2.4 [12]

$$F_{BH} = A_{BH} \times P_{BH} \quad (2.4)$$

- F_{BH} = แรงกดยึดแผ่นชิ้นงาน (N)
 P_{BH} = พื้นที่สัมผัสของแผ่นจับยึดชิ้นงาน (N/mm²)
 A_{BH} = แรงกดดันที่ใช้กับแผ่นจับยึดชิ้นงานค่าที่สุุด (mm²)

แรงกดที่ใช้ในการหลีกเลี่ยงรอยร่นนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุของแผ่นชิ้นงาน โดยจะสัมพันธ์กับความหนาและอัตราส่วนการขึ้นรูปของวัสดุ แรงกดของแผ่นจับยึดชิ้นงานสามารถ

ประมาณค่าได้โดยใช้สมการที่ 2.5 ในที่นี้ตัวประกอบค่า C มีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 3 เป็นการคำนวณหาค่าแรงกดดังแสดงในสมการที่ 2.4 โดยใช้อัตราส่วนการขึ้นรูป $\beta = 2.0$ และใช้วัสดุที่มีค่า (Ultimate Tensile Strength) $s_u = 100, 200, 400$ และ 600 N/mm^2 ถูกพล็อตขึ้นมาเป็นกราฟโดยสัมพันธ์กันกับค่าความหนาของวัสดุ s_0 / d_0 ดังแสดงในรูปที่ 2.5 [12]

$$P_{BH} = 10^{-3} \times C \times s_u \left[(\beta - 1) + \frac{0.005 \times d_0}{s_0} \right] \quad (2.5)$$

P_{BH} = แรงกดดันที่ใช้กับแผ่นจับยึดชิ้นงานต่ำที่สุด (N/mm^2)

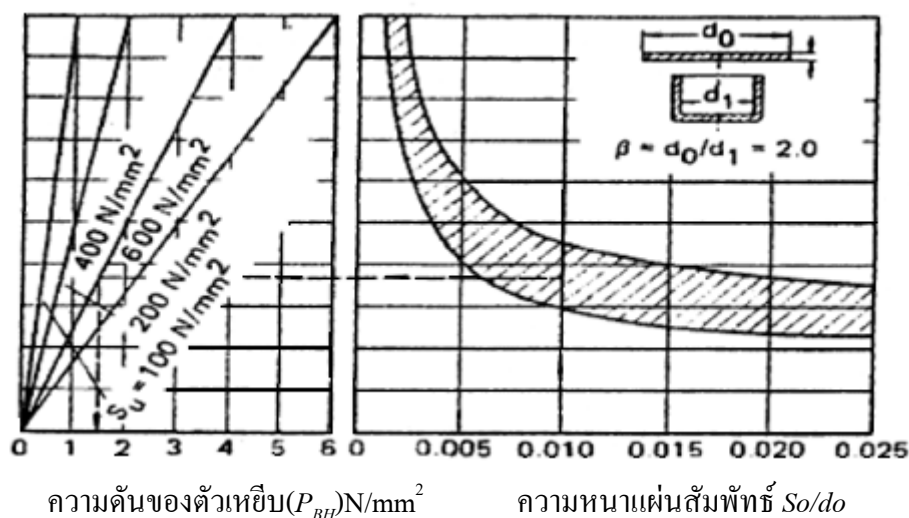
C = ค่าคงที่

s_u = ความเค้นสูงสุด (N/mm^2)

β = อัตราส่วนการลดรูป

d_0 = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของแผ่นชิ้นงาน (mm)

s_0 = ความหนาของชิ้นงาน (mm)



รูปที่ 2.5 ค่าแรงกดดันของแผ่นจับยึดชิ้นงานที่ต้องการในการดึงขึ้นรูปครั้งแรก [12]

3) ระยะเผื่อช่องว่างของแม่พิมพ์ (Die Clearance)

ในทางปฏิบัติเพื่อกำหนดระยะเผื่อช่องว่างของแม่พิมพ์มักจะกำหนด โดยรูปสมการที่ได้มาจากการทดลอง สมการเหล่านี้อนุญาตให้ใช้ได้แต่เพียงการดึงขึ้นรูปลึกที่มีชิ้นงานเป็นรูปร่างกลมโดยไม่มีการรีดของเนื้องาน (Ironing) ดังแสดงในสมการที่ 2.6 ถึง 2.9

$$u_D = S_0 + 0.07 \sqrt{10 S_0} \quad \text{สำหรับแผ่นเหล็ก} \quad (2.6)$$

$$u_D = S_0 + 0.02 \sqrt{10 S_0} \quad \text{สำหรับแผ่นอลูมิเนียม} \quad (2.7)$$

$$u_D = S_0 + 0.04 \sqrt{10 S_0} \quad \text{สำหรับโลหะที่ไม่ใช่เหล็กอื่นๆ} \quad (2.8)$$

$$u_D = S_0 + 0.02 \sqrt{10 S_0} \quad \text{สำหรับโลหะผสมอุณหภูมิสูง} \quad (2.9)$$

ถ้าระยะเพื่อช่องว่างของแม่พิมพ์ (u_D) มีขนาดใหญ่มาก ชิ้นงานไม่สามารถที่จะขึ้นรูปเป็นขนาดของจริงของทรงกระบอกได้ เนื่องจากขอบบนของรูปถ้วยมีขนาดที่แผ่ขยายออกถ้าระยะเพื่อช่องว่างของแม่พิมพ์มีขนาดเล็กเกินไป การกรัดครีดโลหะ (Ironing) ก็จะเกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้ใช้แรงในการดึงขึ้นรูปมากขึ้น และเพิ่มอันตรายจากการแตกของชิ้นงาน ยิ่งกว่านั้นอาจจะมีริ้วรอยเชื่อมเย็น (Cold welding) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างคายกับชิ้นงาน ปัญหาสำคัญในการเล็กระยะเพื่อช่องว่างสำหรับคายที่มีสาเหตุมาจากความแปรผันในความหนาของโลหะแผ่นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อันเนื่องมาจากความสัมพันธ์กับพอกัดความเผื่อของความหนาเป็นอย่างมาก มันอาจจะทำให้บางส่วนแตกได้ในที่เกิดรอยอื่น ๆ ขึ้น เมื่อดึงขึ้นรูปด้วยระยะช่องว่างของคายที่มีขนาดเหมาะสมกับขนาดความหนาของแผ่นงานตามความเป็นจริง ถ้าความหนาของแผ่นงานนั้นเริ่มสูงขึ้นใกล้ขีดจำกัดพิบัติความเผื่อสูงสุด และ ช่องว่างคายที่มีขนาดเล็กเกินไปจะเกิดการรัดตัวของของโลหะขึ้น ซึ่งทำให้ความเป็นไปได้ของการแตกที่ชิ้นงานมีมากขึ้น ถ้าความหนาชิ้นงานมีขนาดใกล้เคียงขีดจำกัดพิบัติความเผื่อต่ำสุด แล้วค่าระยะช่องว่างคายมีขนาดใหญ่เกินไปรอยย่นเป็นจีบก็จะก่อตัวขึ้น

การทำชิ้นงานที่เป็นรูปสี่เหลี่ยม ควรใช้ระยะช่องว่างของคายบริเวณที่มุมมากกว่าบริเวณผนังด้านข้างของชิ้นงาน เพราะว่าบริเวณมุมจะมีการไหลตัวของ เนื้องานอยู่ในวงจำกัด สำหรับการดึงขึ้นรูปสี่เหลี่ยมกับความหนาที่ผนังของชิ้นงานที่ต้องการลดขนาด (Ironing) ระยะช่องว่างของคายจะมีขนาดเล็กกว่าความหนาของแผ่นงาน [12]

4) ขีดจำกัดอัตราส่วนการขึ้นรูป

การกำหนดค่าขีดจำกัดอัตราส่วนการขึ้นรูปที่เรียกว่า $\beta_{\max}$ มันเป็นค่าของการดึงขึ้นรูปที่เหมาะสมของวัสดุ และขึ้นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นงาน d_0 และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของพื้นที่ d_1 ดังแสดงในสมการที่ 2.9

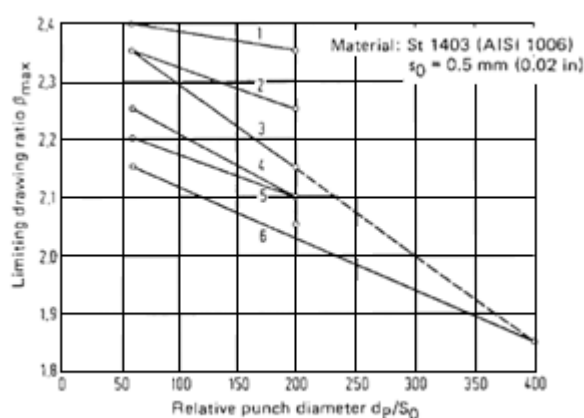
$$\beta_{\max} = \left[\frac{d_0}{d_1} \right]_{\max} \quad (2.10)$$

$\beta_{\max}$ = ขีดจำกัดอัตราส่วนการขึ้นรูปที่เหมาะสมของวัสดุ

d_0 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นชิ้นงาน (mm)

d_1 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของพื้นที่ (mm)

ค่านี้เป็นค่าที่มีผลกระทบตามค่าตัวแปรหลายตัว สิ่งหนึ่งที่เป็นค่าตัวแปรที่สำคัญที่สุดคือ อัตราส่วนความหนา กับเส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นงานที่มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่าศูนย์กลางพื้นที่ d_p/s_0 โดยปกติค่าอัตราส่วนการขึ้นรูปสูงสุด $\beta_{\max}$ จะสูงขึ้นถ้าค่าความสัมพันธ์ของเส้นผ่าศูนย์กลางพื้นที่ d_p/s_0 มีค่าต่ำลง ดังนั้นการปฏิบัติงานในระบบของการหล่อขึ้นรูปในการดึงขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าอัตราส่วนการขึ้นรูปสูงสุด $\beta_{\max}$ ด้วย ดังนั้นค่าความเสียดทานที่คานและแผ่นจับยึดชิ้นงานจะมีค่าน้อยลง แต่สัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่พื้นผิวมีค่ามากขึ้น จึงสามารถใช้ค่าขีดจำกัดอัตราส่วนการขึ้นรูปที่มีค่ามากได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 [12] และตารางที่ 2.1 [5]



รูปที่ 2.6 อัตราส่วนการขึ้นรูป [12]

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าอัตราส่วนการขึ้นรูปสูงสุด [5]

Material	$\beta_{\max}$
Steel sheet , depending on quality	1.8 – 2.2
Aluminum , copper , Al Cu Mg sheet	2.1
Brass sheet , depending on prestrain	1.7 – 2.2

2.3.3 สมบัติเชิงกลและความสามารถในการขึ้นรูป

สมบัติของโลหะแผ่นแปรรูปได้อย่างมากขึ้นอยู่กับเหล็กกล้า วัสดุเจือ กระบวนการผลิต กรรมวิธีทางความร้อน เกจและระดับของการขึ้นรูปเย็น การเลือกวัสดุเพื่อใช้งานเฉพาะอย่าง ควรเลือกวัสดุที่มีสมบัติกลางๆระหว่างสมบัติที่ต้องการในชิ้นงานกับสมบัติในการขึ้นรูปของวัสดุที่ใช้ วัสดุที่มีความสามารถในการขึ้นรูปที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานช่วงกว้างๆ ควรมีสมบัติดังนี้

1) ความต้านแรงคราก (Yield strength)

ความต้านแรงครากของแผ่นเหล็กเป็นตัวชี้วัดความสามารถในการขึ้นรูปและความแข็งแรงหลังการขึ้นรูป พฤติกรรมการครากหลายๆชนิดสังเกตจากแผ่นเหล็กเมื่อเกิดการยืดที่จุดครากเป็นค่าที่ต่ำที่สุดระหว่างการครากที่ไม่ต่อเนื่อง ในการขึ้นรูปแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนทั่วไป ความต้านแรงคราก 240 MPa หรือมากกว่ามีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดการบิดกลับที่มากเกินไปและเกิดความเสียหายระหว่างการขึ้นรูป อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุที่มีความต้านแรงครากน้อยกว่า 140 MPa อาจจะมีผลกับชิ้นงานได้ซึ่งมีระดับความแข็งแรงไม่เพียงพอ เหล็กแผ่นที่มีความแข็งแรงสูงๆ สามารถปรับปรุงการขึ้นรูปให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพื่อให้มีความสามารถในการขึ้นรูปที่เหมาะสม ความต้านแรงครากของเหล็กความแข็งแรงสูงโดยทั่วไปประมาณ 345 ถึง 690 MPa

2) การยืดรวม (Total elongation)

เป็นการวัดขึ้นทดสอบการดึงโดยวัดความยาวเกจ (Gauge length) ภายหลังเกิดการแตกหัก การยืดเป็นการคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ของความยาวทดสอบเดิม ซึ่งปกติ 50 mm. (อาจจะใช้ความยาวทดสอบ 200 mm. สำหรับโลหะเกรดแข็งแรง) ขึ้นทดสอบโลหะแผ่นโดยปกติจะใช้ทดสอบการดึงช่วงความยาวทดสอบสั้นๆ ด้านข้างขนาน หน้าตัดจะลดลง แต่หน้าตัดจะลดเป็นลักษณะรีียวเพียงเล็กน้อยบางครั้งใช้ควบคุมตำแหน่งการเกิดรอยคอดและรอยแตกหัก วัสดุที่เหมือนกันแต่นาขาคขึ้นทดสอบที่แตกต่างกัน ค่าของผลการยืดจากการทดสอบอาจจะเปลี่ยนไป เพราะว่าความยาวทดสอบ ความหนาแผ่น การเตรียมผิวขอบสำเร็จ วิธีทดสอบหรืออื่นๆ แตกต่างกัน

ตัวอย่างค่าการยืดของความยาวทดสอบ 50 mm. ซึ่งเป็นการขึ้นรูปแผ่นเหล็กเกรดธรรมดา โดยทั่วไปการยืดตัวของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำปกติจะอยู่ที่ 35 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ในความยาวเกจ (Gauge length) 50 mm. ค่าที่สูงกว่าแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการขึ้นรูปที่ดีกว่า ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติเชิงกลของแผ่นเหล็กกล้ารีดเย็น [13]

ชนิด	ลักษณะพิเศษ	ความเค้น คราก (MPa)	การยืดตัวใน 50 mm. (%)	ความแข็ง (HRB)	n	r _m	m
Commercial	Standard properties	234	35	45	0.18	1.0	0.012
Drawing(Rimmed)	Stretchable	207	42	40	0.22	1.2	0.014
Drawing(Special killed)	Deep drawing	172	42	40	0.22	1.6	0.015
Interstitial free (IF)	Extra deep drawing	152	42	45	0.24	2.0	0.015
Medium strength	Formable	414	25	85	0.20	1.2	-
High strength	Moderately formable	689	10	25 (HRC)	-	-	-

3) การยืดสม่ำเสมอ (Uniform elongation)

การยืดรวมของแผ่นขึ้นทดสอบแรงดึงประกอบด้วย 2 ส่วนคือการยืดสม่ำเสมอและหลังการยืดสม่ำเสมอ สำหรับวัสดุที่เป็นไปตามความสัมพันธ์ของกฎกำลัง ($\sigma = K\epsilon^n$) การยืดสม่ำเสมอ (วัดในความเครียดจริง) เป็นค่าที่เหมาะสมต่อเลขชี้กำลังการทำให้แข็งด้วยความเครียด (n) ภายหลังจากการยืดสม่ำเสมอเกิดขึ้นมีผลกระทบกับพฤติกรรมการทำให้แข็งด้วยความเครียดและความไวของอัตราความเครียดทั้งสองชนิดของโลหะต่อความเค้นที่เกิดขึ้น เมื่อเกิดการลดความเครียดและอัตราส่วนความเครียดภายในรอยคอดจะมีค่ามากกว่าบริเวณภายนอก เมื่อการทำให้แข็งด้วยความเครียดมีค่ามากขึ้นวัสดุจะถึงจุดด้านทานแรงได้น้อยลงทำให้พื้นที่หน้าตัดด้านความหนาลดลง ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเปลี่ยนรูปบริเวณด้านนอกของรอยคอด

4) การยืดที่จุดคราก (Yield point elongation)

เป็นส่วนหนึ่งของการยืดรวมซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการครากแบบไม่ต่อเนื่องที่ความเค้นคราก ตามด้วยการก่อรูปของรอยร้าวที่พื้นผิวซึ่งรู้จักกันว่าเส้นลือเดอร์หรือริ้วคราก ซึ่งเป็นการแสดงข้อผิดพลาดในวิธีใช้หลายอย่างของโลหะแผ่นการยืดที่จุดครากระหว่างการทดสอบแรงดึงที่ไม่ปรากฏให้เห็น จะแสดงให้เห็นเส้นลือเดอร์ที่เกิดขึ้นระหว่างการขึ้นรูป การยืดที่จุดครากส่วนใหญ่จะต้องมีเศษแทรกในธาตุเจือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์บอนหรือไนโตรเจน ด้วยเหตุนี้เหล็กที่มีสารแทรกต่ำจะไม่แสดงออก การยืดที่จุดครากสามารถระงับได้โดยการอบคืนตัวรอบๆแผ่นโลหะขณะทำการบด เว้นเสียแต่ในไนโตรเจนมีส่วนผสมของธาตุอื่น (ปกติอะลูมิเนียม) เหล็กกล้าจะมีความ

แข็งขึ้นหลังจากมีการเก็บไว้นานๆ (ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและตัวแปรอื่นๆในการเก็บ) เหล็กกล้าที่มีการเปลี่ยนตามอายุสามารถใช้ในการขึ้นรูปได้ดีที่สุด

5) อัตราส่วนความเครียดพลาสติก (Plastic strain ratio)

ค่า r มีนิยามว่าเป็นอัตราส่วนความเครียดจริงในแนวความกว้าง (ϵ_w) ต่อความเครียดจริงในแนวความหนา (ϵ_t) ของความเครียดช่วงพลาสติกในโลหะแผ่นบริเวณการยืดสม่ำเสมอของการทดสอบการดึง เกี่ยวข้องกับความสามารถในการดรอว์ เป็นการวัดความสามารถของวัสดุต่อการต้านทานการลดความหนา (Thinning) ในการดรอว์วัสดุบริเวณริมขอบชิ้นงานจะเกิดการยืดในทิศทางเดียว (แนวรัศมี) เกิดการกดในทิศทางตั้งฉาก (แนวเส้นรอบวง) ค่า r สูงแสดงว่าวัสดุมีสมบัติการดรอว์ได้ดี ดังแสดงในสมการที่ 2.11

$$r = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} = \frac{\ln(w/w_0)}{\ln(t/t_0)} \quad (2.11)$$

r	= อัตราส่วนความเครียดพลาสติก
ϵ_w	= ความเครียดจริงในแนวความกว้าง
ϵ_t	= ความเครียดจริงในแนวความหนา
w	= ความกว้างชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลง (mm)
w_0	= ความกว้างชิ้นงานเดิม (mm)
t	= ความหนาชิ้นงาน (mm)
t_0	= ความหนาชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลง (mm)

อัตราส่วนความเครียดพลาสติกเกี่ยวข้องกับการกำหนดทิศทางโครงสร้างผลึกของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ซึ่งค่าจะเปลี่ยนไปตามทิศทางการทดสอบ (สัมพันธ์กับทิศทางการรีด) ในโลหะที่เป็นแอนไอโซทรอปิก (Anisotropic) ค่าเฉลี่ย r_m (บางครั้งเรียกว่า $\bar{r}$) แทนด้วยแอนไอโซทรอปี้ในแนวตั้งฉากของแผ่นเหล็ก ค่า r ที่เปลี่ยนแปลงค่าไปตามทิศทางของแผ่นวัสดุในการดรอว์ขึ้นรูปด้วยทรงกระบอก ค่าที่เปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้ผนังของถ้วยสูงไม่เท่ากัน เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เราเรียกว่ารอยดิ่ง (Earing) ดังนั้นโดยทั่วไปจึงมักวัดค่า r เฉลี่ยหรือแอนไอโซทรอปี้ตั้งฉากเฉลี่ย r_m (Normal anisotropy) และแอนไอโซทรอปี้ระนาบ ค่า Δr (Planar anisotropy) สมบัติของ r_m มีนิยามว่า

$$r_m = \frac{r_0 + 2r_{45} + r_{90}}{4} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned}
 r_m &= \text{แอนไอโซทรอปีตั้งฉาก} \\
 r_0 &= \text{แอนไอโซทรอปีคตามแนวทิศทางการรีด} \\
 r_{45} &= \text{แอนไอโซทรอปีคทำมุม 45 องศากับแนวทิศทางการรีด} \\
 r_{90} &= \text{แอนไอโซทรอปีคทำมุม 90 องศากับแนวทิศทางการรีด}
 \end{aligned}$$

เมื่อตัวห้อยที่อ้างถึงคือมุมระหว่างแกนขึ้นทดสอบการดึงกับทิศทางการรีดแผ่นวัสดุ เหล็กรีดร้อนและรีดเย็นอบคืนตัวอุณหภูมิสูงคือไอโซทรอปีคทั่วไป ($r_m = 1.0$) เหล็กกล้าผิวบริสุทธิ์(รีมัสตีล) ปกติมี r_m เท่ากับ 1.2 แต่อาจจะมีค่าสูงขึ้นในกรณีพิเศษเช่นผลิตภัณฑ์ที่มีแมงกานีสและซิลเฟอร์ผสมอยู่ต่ำๆ เหล็กกล้าเนื้อแน่น (อะลูมิเนียมคลัสตีล) จะมีแอนไอโซทรอปีค r_m เท่ากับ 1.6 หรือค่าอาจจะสูงกว่า (สูงถึง 2.5) ซึ่งได้มาโดยควบคุมส่วนประกอบและขบวนการผลิต ชัดจำกัดค่าสูงสำหรับเหล็กกล้าเชิงพาณิชย์ประมาณ 3.0 ถึงแม้ว่าค่าใกล้เคียง 3.0 จะได้ใช้นานๆครั้ง เหล็กกล้า Interstitial free Steel จะมี r_m ประมาณ 2.0 ค่า r_m ใช้ทำนายความสามารถในการครอว์ขึ้นรูปโลหะแอนไอโซทรอปีคในระนาบ ค่า Δr นิยามว่า

$$\Delta r = \frac{r_0 + 2r_{45} + r_{90}}{2} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned}
 \Delta r &= \text{แอนไอโซทรอปีคในระนาบ} \\
 r_0 &= \text{แอนไอโซทรอปีคตามแนวทิศทางการรีด} \\
 r_{45} &= \text{แอนไอโซทรอปีคทำมุม 45 องศากับแนวทิศทางการรีด} \\
 r_{90} &= \text{แอนไอโซทรอปีคทำมุม 90 องศากับแนวทิศทางการรีด}
 \end{aligned}$$

แอนไอโซทรอปีคในระนาบเป็นการวัดความเปลี่ยนแปลงของ r ด้วยทิศทางในแผ่นระนาบของจำนวนจุดสูงๆหรือรอยดิ่ง ซึ่งจะพัฒนามนขอบของการดีปครอว์ด้วยทรงกระบอกหรือขึ้นส่วนง่ายๆ จุดสูงๆในทิศทางการรีดตามเกรนและขวางเกรน แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แผ่นเหล็กกล้าคุณภาพการครอว์และแผ่นเหล็กกล้าเนื้อแน่น Δr จะเป็นบวก สำหรับเหล็กความแข็งแรงสูงและเหล็กกล้าเจือต่ำ Δr เป็นลบจะเกิดเป็นรอยดิ่งที่ 45 องศากับทิศทางการรีด ค่า Δr เข้าใกล้ศูนย์มีการใช้มากที่สุดเพราะว่ามีแนวโน้มจะเกิดรอยดิ่งน้อยที่สุดเมื่อโลหะถูกครอว์เข้าไปในด้วยทรงกระบอก

r_m เป็นค่าที่กำหนดความลึกเฉลี่ย(ความสูงของผนัง)ของการครอว์ลึกที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ Δr เป็นค่าที่กำหนดขอบเขตของรอยดิ่ง วัสดุที่มีค่า r_m สูงและค่า Δr ต่ำ ในขณะเดียวกันทำให้มีความสามารถการครอว์ที่เหมาะสมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำรีดร้อนมีค่า r_m ในช่วง 0.8 ถึง 1.0

เหล็กกล้าผิวบริสุทธิ์รีดเย็น (Cold-rolled rimmed steel) มีค่าในช่วง 1.0 ถึง 1.4 เหล็กกล้าเนื้อแน่นรีดเย็นกำจัดออกซิเจน (Cold-rolled aluminium-killed steel, deoxidized) มีค่าในช่วง 1.4 ถึง 2.0 เหล็กกล้า (Interstitial freeSteel) มีค่าในช่วง 1.8 ถึง 2.5 และอะลูมิเนียมเจียมมีค่าในช่วง 0.6 ถึง 0.8 ค่า r_m สูงสุดในทางทฤษฎีสำหรับเหล็กกล้าเฟอร์ไรต์ (Ferritic steel) คือ 3.0

6) เลขชี้กำลังการทำให้แข็งแรงด้วยความเครียด (Strain Hardening Exponent)

n คือความชันของเส้นโค้งความเค้นจริงและความเครียดจริงเมื่อมีการพล็อตบนค่าลอการิทึม เป็นการกำหนดโดยขึ้นอยู่กับความเค้นไหล (Flow stress) บริเวณจุดครากบนระดับความเครียด ในวัสดุค่า n มีค่าสูงความเค้นไหลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากความเครียด ซึ่งควรระวังการกระจายความเครียดที่เพิ่มขึ้นในบริเวณความเครียดและความเค้นไหลที่ต่ำกว่า ค่า n ที่สูงจะเป็นตัวชี้วัดความสามารถในการดึงยืดขึ้นรูปได้ดี ส่วนของเส้นโค้งที่อยู่ถัดไปจากเส้นตรงสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีความหมายตามสมมุติฐานของสมการ

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (2.14)$$

σ	= ความเค้น
K	= แมทริกซ์ความแข็งแรงรวม
ε	= ความเครียดจริง
n	= เลขชี้กำลังการทำให้แข็งแรงด้วยความเครียด

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีค่า n โดยทั่วไปประมาณ 0.22 ใช้สำหรับขึ้นรูปชิ้นส่วนที่ยืดหยุ่นได้ ค่าที่สูงกว่า (ขึ้นไปถึง 0.26) จะระบุถึงความสามารถในการดึงยืดขึ้นรูปได้ดี เหล็กกล้าผิวบริสุทธิ์โดยทั่วไปค่า n เปรียบเทียบกับเหล็กกล้าเนื้อแน่นมีการรีดที่ดีกว่าหลังการประกันอายุและมีค่าน้อยกว่า บางครั้งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่มีขบวนการผลิตไม่เพียงพอสำหรับความสามารถในการขึ้นรูป โดยเฉพาะเกรดรีดร้อนจะมีค่า n ต่ำ เท่ากับ 0.10 แต่เกรดที่มีความสามารถในการขึ้นรูปได้ดีจะมีค่า n มากกว่า 0.14 [13]

2.3.4 สารหล่อลื่นในงานดึงขึ้นรูปลึก

การเลือกสารหล่อลื่นที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการขึ้นรูป ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำชิ้นงาน สภาพผิวของวัสดุ รวมทั้งสภาพผิวของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ด้วย สารหล่อลื่นที่ใช้กันทั่วไปกับงานดึงขึ้นรูปลึก สารที่เป็นตัวผสม ตัวอย่าง เช่น กราไฟต์ ซิงค์ไฟต์ ปูนขาว ซอล์ก ฮาโลเจน และสารประกอบของฟอสฟอรัส หรือเป็นตะกั่วออกไซด์ขาว สารหล่อลื่นที่กล่าวมาถูกใช้ผสมกับน้ำมันเครื่อง เพื่อเป็นส่วนช่วยให้สารเหล่านั้นรวมตัวกันได้เมื่ออยู่ภายใต้แรงกดดันสูง สารหล่อ

ลื่นที่อยู่ในรูปของแข็ง (Solid lubrication) ได้แก่ สารสบู่ (Metal soap) โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ และ กราไฟต์เหลว (Colloidal graphite) ได้ถูกใช้ในงานดิ่งขึ้นรูปอีกด้วย สารดังกล่าวมานี้สามารถที่จะ ปกป้องการสัมผัสโดยตรงระหว่างคายกับแผ่นขึ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุจำพวก ออสเทนไนติก ตัวอย่างเช่น [X 5 CrNi18 9(AISI 304 SS)] สามารถที่จะใช้กระบวนการดิ่งขึ้นรูปได้โดย ปราศจากรอยขีดข่วน เมื่อแม่พิมพ์ที่ทำมาจากเหล็กแม่พิมพ์ 210 Cr (AISI D3) เพียงแต่ใช้สารสบู่ (Metal soap)หล่อลื่นเท่านั้น ผิวนานสำเร็จจากการตรวจวัดพิสูจน์แล้วว่า อนุภาคองค์ประกอบที่ผิว ของชิ้นงานรูปถ้วยที่ได้ผ่านการดิ่งขึ้นรูปด้วยสารหล่อลื่นแคดเมียมสเตียเรท (Cadmium stearate) ที่ บนแผ่นขึ้นงานชี้ให้เห็นว่าไม่มีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างแผ่นงานกับคาย เมื่อวัสดุที่ใช้กับงาน ดิ่งขึ้นรูปแล้วยังปรากฏว่ามีการขึ้นรูปได้ยากลำบาก เช่น การขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างแบบสี่เหลี่ยม หรือ ขึ้นรูปถ้วยลึก ดังนั้นอาจจำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่นช่วย เช่น การเคลือบด้วยฟอสเฟส (Phosphate coating) ในการเพิ่มการหล่อลื่นของตัวมันเองเพื่อจะป้องกันการเกิดลาย (Fretting) ส่วนประกอบของการขึ้นรูปกับชิ้นงานที่มีรัศมีด้านล่างขนาดใหญ่มากนั้นจะต้องการสารหล่อลื่นที่ จะช่วยคงรูปความหนาไว้ มิฉะนั้นมันอาจจะทำให้ชิ้นงานที่จะขึ้นรูปได้ไม่สม่ำเสมอ ในการดิ่ง ขึ้นรูปแผ่นพอลิที่ทำจากพลาสติก (PVC,PTFE) สามารถทำให้สำเร็จในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็น รูปร่างส่วนประกอบแบบง่ายๆ ของวัสดุที่มีความเหนียวแน่น บางครั้งใช้แผ่นงานที่ทำจาก (Stainless-steel) และเคลือบด้วยพลาสติกฟิล์ม ซึ่งอาจจะเป็นการจุ่ม หรือ การสเปรย์ ค่าขีดจำกัด อัตราส่วนการขึ้นรูปที่มีค่ามากสามารถใช้ได้ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างรัศมีพื้นซ์ กับแผ่นงานมีอัตราสูงขึ้น (จากพื้นซ์ที่มีผิวหยาบ และ พื้นซ์ที่บริเวณนี้ไม่มีสารหล่อลื่น) และแรง เสียดทานระหว่างแผ่นงานกับคายมีอัตราต่ำสุดเท่าที่เป็นไปได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 [12]

ตารางที่ 2.3 สารหล่อลื่นที่ใช้กับการดิ่งขึ้นรูปลึก [12]

วัสดุและโลหะผสม	ขึ้นรูปเย็น	ขึ้นรูปร้อน
อลูมิเนียม	สารละลายสังเคราะห์ MO + FO,E,L ชัสเพนชั่น, Wa ชัสเพนชั่น ,สารละลายของS	G ชัสเพนชั่น (สารแขวนลอย)
ทองแดง	E+FO, MO+FO, S ชัสเพนชั่น, Wa ชัสเพนชั่น, T ชัสเพนชั่นและ สารละลายสังเคราะห์	ผงสีผสมน้ำมัน (Pigmented pastes) G ชัสเพนชั่น
แมกนีเซียม	สารละลาย+FC,MO+FC	G+MoS2, S+Wa, T+G
นิกเกิล	E, MO + EP, CI Wa . CC + S	G ชัสเพนชั่น MoS2 ชัสเพนชั่น, การเคลือบเรซิน กับ + Sa

โลหะทนไฟ	แผ่นทองแดง	MoS ₂ , G ชั้สเฟนชั้น
เหล็กผสมคาร์บอน, โลหะผสมต่ำ	E,S เหลว, Wa , FO + Mo, P, CC + S, MoS ₂ หรือ G ในจารบี, สารละลายสังเคราะห์	G ชั้สเฟนชั้น
สแตนเลส	FO + MO, Wa, P, MO + EP,	G ชั้สเฟนชั้น

2.3.5 ข้อบกพร่องในระหว่างการขึ้นรูป

การขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet metal forming) ที่มาจากการผลิตโดยวิธีการขึ้นรูปเย็น (Cold forming) ในรูปแบบการปั๊มขึ้นรูป (Stamping) มักจะเกิดความเสียหายแบบการคอคอด (Necking) การฉีกขาด (Tearing) การเกิดรอยย่น (Wrinkling) และเกิดการสปริงตัวกลับ (Spring back) อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นวิธีที่ทำให้การผลิตชิ้นส่วนเป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็วเมื่อแม่พิมพ์ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมจึงมีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบกระบวนการปั๊มขึ้นรูปที่ปราศจากความเสียหายจากกรณีดังกล่าว การเกิดรอยย่นและการฉีกขาด จากการปั๊มขึ้นรูปนั้นมักเป็นปัญหาหลักที่ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกก่อน จากนั้นจึงพิจารณาผลกระทบจากการเกิดการสปริงตัวกลับ [6]

ปัญหาหลักที่พบในการขึ้นรูปโลหะแผ่นคือการแตก การโก่ง (Buckling) และการย่น การเสียรูป (Shape distortion) โลหะหย่อน (Loose metal) และเนื้อผิวเสีย (Undesirable surface textures) เกิดขึ้นอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างซึ่งจะทำให้ชิ้นงานโลหะแผ่นนั้นใช้ไม่ได้ ผลของปัญหาดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ [5]

1) การแตก (Cracking)

เกิดขึ้นเมื่อแผ่นแบลงก์โลหะได้รับแรงจากการดึงยืดขึ้นรูปหรือแรงเฉือนจากการดรอว์มากเกินไปจนจำกัดความเสียหายของวัสดุ ตามสภาพความเครียดที่พึงจะได้รับ อัตราความเครียดและอุณหภูมิ ในการดึงยืดเริ่มต้นแผ่นโลหะจะบางลงอย่างสม่ำเสมอในพื้นที่ทั่วไป เมื่อไปถึงจุดที่มีการเปลี่ยนรูปมากทำให้เกิดแถบที่บางเฉพาะแห่งที่เรียกว่าการคอคอด ซึ่งสุดท้ายทำให้แผ่นโลหะแตก การเกิดรอยคอคอดโดยทั่วไปถือว่าเป็นความเสียหาย เพราะทำให้เกิดจุดบกพร่องที่มองเห็นได้และทำให้โครงสร้างอ่อนแอ การแตกจากการเฉือนสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่มีการลดความหนามาก่อน ตัวอย่างทั่วไปของการแตกลักษณะนี้ก็คือการตัดซอย (Slitting) การแบลงก์ (Blanking) และการทริม (Trimming) ในการปฏิบัติงานแผ่นโลหะจะถูกเฉือนโดยขอบคมมีดที่ใช้แรงกดในแนวตั้งฉากกับระนาบของแผ่นโลหะจะทำให้มีความเสียหายเกิดขึ้น แต่จะน้อยกว่าความเสียหายจากการดึงยืดขึ้นรูป

2) การโก่งและการย่น (Buckling and Wrinkling)

ในการขึ้นรูปด้วยพื้นที่กดอัดบนแผ่นแบลงก์โลหะจะทำให้แผ่นโลหะยืดและดึงผ่านแหวนจับยึดของแผ่นแบลงก์บริเวณขอบอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมีขนาดเล็กลงทำให้เกิดความเค้นกดในแนวเส้นรอบวง ถ้าความเค้นนี้มีค่าถึงระดับวิกฤติของวัสดุและความหนาจะทำให้เกิดเป็นคลื่นเล็กน้อยซึ่งเรียกว่าการโก่ง การโก่งอาจจะพัฒนาเป็นคลื่นที่มองเห็นได้ชัดจำนวนมากต่อเนื่องกันเรียกว่ารอยย่น ถ้าแรงจับยึดแผ่นแบลงก์ไม่สูงพอสามารถทำให้เกิดรอยย่นที่ตำแหน่งอื่นๆได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีการเปลี่ยนหน้าตัดกระทันหันและบริเวณที่ไม่มีโลหะไหลเข้ามาหรือสัมผัสเพียงด้านเดียวเท่านั้น ถ้ามีรอยย่นมากผิดปกติโลหะอาจพับทบกันสองถึงสามชั้นซึ่งอาจทำให้บริเวณอื่นแตกได้เพราะโลหะไม่สามารถไหลตามปกติได้ ด้วยเหตุนี้การเพิ่มแรงจับยึดแผ่นแบลงก์จึงใช้แก้ปัญหาการแตกได้

3) การเสียรูป (Shape distortion)

โลหะจะเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่นและช่วงพลาสติกด้วยแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป เมื่อเอาแรงภายนอกออกความเค้นยืดหยุ่นภายในมีการคลายตัว บางแห่งที่มีการคลายตัวอย่างสมบูรณ์ก็ทำให้ขนาดของชิ้นงานเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ในบริเวณที่ได้รับการดัด (Bending) มีการกระจายความเค้นยืดหยุ่นตลอดความหนา นั่นคือความเค้นที่ผิวด้านนอกแตกต่างจากความเค้นด้านใน ถ้ารูปทรงของชิ้นงานไม่สามารถบังคับความเค้นเหล่านี้ไว้ได้ การคลายตัวจะทำให้รูปร่างของชิ้นงานเปลี่ยนไปซึ่งเรียกว่าการเสียรูปหรือการดีดกลับ (springback) การดีดกลับสามารถชดเชยสำหรับการออกแบบแม่พิมพ์ให้เหมาะสมกับสมบัติวัสดุ แต่อาจจะยังคงมีปัญหาหากถ้าแผ่นแบลงก์แต่ละแผ่นมีสมบัติของวัสดุหรือกรรมวิธีเปลี่ยนแปลง

4) โลหะหย่อน (Loose metal)

เกิดขึ้นในบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนรูปและไม่ต้องการให้เกิดขึ้น เพราะจะมีการเปลี่ยนรูปทรงได้ง่าย ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าออยล์คานนิ่ง (Oil canning) ซึ่งอาจมีบางแห่งขยุหรือนูนจากปกติ ในการดัดถือเป็นมุมแหลมตั้งแต่ 2 แห่งขึ้นไปอย่างทันทีในทิศทางเดียวกันเช่น การดัดเป็นลอนแหลมๆ มีแนวโน้มที่จะทำให้โลหะระหว่างลอนมีการหย่อนเพราะการดึงโลหะข้ามลอนเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก บางครั้งอาจหลีกเลี่ยงปัญหาได้โดยไม่ให้โลหะสัมผัสรอยนูนทั้ง 2 รอยในเวลาเดียวกันดังนั้นการยืดเกิดขึ้นก่อนสัมผัสรอยที่สอง โลหะหย่อนมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นได้ในบริเวณศูนย์กลางของชิ้นงานขนาดใหญ่ที่ค่อนข้างแบนเรียบหรือมีความโค้งเล็กน้อย การเพิ่มแรงเพื่อควบคุมรอบๆขอบแผ่นแบลงก์ทำให้ปัญหานี้ดีขึ้น

5) เนื้อผิวเสีย (Undesirable surface textures)

โลหะแผ่นที่มีการเปลี่ยนรูปอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าโลหะมีเกรนหยาบ มักจะทำให้เนื้อผิวโลหะไม่เรียบซึ่งเรียกว่าผิวส้ม (Orange peel) ปกติจะไม่ยอมให้เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานที่มองเห็นได้ในขณะใช้งาน ปัญหาของผิวที่เกิดขึ้นบนโลหะอีกอย่างหนึ่งก็คือการยึดที่จุด

คราก นั่นคือวัสดุยึดตัวออกอีกหลายเปอร์เซ็นต์หลังการครากโดยไม่ต้องเพิ่มแรงกระทำ การเปลี่ยนรูปที่ระดับความเครียดต่ำในโลหะเหล่านี้เกิดขึ้นมากในลักษณะที่เป็นแถบไม่สม่ำเสมอบนผิวโลหะ เรียกว่าเส้นลือเดอร์ (Lueders line) หรือรีวคราก (Stretcher strains) ความบกพร่องนี้จะหายไปเมื่อมีระดับความเครียดปานกลางและสูง อย่างไรก็ตามชิ้นงานเกือบทุกชิ้นมีบางบริเวณที่มีระดับความเครียดต่ำความบกพร่องนี้ไม่สามารถปกปิดด้วยการพ่นสี เหล็กกล้าผิวบริสุทธิ์ที่ผ่านการบ่มอะลูมิเนียมและแมกนีเซียมเจือบางชนิดเกิดเส้นลือเดอร์อย่างชัดเจน [5]

2.3.6 ชนิดของเหล็กแผ่นที่ใช้ในการขึ้นรูป

เหล็กแผ่นรีดเย็นเป็นโลหะที่ใช้มากในการอัดโลหะ เนื่องจากเหล็กแผ่นชนิดนี้จะถูกรีดเป็นแผ่น หนา อุณหภูมิห้องจึงได้ผิวเรียบและละเอียด นิยมใช้ทำตัวถังส่วนนอกรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องเขียน หรือชิ้นส่วนของเครื่องใช้ที่ต้องการความสวยงาม JIS (Japanese Industrial Standard) ได้กำหนดชนิดของเหล็กแผ่น SPCC เป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุดในงานอัดโลหะ ยกเว้นอัดขึ้นรูปลึกมาก (Sever deep-drawing) ผิวของเหล็กแผ่นเหล่านี้จะแบ่งออกเป็นชนิดด้าน (Dull sheet) ซึ่งรีดจากลูกรีดผิวหยาบ และผิวเรียบ (Bright sheet) ซึ่งรีดจากลูกรีดละเอียด

SPCC เป็นสัญลักษณ์หนึ่งของเกรดเหล็ก (Steel grade) ตามมาตรฐาน JIS G3141:1996 (Cold reduced carbon steel sheets and strip) ซึ่งเป็นเหล็กแผ่นรีดเย็น (Commercial quality) ใช้สำหรับงานทั่วไป นอกจากนี้ยังมีเกรดอื่นอีก เช่น SPCD ซึ่งเป็น (Drawing quality) ใช้สำหรับงานขึ้นรูป และ SPCE (Deep draw quality) สำหรับงานขึ้นรูปลึก ดังแสดงในตารางที่ 2.4 [13]

ตารางที่ 2.4 เหล็กรีดเย็น (มาตรฐาน JIS) มาตรฐาน [13]

ชนิด	ส่วนผสม					การใช้งาน
	C	Si	Mn	P	S	
SPCC	<0.12	-	<0.05	<0.040	<0.045	ใช้อัดโลหะทั่วไป
SPCD	<0.10	-	<0.45	<0.035	<0.035	ใช้อัดขึ้นรูป
SPCE	<0.18	-	<0.40	<0.030	<0.030	ใช้อัดขึ้นรูปลึก

ตารางที่ 2.5 เหล็กรีดเย็น (มาตรฐาน JIS) สมบัติทางกล [13]

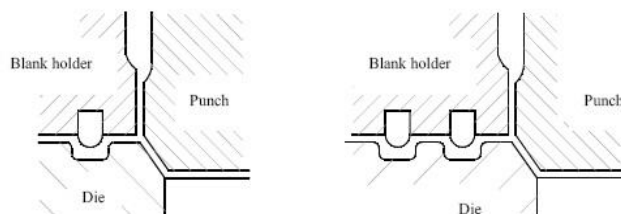
Symbol of quality	Tensile strength (N/mm2)	Elongation %						Tensile test piece
	Discrimination according to nominal thickness(mm)							
	0.25 or over	0.25 to 0.4	0.40 to 0.6	0.60 to 1	1.0 to 1.6	1.6 to a 2.5	2.50 or over	
SPCC	270	32	34	36	37	36	36	No.5,in
SPCD	270	34	36	38	39	40	40	rolling
SPCE	270	36	38	40	40	42	42	direction

2.3.7 ดรอว์บีด (Draw bead)

การควบคุมแรงกดแบบลงก์ไฮดรอลิกที่ไม่พอเพียง จะทำให้เกิดรอยย่นของโลหะ ซึ่งการย่นนี้จะให้โลหะแผ่นไม่สามารถที่จะไหลตัวได้ ทำให้บริเวณส่วนกันของชิ้นงานถูกพันซ์ดันฉีกขาด แต่ถ้าแรงกดของแบบลงก์ไฮดรอลิกมากเกินไป โลหะก็จะไม่สามารถไหลตัวเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะการขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมจะทำให้อัตราการไหลของแต่ละจุดไม่เท่ากัน ทำให้แรงที่ใช้ในการกดแต่ละจุดไม่เท่ากันด้วย สำหรับบริเวณที่ต้องการแรงกดมากจะใช้ดรอว์บีดเข้ามาช่วยเพื่อทำให้การไหลตัวของโลหะช้าลง [2]

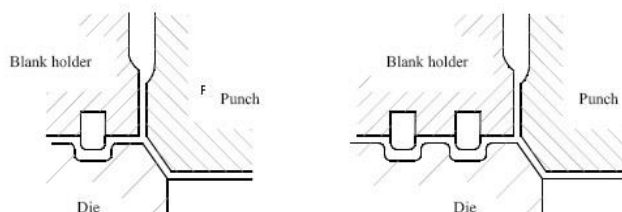
ดรอว์บีดมีหน้าที่ควบคุมการไหลตัวของโลหะที่จะไหลเข้าไปในคाय และช่วยป้องกันไม่ให้เกิดรอยย่น (Wrinkle) ในขณะที่ขึ้นรูปนอกจากนี้ยังช่วยลดแรงกดของแบบลงก์ไฮดรอลิกและตัวรีดโลหะให้ความเครียดลดลงเป็นการเพิ่มคุณสมบัติในการขึ้นรูปของโลหะ การติดตั้งดรอว์บีดสามารถติดตั้งที่ของแบบลงก์ไฮดรอลิกหรือที่คायก็ได้แต่ปกตินิยมติดตั้งอยู่ที่ของแบบลงก์ไฮดรอลิก และร่องบีด (Bead) จะอยู่ที่คाय [1]

1) ปลายโค้งมน (Round Bead) ปลายโค้งมนมีทั้งแบบเดี่ยว (Single bead) ใช้กับการขึ้นรูปโดยทั่วไปที่ต้องการควบคุมอัตราการไหลตัวของโลหะในขณะที่ขึ้นรูป และแบบคู่ (Double bead) ใช้ในกรณีที่ Single bead ไม่สามารถควบคุมการไหลของโลหะได้เพียงพอ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 [1]



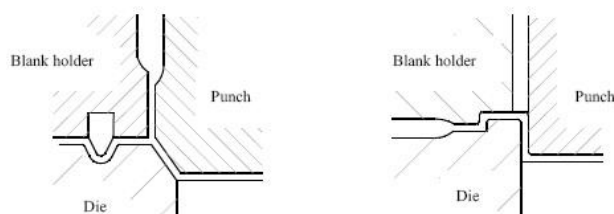
รูปที่ 2.7 (ก) แบบเดี่ยว (Single bead) (ข) แบบคู่ (Double bead) [1]

2) แบบสี่เหลี่ยม (Square bead) สามารถควบคุมการไหลของโลหะได้มากกว่า (Double type) และแบบคู่ (Double bead) ควบคุมอัตราการไหลของโลหะได้ดีกว่า 3 แบบที่กล่าวมา ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 (ก) แบบเดี่ยว (Single bead) (ข) แบบคู่ (Double bead) [1]

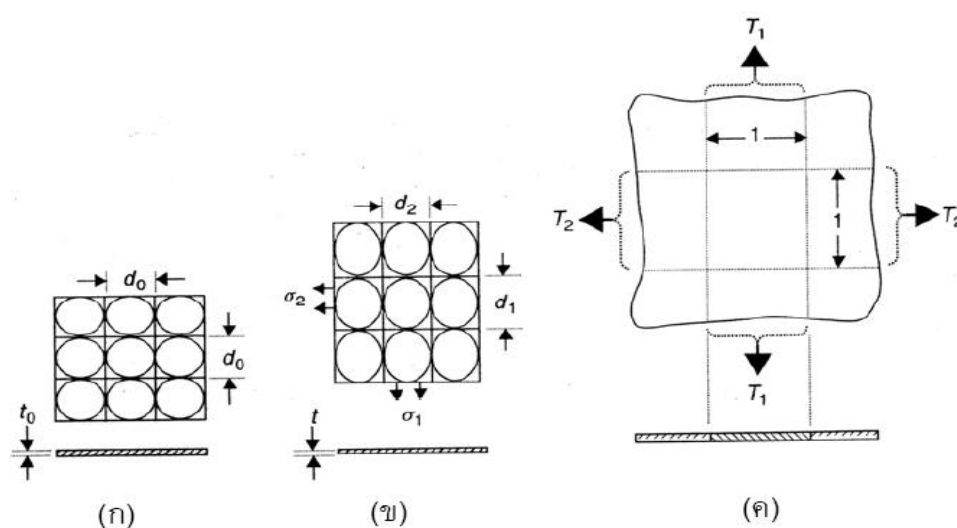
3) แบบสามเหลี่ยม (Three angle bead) จากรูปที่ 2.11 (ก) และแบบไม่ไหลตัว (Lock bead) (ข) ใช้ในการขึ้นรูปที่ไม่ต้องการให้โลหะเกิดการไหลตัวในระหว่างการขึ้นรูปดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 (ก) สามเหลี่ยม (Three angle bead) (ข) แบบไม่ไหลตัว (Lock bead) [1]

2.3.8 การเปลี่ยนรูปของโลหะแผ่นในระนาบความเค้น

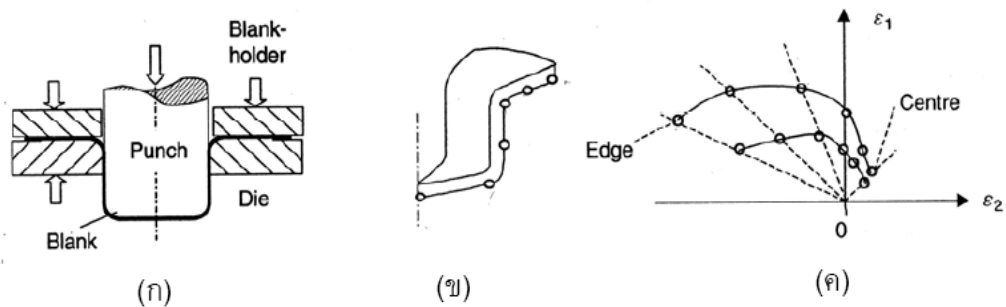
ในขณะที่มีการเปลี่ยนรูปบนระนาบความเค้น (Plane stress) พิจารณา (Work hardening) ของวัสดุ ซึ่งเขากำลังประยุกต์ใช้ทฤษฎีสัดส่วนการเปลี่ยนรูป ลักษณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนรูปที่ความหนา t_0 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง d_0 หรือตารางขนาด d_0 (ก) ดังนั้นในระหว่างการเปลี่ยนรูปวงกลมจะเปลี่ยนไปเป็นวงรี แกนหลัก (Major) คือ d_1 แกนรอง (Minor) คือ d_2 ถ้าปรับตารางสี่เหลี่ยมให้เข้ากับทิศทางการหลักของกริดวงกลม จะกลายเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ข) ส่วนความหนา คือ t ตามที่กรณี (ค) ความเค้นที่ทำให้เปลี่ยนรูปคือ σ_1 และ σ_2 ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กรณีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริด [14]

2.3.9 แผนภาพความเครียด (Strain diagram)

ความเครียดเฉพาะจุดที่เกิดขึ้น สามารถวัดได้จากกริดวงกลม แผนภาพความเครียด ตำแหน่งต่างๆ ของถ้วยทรงกระบอก การขึ้นรูปถ้วยทรงกระบอก ขึ้นส่วนย่อยของถ้วยทรงกระบอก แสดงค่าความเครียดที่วัดได้ ผลค่าความเครียดที่ได้จากการขึ้นรูปถ้วยทรงกระบอก ดังแสดงในรูปที่ 2.11 [14]



รูปที่ 2.11 แผนภาพความเครียดตำแหน่งต่างๆ ของถ้วยทรงกระบอก [14]

1) ค่าความเครียดหลัก (Principal strains)

ความเครียดหลักที่เกิดขึ้นจุดสุดท้ายของกระบวนการ

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{d_1}{d_0} ; \quad \varepsilon_2 = \ln \frac{d_2}{d_0} ; \quad \varepsilon_3 = \ln \frac{t}{t_0} \quad (2.15)$$

ε_1 = ค่าความเครียดหลัก

ε_2 = ค่าความเครียดรอง

ε_3 = ค่าความเครียดที่ความหนา

d_0 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกริด

d_1 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกริดเปลี่ยนแปลงในแกนหลัก

d_2 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกริดเปลี่ยนแปลงในแกนรอง

t = ค่าความหนาชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลง

t_0 = ค่าความหนาชิ้นงาน

2) อัตราส่วนของความเครียด (Strain ratio)

โดยปกติเส้นแนวความเครียด (Strain Path) ยังคงเป็นสัดส่วนเส้นตรง

$$\beta = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{\ln \frac{d_2}{d_0}}{\ln \frac{d_1}{d_0}} \quad (2.16)$$

β = อัตราส่วนความเครียด

- ε_1 = ค่าความเครียดหลัก
- ε_2 = ค่าความเครียดรอง
- d_0 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกริด
- d_1 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกริดเปลี่ยนแปลงในแกนหลัก
- d_2 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกริดเปลี่ยนแปลงในแกนรอง

3) ความเครียดหนาและความหนา (Thickness strain and Thickness)

จากสมการที่ 2.15 ความเครียดหาได้โดยการวัดความหนาหรือหาได้จากความเครียดหลัก (Major strain) ความเครียดรอง (Minor strain) โดยให้พิจารณาว่าการเปลี่ยนรูปที่ปริมาตรคงที่ [14]

$$\varepsilon_3 = \ln \frac{t}{t_0} = -(1 + \beta)\varepsilon_1 = -(1 + \beta)\ln \frac{d_1}{d_0} \quad (2.17)$$

- β = อัตราส่วนความเครียด
- ε_1 = ค่าความเครียดหลัก
- ε_3 = ค่าความเครียดที่ความหนา
- t = ค่าความหนาชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลง
- t_0 = ค่าความหนาชิ้นงาน
- d_0 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกริด
- d_1 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกริดเปลี่ยนแปลงในแกนหลัก

2.3.10 คุณสมบัติของยาง

ยาง (Rubber) เป็นวัสดุพอลิเมอร์ประเภทหนึ่งที่มีความยืดหยุ่น สามารถยืดออก หรือสามารถเปลี่ยนขนาดได้มากเมื่อถูกดึง และกลับสู่สภาพเดิมเมื่อปล่อยแรงดึง ทั้งนี้เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของยางมักจะพันกันไปมาอย่างไม่เป็นระเบียบ เรียกการจัดตัวแบบนี้ว่า ออสันฐาน จากสมบัติพิเศษที่ยืดหยุ่นได้นี้ทำให้บางครั้งเรียกยางว่า “อีลาสโตเมอร์” (Elastomer) เนื้อของยางเป็นพอลิเมอร์ของไอโซพรีน โดยมีไอโซพรีนเชื่อมต่อกันอยู่ตั้งแต่ 1500-15000 หน่วย [15]

1) ยางธรรมชาติ (Natural Rubber : NR)

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง Hevea Braziliensis ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่น และมีเนื้อยางแห้ง (dry rubber) ประมาณ 30 % แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่าน

กระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 % เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถุงมือยางและยางยานยนต์ เป็นต้น แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่กรี๊ดได้มาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็น ของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็รีดยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (two-roll mill) และนำไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นก่อนจะนำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 °C เป็นเวลา 3 วันก็จะได้ยางแผ่นรมควัน

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี isoprene (C_5H_8) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15-20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสถานะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่ อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด มันจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง [15]

● คุณสมบัติของยางธรรมชาติ มีความยืดหยุ่นสูง มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการเหนียวติดกัน มีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยไม่ต้องเติมสารเสริมแรง มีความทนต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง มีความต้านทานต่อการล้าตัวสูง มีความต้านทานต่อการขูดขีดสูง มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมาก ยางดิบละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน เนื่องจากตัวยางดิบไม่มีขั้ว และไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียม แต่จะทนต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังทนต่อกรด และด่างอ่อน แต่จะไม่ทนต่อกรดและด่างเข้มข้น ไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ไม่ทนต่อโอโซน การกระแทกกระดอนสูง อุณหภูมิการใช้งานตั้งแต่ -55 - 70 องศาเซลเซียส แต่หากเก็บไว้นานๆ จะทำให้ยางสูญเสียความยืดหยุ่นลง [16]

● ชนิดของยางธรรมชาติ 8 เกรด คือ ยางแท่งเอสทีอาร์ 5 แอล (STR 5L) ยางแท่ง เอสทีอาร์ 5 ซีวี 60 (STR 5CV 60) ยางแท่งเอสทีอาร์ 20 (STR 20) ยางแท่ง เอสทีอาร์ 20 ซีวี 60 (STR 20CV 60) ยางสกิมแท่ง (Skim Block) ยางเครพขาวแท่ง (Pale Crepe) ยางแผ่นผึ่งแห้ง (ADS) และยางแผ่นรมควันชั้น 3 (RSS No. 3) โดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์ ที่อุณหภูมิ 150 ถึง 180 องศาเซลเซียส ซึ่งระบบวัดค่าในซ้ที่ศึกษา คือ ระบบกัมมันตภาพเคมี เอ็มอีวี และอีวี โดยมี N-tert-butyl-2-benzothiazyl sulphenamide (TBBS) เป็นสารตัวเร่ง จากการคำนวณค่าคงที่อัตราการวัดค่าในซ้และ

พลังงานการกระตุ้นให้เกิดการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ โดยสมมติว่าปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง พบว่า ค่าพลังงานการกระตุ้นให้เกิดการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติเกรดต่าง ๆ ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบเคมีอีวี และอีวี มีค่าอยู่ในช่วง 21.18 ถึง 39.24 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่ายางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกัมมะถันปกติ และจากการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ (ความแข็ง ความทนต่อแรงดึง และความต้านทานต่อการฉีกขาด) พบว่ายางสก็มจะมีความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดก่อนบ่มแรงดีกว่ายางธรรมชาติเกรดอื่น ๆ แต่หลังบ่มแรงยางแท่งเอสทีอาร์ 5 ซีวี 60 จะมีความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2.6 [16]

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติ [16]

Properties	STR 20	RSS No.3	STR 5L	STR 5CV60	Crepe	STR 20CV60
Tensile strength (MPa)	18.63±2.24	20.64±2.94	20.91±1.24	20.12±1.02	20.85±1.93	18.05±1.87
Tensile strength (MPa) aging	20.19±1.33	18.31±3.03	19.25±0.97	22.65±0.87	17.97±1.97	20.61±1.39
300% modulus (MPa)	5.24±0.16	5.52±0.25	5.44±0.22	5.51±0.34	4.89±0.15	5.07±0.17
300% modulus (MPa) aging	6.34±0.15	6.64±0.20	6.11±0.33	6.48±0.21	5.87±0.27	6.28±0.19
Elongation at break(%)	634±50.68	663±63.38	680±17.24	659±1.44	705±33.92	637±30.75
Elongation at break(%) aging	594±16.82	565±54.11	597±16.57	646±13.62	584±36.32	610±14.81
Tear strength (N/mm)	53.57±3.66	58.97±3.92	52.14±8.79	52.68±4.45	52.76±6.64	51.38±4.79
Tear strength (N/mm) aging	52.71±2.57	52.36±2.53	51.45±1.54	53.95±3.83	50.33±2.03	49.93±2.67
Hardness (Shore A)	51	51	52	54	54	63

2) ยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber : SR)

ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ยางธรรมชาติถือว่าเป็นยุทธปัจจัยเกิดการขาดแคลน และเนื่องจากประเทศในแถบยุโรปและอเมริกาไม่มียางธรรมชาติ จึงทำให้มีการคิดค้นผลิตยางเทียมขึ้นมา จากผลผลิตของการกลั่นน้ำมัน ผลการค้นคว้าดังกล่าว จึงได้ยางเทียมขึ้นมา ซึ่งมี

ลักษณะใกล้เคียงกับยางธรรมชาติ ในปัจจุบันเราใช้น้ำมันปิโตรเลียมในการสังเคราะห์ยางเทียม [16]

การผลิตยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกการผลิตมอนอเมอร์(Monomer) ซึ่งมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และการนำมอนอเมอร์หลายๆ มอนอเมอร์มาต่อกันให้ได้เป็นพอลิเมอร์ ซึ่งเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ว่า ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ยางสังเคราะห์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่ชนิดของมอนอเมอร์ ถ้ายางสังเคราะห์ประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดเดียวมาเรียงต่อกันก็จะเรียกยางสังเคราะห์ที่ได้ว่า โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) แต่ยางสังเคราะห์บางชนิดอาจประกอบด้วยมอนอเมอร์จำนวน 2 ชนิดมาเรียงต่อกัน จะเรียกว่า โคพอลิเมอร์ (Copolymer) [17]

- คุณสมบัติของยางสังเคราะห์ สามารถยืดหยุ่นตัวได้ ทนต่อแรงดึงได้ทนต่อการสึกหรอนึกขาดได้ ทนต่อน้ำมันแร่ และสารละลายอีกหลายชนิด ทนต่อไขมัน ทนความร้อนได้สูงบางชนิดสูงถึง 200°C ทนต่อการรั่วซึมของแก๊สได้ [16]

- ชนิดของยางสังเคราะห์ยางสังเคราะห์ที่ใช้งานกันในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะนำเอายางธรรมชาติมาผสมรวมอยู่ด้วย เพื่อต้องการคุณสมบัติที่ดีบางประการของยางธรรมชาติ ในงานวิจัยนี้จะใช้ยางสังเคราะห์ชนิด ยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber : CR) ใช้ในการทดลองทำครอว์ปีด ยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber : CR) มีชื่อทางการค้าว่ายางนีโอพรีน (Neoprene) เป็นยางที่สังเคราะห์จากมอนอเมอร์ของโคโรพรีน (Chloroprene monomer) โมเลกุลของยาง CR สามารถจัดเรียงตัวได้อย่างเป็นระเบียบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ยางชนิดนี้จึงสามารถตกผลึกได้เช่นเดียวกับยางธรรมชาติ ดังนั้นยาง CR นอกจากจะมีความทนทานต่อแรงดึงสูง (โดยที่ไม่ใส่สารตัวเติมเสริมแรง) ยังมีความทนทานต่อการฉีกขาดและความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูงอีกด้วย

- การใช้งานยาง CR เกรดที่สามารถตกผลึกได้เล็กน้อยถึงปานกลางจะถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติเชิงกลที่ดี ทนต่อการขีดไฟ ทนต่อน้ำมัน สภาพอากาศ และโอโซน ซึ่งผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้งานในลักษณะดังกล่าว ได้แก่ ยางซีล ท่อยางเสริมแรง ยางพันลูกกลิ้ง สายพานลำเลียง ยางกันกระแทก และผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ในงานก่อสร้าง

- ความทนทานต่อแรงดึงและการฉีกขาด (Tensile and tear strength) เนื่องจากยาง CR สามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด (เช่นเดียวกับยางธรรมชาติ) ดังนั้นยางชนิดนี้จึงมีความทนทานต่อแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ ที่ไม่สามารถตกผลึกได้ (แต่ยังคงต่ำกว่ายางธรรมชาติ) [17]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินโครงการวิจัย ซึ่งนับว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการทำวิจัย เนื่องจากจะต้องรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง มาใช้ในการวางแผนการดำเนินโครงการ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการดำเนินโครงการวิจัย ดังนั้นจึงได้จัดขั้นตอนในการดำเนินโครงการดังต่อไปนี้

- 3.1 แผนการดำเนินงาน
- 3.2 เครื่องมือ
- 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน
- 3.4 วิธีการวัดผล

3.1 แผนการดำเนินงาน

ในการจัดทำโครงการวิจัย การศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูป ถ้วยลึกโดยการประยุกต์ใช้ดรอร์บีดอย่างเสริมแรง ได้เริ่มจากการศึกษาข้อมูล รายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับการออกแบบแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปถ้วยลึก แรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูป แรงกดขึ้นงาน ลักษณะของดรอร์บีดแต่ละชนิด การออกแบบดรอร์บีด ด้วยเครื่องปั๊มโลหะของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่มีขนาด 80 ตัน และสามารถปรับแรงกดขึ้นงานได้ และศึกษาคุณสมบัติของยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ ที่จะนำมาใช้ทำดรอร์บีดได้อย่างเหมาะสม และเลือกใช้ได้อย่างถูกต้อง

ซึ่งในที่นี้ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของเวลา เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของโครงการ โดยมีการวางแผนการดำเนินโครงการวิจัย รายละเอียด และขั้นตอนต่างๆ ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางแผนการดำเนินงานโครงการวิจัย

	เดือน											
แผนการดำเนินการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยดรอว์บิส	↔											
2. ออกแบบชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปและชุดดรอว์บิส		↔										
3. จัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์สำหรับผลิตแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปและชุดดรอว์บิส			↔									
4. ผลิตแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปเพื่อทำการทดลอง Experiments				↔								
5. วางแผนการทดลอง Experiments							↔					
6. ทำการทดลอง Experiments ตามตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้								↔				
7. เก็บข้อมูลการทดลอง								↔				
8. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จาก Experiments											↔	
9. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง											↔	
10. เผยแพร่งานวิจัย และส่งรายงานฉบับสมบูรณ์												↔

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือที่ใช้ในทดสอบโดยใช้เครื่องปั๊มโลหะของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่มีขนาด 80 ตัน แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร และเครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC automatic machine) ใช้ในการสร้างแม่พิมพ์และดรอว์บิส

3.2.1 เครื่องปั๊มโลหะที่มีขนาด 80 ตัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องปั๊มโลหะขนาด 80 ตัน

3.2.2 แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร

3.2.3 เครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC automatic machine) ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC automatic machine)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 การเตรียมแผ่นชิ้นงานทดสอบ

1) ตัดชิ้นงานตามแนวรีดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด 220 x 160 มม. ด้วยเครื่องตัดโลหะแผ่น (Power shear) ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชิ้นงานสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาด 220 x 160 มม.

2) เตรียมอุปกรณ์จับยึด (Fixture) และติดตั้งบนเครื่องจักร CNC แล้วยึดให้แน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การจับยึด (Fixture) บนเครื่องกัด CNC

3) วางแผ่นชิ้นงานบน (Fixture) ให้ตรงจุดแล้วยึดให้แน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การจับยึดชิ้นงานบนเครื่องกัด CNC

4) ใช้เครื่องกัด CNC เดินกัดชิ้นงานโดยคำสั่งจากโปรแกรมในระบบควบคุมอัตโนมัติและใช้สารหล่อเย็นตลอดเวลาจนงานเสร็จ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การเดินกัดชิ้นงาน

3.3.2 การสร้างครอว์ปัด

- 1) เตรียมชิ้นงานเหล็ก S50C ขนาด 20 x 20 x 115 มม.
- 2) ทำการกัดขึ้นรูป (Profile) รอบนอกครอว์ปัดดังแสดงในรูปที่ 3.8



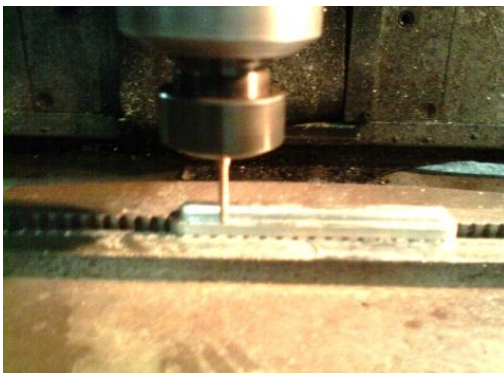
รูปที่ 3.8 การกัดขึ้นรูป (Profile) ครอว์บีด

3) กัดร่อง (Slot) ด้านในครอว์บีดดังแสดงในรูปที่ 3.9



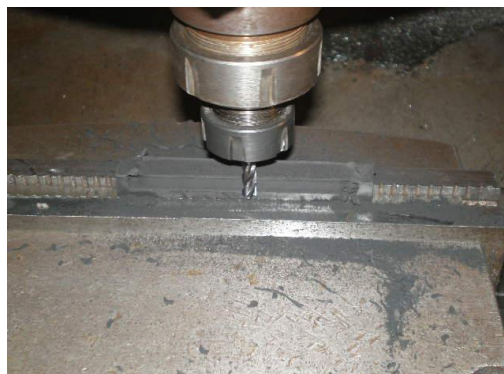
รูปที่ 3.9 การเดินกัดร่อง (Slot) ด้านใน

4) กัดส่วนปลายโค้งมนของครอว์บีดดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การเดินกัดปลายโค้งมนของครอว์บีด

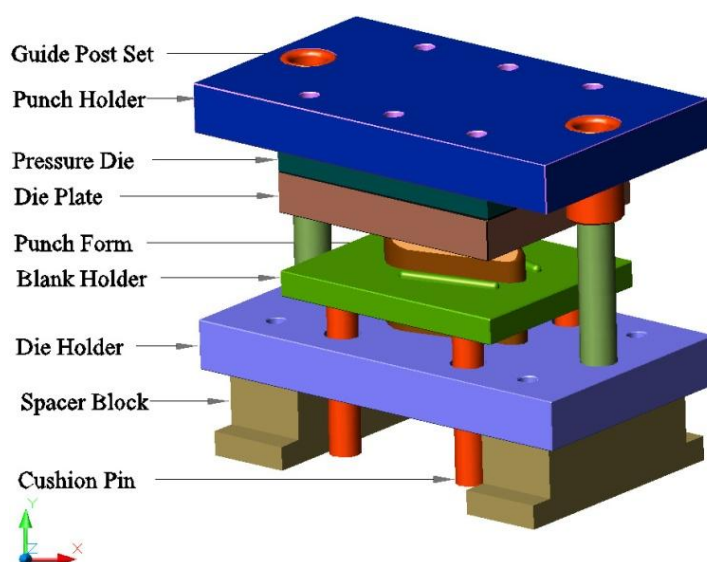
5) กัดยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การเดินกัดกัดยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์

3.3.3 การประกอบครอว์บีดในแม่พิมพ์และการติดตั้ง

หลักการทำงานของแม่พิมพ์ชุดตัว (Die holder) ใช้รับยึดกับแท่นป้อนขึ้นลงและยึดแผ่นรองคาย (Pressure die) และแผ่นคาย (Die holder) จะยึดกันเช่นชุดบน (Upper shore) มีชุดนำการป้อน (Guide post) เป็นชุดนำเพื่อความเที่ยงตรงในการป้อนขึ้นลงและชุดล่าง (Lower shore) จะประกอบด้วยพินซ์ (Punch) แผ่นกดยึด (Blank holder) มีหน้าที่ในการกดยึดชิ้นงานโดยส่งถ่ายแรงจากคushion pin (Cushion pin) ซึ่งสามารถปรับแรงได้และแผ่นพินซ์ไฮดรอลิก (Punch holder) จะจับยึดกับแท่นเครื่องป้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.12

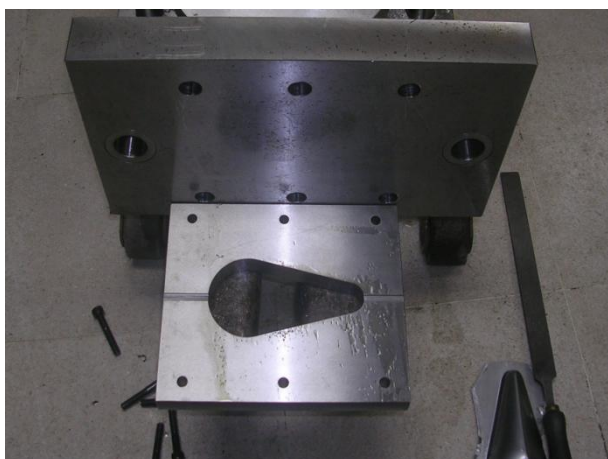


รูปที่ 3.12 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ขึ้นรูปลึก [9]

ตารางที่ 3.2 ตารางชิ้นส่วนแม่พิมพ์

รายการ	วัสดุ	ขนาด	จำนวน/ชิ้น
Punch holder	SS41	240x420x48	1
Pressure die	S50C	210x250x25	1
Die plate	SKD11	210x250x40	1
Punch form	SKD11	80x150x118	1
Blank holder	SS41	210x250x30	1
Die holder	SS41	240x420x48	1
Spacer block	SS41	240x420x48	1
Cushion pin	SS41	Ø35x400	4

- 1) ทำความสะอาดชิ้นส่วนแม่พิมพ์ทั้งหมด
- 2) ประกอบชุดแม่พิมพ์ตัวล่าง โดยการนำพunch มายึดติดกับแผ่นล่าง (Die holder) โดยที่ยึดสกรู ทั้ง 3 ตัว ยึดให้แน่น
- 3) นำ (Spacer block) ประกอบเข้ากับชุดแม่พิมพ์ตัวล่างที่ประกอบกับพunchยึดสกรูทั้ง 4 ตัว ให้แน่น
- 4) ประกอบชุดแม่พิมพ์ตัวบน โดยการนำคาน (Die plate) มายึดติดกับบน (Punch holder) โดยยึดสกรูทั้ง 6 ตัว โดยที่ยังไม่ต้องยึดแน่นมากดังแสดงในรูปที่ 3.13



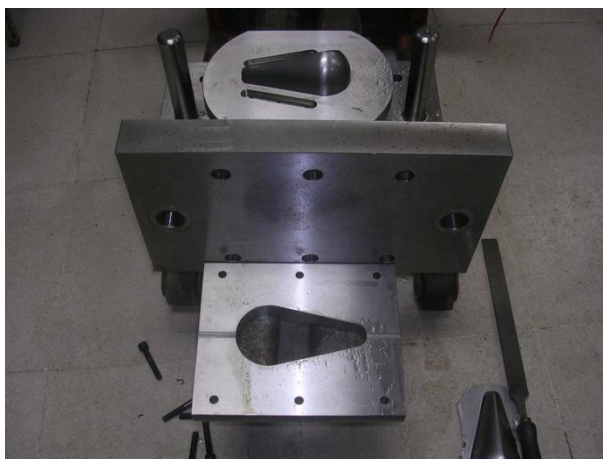
รูปที่ 3.13 การประกอบชุดแม่พิมพ์ตัวบน

5) นำแผ่นรอง ที่มีความหนาขนาด 1 มม. มาไว้บริเวณรอบพื้นที่ (Punch) และนำไม้มารองไว้เพื่อที่จะสวมชุดแม่พิมพ์ตัวบน และชุดแม่พิมพ์ตัวล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การใส่แผ่นเสริมรองขนาด

6) นำชุดแม่พิมพ์ตัวบนไปสวมกับชุดแม่พิมพ์ตัวล่าง และยึดสกรูของชุดแม่พิมพ์ตัวบนให้แน่น ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การสวมชุดแม่พิมพ์ตัวบนกับชุดแม่พิมพ์ตัวล่าง

7) นำแม่พิมพ์ที่ประกอบเสร็จแล้ว ไปติดตั้งบนเครื่องปั๊ม ใส่ (Cushion pin) เครื่องปั๊ม 4 ตัว ยึดแม่พิมพ์ตัวบนและตัวล่างให้แน่น แล้วยกชุดบนขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม

8) นำแผ่นกดชิ้นงาน (Blank holder) สวมเข้ากับพินซ์ ที่มี (Cushion pin) รองรับอยู่ แล้วนำดรอว์บีคใส่แผ่นกดชิ้นงาน (Blank holder) ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การประกอบดรอว์บีคกับแผ่นกดชิ้นงาน

9) ปรับตั้ง (Limit switch) ตามความลึกของชิ้นงานลากขึ้นรูปดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การปรับตั้ง (Limit switch) เครื่องปั๊ม

10) แม่พิมพ์พร้อมใช้งานติดตั้งบนเครื่องปั๊ม ดังแสดงในรูปที่ 3.19

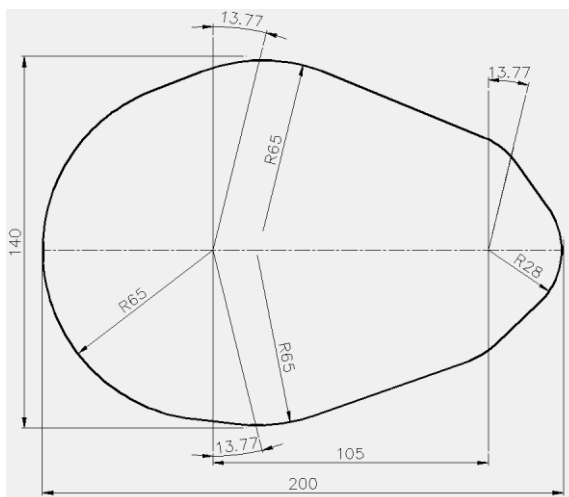


รูปที่ 3.19 แม่พิมพ์พร้อมใช้งาน

3.4 วิธีการวัดผลการทดลอง

3.4.1 ชิ้นงานจากการคำนวณโดยประมาณค่าตามรูปทรงขึ้นรูปลึก

การตัดแผ่นงานตามแนวรีดมีขนาด 220 x 160 มม. ประมาณค่าโดยการคำนวณจากสมการพื้นฐานขนาดของแผ่นงาน (Blank size) นำมาประยุกต์กับรูปทรงที่ทำการศึกษาจนได้ขนาดและรูปร่าง โดยขยายขนาดของแผ่นตัดเปล่า (Blank size) ออกอีก 10 มม. โดยรอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แผ่นตัดเปล่าคำนวณโดยการประมาณค่า

3.4.2 แรงกดชิ้นงาน (Blank Holder Force)

จากการคำนวณแรงขึ้นรูปลึกตามสมการที่ (2.3) ได้เท่ากับ 104.84 kN และใช้แรงกดชิ้นงานตามสมการที่ (2.4) ได้เท่ากับ 49.69 kN ทำการศึกษาโดยเทียบเป็นขนาดของแรงกดที่ระดับ 30% , 50% และ 70% ของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปได้ดังนี้

$$\text{จากการคำนวณเทียบได้} = \frac{49.69 \times 100}{104.84} = 47.4\% \text{ เป็นค่าของแรงเริ่มต้น}$$

$$\text{แรงกดชิ้นงานที่ 30\%} = \frac{30 \times 104.84}{100} = 31.45 \text{ kN}$$

$$\text{แรงกดชิ้นงานที่ 50\%} = \frac{50 \times 104.84}{100} = 52.42 \text{ kN}$$

$$\text{แรงกดชิ้นงานที่ 70\%} = \frac{70 \times 104.84}{100} = 73.39 \text{ kN}$$

3.4.3 ครอว์ปิด (Draw bead)

1) ครอว์ปิดที่ทำจากโลหะทั้งตัว แบบปลายโค้งมน ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ครอว์ปิดที่เป็นโลหะเหล็กชนิด S45C

2) ครอว์ปิดที่เสริมยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ครอว์ปิดที่เสริมยางธรรมชาติ

3) ครอว์ปิดที่เสริมยางสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ครอว์ปิดที่เสริมยางสังเคราะห์

3.4.4 สารหล่อลื่น

แผ่นพลาสติกโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene : HDPE) จะมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงลักษณะโปร่งแสงหรือขุ่น แข็งและเหนียว ราคาถูก ขึ้นรูปง่าย ทนต่อสารเคมี แก๊สซึมผ่านได้ยาก ที่มีความหนาเท่ากับ 0.10 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แผ่นพลาสติกโพลิเอทิลีนหนา 0.10 มม.

3.4.5 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

1) อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ (Mini data logger) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลพื้นฐานของระบบ (data logger) ประกอบไปด้วย scanner หรือ multiplexer digital-voltmeter และตัวบันทึกข้อมูล ซึ่งรับ Input ที่เป็นระบบ analog จาก sensor แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลเป็นระบบ digital และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อนำไปใช้ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.25



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.25 (ก) อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำมัน (ข) อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ

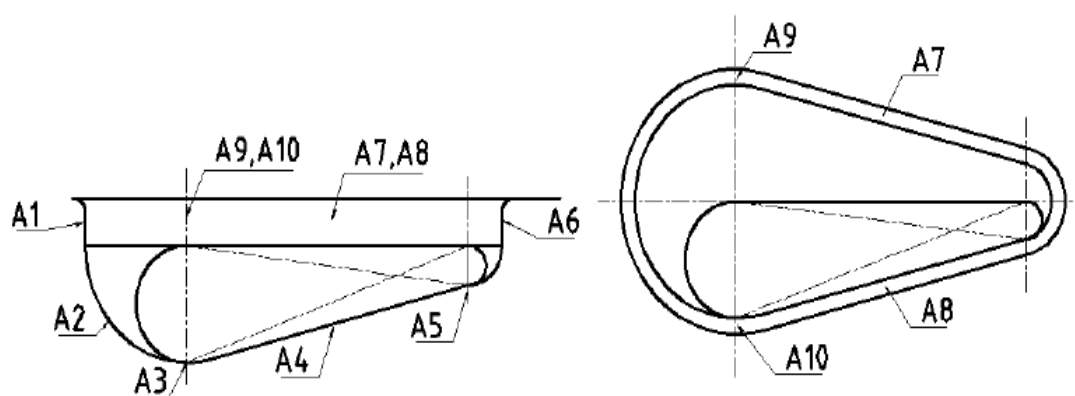
2) การติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำมันและอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณต่อเข้ากับเครื่องเพรส ดังแสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 การติดตั้งอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณต่อเข้ากับเครื่องเพรส

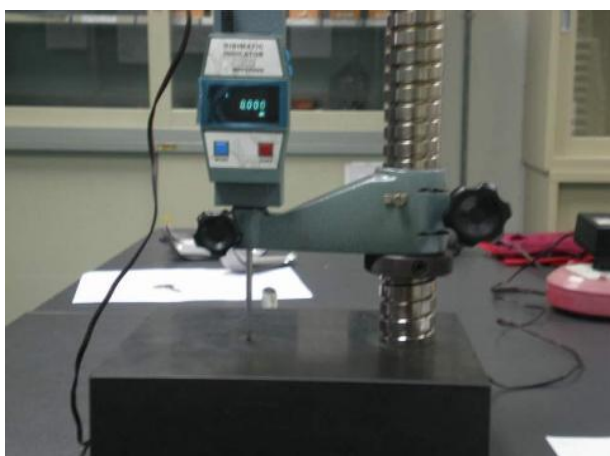
3.4.6 บริเวณจุดที่ตรวจวัดความเครียด

การเปรียบเทียบความรุนแรงของความเครียดโดยการปรับใช้จากสมการความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ผลการวัดความเครียด (Strain) จะวัดขนาดของการเปลี่ยนแปลงขนาดตามแนวแกนหลักและแกนรองของกริดทั้ง 10 จุด นำผลที่ได้จากการวัดคำนวณหาความเครียดจริงสูงสุด ϵ_1 ความเครียดจริงต่ำสุด ϵ_2 และความเครียดจริงในแนวความหนาตามแนวแกนวัด ϵ_3 ความเครียดเทียบเท่า ดังแสดงในรูปที่ 3.27 [5]



รูปที่ 3.27 บริเวณจุดที่ตรวจวัดความเครียดบนชิ้นงาน [5]

3.4.7 อุปกรณ์วัดความหนาชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 เครื่องวัดความหนาชิ้นงาน

3.4.8 ตารางบันทึกผลการทดลอง

- 1) ตารางบันทึกแรงของการลากชิ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกด ในการใช้ดรอว์บีดแต่
ลักษณะ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดในการใช้ดรอว์ปิดแต่ละชนิด

แรงกดขึ้นงานต่อแรงขึ้นรูป	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ค่าเฉลี่ย
30 เปอร์เซ็นต์ (31.45kN)	X	X	X	X	X	X
50 เปอร์เซ็นต์ (52.42kN)	X	X	X	X	X	X
70 เปอร์เซ็นต์ (73.39kN)	X	X	X	X	X	X

2) ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ของดรอว์ปิดแต่ละชนิด
 ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ของดรอว์ปิดแต่ละชนิด

จุด ตรวจ	ดรอว์ปิดโลหะ		ดรอว์ปิดเสริมยาง ธรรมชาติ		ดรอว์ปิดเสริมยาง สังเคราะห์	
	ความหนา ขึ้นงาน	ค่า ความเครียด	ความหนา ขึ้นงาน	ค่า ความเครียด	ความหนา ขึ้นงาน	ค่า ความเครียด
A1	X	X	X	X	X	X
A2	X	X	X	X	X	X
A3	X	X	X	X	X	X
...	X	X	X	X	X	X
...	X	X	X	X	X	X
A10	X	X	X	X	X	X

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ผลการวิจัยเพื่อศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลูกโดยการประยุกต์ใช้ดรอว์บีคยางเสริมแรง วัสดุ เกรด JIS : SPCC ที่มีความหนา 1.0 มม. เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการเลือกใช้แรงในการลากขึ้นรูป และแรงกดขึ้นงานได้อย่างเหมาะสม ตัวแปรที่ใช้ทดสอบเก็บข้อมูลคือ ดรอว์บีคที่ทำจากโลหะทั้งตัว ดรอว์บีคที่เสริมแรงยางธรรมชาติ ดรอว์บีคที่เสริมแรงยางสังเคราะห์ โดยปรับแรงกดขึ้นงานที่ 30 % , 50 % และ 70 % ของแรงขึ้นรูป ในการทดสอบดรอว์บีคแต่ละชนิด เพื่อนำไปหาค่าความเครียดของขึ้นงานในแต่ละจุดที่เกิดขึ้น

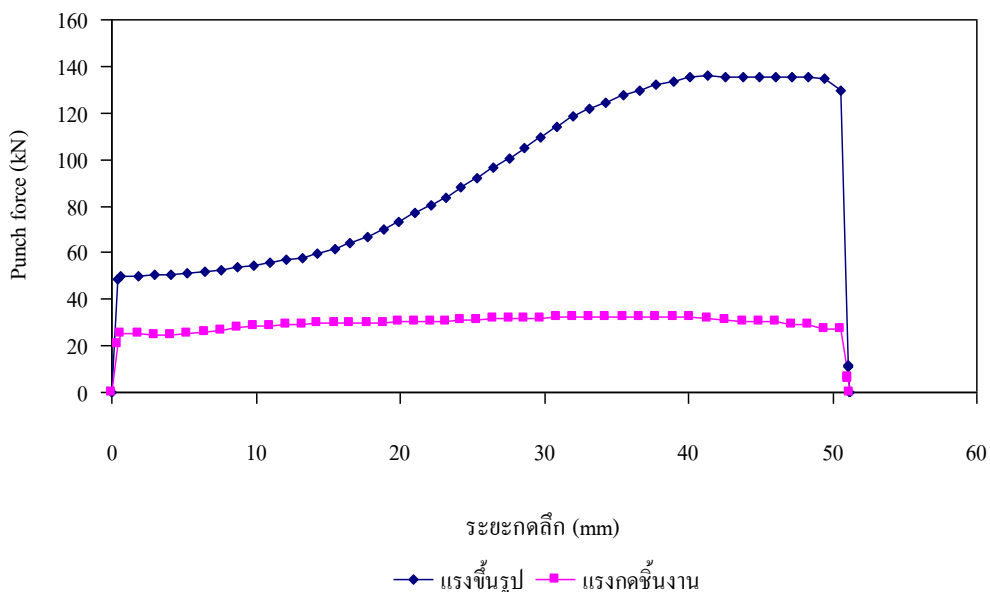
4.1 ผลการทดลอง

ผลการทดลองได้กำหนดตัวแปรควบคุมในการลากขึ้นรูปด้วยลูกรูปทรงไม่สมมาตรโดยใช้แผ่นตัดเปล่าจากการคำนวณประมาณค่าขยายออก 10 มม. โดยรอบ แรงกดขึ้นงาน (Blank holder force) เท่ากับ 30 % , 50 % และ 70 % สารหล่อลื่นแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนที่มีความหนา 0.1 มม. ระยะกดลูกของพินซ์ เท่ากับ 52 มม.

4.1.1 ผลการทดลองแรงลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงาน

1) ผลการทดลองการใช้ดรอว์บีคโลหะ

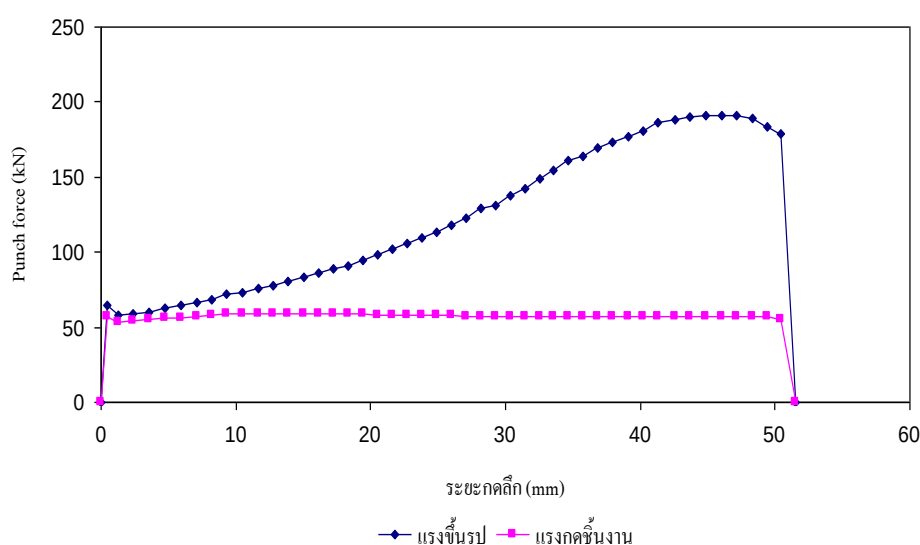
- แรงกดขึ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดขึ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ดรอว์บีคโลหะ

จากรูปที่ 4.1 เป็นกราฟแสดงถึงแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึกของขึ้นงาน จะเห็นได้ว่าแรงในการลากขึ้นรูปจะค่อยๆ ปรับเพิ่มสูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ต่อระยะความลึกของขึ้นงาน แรงลากขึ้นรูปสูงสุด 135.9 kN ที่ระยะความลึก 41 mm. โดยที่แรงกดขึ้นงาน (Blank holder force) จะสม่ำเสมอที่ 30 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป มีความราบเรียบ แสดงว่าการไหลตัวของโลหะเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอตลอดระยะกดลึก ไม่เกิดการฉีกขาดบริเวณปีกถ้วย

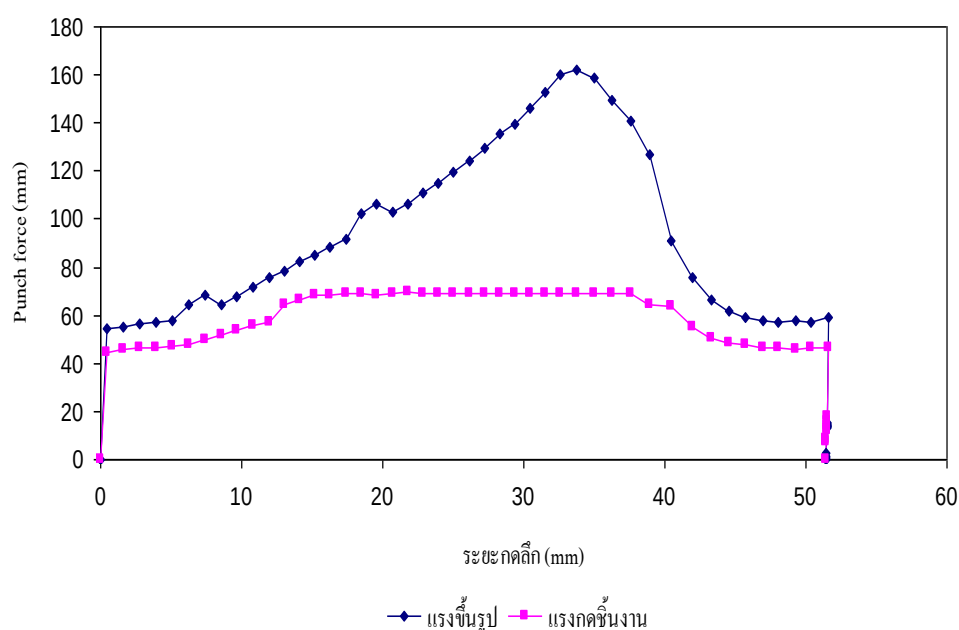
- แรงกดขึ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดขึ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เครื่องมือวัดโลหะ

จากรูปที่ 4.2 เป็นกราฟแสดงถึงแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึกของขึ้นงาน จะเห็นได้ว่าแรงในการลากขึ้นรูปจะค่อยๆ ปรับเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามสัดส่วนของระยะกดลึก จนถึงระยะกดลึกที่ 45 mm. ซึ่งเป็นจุดที่แรงของการลากขึ้นรูปสูงสุดที่ระดับ 191.02 kN เพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ต่อระยะความลึกของขึ้นงาน เมื่อแรงกดขึ้นงานเพิ่มสูงขึ้นความสามารถของการไหลตัวของโลหะจะลดลงด้วย โดยที่แรงกดขึ้นงาน (Blank holder force) จะสม่ำเสมอที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป แรงกดขึ้นงานมีความราบเรียบตลอดระยะกดลึก แสดงว่าการไหลตัวของโลหะเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ ไม่เกิดการฉีกขาดบริเวณปีกถ้วย

- แรงกดขึ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.3

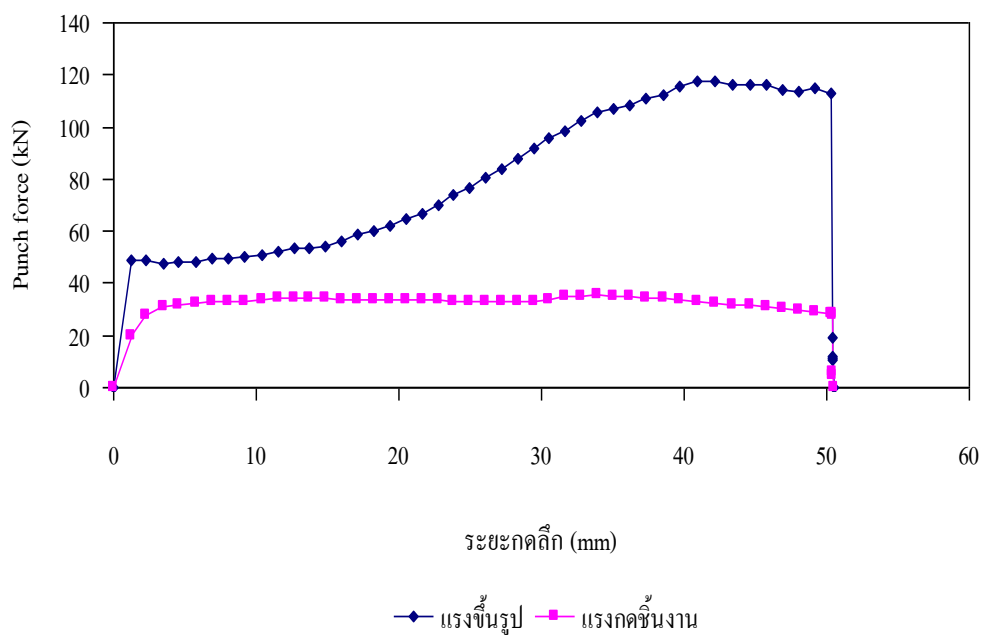


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดขึ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ดรอร์บีดโลหะ

จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงถึงแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึกของขึ้นงาน จะเห็นได้ว่าแรงในการลากขึ้นรูปจะค่อยๆ ปรับเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามสัดส่วนของระยะกดลึก จนถึงระยะกดลึกที่ 34 mm. ซึ่งเกิดการเปลี่ยนรูปที่รุนแรงของวัสดุ เป็นจุดที่แรงของการลากขึ้นรูป ขึ้นไปถึง 162 kN เกิดความเค้นสูงสุด ทำให้ขึ้นงานเกิดการแตกขาด แล้วแรงค่อยๆ ลดต่ำลงมา เมื่อแรงกดขึ้นงานเพิ่มสูงขึ้น 70 เปอร์เซ็นต์ของแรงลากขึ้นรูป โดยใช้ดรอร์บีดที่เป็นโลหะ ทำให้ ความสามารถในการไหลตัวของโลหะเข้าสู่ช่อง Die จึงเป็นไปได้ยาก เกิดความไม่สม่ำเสมอขึ้น จึงเป็นสาเหตุทำให้ขึ้นงานเกิดการฉีกขาดบริเวณปีกถ้วย

2) ผลการทดลองการใช้ดรอร์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ

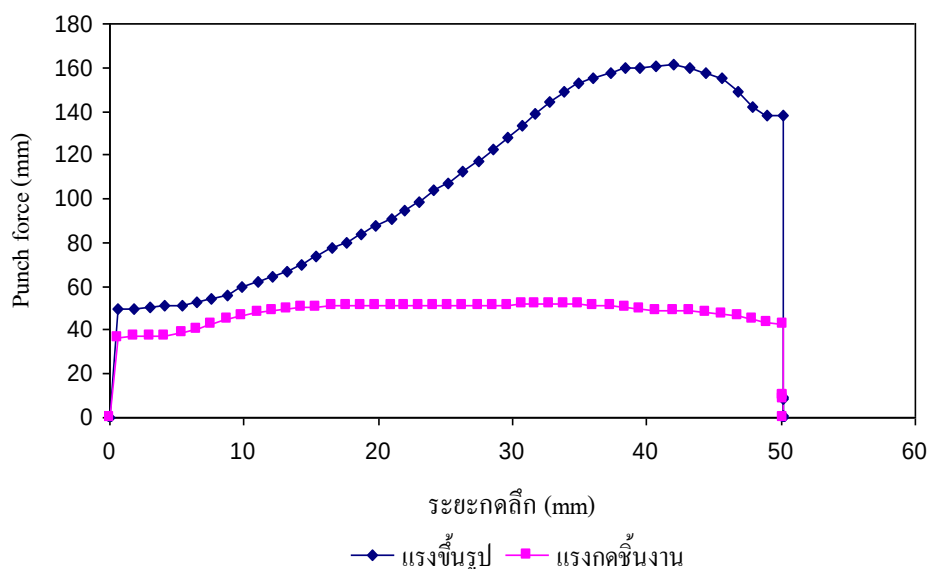
- แรงกดขึ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 30 % โดยใช้ดรอว์บีคเสริมแรงยางธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงถึงแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานต่อระยะกดลึกของชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าแรงในการลากขึ้นรูปจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นสูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ต่อระยะความลึกของชิ้นงาน แรงลากขึ้นรูปสูงสุด 117.37 kN ที่ระยะความลึก 42 mm. โดยที่แรงกดชิ้นงาน (Blank holder force) 30 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป แรงกดชิ้นงานมีความราบเรียบ แสดงว่าการไหลตัวของโลหะเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ และแรงในการลากขึ้นรูปจะเพิ่มขึ้นตามลำดับตามรูปทรงของชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูป จนถึงสิ้นสุดระยะการกดลึกของพื้นที่

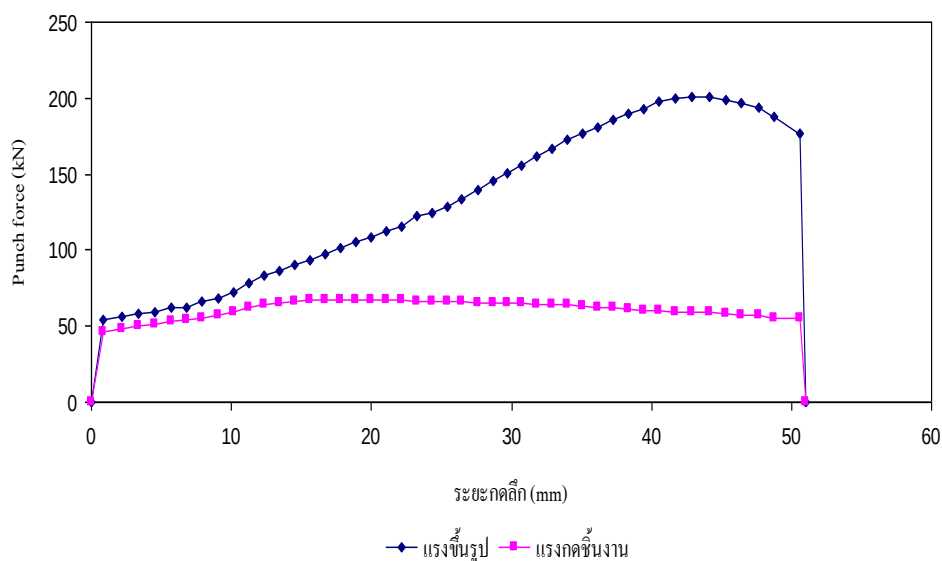
- แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 50 % โดยใช้ครอว์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.5 เป็นกราฟแสดงถึงแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานต่อระยะกดลึกของชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าแรงในการลากขึ้นรูปจะค่อยๆ ปรับเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามสัดส่วนของระยะกดลึก จนถึงระยะกดลึกที่ 41 mm. ซึ่งเป็นจุดที่แรงของการลากขึ้นรูปสูงสุดที่ระดับ 160.6 kN เพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ต่อระยะความลึกของชิ้นงาน เมื่อแรงกดชิ้นงานสูงขึ้นความสามารถของการไหลตัวของโลหะจะลดลงด้วย โดยที่แรงกดชิ้นงาน (Blank holder force) ช่วงระยะ 0 ถึง 10 mm. แรงกดชิ้นงานจะลดลงมาที่ 40 kN เนื่องจากเกิดการยุบตัวของยาง แล้วแรงกดค่อยปรับสูงขึ้นประมาณ 50 kN แรงกดชิ้นงานมีความราบเรียบ แสดงว่าการไหลตัวของโลหะเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ จนถึงระยะความลึกที่ 50 mm

- แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซนต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.6

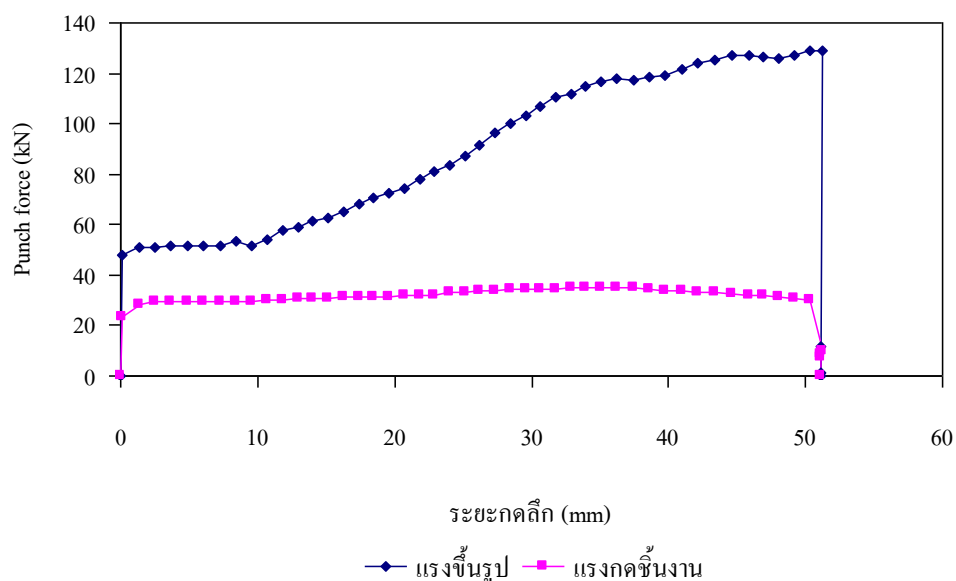


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 70 % โดยใช้ดรอว์บีคเสริมแรงยางธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.6 เป็นกราฟแสดงถึงแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานต่อระยะกดลึกของชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าแรงในการลากขึ้นรูปจะค่อยๆ ปรับเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามสัดส่วนของระยะกดลึก จนถึงระยะกดลึกที่ 43 mm. ซึ่งเป็นจุดที่แรงของการลากขึ้นรูปสูงสุดที่ระดับ 200.10 kN เพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ต่อระยะความลึกของชิ้นงาน เมื่อแรงกดชิ้นงานสูงขึ้น จะควบคุมการไหลตัวของโลหะเข้าสู่ช่อง Die ได้ดี โดยที่แรงกดชิ้นงาน (Blank holder force) จะลดลงมาที่ 50 kN ในช่วงระยะความลึก 0 ถึง 10 mm. แล้วค่อยๆ ปรับขึ้น เนื่องจากใช้ดรอว์บีคยางเสริมแรง แรงกดชิ้นงานมีความราบเรียบ แสดงว่าการไหลตัวของโลหะเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ ในช่วงสุดท้ายแรงกดชิ้นงานมีระดับลดต่ำลงมา

3) ผลการทดลองการใช้ดรอว์บีคเสริมแรงยางสังเคราะห์

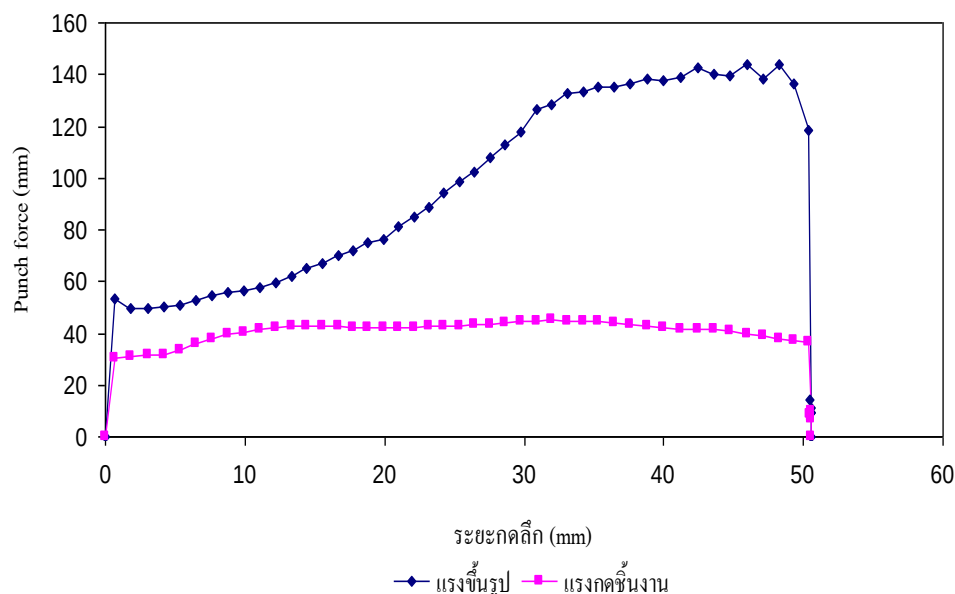
- แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 30 % โดยใช้ครอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงถึงแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานต่อระยะกดลึกของชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าแรงในการลากขึ้นรูปจะค่อยๆ ปรับเพิ่มสูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ต่อระยะความลึกของชิ้นงาน แรงลากขึ้นรูปสูงสุด 129.24 kN ที่ระยะความลึก 51 mm. แรงของการลากขึ้นรูปจากกราฟ จะเห็นได้ว่าไม่มีความราบเรียบอัตราการเพิ่มขึ้นของกราฟไม่สม่ำเสมอ ทำให้การไหลตัวของโลหะแผ่นไม่สม่ำเสมอด้วย ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยยับบริเวณปีกด้วย แต่ในขณะที่แรงกดชิ้นงาน (Blank holder force) 30 เปอร์เซ็นต์ ยังมีความราบเรียบอยู่ตลอดระยะกดลึกของพื้นที่

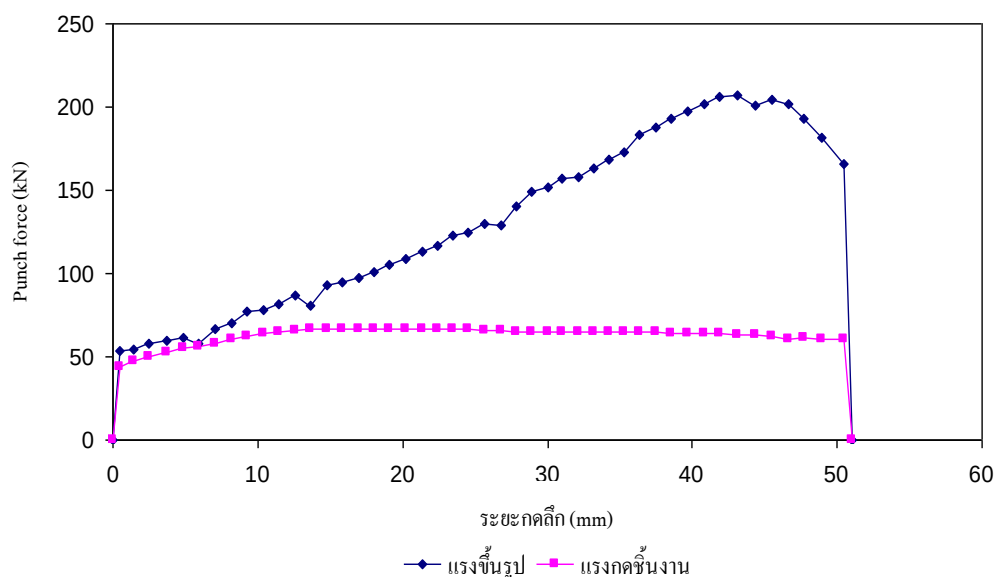
- แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 50 % โดยใช้ดรอร์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟแสดงถึงแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานต่อระยะกดลึกของชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าแรงในการลากขึ้นรูปจะค่อยๆ ปรับเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามสัดส่วนของระยะกดลึก จนถึงระยะกดลึกที่ 46 mm. ซึ่งเป็นจุดที่แรงของการลากขึ้นรูปสูงสุดที่ระดับ 143.97 kN เพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ต่อระยะความลึกของชิ้นงาน แรงของการลากขึ้นรูปจากกราฟจะเห็นได้ว่าไม่มีความราบเรียบอัตราการเพิ่มขึ้นของกราฟไม่สม่ำเสมอต่อเนื่องกัน ทำให้การไหลตัวของโลหะแผ่นไม่สม่ำเสมอด้วย ทำให้ชิ้นงานยังเกิดรอยยับอยู่ เมื่อแผ่นกดชิ้นงานเลื่อนลงกดชิ้นงาน จะมีช่วงความเปลี่ยนแปลงของแรงกดที่ระดับต่างกัน เนื่องจากการยืดหยุ่นของเนื้อยางสังเคราะห์

- แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงาน 70 % โดยใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงถึงแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานต่อระยะกดลึกของชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าแรงในการลากขึ้นรูปจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามสัดส่วนของระยะกดลึก จนถึงระยะกดลึกที่ 47 mm. ซึ่งเป็นจุดที่แรงของการลากขึ้นรูปสูงสุดที่ระดับ 201.90 kN เพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ต่อระยะความลึกของชิ้นงาน แรงของการลากขึ้นรูปจากกราฟจะเห็นได้ว่าไม่มีความราบเรียบอัตราการเพิ่มขึ้นของกราฟไม่สม่ำเสมอต่อเนื่องกัน เมื่อแรงกดชิ้นงานสูงขึ้นจะควบคุมการไหลตัวของโลหะเข้าสู่ช่อง Die ได้ดี โดยที่แรงกดชิ้นงาน (Blank holder force) จะลดลงมาที่ 50 kN แล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้น แรงกดชิ้นงานมีความราบเรียบตลอดระยะกดลึก แสดงว่าการไหลตัวของโลหะเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ

4.1.2 ผลการทดลองของชิ้นงานลากขึ้นรูป

1) ผลการทดลองชิ้นงานลากขึ้นรูป ใช้ดรอว์บีดโลหะ

- แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ชิ้นงานใช้ดรอร์ปิดโลหะแรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.10 จะพบว่าชิ้นงานเกิดรอยย่นบริเวณขอบปีกชิ้นงาน เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกดชิ้นงาน (Blank holder force) น้อยเกินไป และทำให้โลหะไหลเข้าสู่ช่อง Die มาก ทำให้ควบคุมการไหลตัวของดรอร์ปิดทำได้ยาก จึงทำให้เกิดลักษณะรอยย่นขึ้นบริเวณขอบปีกชิ้นงาน

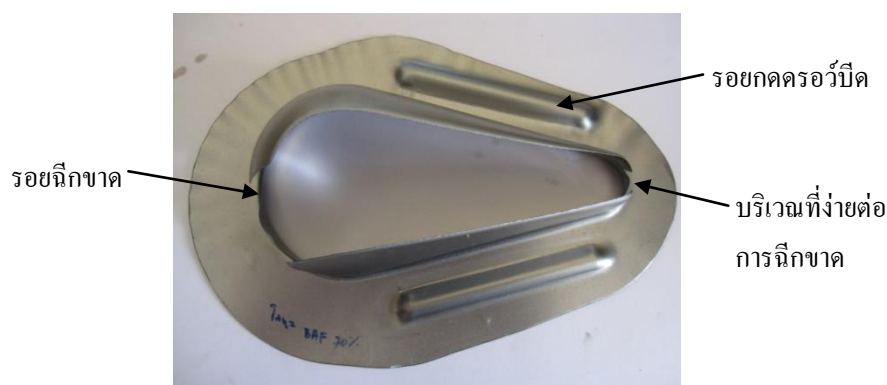
- แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ชิ้นงานใช้ดรอร์ปิดโลหะแรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.11 พบว่าบริเวณขอบปีกของชิ้นงานไม่เกิดรอยย่น เนื่องจากใช้แรงกดเพียงพอสำหรับการขึ้นรูป เมื่อแรงกดชิ้นงานสูงขึ้นจะควบคุมการไหลตัวของโลหะเข้าสู่ช่อง Die ได้ดี ทำให้ชิ้นงานออกมาไม่เกิดรอยย่นบริเวณขอบปีกชิ้นงาน ซึ่งเกิดการไหลตัวของชิ้นงานอย่างสม่ำเสมอ ที่ระยะความลึกสุดของชิ้นงานจะมีผนังบางทำให้ง่ายต่อการฉีกขาดบริเวณนี้ และตรงที่มีรัศมีในการดรอร์น้อย

- แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ชิ้นงานใช้ครอว์บีคโลหะแรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.12 จะพบว่าชิ้นงานเกิดการฉีกขาด เนื่องจากแรงกดชิ้นงาน (Blank holder force) มากเกินไป ทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหรือฉีกขาด เมื่อแรงกดชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้นความสามารถของการไหลตัวของโลหะเข้าสู่ช่อง Die จึงเป็นไปได้น้อย เนื่องจากชิ้นงานเกิดการไหลตัวยาก จากการบีบอัดของแผ่นกดเหยียบ

2) ผลการทดลองชิ้นงานลากขึ้นรูป ใช้ครอว์บีคเสริมแรงยางธรรมชาติ

- แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ชิ้นงานใช้ครอว์บีคเสริมแรงยางธรรมชาติ แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.13 จะพบว่าชิ้นงานเกิดรอยย่นบริเวณขอบปีกชิ้นงาน มีความถี่ของรอยย่นมาก เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกดชิ้นงาน (Blank holder force) น้อยเกินไป และทำให้โลหะไหลเข้าสู่ช่อง Die มากเกินไป ซึ่งสังเกตพบจะเกิดบริเวณที่ไม่มีการควบคุมการไหลตัวด้วยครอว์บีคนั่นเอง

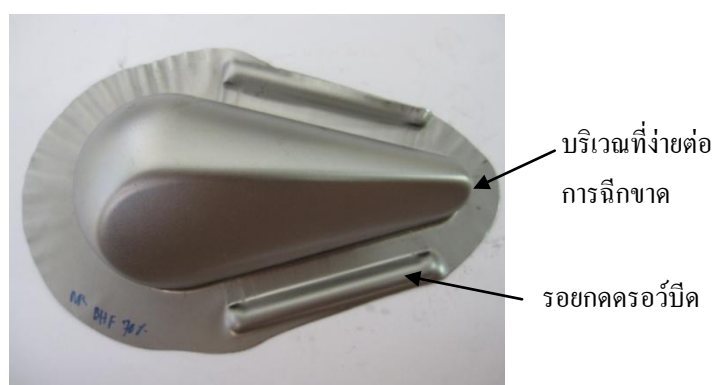
- แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ชิ้นงานใช้ครอว์บีคเสริมแรงยางธรรมชาติ แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.14 จะพบว่าชิ้นงานเกิดรอยย่นบริเวณขอบปีกชิ้นงานน้อยลง เนื่องจากแรงกดชิ้นงาน (Blank holder force) เพิ่มขึ้น และทำให้โลหะไหลเข้าสู่ช่อง Die ดีขึ้น ในการใช้ครอว์บีคเสริมแรงยางธรรมชาติ ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากชิ้นรูปนั้น ไม่เพียงพอต่อการกดขึ้นรูปจึงทำให้ชิ้นงานเกิดการย่นบริเวณขอบปีกชิ้นงาน

- แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากชิ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ชิ้นงานใช้ครอว์บีคเสริมแรงยางธรรมชาติ แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.15 จะพบว่าบริเวณขอบปีกของชิ้นงานไม่เกิดรอยย่น เนื่องจากใช้แรงกดเพียงพอสำหรับการขึ้นรูป เมื่อแรงกดชิ้นงานสูงขึ้นจะควบคุมการไหลตัวของโลหะเข้าสู่ช่อง Die ได้ดี ทำให้ชิ้นงานออกมาไม่เกิดรอยย่นบริเวณขอบปีกชิ้นงานและผนังชิ้นงาน

2) ผลการทดลองชิ้นงานลากขึ้นรูป ใช้ครอว์บีคเสริมแรงยางสังเคราะห์

- แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากชิ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ชิ้นงานใช้ครอว์บีคเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.16 จะพบว่าชิ้นงานเกิดรอยย่นบริเวณขอบปีกชิ้นงานและผนังด้านข้าง มีความถี่ของรอยย่นเกิดขึ้นมาก เนื่องจากแรงกดชิ้นงาน (Blank holder force) น้อยเกินไป จึงทำให้โลหะไหลเข้าสู่ช่อง Die มาก บริเวณขอบปีกชิ้นงานแฉก

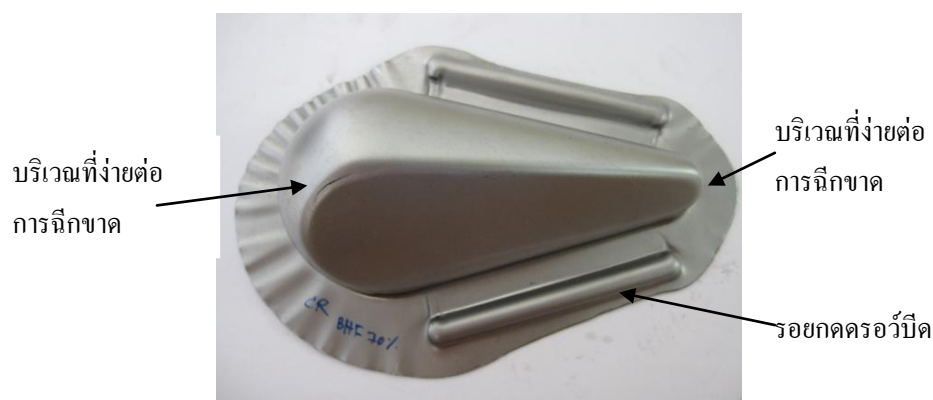
- แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ชิ้นงานใช้ครอว์บีคเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.17 จะพบว่าชิ้นงานยังเกิดรอยย่นบริเวณขอบปีกชิ้นงานอยู่ แต่ที่ผนังด้านข้างไม่เกิดรอยย่น เนื่องจากแรงกดชิ้นงาน (Blank holder force) เพิ่มขึ้น และทำให้โลหะไหลเข้าสู่ช่อง Die ได้ดีขึ้น ในการใช้ครอว์บีคเสริมแรงยางสังเคราะห์แรงกดที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูปนั้น ไม่เพียงพอต่อการกดขึ้นรูปจึงทำให้ชิ้นงานเกิดการย่นบริเวณขอบปีกชิ้นงาน

- แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ชิ้นงานใช้ดรอว์บีคเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์

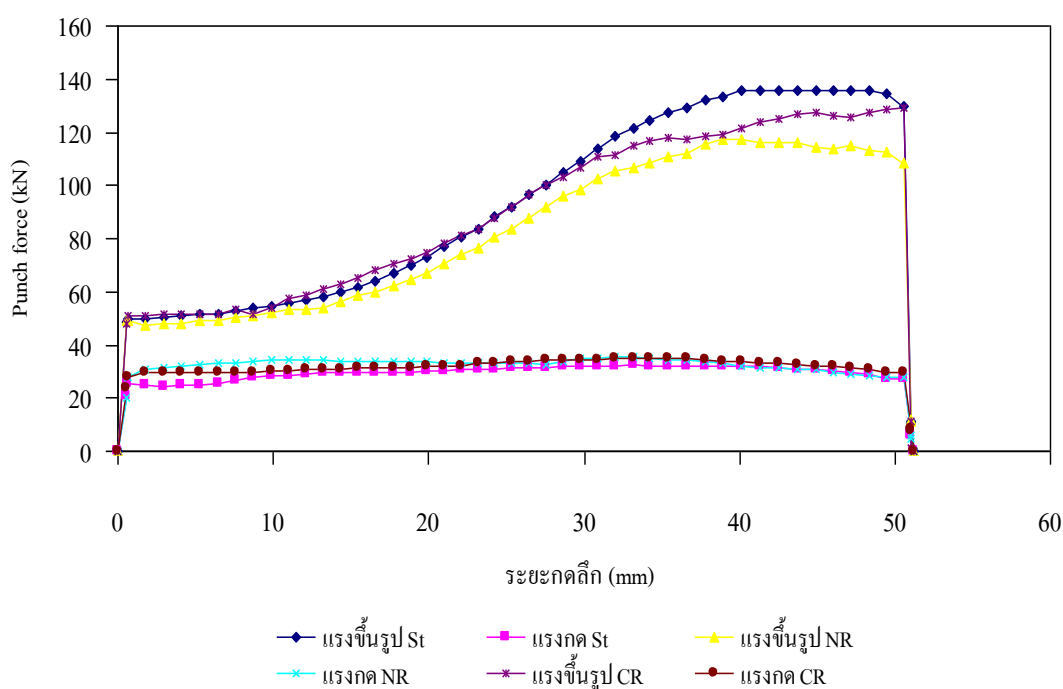
จากรูปที่ 4.18 จะพบว่าบริเวณขอบปีกของชิ้นงานและผนังด้านข้างไม่เกิดรอยย่นเนื่องจากใช้แรงกดเพียงพอสำหรับการขึ้นรูป เมื่อแรงกดชิ้นงานสูงขึ้นจะควบคุมการไหลตัวของโลหะเข้าสู่ช่อง Die ได้ดี ทำให้ชิ้นงานออกมาไม่เกิดรอยย่นบริเวณขอบปีกชิ้นงานและผนังด้านข้างขอบปีกชิ้นงานมีขนาดกว้างขึ้น ที่ระยะความลึกสุดของชิ้นงานจะมีผนังบางทำให้บริเวณนี้ง่ายต่อการนิกขาดและตรงที่มีรัศมีในการดรอว์บีค

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในแต่ละตัวแปร นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์แรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอว์บีคแต่ละชนิด ที่ระดับแรงกดชิ้นงานต่างกัน 30% ,50% และ 70% วิเคราะห์ความเครียด (Strain) ในแนวความหนาที่เกิดขึ้นบนแผ่นโลหะในแต่ละจุดที่ตรวจวัด และวิเคราะห์คุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการขึ้นรูป

4.2.1 วิเคราะห์แรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอว์บีคแต่ละชนิด ที่ระดับแรงกดชิ้นงานต่างกัน 30% ,50% และ 70%

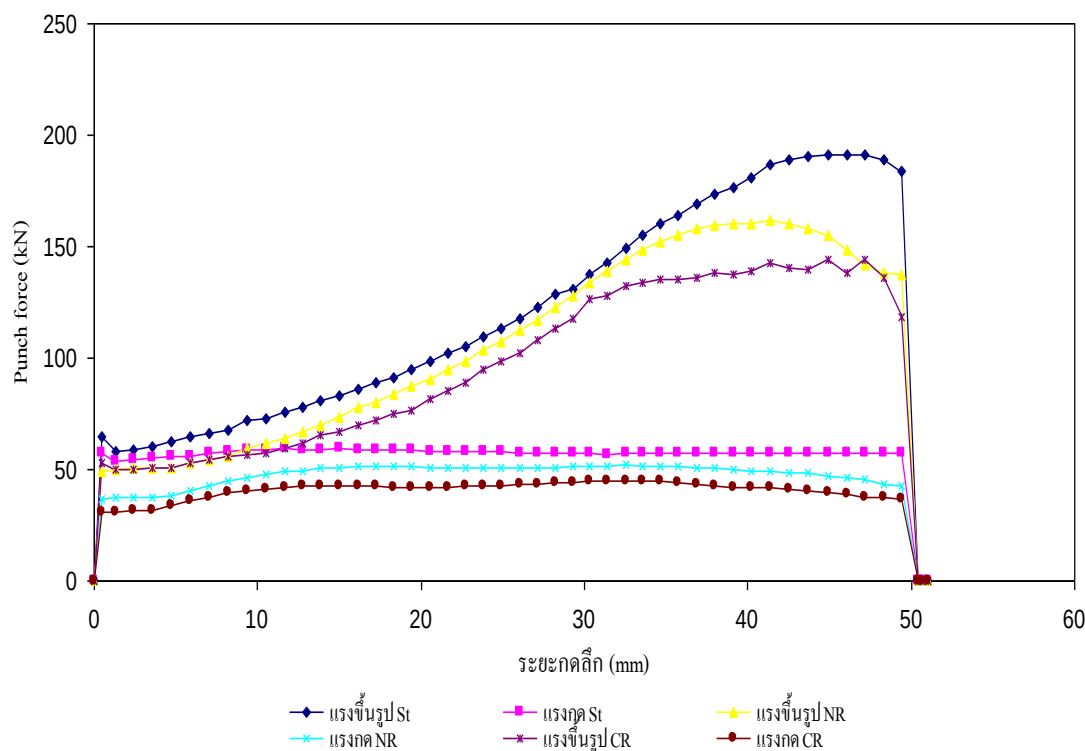
1) แรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอว์บีคแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 30% ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ครอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกด 30 %

จากรูปที่ 4.19 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึก ในการใช้ครอว์บีดแต่ละชนิด จะพบว่าแรงลากขึ้นรูปในการใช้ครอว์บีดโลหะ (แรงขึ้นรูป St) มีระดับแรงสูงสุด 140 kN เพราะว่าเมื่อแรงกดขึ้นงานเพิ่มขึ้นครอว์บีดที่เป็นโลหะไม่เกิดการยุบตัวแรงขึ้นรูปจึงมีค่าสูงทำให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป รองลงมาเป็นการใช้ครอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ (แรงขึ้นรูป CR) เพราะว่าครอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ เกิดการยุบตัวน้อยกว่ายางธรรมชาติ มีระดับแรงขึ้นรูปต่ำสุดเนื่องจากการยุบตัวมากที่สุด แรงกดขึ้นงานของครอว์บีดโลหะจะสูงสุด เมื่อเปลี่ยนมาใช้ครอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ และครอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดขึ้นงานมีระดับลดต่ำลงกว่าการใช้ครอว์บีดโลหะและแรงขึ้นรูปก็ลงด้วย ทำให้ลดความเสียหายผิวชิ้นงานที่สัมผัสกับแผ่นกดขึ้นงาน กับตาย ได้ แต่จะทำให้เกิดรอยยับบริเวณขอบปีกขึ้นงานและผนังด้านข้าง

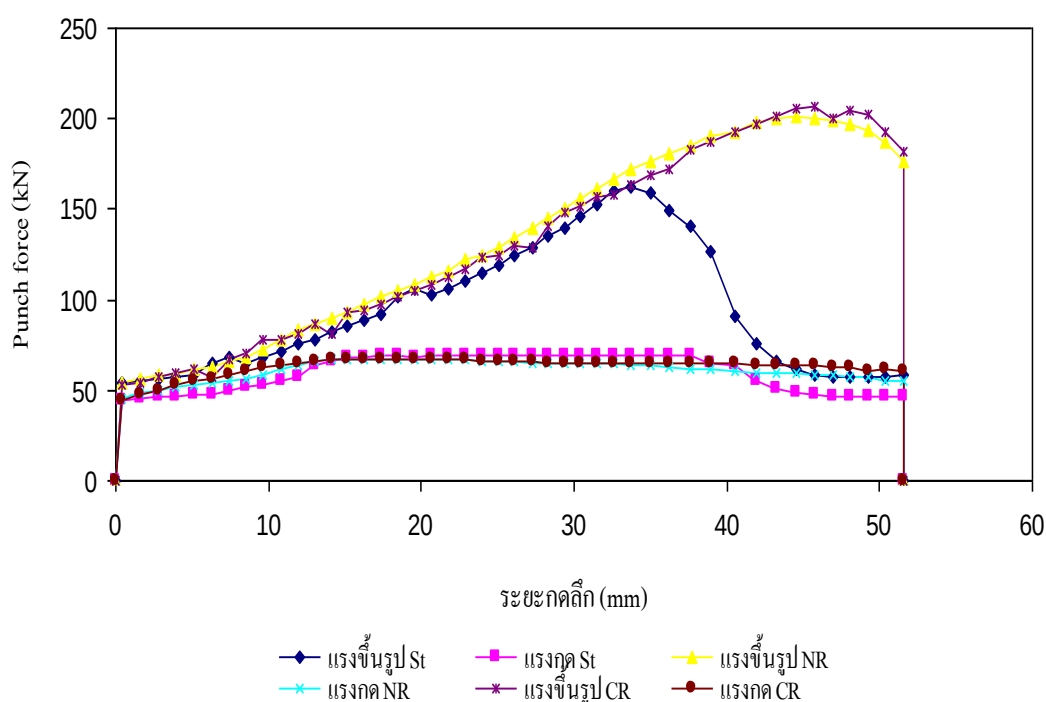
2) แรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอร์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 50 %
 ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานในการใช้ดรอร์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกด 50 %

จากรูปที่ 4.20 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงลากขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานต่อระยะกดลึก ในการใช้ดรอร์บีดแต่ละชนิด จะพบว่าแรงลากขึ้นรูปในการใช้ดรอร์บีดโลหะ (แรงขึ้นรูป St) มีระดับแรงสูงสุด 193 kN เพราะว่าเมื่อแรงกดชิ้นงานเพิ่มขึ้นดรอร์บีดที่เป็นโลหะไม่เกิดการยุบตัวแรงขึ้นรูปจึงเพิ่มสูงขึ้นทำให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป รองลงมาเป็นการใช้ดรอร์บีดเสริมแรงธรรมชาติ (แรงขึ้นรูป NR) เพราะว่าดรอร์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติเกิดการยุบตัวน้อยกว่าอย่างสังเคราะห์ และดรอร์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ (แรงขึ้นรูป CR) มีระดับแรงขึ้นรูปต่ำสุดเนื่องจากการยุบตัวมากที่สุด แรงกดชิ้นงานของดรอร์บีดโลหะจะสูงสุด เมื่อเปลี่ยนมาใช้ดรอร์บีดเสริมแรงธรรมชาติ และดรอร์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดชิ้นงานมีระดับลดต่ำลงกว่าการใช้ดรอร์บีดโลหะและแรงขึ้นรูปก็ลดลงด้วย ทำให้ลดความเสียหายผิวชิ้นงานที่สัมผัสกับแผ่นกดชิ้นงาน (Blank holder force) กับคาน (Die) ได้ แต่จะทำให้เกิดรอยยับบริเวณขอบปีกชิ้นงาน

3) แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอร์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดขึ้นงาน 70 %
 ดังแสดงในรูปที่ 4.21

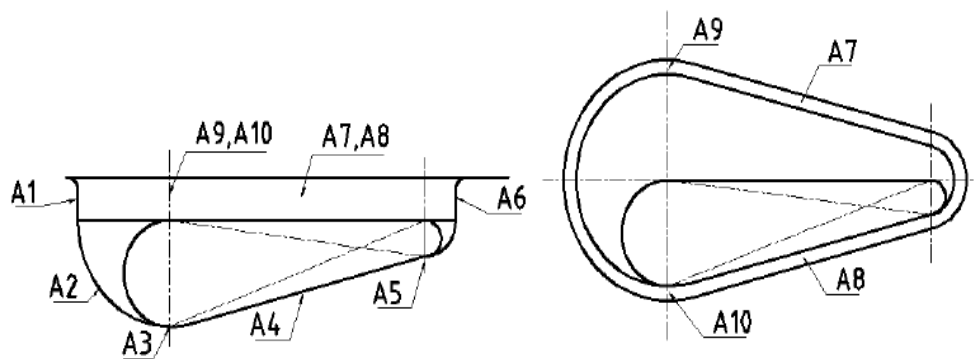


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอร์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกด 70 %

จากรูปที่ 4.21 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึก ในการใช้ดรอร์บีดแต่ละชนิด จะพบว่าแรงลากขึ้นรูปในการใช้ดรอร์บีดโลหะ (แรงขึ้นรูป St) ขึ้นสูงที่ 162 kN ที่ระยะความลึก 34 mm. แล้วขึ้นงานเกิดการฉีกขาด เพราะว่าปริมาณแรงกดขึ้นงาน ที่สูงกดลงที่ดรอร์บีดทำให้โลหะไม่สามารถไหลเข้าสู่ช่องคายได้ ทำให้เกิดความรุนแรงของการเปลี่ยนรูปวัสดุที่จุดนี้ สำหรับดรอร์บีดโลหะไม่เหมาะกับการใช้แรงกดที่สูง เมื่อเปลี่ยนมาใช้ดรอร์บีดเสริมแรงธรรมชาติ จะเห็นได้ว่ากราฟแรงขึ้นรูป (แรงขึ้นรูป NR) ขึ้นสูงถึง 200.1 kN ขึ้นงานไม่เกิดการฉีกขาด เพราะว่าเกิดการยุบตัวของเนื้อยาง ทำให้ใช้ได้กับแรงกดที่สูง และดรอร์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์แรงในการลากขึ้นรูปมีระดับต่างกันเล็กน้อยกับดรอร์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ และแรงกดขึ้นงานมีความราบเรียบ แสดงว่าการไหลตัวของโลหะเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ

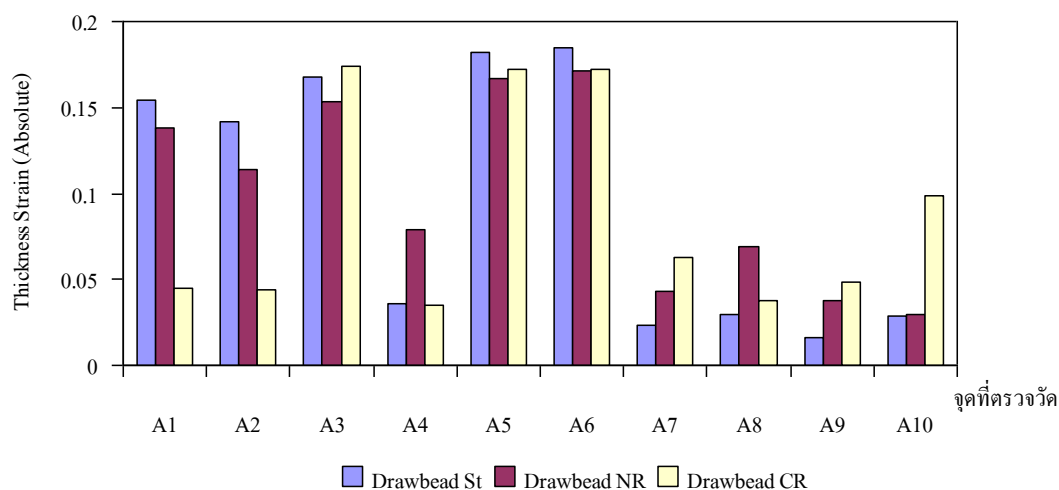
4.2.2 วิเคราะห์ความเครียดแนวความหนา (Thickness strain) ของชิ้นงานในแต่ละจุด ของการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่ระดับแรงกดชิ้นงานต่างกัน 30% ,50% และ 70%

บริเวณจุดที่ตรวจวัดความเครียดบนชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 บริเวณจุดที่ตรวจวัดความเครียดบนชิ้นงาน [9]

1) ค่าความเครียดชิ้นงานแต่ละจุดในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 30 % ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความเครียดแนวความหนาชิ้นงานในแต่ละจุด ที่แรงกด 30 %

จากรูปที่ 4.23 เป็นกราฟแสดงความเครียด จากความหนาของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ จะพบว่าระดับความเครียดในแต่ละจุดมีระดับที่แตกต่างกัน ที่จุด A6 มีความรุนแรงความเครียดสูงสุด ซึ่งเป็นพื้นที่จุดวิกฤติ เนื่องจากรีสมิในการดรอว์น้อย จึงทำให้ชิ้นงานง่ายต่อการฉีกขาดบริเวณนี้ ในการใช้ดรอว์บีดโลหะที่จุด A1 ,

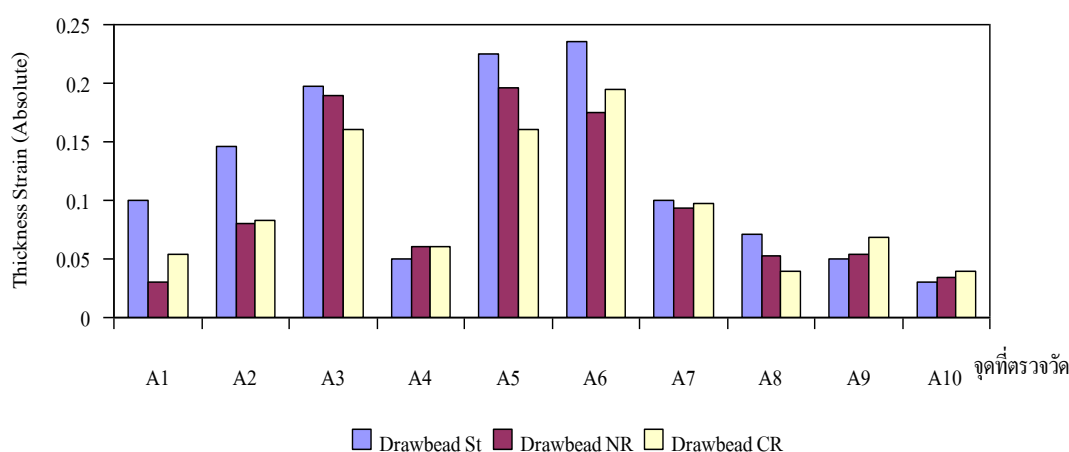
A2 , A3 และ A5 จะมีความเครียดที่เกิดขึ้นสูงกว่าใช้ดรอว์ปิดเสริมแรงยาง เพราะว่าชิ้นงานที่ใช้ดรอว์ปิดโลหะกจะมีผนังบางทำให้เกิดความเครียดมากกว่าใช้ดรอว์ปิดเสริมแรงยาง บริเวณจุด A7 , A8 , A9 และ A10 ความเครียดเกิดขึ้นน้อยมาก เพราะว่าเป็นบริเวณขอบปีกชิ้นงาน ที่จุด A4 เป็นจุดศูนย์กลางชิ้นงานเมื่อแรงกดชิ้นงานน้อยทำให้โลหะไหลเข้าไปสู่จุดนั้นทำให้บริเวณนั้นมีความหนาที่เปลี่ยนแปลงน้อย ความเครียดจึงเกิดขึ้นน้อย

จากผลการทดลองเปรียบเทียบความเครียดหน้าชิ้นงานในการใช้ดรอว์ปิดแต่ละชนิดที่แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบความเครียดในการใช้ดรอว์ปิดแต่ละชนิดที่แรงกดชิ้นงาน 30 %

ชนิดดรอว์ปิด	บริเวณจุดที่เกิดความเครียดสูงสุด	ค่าความเครียดสูงสุด
ดรอว์ปิดโลหะ	A6	0.185
ดรอว์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติ	A6	0.171
ดรอว์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์	A5 , A6	0.172

2) ค่าความเครียดชิ้นงานแต่ละจุดในการใช้ดรอว์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 50 % ดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความเครียดแนวความหนาชิ้นงานในแต่ละจุด ที่แรงกด 50 %

จากรูปที่ 4.24 เป็นกราฟแสดงความเครียด จากความหนาของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงในการใช้ดรอว์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ จะพบว่าระดับความเครียดในแต่ละจุดมีระดับที่แตกต่างกัน ที่จุด A6 มีความรุนแรงความเครียดสูงสุด ซึ่งเป็นพื้นที่จุดวิกฤติ เนื่องจากมี

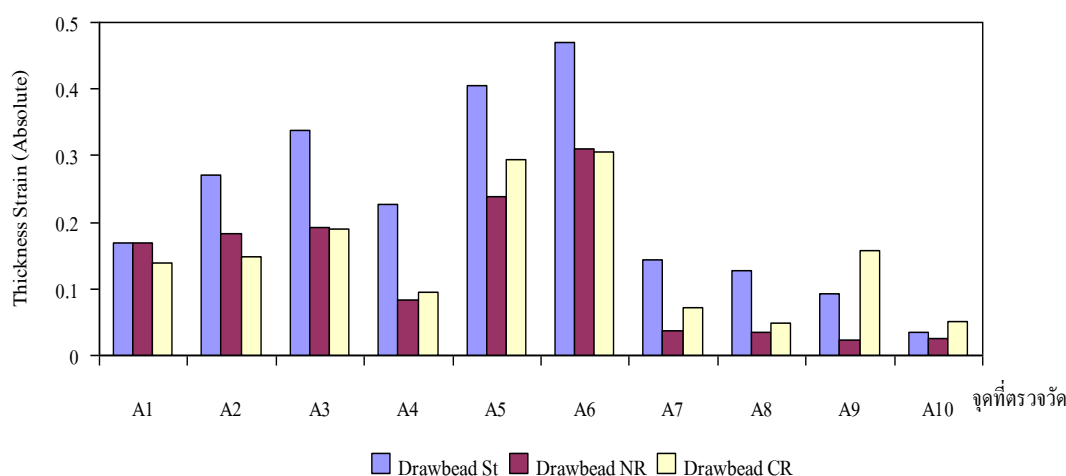
รัศมีในการดรอว์น้อย จึงทำให้ชิ้นงานลักษณะบริเวณนี้ ในการใช้ดรอว์บีดโลหะที่จุด A1 , A2 , A3 , A5 , A6 , A7 , และ A8 จะมีความเครียดที่เกิดขึ้นสูงกว่าใช้ดรอว์บีดชนิดอื่น เพราะว่าเมื่อแรงกดชิ้นงานที่สูงขึ้นดรอว์บีดโลหะควบคุมการไหลตัวของชิ้นงานเข้าไปในคาย ทำให้ชิ้นงานมีผนังบาง ความเครียดเลยเกิดขึ้นมากกว่าดรอว์บีดชนิดอื่น เมื่อเปลี่ยนมาใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ และดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ พบว่าความเครียดยังมีระดับใกล้เคียงกับการใช้แรงกดชิ้นงานที่ 30 เปอร์เซ็นต์อยู่ บริเวณจุด A7 , A8 , A9 และ A10 ความเครียดเกิดขึ้นน้อยมาก เพราะว่า เป็นบริเวณขอบปีกชิ้นงาน ที่จุด A4 เป็นจุดศูนย์กลางชิ้นงานเมื่อแรงกดชิ้นงานน้อยทำให้โลหะไหลเข้าไปสู่จุดนั้นทำให้บริเวณนั้นมีความหนาที่เปลี่ยนแปลงน้อย ความเครียดจึงเกิดขึ้นน้อย

จากผลการทดลองเปรียบเทียบความเครียดหน้าชิ้นงานในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิดที่แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบความเครียดในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิดที่แรงกดชิ้นงาน 50 %

ชนิดดรอว์บีด	บริเวณจุดที่เกิดความเครียดสูงสุด	ค่าความเครียดสูงสุด
ดรอว์บีดโลหะ	A6	0.236
ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ	A5	0.196
ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์	A6	0.195

3) ค่าความเครียดชิ้นงานแต่ละจุดในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 70 % ดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความเครียดแนวความหนาชิ้นงานในแต่ละจุด ที่แรงกด 70 %

จากรูปที่ 4.25 เป็นกราฟแสดงความเครียด จากความหนาของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซนต์ จะพบว่าระดับความเครียดในแต่ละจุดมีระดับที่แตกต่างกัน เมื่อแรงกดชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้นทำให้ความสามารถการไหลตัวของโลหะลดลง เพราะเกิดการขึ้นรูปแบบดึงยืด ทำให้ความหนาผนังของชิ้นงานลดลง ที่จุด A6 มีความรุนแรงความเครียดสูงสุด ซึ่งเป็นพื้นที่จุดวิกฤติ เนื่องจากมีรัศมีในการดรอร์น้อย จึงทำให้ชิ้นงานลักษณะบริเวณนี้ ในการใช้ดรอร์ปิดโลหะจะพบความรุนแรงความเครียดที่จุด A1 ถึง A8 สูงกว่าดรอร์ปิดชนิดอื่น และจุดตรวจ A9 และ A10 จะเห็นว่าความเครียดสูงเป็นของการใช้ดรอร์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์

จากผลการทดลองเปรียบเทียบความเครียดหนาชิ้นงานในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิดที่แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบความเครียดในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิดที่แรงกดชิ้นงาน 70 %

ชนิดดรอร์ปิด	บริเวณจุดที่เกิดความเครียดสูงสุด	ค่าความเครียดสูงสุด
ดรอร์ปิดโลหะ	A6	0.469
ดรอร์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติ	A6	0.311
ดรอร์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์	A6	0.306

4.2.3 วิเคราะห์คุณภาพชิ้นงานหลังการขึ้นรูป

1) คุณภาพชิ้นงานในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซนต์

ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป ที่แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซนต์ของแรงลากขึ้นรูป ในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด จะพบว่าชิ้นงานเกิดรอยย่นที่บริเวณขอบปีกชิ้นงานและตรงผนังด้านข้างเล็กน้อยความถี่ของการย่นมีมาก และขนาดความหนาของชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ทำให้ความเครียดที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน จากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าความความเครียดของชิ้นงานมีค่าน้อยเนื่องจากมีแรงกดชิ้นงานต่ำ ในการใช้ดรอร์ปิดโลหะ ดรอร์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติ และดรอร์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์ ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพผิวชิ้นงานและรอยย่นใกล้เคียงกัน

2) คุณภาพชิ้นงานในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซนต์

ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป ที่แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซนต์ของแรงลากขึ้นรูป ในการใช้ดรอร์ปิดโลหะ พบว่าชิ้นงานไม่เกิดรอยย่นที่ผนังชิ้นงานและขอบปีกชิ้นงาน เนื่องจากแรงกดชิ้นงานมีความเหมาะสมกับการขึ้นรูป แต่ที่ระยะลัดสุดของชิ้นงานบริเวณนี้จะมีขนาดความหนาลดลง ที่จุด A3 จากรูปที่ 2.24 จะเห็นได้ว่ามีค่าความเครียดเกิดขึ้นสูง และตรงที่ชิ้นงานมีรัศมีในการ

ดรอร์น้อย ที่จุด A5 และ A6 จะทำให้ชิ้นงานง่ายต่อการฝึกหัดบริเวณนี้ แต่ในขณะที่ใช้ดรอร์ปิดเสริมแรงยางนั้น พบว่าชิ้นงานเกิดการรอย่นที่ขอบปีกชิ้นงาน ความถี่การเกิดรอย่นลดลง และไม่เกิดการฝึกหัด ความเครียดที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยกว่าการใช้ดรอร์ปิดโลหะ ในการใช้ดรอร์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ ชิ้นงานที่ได้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน

3) คุณภาพชิ้นงานในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์

ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป ที่แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ของแรงลากขึ้นรูป ในการใช้ดรอร์ปิดโลหะ พบว่าชิ้นงานเกิดการฝึกหัดบริเวณกันด้วยชิ้นงาน เพราะว่าปริมาณแรงกดชิ้นงานที่สูงกดลงที่ดรอร์ปิดทำให้โลหะไม่สามารถไหลเข้าสู่ช่องคายได้ ทำให้เกิดความรุนแรงของการเปลี่ยนรูปวัสดุ เกิดความเค้นสูงสุดทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย จากรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าในการใช้ดรอร์ปิดโลหะจะมีค่าความเครียดสูงสุด แต่ในขณะที่ใช้ดรอร์ปิดเสริมแรงยางนั้น พบว่าชิ้นงานไม่เกิดรอย่นที่ขอบปีกและผนังชิ้นงาน ที่ระยะลัดสุดของชิ้นงานบริเวณนี้จะมีขนาดความหนาลดลง ที่จุด A3 จากรูปที่ 2.25 จะเห็นได้ว่ามีค่าความเครียดเกิดขึ้นสูงกว่าการใช้ดรอร์ปิดชนิดอื่น และตรงที่ชิ้นงานมีรัศมีในการดรอร์น้อย ที่จุด A5 และ A6 เกิดความเครียดสูงสุด จะทำให้ชิ้นงานง่ายต่อการฝึกหัดบริเวณนี้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลิค โดยการประยุกต์ใช้ดรอว์บีคอย่างเสริมแรง ขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นเหล็ก SPCC ที่มีความหนา 1.0 มม. รูปทรงไม่สมมาตร เพื่อศึกษาอิทธิพลของแรงที่แผ่นกดขึ้นงาน โดยเปรียบเทียบจากเปอร์เซ็นต์ของแรงลากขึ้นรูป แรงกดขึ้นงานใช้เท่ากับ 30% , 50% และ 70% ของแรงที่ใช้เพื่อขึ้นรูปลิค ศึกษาอิทธิพลของชนิดดรอว์บีคที่ทำจากโลหะ ดรอว์บีคที่เสริมยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ที่มีรูปทรงไม่สมมาตรภายใต้สภาวะต่างๆ แล้ววัดแรงลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงาน วัดขนาดการเปลี่ยนรูปความหนาของชิ้นงานจะได้ค่าความเครียดที่เกิดขึ้น

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้ดรอว์บีคแต่ละชนิด ภายใต้สภาวะแรงกดขึ้นงาน 30% , 50% และ 70 % ของแรงลากขึ้นรูป สามารถสรุปได้โดยย่อดังนี้

5.1.1 การใช้ดรอว์บีคโลหะ

1) แรงกดขึ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ จะใช้แรงในการลากขึ้นรูปชิ้นงานที่ระดับ 135.9 kN ค่าความเครียด (Strain) สูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.185 ชิ้นงานเกิดรอยยับขอบปีกชิ้นงาน

2) แรงกดขึ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ จะใช้แรงในการลากขึ้นรูปชิ้นงานที่ระดับ 190.02 kN เมื่อแรงกดขึ้นงานเพิ่มขึ้น แรงในการลากขึ้นรูปจึงเพิ่มสูงตาม ค่าความเครียด (Strain) สูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.236 ชิ้นงานไม่เกิดรอยยับ

3) แรงกดขึ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ แรงในการลากขึ้นรูปชิ้นงานขึ้นสูงที่ระดับ 162 kN เกิดความรุนแรงของการเปลี่ยนรูปวัสดุชิ้นงานเกิดการฉีกขาด เมื่อแรงกดขึ้นงานเพิ่มขึ้น แรงในการลากขึ้นรูปจึงเพิ่มสูงตาม ค่าความเครียด (Strain) สูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.469 ชิ้นงานฉีกขาด

การใช้ดรอว์บีคโลหะกดขึ้นงาน แรงกดขึ้นงานที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ของแรงลากขึ้นรูป ถ้าใช้แรงกดขึ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดแต่ในขณะเดียวกัน ในทางกลับกัน ถ้าใช้แรงกดขึ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ แรงกดไม่เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยยับบริเวณขอบปีกชิ้นงาน

5.1.2 การใช้ครอว์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติ

1) แรงกดขึ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ จะใช้แรงในการลากขึ้นรูปขึ้นงานที่ระดับ 117.37 kN ค่าความเครียด (Strain) สูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.171 ขึ้นงานเกิดรอยยับขอบปีกและผนังด้านข้างขึ้นงาน

2) แรงกดขึ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ จะใช้แรงในการลากขึ้นรูปขึ้นงานที่ระดับ 160.6 kN เมื่อแรงกดขึ้นงานเพิ่มขึ้น แรงในการลากขึ้นรูปจึงเพิ่มสูงตาม ค่าความเครียด (Strain) สูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.196 ขึ้นงานเกิดรอยยับขอบปีกขึ้นงาน

3) แรงกดขึ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ จะใช้แรงในการลากขึ้นรูปขึ้นงานที่ระดับ 200.1 kN เมื่อแรงกดขึ้นงานเพิ่มขึ้น ครอว์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติสามารถควบคุมการไหลตัวของขึ้นงานได้ดีขึ้น ค่าความเครียด (Strain) สูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.311 ขึ้นงานไม่เกิดรอยยับ

การใช้ครอว์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติกดขึ้นงาน แรงกดขึ้นงานที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปขึ้นงานที่ระดับ 70 เปอร์เซ็นต์ของแรงลากขึ้นรูป ถ้าใช้แรงกดขึ้นงานน้อยกว่านี้ ที่ระดับ 50 และ 30 เปอร์เซ็นต์ แรงกดไม่เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ทำให้ขึ้นงานเกิดรอยยับบริเวณขอบปีกขึ้นงาน ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นน้อยกว่าใช้ครอว์ปิดโลหะ

5.1.3 การใช้ครอว์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์

1) แรงกดขึ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์ จะใช้แรงในการลากขึ้นรูปขึ้นงานที่ระดับ 129.4 kN ค่าความเครียด (Strain) สูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.172 ขึ้นงานเกิดรอยยับขอบปีกและผนังด้านข้างขึ้นงาน

2) แรงกดขึ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ จะใช้แรงในการลากขึ้นรูปขึ้นงานที่ระดับ 143.97 kN เมื่อแรงกดขึ้นงานเพิ่มขึ้น แรงในการลากขึ้นรูปจึงเพิ่มสูงตาม ค่าความเครียด (Strain) สูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.195 ขึ้นงานเกิดรอยยับขอบปีกขึ้นงาน

3) แรงกดขึ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ จะใช้แรงในการลากขึ้นรูปขึ้นงานที่ระดับ 201.9 kN เมื่อแรงกดขึ้นงานเพิ่มขึ้น ครอว์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์สามารถควบคุมการไหลตัวของขึ้นงานได้ดีขึ้น ค่าความเครียด (Strain) สูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.306 ขึ้นงานไม่เกิดรอยยับ

การใช้ครอว์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์กดขึ้นงาน แรงกดขึ้นงานที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปขึ้นงานที่ระดับ 70 เปอร์เซ็นต์ของแรงลากขึ้นรูป ถ้าใช้แรงกดขึ้นงานน้อยกว่านี้ ที่ระดับ 50 และ 30 เปอร์เซ็นต์ แรงกดไม่เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ทำให้ขึ้นงานเกิดรอยยับบริเวณขอบปีกขึ้นงานและผนังด้านข้าง ผลของกราฟเห็นได้ว่าการไหลตัวของโลหะได้ไม่ด้นัก

การใช้ครอว์ปิดโลหะที่ระดับแรงกดขึ้นงาน (Blank holder force) 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงลากขึ้นรูปเล็ก มีความเหมาะสมในการลากขึ้นรูปขึ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร แรงที่ใช้ลากขึ้นรูปขึ้นงานที่

มีคุณภาพอยู่ในระดับที่ไม่สูงมาก ความหนาของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ความเครียดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยตามด้วย จึงเป็นผลการทดลองที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การวางครอว์บีคอาจใช้สองแถวหรือวางในตำแหน่งบริเวณขอบที่เป็นรัศมีโค้ง

5.2.2 ขั้นตอนการประกอบแม่พิมพ์และการติดตั้งบนเครื่องเพรสเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก ควรมีความระมัดระวัง รอบคอบอยู่เสมอ

5.2.3 ในการวางตำแหน่งชิ้นงานในการขึ้นรูปให้ตรงกับศูนย์กลางของพื้นที่

5.2.4 ทดสอบครอว์บีคเสริมแรงเข้ากับสารหล่อลื่นชนิดอื่น

5.2.5 ควรทำการศึกษาลักษณะยางชนิดอื่นๆ เพื่อเป็นข้อมูลงานวิจัยในการพัฒนาต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] ชาญชัย ทรัพย์ากร. 2537. การออกแบบแม่พิมพ์. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [2] กิตติภักดิ์ รัตนจันทร์. 2542. “ผลกระทบจากครอว์ปัดในการขึ้นรูปโลหะแผ่น.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [3] เชษฐ อุทัยยัง. 2546. “การศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการลากขึ้นรูปลึกโดยใช้สารหล่อลื่น.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [4] F.Mehmet, An Analysis of Sheet Drawing Characteristic with Drawbead Element, Computation, MaterialsScience Vol.41 (3), 2008, Pages 266-274.
- [5] บุญส่ง จงกลณี. 2552. “การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการขึ้นรูปลึกขึ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรต่อสมบัติการขึ้นรูปของเหล็ก SPCC.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [6] ทวีภัทร์ บุรณศิริ. 2550. “การออกแบบการขึ้นรูปขึ้นส่วนขวางยึดเครื่องยนต์โดยการวิเคราะห์การบิดงอและรอยย่น.” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [7] M.Samuel, Influence of drawbead geometry on sheet metal forming, Journal Materials Processing Technology.
- [8] H. Naceur, Y.Q. Guo, J. L. Batoz and C.Knopf-Lenoir, Optimization of drawbead restraining forces and drawbead design in sheet metal forming process, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 43 (10), 2001, Pages 2407-2434.
- [9] B.Y. Ghoo and Y.T. Keum, Expert drawbead models for sectional FEM analysis of sheet metal forming processes, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 105 (1-2), 2000, Pages 7-16 .
- [10] R.Li, M.L. Bohn, K.J. Weinmann and A. Chandra, A Study of the Optimization of Sheet Metal Drawing with Active Drawing, Journal of Manufacturing Processes, Vol. 2 (4), 2000, Pages 205- 216.
- [11] วีรศักดิ์ กรัยวิเชียร. 2544. น้ำมันหล่อลื่น. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 1-7.
- [12] ธเนศ เมฆฉาย และคณะ. 2539. “ทฤษฎีการขึ้นรูปลึก.” สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรม

เครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

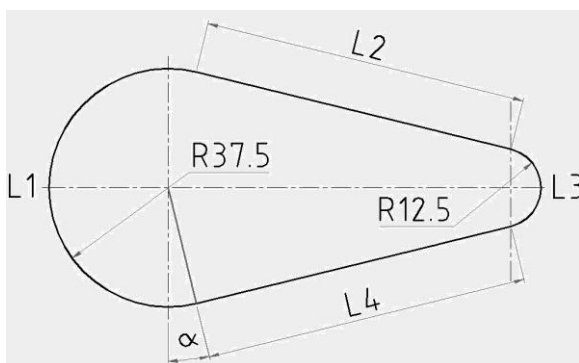
- [13] สวัสดิ์ โสตามุก. 2550. “การทำนายความสามารถในการขึ้นรูปขึ้นส่วนยานยนต์ด้วยแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [14] คมสันต์ งามขำ. 2550. “ขีดจำกัดการขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิต์ SUS 304 จากการเปลี่ยนความหนา” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [15] <http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/NR.htm>
- [16] <http://www.rubbergreen.co.th/>
- [17] พงษ์ธร แซ่อูย. 2548. ยาง : ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).

ภาคผนวก ก

การคำนวณ

ก.1 การคำนวณแรงขึ้นรูปลึก

แรงในการขึ้นรูปสามารถหาได้จากสมการที่ 2.3 มีการคำนวณโดยการประมาณค่าดังแสดงวิธีดังนี้ [9]



รูปที่ ก.1 เส้นรอบรูปขึ้นงานหาความยาว L_t (L Total) [9]

เมื่อ L_2 กับ L_4 เป็นเส้นตรงที่มีขนาดเท่ากันและ L_1 กับ L_3 เป็นเส้นโค้ง $R_1 = 37.5$ มม. $R_2 = 12.5$ มม. ตามลำดับเพื่อหาค่ามุม α

$$\sin \alpha = \frac{R_1 + R_2}{105}$$

แทนค่าในสมการ

$$\sin \alpha = \frac{37.5 + 12.5}{105} = \frac{25}{105}$$

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{25}{105} = 13.77 \text{ องศา}$$

$$\begin{aligned} L_2 = L_4 &= 105 \cos \alpha \\ &= 105 \cos 13.77 \end{aligned}$$

$$L_2 = L_4 = 102 \text{ mm.}$$

หาค่า L_1 และ L_3 ที่สัมผัสส่วนโค้งของ R_1 และ R_2

$$L_1 = \frac{\pi(180 + 2\alpha)R_1}{180}$$

$$L_1 = \frac{\pi(180 + 2 \times 13.77) \times 37.5}{180}$$

$$L_1 = 135.8 \text{ mm.}$$

$$L1 = \frac{\pi(180 + 2\alpha)R2}{180}$$

$$L3 = \frac{\pi(180 + 2 \times 13.77) \times 12.5}{180}$$

$$L3 = 33.3 \text{ mm.}$$

$$Lt = L1 + L2 + L3 + L4$$

$$Lt = 135.8 + 102 + 102 + 33.3$$

$$Lt = 373.1 \text{ mm.}$$

แทนค่าในสมการที่ 2.00 $Fd = \frac{241 + 321}{2} \times 373.1 \times 1.0$

$$Fd = \frac{104841}{1000} \text{ N หรือ } = 104.84 \text{ kN}$$

ก.2 แรงกดยึดแผ่นชิ้นงาน

แรงกดยึดแผ่นชิ้นงานสามารถหาได้จากสมการที่ 2.4 และ 2.5 ดังนี้ [9]

หาค่า $h = \sqrt{105^2 - (37.5 - 12.5)^2} = 101.98$

mm.

$$Ao = \frac{207.54}{360} \pi (75)^2 + \frac{152.46}{360} \pi (38)^2 + \frac{87 + 48}{2} 101.98 + \frac{81 + 46}{2} 101.98$$

$$Ao = 25468.17 \text{ mm}^2$$

$$Ast = \frac{207.54}{360} \pi (37.5)^2 + \frac{154.46}{360} \pi (12.5)^2 + 2 \left[\frac{37.5 + 12.5}{2} 101.98 \right]$$

$$Ast = 7853.78 \text{ mm}^2$$

คำนวณค่า k, m ของวัสดุ SPCC

$$k = \frac{1 + (r_{\max} - r_{\min})}{r_m n_m} 0.49 \times 10^{-3}$$

$$m = 1 + \left[\frac{d_{f_0}}{t_o} - 175 \right] \frac{0.17}{100}$$

ค่าคุณสมบัติของวัสดุ SPCC ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E517-92 [9]

$$r_m = \frac{(r_0 + 2r_{45} + r_{90})}{4}$$

$$r_m = \frac{(0.89 + 2(0.699) + 1.102)}{4}$$

$$r_m = 0.848$$

$$r_{\max} = 1.102$$

$$r_{\min} = 0.699$$

$$n_m = \frac{(n_0 + 2n_{45} + n_{90})}{4}$$

$$n_m = 0.184$$

หาค่า n ตามมุมใดๆ จากสมการที่ 2.15

จากสมการเส้นตรงของข้อมูลคู่ระหว่างแรงกับความเครียด F, ε

$$k = \left[\frac{1 + (1.102 - 0.699)}{0.848 \times 0.180} \right] 0.49 \times 10^{-3}$$

$$k = 4.5038 \times 10^{-3}$$

d_{fo} , (The fictitious equivalent punch diameter)

$$d_{fo} = \sqrt{\frac{4A_{st}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(7854)}{\pi}} = 100 \text{ mm}$$

ค่าตัวแปรของวัสดุ m

$$m = 1 + \left[\frac{100}{1} - 175 \right] \frac{0.17}{100}$$

$$m = 0.87$$

แรงกดที่ F_{NA} แผ่นกดชิ้นงาน (BHF)

$$P_{NA} = (4.5038 \times 10^{-3})(0.87) \times \left(\frac{25468}{7854} - 1 \right) \times 321$$

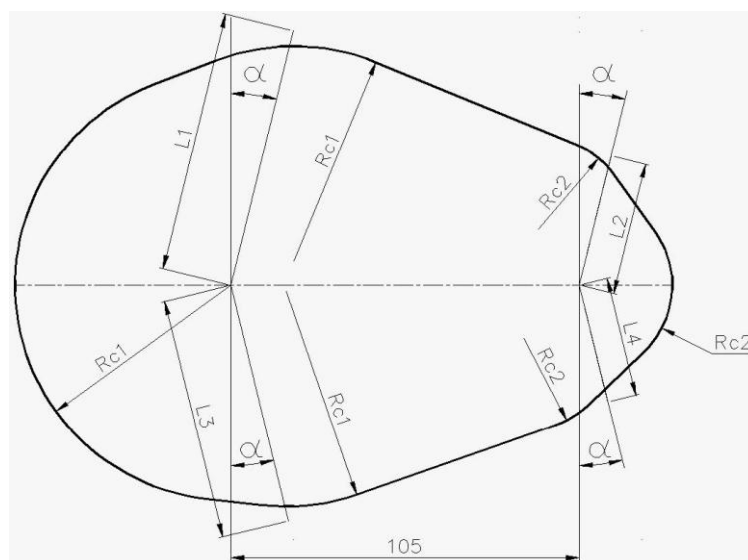
$$P_{NA} = 2.8208 \text{ N/mm}^2$$

$$\therefore \text{ BHF จาก } F_{NA} = P_{NA}(A_o - A_{st})$$

$$F_{NA} = 2.8208(25468 - 7854)$$

$$F_{NA} = 49685.57 \text{ N หรือ } \cong 49.6 \text{ kN}$$

ก.3 ขนาดของแผ่นขึ้นงาน



รูปที่ ก.2 การคำนวณแผ่นตัดเปล่า [9]

หาค่า รัศมี $Rc1$ จากสมการ
เมื่อกำหนดให้

$$D1 = \sqrt{d^2 + (d + 2a)^2 + 4d(h - 0.43r)}$$

$$d = 75 \text{ mm.}$$

$$h = 15 \text{ mm.}$$

$$a = 5 \text{ mm.}$$

$$r = 4 \text{ mm.}$$

แทนค่า

$$D1 = \sqrt{75^2 + (75 + 2(5))^2 + 4(75)(15 - 0.43(4))}$$

$$= 129.75 \text{ mm.}$$

$$Rc1 = \frac{D1}{2} = \frac{129.75}{2} = 64.88 \cong 65 \text{ mm.}$$

หาค่า รัศมี $Rc2$

$$D2 = \sqrt{25^2 + (25 + 2(5))^2 + 4(25)(15 - 0.43(4))}$$

$$= 56.37 \text{ mm.}$$

เมื่อกำหนดให้

$$d = 25 \text{ mm.}$$

$$h = 15 \text{ mm.}$$

$$a = 5 \text{ mm.}$$

$$r = 4 \text{ mm.}$$

$$Rc2 = \frac{D2}{2} = \frac{56.37}{2} = 28.19 \cong 28 \text{ mm.}$$

หาค่าความยาว $L1$ และ $L2$

$$L1 = \frac{\pi}{2} R1 + (h - r) + \frac{\pi}{2} r + (a - r)$$

เมื่อกำหนดให้ $R1 = 37.5 \text{ mm.}$

$$h = 15 \text{ mm.}$$

$$a = 5 \text{ mm.}$$

$$r = 4 \text{ mm.}$$

แทนค่าตัวแปรในสมการเพื่อหาค่า $L1$

$$L1 = \frac{\pi}{2} (37.5) + (15 - 4) + \frac{\pi}{2} (4) + (5 - 4)$$

$$L1 = 77.16 \cong 77 \text{ mm.}$$

$$L2 = \frac{\pi}{2} R2 + (h - r) + \frac{\pi}{2} r + (a - r)$$

เมื่อกำหนดให้ $R1 = 12.5 \text{ mm.}$

$$h = 15 \text{ mm.}$$

$$a = 5 \text{ mm.}$$

$$r = 4 \text{ mm.}$$

$$L2 = \frac{\pi}{2} (12.5) + (15 - 4) + \frac{\pi}{2} (4) + (5 - 4)$$

$$L2 = 37.91 \cong 38 \text{ mm.}$$

หาค่าความยาว $L3$ และ $L4$

$$L3 = 2R1 \sin 45 + (h - r) + \frac{\pi}{2} r + (a - r)$$

เมื่อกำหนดให้ $R1 = 37.5 \text{ mm.}$

$$h = 15 \text{ mm.}$$

$$a = 5 \text{ mm.}$$

$$r = 4 \text{ mm.}$$

แทนค่าในสมการหาค่า $L3$

$$L3 = 2(37.5) \sin 45 + (15 - 4) + \frac{\pi}{2} (4) + (5 - 4)$$

$$L3 = 71.31 \cong 71 \text{ mm.}$$

$$L4 = 2R2 \sin 45 + (h - r) + \frac{\pi}{2}r + (a - r)$$

เมื่อกำหนดให้ $R1 = 12.5 \text{ mm.}$

$$h = 15 \text{ mm.}$$

$$a = 5 \text{ mm.}$$

$$r = 4 \text{ mm.}$$

แทนค่าในสมการหาค่า $L4$

$$L4 = 2(12.5)\sin 45 + (15 - 4) + \frac{\pi}{2}(4) + (5 - 4)$$

$$L4 = 35.95 \cong 36 \text{ mm.}$$

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการทดลอง

ข.1 แรงลากขึ้นรูปชิ้นงานสูงสุด

ตารางที่ ข.1 ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดใช้ครอร์บีดชนิดโลหะ

แรงกดขึ้นงานต่อแรงขึ้นรูป	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ค่าเฉลี่ย (kN)
30 เปอร์เซนต์ (31.45kN)	134.2	132.76	135.9	131.62	134.84	134.06
50 เปอร์เซนต์ (52.42kN)	188.56	190.2	189.51	187.36	186.7	188.46
70 เปอร์เซนต์ (73.39kN)	157.3	160.9	162	154.6	160.58	159.07

ตารางที่ ข.2 ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดใช้ครอร์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ

แรงกดขึ้นงานต่อแรงขึ้นรูป	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ค่าเฉลี่ย (kN)
30 เปอร์เซนต์ (31.45kN)	112.86	113.1	115.38	112.54	117.37	114.25
50 เปอร์เซนต์ (52.42kN)	158.45	160.6	159.12	157.5	158.1	158.754
70 เปอร์เซนต์ (73.39kN)	194.8	197.26	195.64	200.1	192.4	196.04

ตารางที่ ข.3 ตารางบันทึกแรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกดใช้ครอร์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์

แรงกดขึ้นงานต่อแรงขึ้นรูป	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ค่าเฉลี่ย (kN)
30 เปอร์เซนต์ (31.45kN)	129.4	127.59	124.76	128.3	125.48	127.1
50 เปอร์เซนต์ (52.42kN)	141.25	143.1	142.68	143.97	140.9	142.38
70 เปอร์เซนต์ (73.39kN)	195.3	198.75	201.9	200.04	199.67	199.32

ข.2 ความเครียดในแนวความหนาของชิ้นงานในแต่ละจุดตรวจวัด

ตารางที่ ข.4 ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของครอว์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 30 เปอร์เซ็นต์

จุดตรวจ	ครอว์ปิดโลหะ		ครอว์ปิดเสริมยางธรรมชาติ		ครอว์ปิดเสริมยางสังเคราะห์	
	ความหนาชิ้นงาน	ค่าความเครียด	ความหนาชิ้นงาน	ค่าความเครียด	ความหนาชิ้นงาน	ค่าความเครียด
A1	0.8566	0.154	0.8706	0.138	0.9558	0.045
A2	0.8674	0.142	0.8914	0.114	0.9568	0.044
A3	0.8446	0.168	0.8574	0.153	0.8396	0.174
A4	0.964	0.036	0.9236	0.079	0.9564	0.035
A5	0.8336	0.182	0.8458	0.167	0.8418	0.172
A6	0.306	0.185	0.8422	0.171	0.8418	0.172
A7	0.9796	0.023	0.9572	0.043	0.9386	0.063
A8	0.9702	0.03	0.9328	0.069	0.9626	0.038
A9	0.984	0.016	0.9618	0.038	0.953	0.048
A10	0.9662	0.029	0.9702	0.03	0.905	0.099

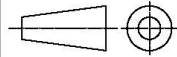
ตารางที่ ข.5 ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของดรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์

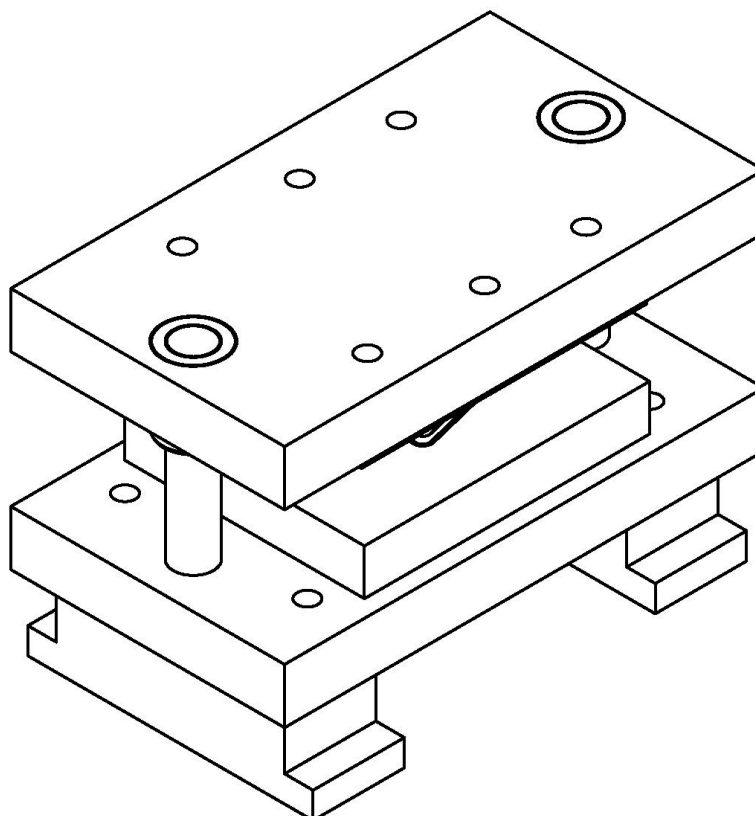
จุด ตรวจ	ดรอร์ปิดโลหะ		ดรอร์ปิดเสริมยาง ธรรมชาติ		ดรอร์ปิดเสริมยาง สังเคราะห์	
	ความหนา ชิ้นงาน	ค่า ความเครียด	ความหนา ชิ้นงาน	ค่า ความเครียด	ความหนา ชิ้นงาน	ค่า ความเครียด
A1	0.9042	0.1	0.9658	0.03	0.9468	0.054
A2	0.8636	0.146	0.92	0.08	0.9198	0.083
A3	0.82	0.198	0.8266	0.19	0.8302	0.16
A4	0.951	0.05	0.948	0.06	0.9404	0.061
A5	0.798	0.225	0.822	0.196	0.8302	0.16
A6	0.7894	0.236	0.8155	0.175	0.8224	0.195
A7	0.8741	0.1	0.9108	0.093	0.9066	0.098
A8	0.9308	0.071	0.9486	0.052	0.9606	0.04
A9	0.9468	0.05	0.9496	0.054	0.9324	0.069
A10	0.966	0.03	0.9662	0.034	0.9604	0.04

ตารางที่ ข.6 ตารางวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของดรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์

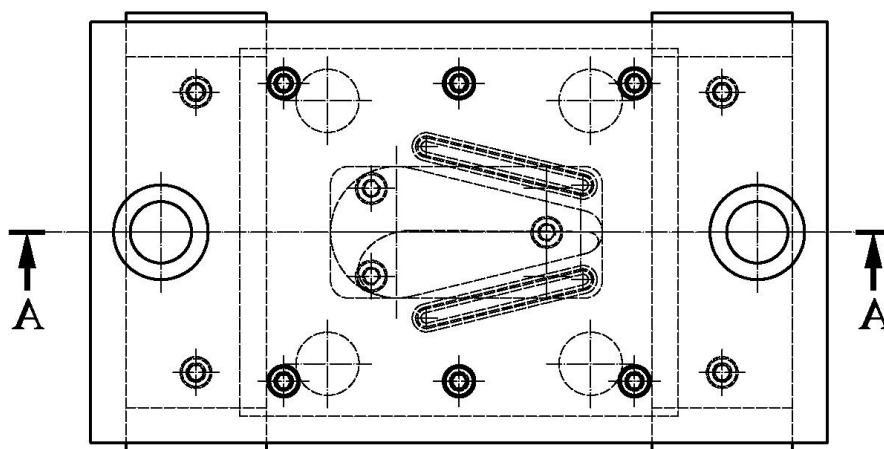
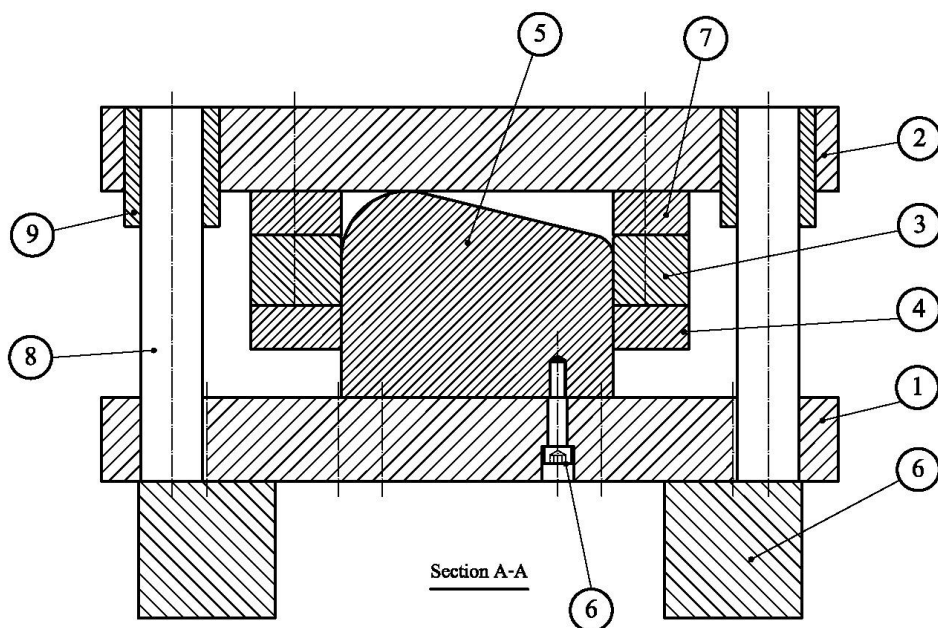
จุด ตรวจ	ดรอร์ปิดโลหะ		ดรอร์ปิดเสริมยาง ธรรมชาติ		ดรอร์ปิดเสริมยาง สังเคราะห์	
	ความหนา ชิ้นงาน	ค่า ความเครียด	ความหนา ชิ้นงาน	ค่า ความเครียด	ความหนา ชิ้นงาน	ค่า ความเครียด
A1	0.8434	0.17	0.8452	0.168	0.8696	0.139
A2	0.762	0.271	0.8334	0.182	0.8624	0.148
A3	0.7128	0.338	0.826	0.191	0.8276	0.189
A4	0.7958	0.228	0.9188	0.084	0.9084	0.096
A5	0.6672	0.404	0.787	0.239	0.7456	0.293
A6	0.6252	0.469	0.732	0.311	0.736	0.306
A7	0.866	0.143	0.9622	0.038	0.9314	0.071
A8	0.879	0.128	0.9654	0.035	0.6516	0.049
A9	0.9116	0.092	0.9778	0.022	0.8536	0.158
A10	0.9662	0.034	0.9736	0.026	0.95	0.05

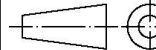
ภาคผนวก ค
แบบขึ้นส่วนแม่พิมพ์

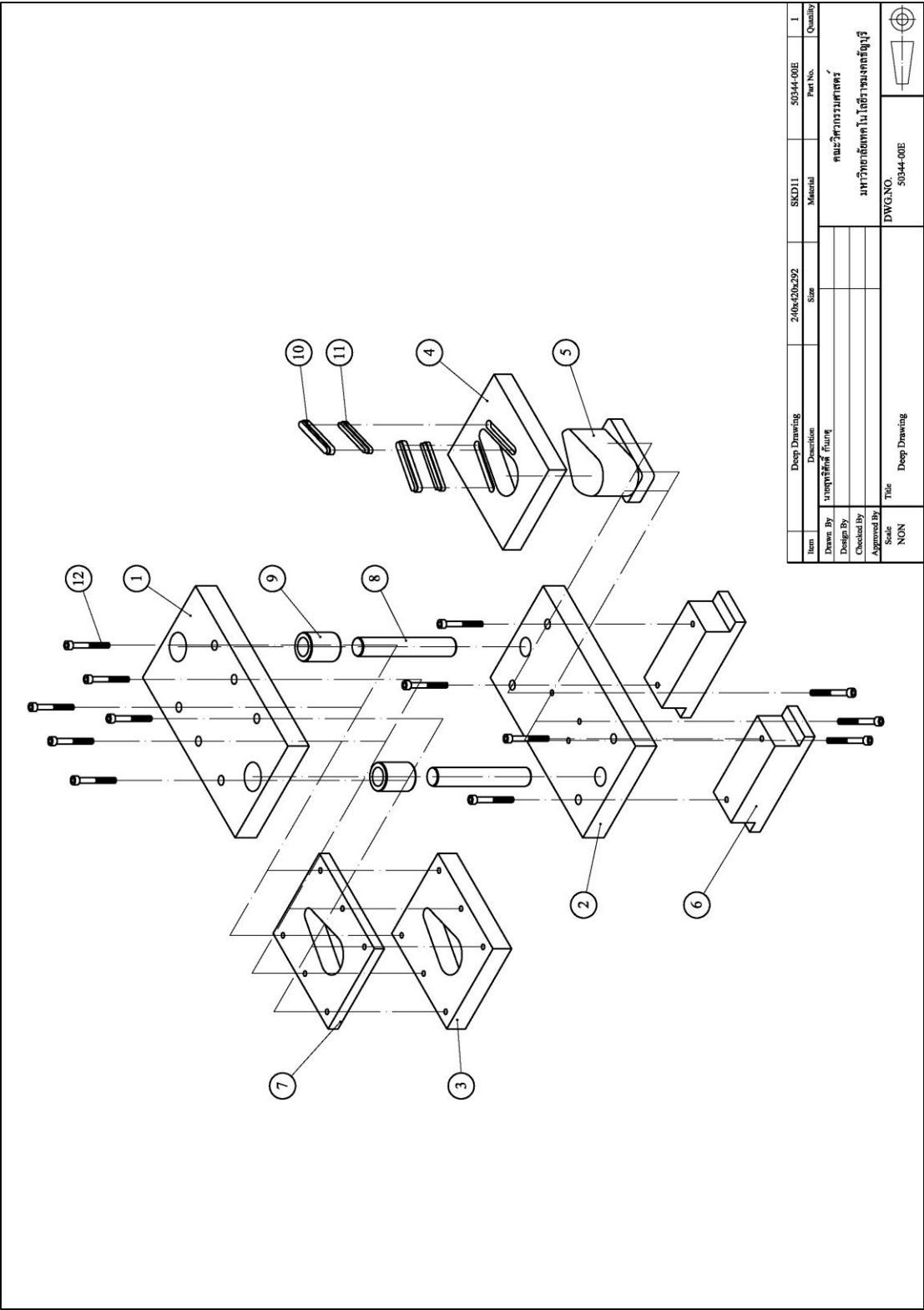
12	Socket Head Hex Screws	M10x1.5x60	-	-	13
11	Drawbead Insert	12x104x16	NBR	50344-11	2
10	Drawbead	16x108x16	S50C	50344-10	2
9	Bush	Ø54x68	SKD11	50344-09	2
8	Guide	Ø35x213.5	SKD11	50344-08	2
7	Pressure Die	210x250x40	S50C	50344-07	1
6	Spacer Block	80x250x78	S50C	50344-06	2
5	Punch From	80x150x118	SKD11	50344-05	1
4	Blank Holder	210x250x40	S50C	50344-04	1
3	Die Plate	210x250x40	SKD11	50344-03	1
2	Punch Holder	240x420x48	SS41	50344-02	1
1	Die Holder	240x420x48	SS41	50344-01	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ท.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน Deep Drawing	หมายเลขแบบ			



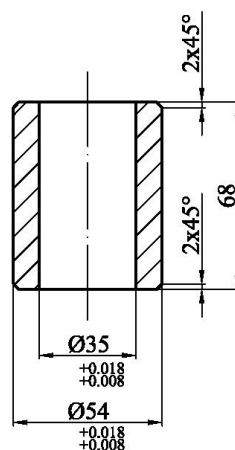
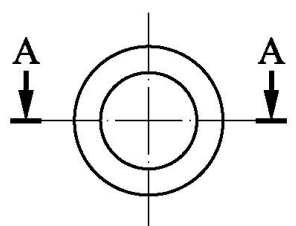
	Deep Drawing	240x420x292	SKD11	50344-00I	1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ข.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน			หมายเลขแบบ	
NON	Deep Drawing			50344-00I	



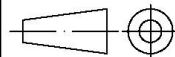
	Deep drawing		240x420x292	SKD11	50344-000	1
ชั้นที่	รายการ		ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ			คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ						
ผู้ตรวจ						
ผู้ตรวจ ม.ช.						
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน			หมายเลขแบบ	50344-000	
NON	Deep drawing					

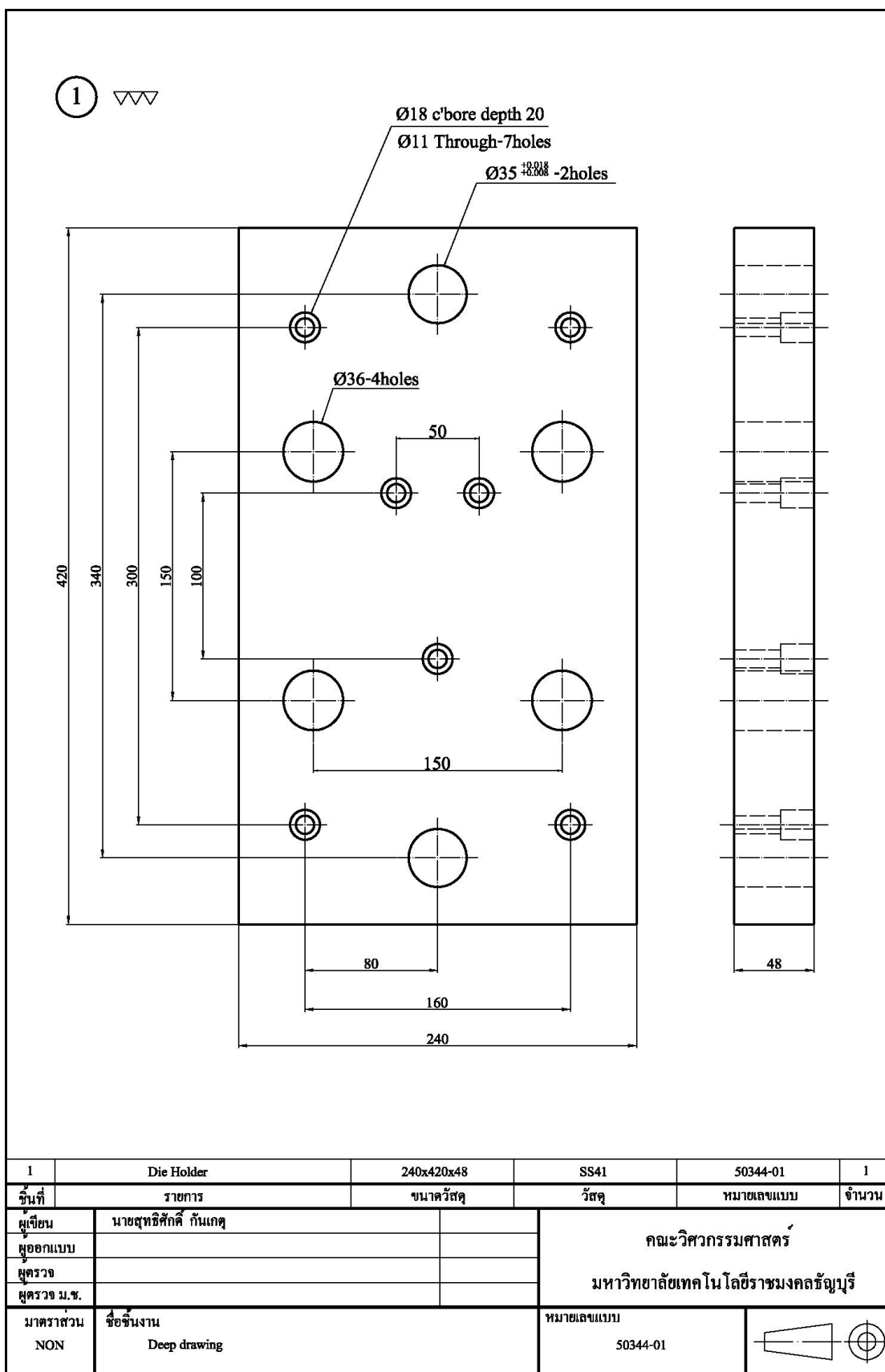


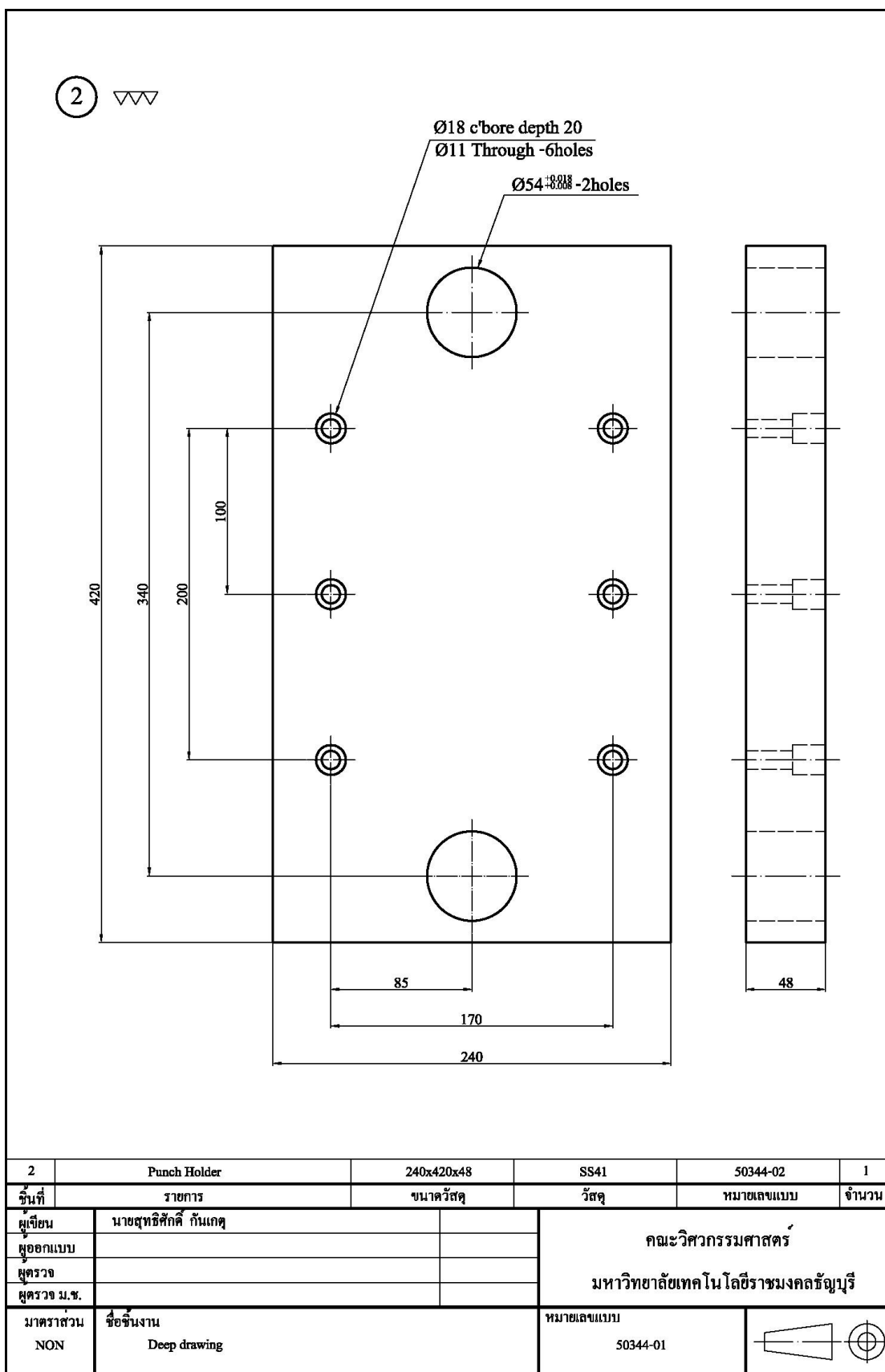
9 

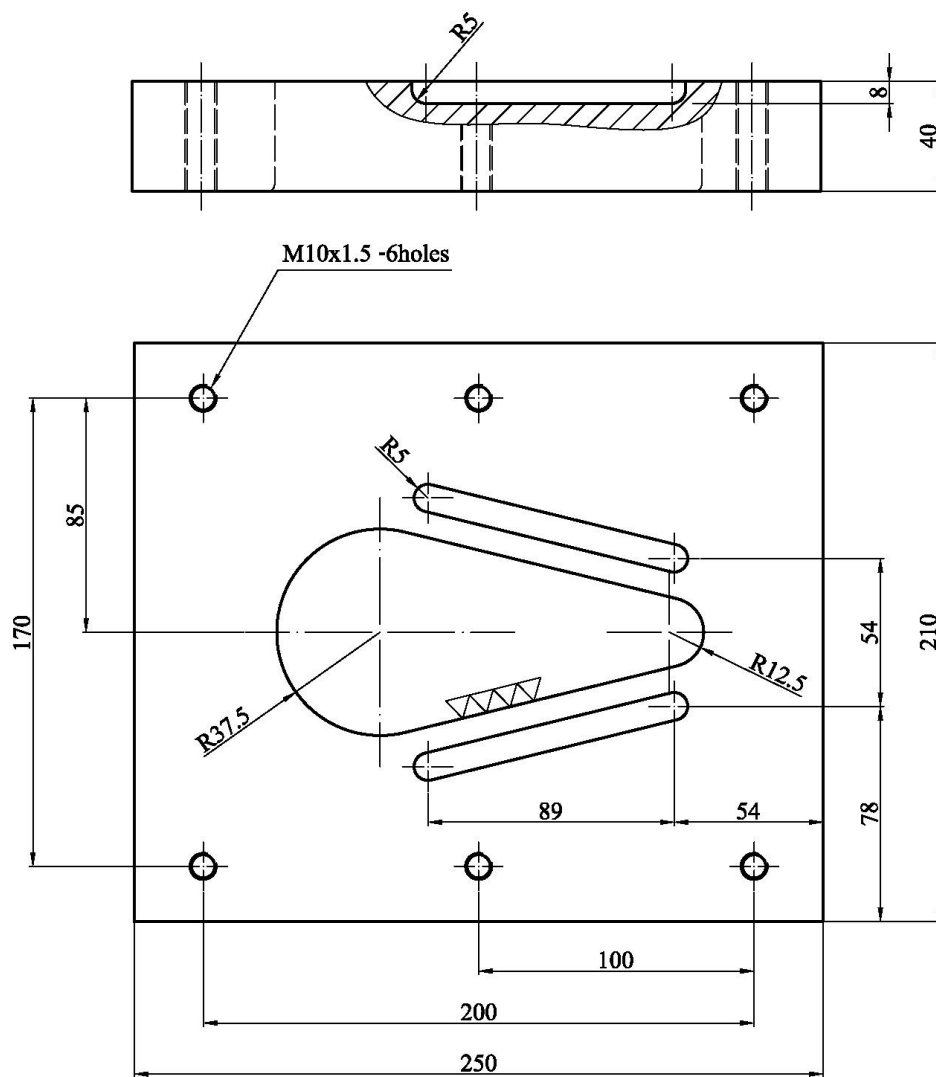


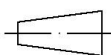
Section A-A

9	Bush	Ø54x68	S50C	50344-09	2
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ข.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
NON	Deep drawing	50344-09			

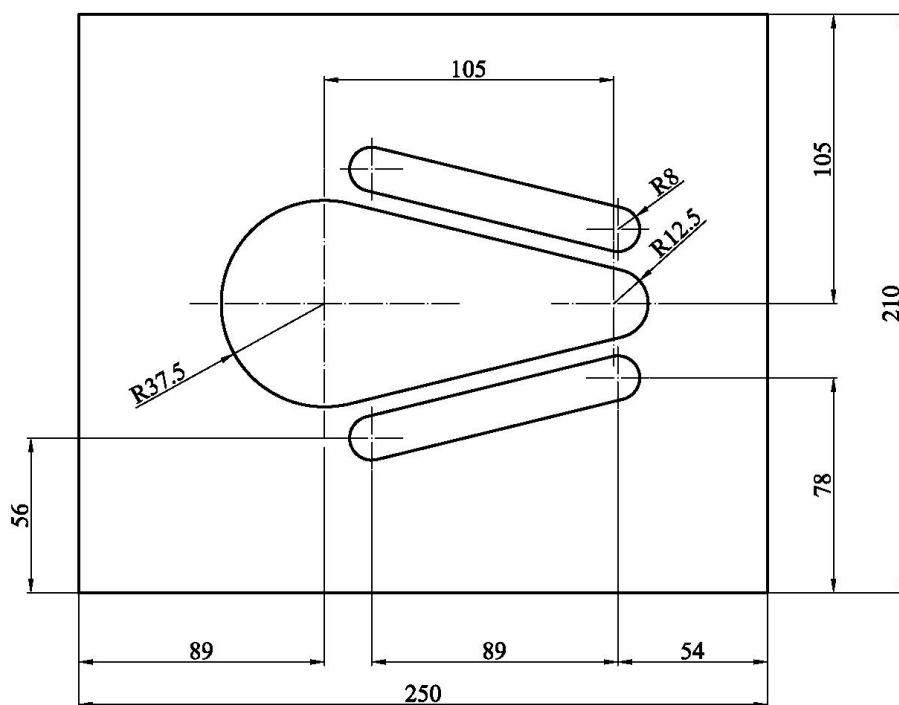
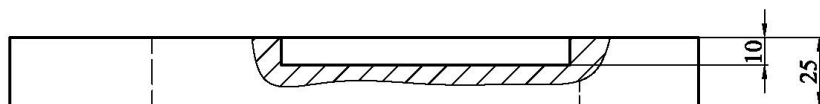


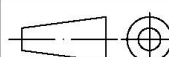




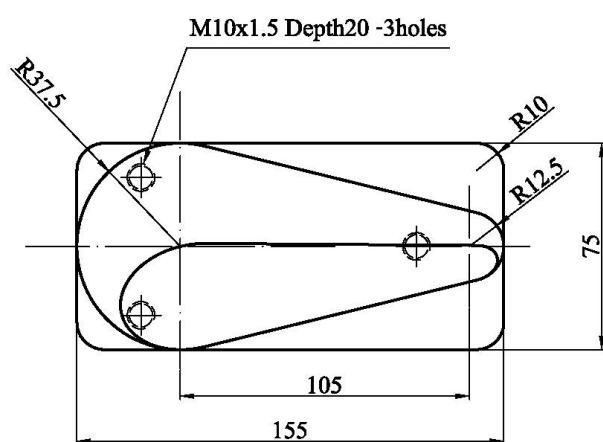
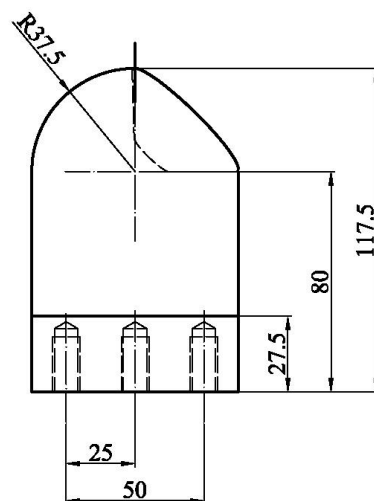
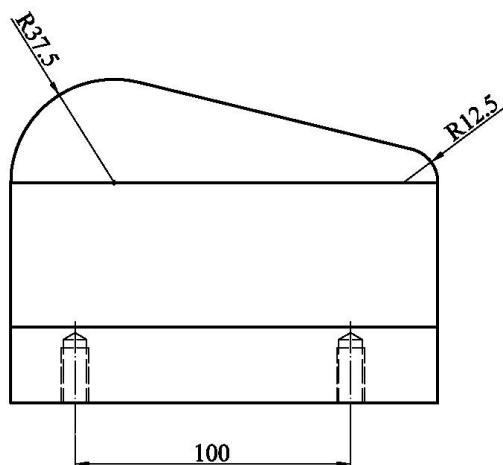
3	Die Plate	210x250x40	SKD11	50344-03	1
ชิ้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ท.					
มาตราส่วน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
NON	Deep drawing	50344-03			

4 



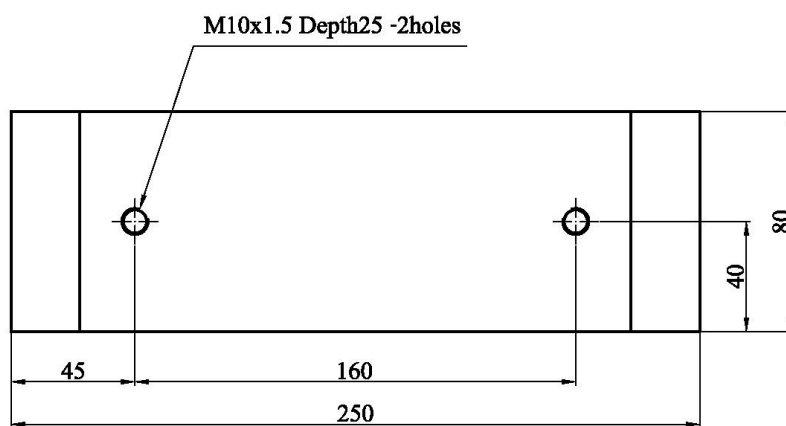
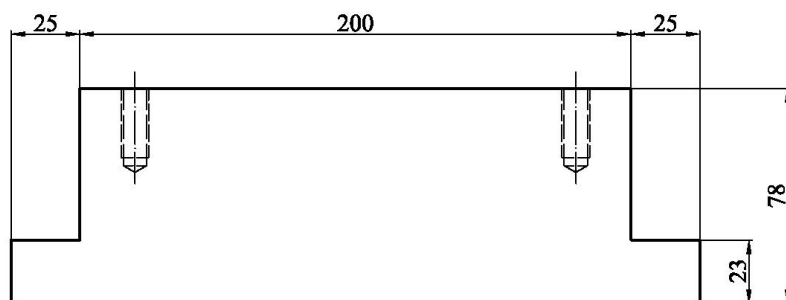
4	Blank Holder	210x250x25	S50C	50344-04	1
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ท.					
มาตรฐาน NON	ชื่อชิ้นงาน Deep drawing	หมายเลขแบบ 50344-04			

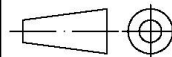
5



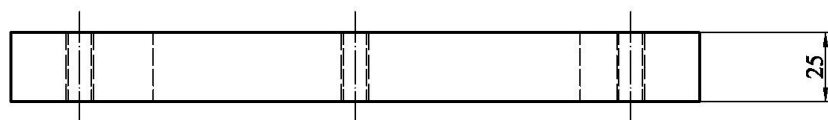
5	Punch From	80x150x118	SKD11	50344-05	1
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ข.					
มาตรฐาน NON	ชื่อชิ้นงาน Deep drawing		หมายเลขแบบ 50344-05		

6 

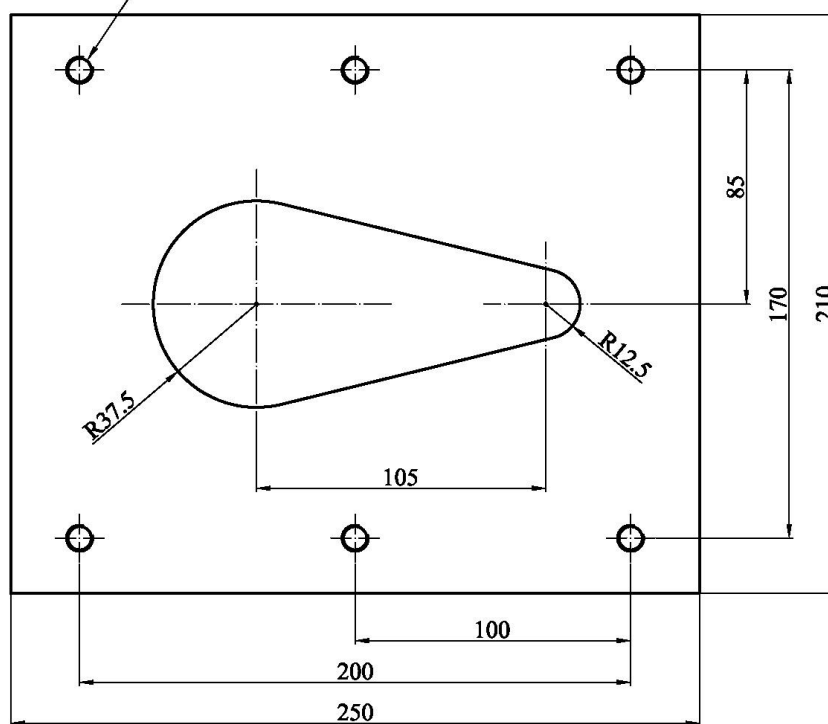


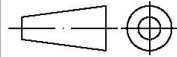
6	Spacer Block		80x250x78	S50C	50344-06	2
วันที่	รายการ		ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ			คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ						
ผู้ตรวจ						
ผู้ตรวจ ม.ข.						
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน			หมายเลขแบบ		
NON	Deep drawing			50344-06		

7

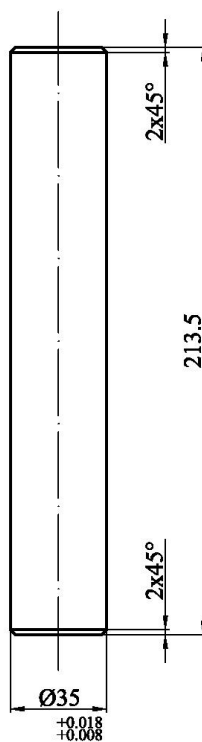
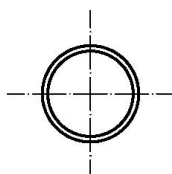


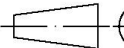
M10x1.5 -6holes



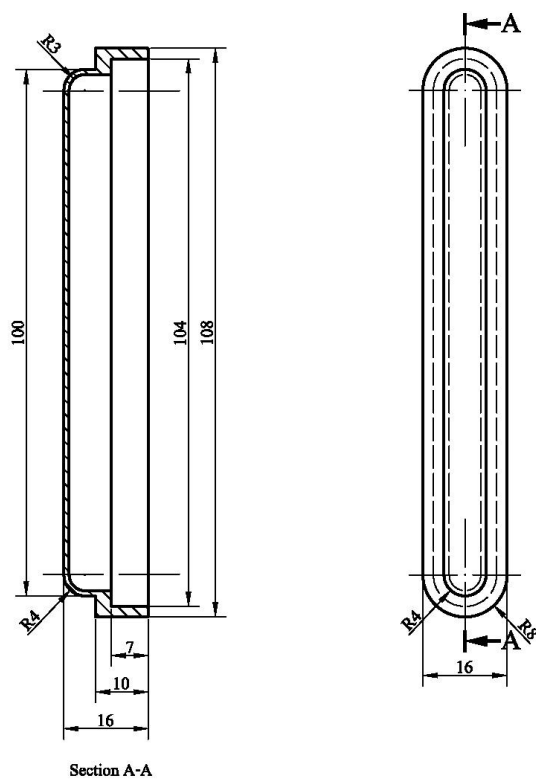
7	Pressure Die	210x250x40	S50C	50344-07	1
วันที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ข.					
มาตรฐาน NON	ชื่อชิ้นงาน Deep drawing	หมายเลขแบบ 50344-07			

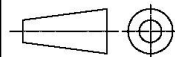
8



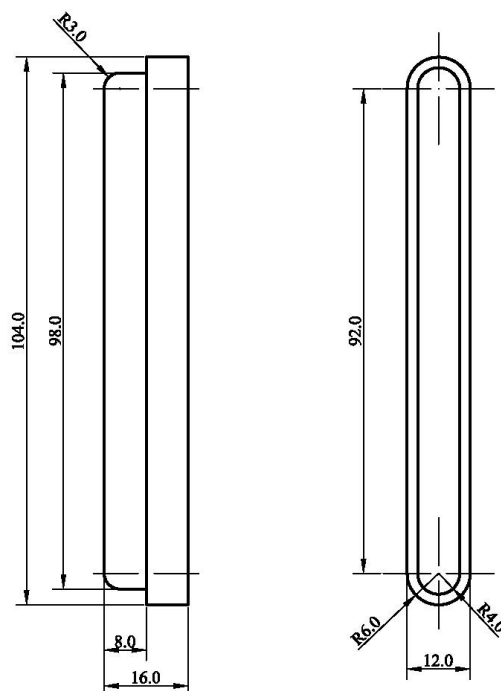
8	Guide	Ø35x213.5	S50C	50344-08	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ข.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
NON	Deep drawing	50344-08			

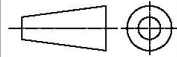
10 



10	Drawbead	16x108x16	S50C	50344-10	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.พ.					
มาตรฐาน	ชื่อชิ้นงาน	หมายเลขแบบ			
NON	Deep Drawing	50344-10			

⑪ ~



11	Drawbead Insert	12x104x16	NBR	50344-11	2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นายสุทธิศักดิ์ กันเกตุ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้ออกแบบ					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ ม.ข.					
มาตรฐาน NON	ชื่อชิ้นงาน Deep Drawing		หมายเลขแบบ 50344-11		

ภาคผนวก ง

ผลงานนำเสนอต่อการประชุมวิชาการที่มีรายงานการประชุม



รวมบทความการประชุมวิชาการระดับชาติ **“มหาวิทยาลัยบูรพา ๒๕๕๔”**

Burapha University National Conference 2011

จัดโดย มหาวิทยาลัยบูรพา และ เครือข่ายอุดมศึกษา ภาคตะวันออก

วันที่ ๖-๗ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๕๔
 ณ อาคาร ๕๐ ปี มหาวิทยาลัยบูรพา
 (ศาสตราจารย์ประยูร จินดาประดิษฐ์)
 มหาวิทยาลัยบูรพา

**การศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลิคโดยการประยุกต์
ใช้ครอว์บีคยางเสริมแรง**
**An Application of the Rubber Reinforce on the Deep Drawing
Sheet Metal Process**

สมชาย เอี่ยมเจริญ¹ จงกล สุภารัตน์² ศิริชัย ต่อสกุล³

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: pitundl@yahoo.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดครอว์บีค ซึ่งประกอบด้วยครอว์บีคโลหะ ครอว์บีคเสริมยางธรรมชาติ และครอว์บีคเสริมยางสังเคราะห์ ทำการศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการลากขึ้นรูปด้วยลิครูปทรงไม่สมมาตร โดยลากขึ้นรูปวัสดุชิ้นงานแผ่นเหล็กเกรด SPCC ความหนา 1.0 มม. ใช้แรงกดขึ้นงานเท่ากับ 30%, 50% และ 70% ของแรงที่ใช้ลากขึ้นรูป ผลการทดลองลากขึ้นรูปด้วยลิคกับครอว์บีคทั้งสามชนิด พบว่าแรงกดขึ้นงานสูงทำให้เกิดความเครียดบนชิ้นงานสูงถึง 0.469 ซึ่งเกิดกับครอว์บีคโลหะ รองลงมาเป็นครอว์บีคยางสังเคราะห์ และครอว์บีคยางธรรมชาติต่ำสุดตามลำดับ สำหรับแรงกดขึ้นงานที่เหมาะสมคือ 70% ของแรงลากขึ้นรูปซึ่งจะทำให้ไม่เกิดรอยยับบริเวณขอบปีกและผนังด้านข้าง

คำสำคัญ: ครอว์บีค, การลากขึ้นรูป, แรงกดขึ้นงาน, ยางธรรมชาติ

Abstract

This research is intended to study the influence of different kinds of draw bead, which are metal draw bead, natural rubber draw bead and synthetic rubber draw bead. The study would offer an understanding of sheet metal flow during the process of deep drawing in nonsymmetrical deep drawing die by applying deep drawing cold rolled sheet (SPCC) with 1.0 mm. thickness and 30 %, 50%, and 70 % of blank holder force. After examined closely to the three kinds of draw bead, it could be concluded that the blank holder force had been made by metal draw bead created a strain of 0.469. Subsequently, natural rubber draw bead had created lesser and synthetic rubber draw bead had created least. The perfect blank holder force that should be made during process was 70 % and that wouldn't be created any wrinkleless at the die edge and wall.

Keyword (s): Drawbead, Deep Drawing, Blank Holder Force, Natural Rubber

1. บทนำ

ในปัจจุบันธุรกิจมีการแข่งขันทางการค้าสูงมากในประเทศไทยมีผู้ประกอบการธุรกิจอุตสาหกรรมหลายสาขาได้มีการปรับปรุงคุณภาพการผลิตสินค้าและขยายตัวไปอย่างรวดเร็วมีการแข่งขันทางธุรกิจอุตสาหกรรมเกิดขึ้นตลอดเวลาทั้งทางด้านการตลาด รูปแบบของผลิตภัณฑ์ และเงินทุนผู้ประกอบการอุตสาหกรรมแต่ละแห่งต้องเร่งพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีต่างๆ (ชาญชัย, 2537) การขึ้นรูปโลหะมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมยานยนต์ หรืออุตสาหกรรมครัวเรือน การพัฒนากระบวนการขึ้นรูปโลหะจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อลดต้นทุนการผลิต การพัฒนาผลิตภัณฑ์และการเพิ่มคุณภาพของงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นสำหรับการลากขึ้นรูปด้วยกลึงเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น โดยใช้แม่พิมพ์ทำการลากขึ้นรูปด้วยกลึงแผ่นโลหะเข้าไปในแม่พิมพ์ได้ชิ้นงานลักษณะรูปทรงถ้วย การลากขึ้นรูปด้วยเป็นกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยอาศัยแรงดึงและแรงอัด (กิตติภักดิ์, 2542) (Schuler, 1998) การลากขึ้นรูปด้วยมีตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการขึ้นรูป ได้แก่ ชนิดของโลหะแผ่น อัตราการลดรูป (Do/Dp) รัศมีของแม่พิมพ์ตัวผู้ (Punch radius) รัศมีของแม่พิมพ์ตัวเมีย (Die radius) แรงกดชิ้นงาน (Blank holding force) ความเสียดทาน (Friction) และสารหล่อลื่น (Lubrication) (เชษฐ, 2546) (Lange, 1985)

การลากขึ้นรูปด้วยกลึงยังคงมีขีดจำกัดมากมาย โดยเฉพาะการลากขึ้นรูปชิ้นงานที่มีผนังบางและมีความลึกมาก ๆ ถึงแม้มีการควบคุมตัวแปรต่างๆดังได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่ก็ประสบปัญหาในการควบคุมการไหลตัวของโลหะแผ่น จึงมีการติดตั้งครอว์บีด (Draw beads) (กิตติภักดิ์, 2542) ในแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปด้วยกลึง ซึ่งมีหน้าที่สำหรับควบคุมการไหลตัวของชิ้นงานเข้าสู่แม่พิมพ์ ควบคุมการไหลของแผ่นโลหะด้วยการดัด (Bending and Unbending) แผ่นโลหะตามรูปทรงของครอว์บีดระหว่างการลากขึ้นรูป การใช้ครอว์บีด ทำให้ต้องเพิ่มแรงในการลากขึ้นรูปชิ้นงานเข้าสู่แม่พิมพ์แต่ครอว์บีด ช่วยลดแรงกดชิ้นงาน (Blank holding force)

ได้มีการวิจัยมากมายที่ทำการศึกษาอิทธิพลของครอว์บีด เช่น Chen (Chen, 1997) ได้วิเคราะห์แรงต้านครอว์บีดในงานปั๊มขึ้นรูป เพื่อศึกษาลักษณะการไหลตัวของวัสดุ Livatyali (Livatyali et al., 2010) ได้ทำการทดลองวิเคราะห์ลักษณะของการลากขึ้นรูปของเหล็กเฟสคู่ (DP600) โดยการใช้ครอว์บีดรูปทรงกลม เพื่อวิเคราะห์ความเครียด แรงในการลากขึ้นรูป และแรงกดครอว์บีด Samuel (Samuel, 2002) ได้ศึกษาอิทธิพลของรูปทรงครอว์บีดในงานขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยการออกแบบครอว์บีดและจำลองในไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาแรงลากขึ้นรูป และการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เป็นต้น แต่งานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นเป็นการออกแบบครอว์บีดและทำมาจากวัสดุโลหะทั้งสิ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ครอว์บีดยางธรรมชาติ (Natural Rubber : NR) และยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber : SR) โดยการทดลองทำการเปรียบเทียบกับครอว์บีด

แบบปกติที่ทำมาจากโลหะทั้งแท่งกับดรอว์บีดที่ทำจากยาง เนื่องจากคุณสมบัติของยางธรรมชาติ นั้นมีความยืดหยุ่นตัว จึงอาศัยคุณสมบัตินี้เพื่อลดการเกิดรอยเสียหายบนผิวโลหะแผ่นและ ลดแรง กดได้ นอกจากนี้ทำให้เกิดการไหลตัวได้ดีอีกด้วย

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมการทดลอง

2.1.1. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

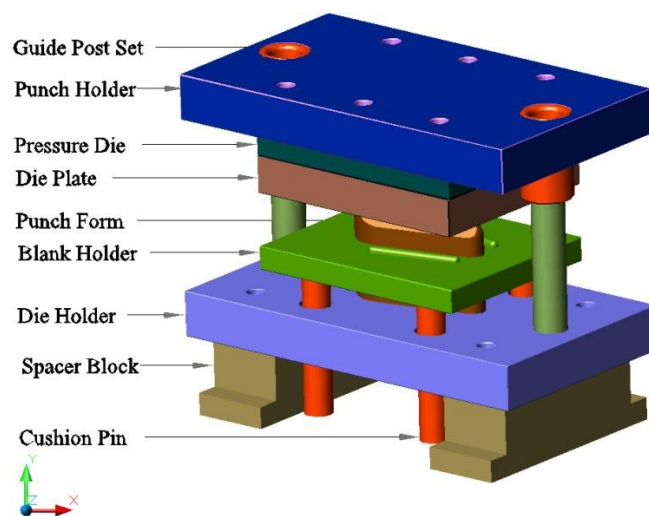
ตัดชิ้นงานตามแนวรีดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด 220 x 160 มม. ด้วยเครื่องตัดโลหะ แผ่น (Power shear) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชิ้นงานสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาด 220 x 160 มม.

2.1.2 การออกแบบแม่พิมพ์ลากขึ้นรูป

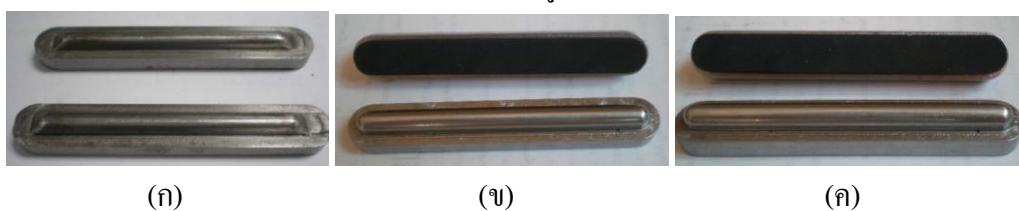
หลักการทำงานของแม่พิมพ์ชุดตัว (Die holder) ใช้รับยึดกับแท่นปั๊มขึ้นลงและยึดแผ่นรอง ดาย (Pressure die) และแผ่นดาย (Die holder) จะยึดกันเช่นชุดบน (Upper shore) มีชุดนำการปั๊ม (Guide post) เป็นชุดนำเพื่อความเที่ยงตรงในการปั๊มขึ้นลงและชุดล่าง (Lower shore) จะ ประกอบด้วยพินช์ (Punch) แผ่นกดยึด (Blank holder) มีหน้าที่ในการกดยึดชิ้นงานโดยส่งถ่ายแรง จากคushion pin (Cushion pin) ซึ่งสามารถปรับแรงได้และแผ่นพินช์โฮลเดอร์ (Punch holder) จะจับ ยึดกับแท่นเครื่องปั๊ม ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ขึ้นรูปถ้วยเล็ก (บุญส่ง, 2552)

2.1.3 การออกแบบครอว์บีด

การออกแบบครอว์บีด ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 (ก) ครอว์บีดโลหะเหล็กชนิด S45C (ข) ครอว์บีดเสริมยางธรรมชาติ
(ค) ครอว์บีดเสริมยางสังเคราะห์

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

2.2.1 การติดตั้งชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูป

นำแม่พิมพ์ที่ประกอบเสร็จแล้ว ไปติดตั้งบนเครื่องปั๊ม ใส่สลักดัน เครื่องปั๊ม 4 ตัว ยึดแม่พิมพ์ตัวบนและตัวล่างให้แน่น แล้วยกชุดบนขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊มไฮดรอลิกส์ 80 ตัน

2.2.2 สารหล่อลื่น

แผ่นพลาสติกโพลีเอทธีลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene : HDPE) จะมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงลักษณะ โปร่งแสงหรือขุ่น แข็งและเหนียว ราคาถูก ขึ้นรูปง่าย ทนต่อสารเคมี แก๊สซึมผ่านได้ยาก ที่มีความหนาเท่ากับ 0.10 มม. ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผ่นพลาสติกโพลีเอทธีลีนหนา 0.10 มม.

2.2.3 ทำการทดลองลากขึ้นรูปด้วยลิก

ลากขึ้นรูปด้วยลิกขึ้นงานตามตัวแปรการทดลอง คือ ครอร์บีดโลหะ ครอร์บีดเสริมยางธรรมชาติ และครอร์บีดเสริมยางสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณต่อเข้ากับเครื่องปั๊ม

2.2.4 การเก็บผลการทดลอง

การเก็บผลการทดลองใช้อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ (Mini data logger) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล พื้นฐานของระบบข้อมูล ประกอบไปด้วย scanner หรือ multiplexer digital-voltmeter และตัวบันทึกข้อมูล ซึ่งรับ Input ที่เป็นระบบ analog จาก sensor แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลเป็นระบบ digital และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อการนำไปใช้ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 7

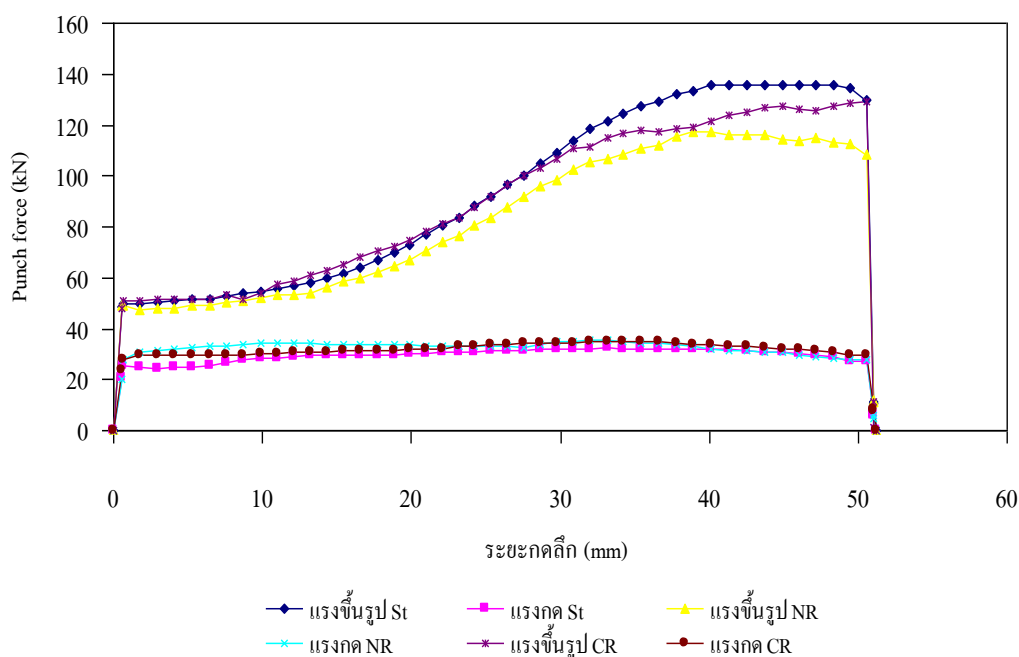


รูปที่ 7 (ก) อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำมัน (ข) อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ

3. ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผล

3.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอว์ปิดแต่ละชนิด ที่ระดับแรงกดขึ้นงานต่างกัน 30% ,50% และ 70%

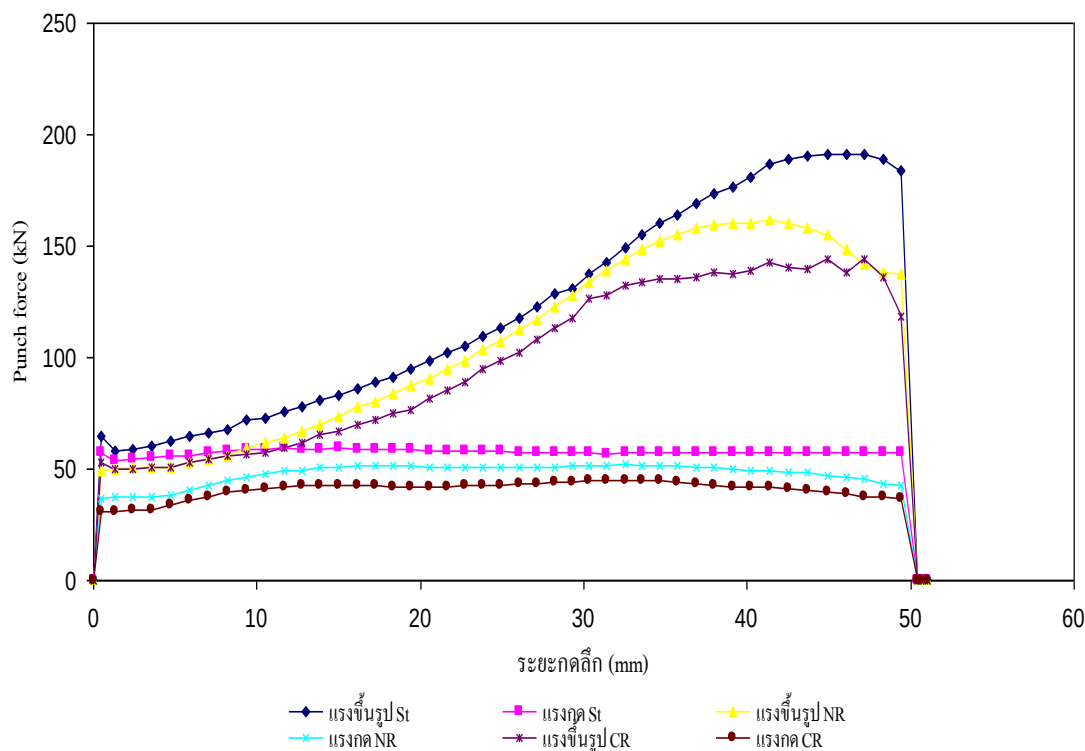
3.1.1 แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอว์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดขึ้นงาน 30% ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกด 30 %

จากรูปที่ 8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึก ในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด จะพบว่าแรงลากขึ้นรูปในการใช้ดรอว์บีดโลหะ (แรงขึ้นรูป St) มีระดับแรงสูงสุด 140 kN เพราะว่าเมื่อแรงกดขึ้นงานเพิ่มขึ้นดรอว์บีดที่เป็นโลหะไม่เกิดการยุบตัว แรงขึ้นรูปจึงมีค่าสูงทำให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป รองลงมาเป็นการใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ (แรงขึ้นรูป CR) เพราะว่าดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ เกิดการยุบตัวน้อยกว่ายางธรรมชาติ มีระดับแรงขึ้นรูปต่ำสุดเนื่องจากการยุบตัวมากที่สุด แรงกดขึ้นงานของดรอว์บีดโลหะจะสูงสุด เมื่อเปลี่ยนมาใช้ดรอว์บีดเสริมแรงยางธรรมชาติ และดรอว์บีดเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดขึ้นงานมีระดับลดต่ำลงกว่าการใช้ดรอว์บีดโลหะและแรงขึ้นรูปก็ลดลงด้วย ทำให้ลดความเสี่ยงทานผิวขึ้นงานที่สัมผัสกับแผ่นกดขึ้นงาน กับคาย ได้ แต่จะทำให้เกิดรอยยับบริเวณขอบปีกขึ้นงานและผนังด้านข้าง

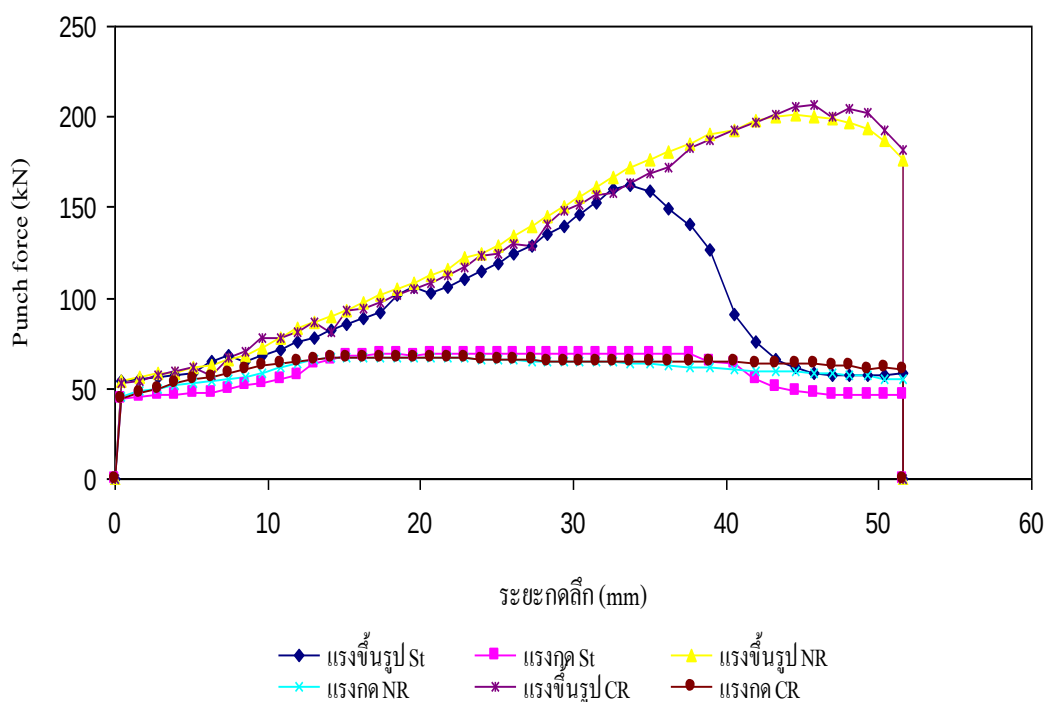
3.1.2 แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอว์บีดแต่ละชนิด ที่แรงกดขึ้นงาน 50 % ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ครอว์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกด 50 %

จากรูปที่ 9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึก ในการใช้ครอว์ปิดแต่ละชนิด จะพบว่าแรงลากขึ้นรูปในการใช้ครอว์ปิดโลหะ (แรงขึ้นรูป St) มีระดับแรงสูงสุด 193 kN เพราะว่าเมื่อแรงกดขึ้นงานเพิ่มขึ้นครอว์ปิดที่เป็นโลหะไม่เกิดการยุบตัวแรงขึ้นรูปจึงเพิ่มสูงขึ้นทำให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป รองลงมาเป็นการใช้ครอว์ปิดเสริมแรงธรรมชาติ (แรงขึ้นรูป NR) เพราะว่าครอว์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติเกิดการยุบตัวน้อยกว่ายางสังเคราะห์ และครอว์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์ (แรงขึ้นรูป CR) มีระดับแรงขึ้นรูปต่ำสุด เนื่องจากการยุบตัวมากที่สุด แรงกดขึ้นงานของครอว์ปิดโลหะจะสูงสุด เมื่อเปลี่ยนมาใช้ครอว์ปิดเสริมแรงธรรมชาติ และครอว์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์ แรงกดขึ้นงานมีระดับลดต่ำลงกว่าการใช้ครอว์ปิดโลหะและแรงขึ้นรูปก็ลดลงด้วย ทำให้ลดความเสียหายผิวชิ้นงานที่สัมผัสกับแผ่นกดขึ้นงาน (Blank holder force) กับคายน (Die) ได้ แต่จะทำให้เกิดรอยยับบริเวณขอบปีกขึ้นงาน

แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ครอว์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกดขึ้นงาน 70 %
 ดังแสดงในรูปที่ 10

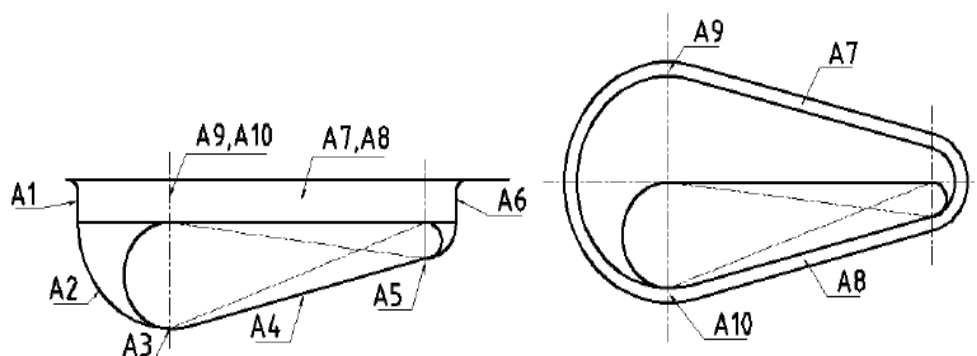


รูปที่ 10 กราฟแสดงแรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่แรงกด 70 %

จากรูปที่ 10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงลากขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึก ในการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด จะพบว่าแรงลากขึ้นรูปในการใช้ดรอร์ปิดโลหะ (แรงขึ้นรูป St) ขึ้นสูงถึง 162 kN ที่ระยะความลึก 34 mm. แล้วขึ้นงานเกิดการฉีกขาด เพราะว่าปริมาณแรงกดขึ้นงาน ที่สูงกดลงที่ดรอร์ปิดทำให้โลหะไม่สามารถไหลเข้าสู่ช่องคายได้ ทำให้เกิดความรุนแรงของการเปลี่ยนรูปวัสดุที่จุดนี้ สำหรับดรอร์ปิดโลหะไม่เหมาะกับการใช้แรงกดที่สูง เมื่อเปลี่ยนมาใช้ดรอร์ปิดเสริมแรงธรรมชาติ จะเห็นได้ว่ากราฟแรงขึ้นรูป (แรงขึ้นรูป NR) ขึ้นสูงถึง 200.1 kN ขึ้นงานไม่เกิดการฉีกขาด เพราะว่าเกิดการยุบตัวของเนื้อยาง ทำให้ใช้ได้กับแรงกดที่สูง และดรอร์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์แรงในการลากขึ้นรูปมีระดับต่างกันเล็กน้อยกับดรอร์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติ และแรงกดขึ้นงานมีความราบเรียบ แสดงว่าการไหลตัวของโลหะเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ

3.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ความเครียด

การวิเคราะห์ความเครียดแนวความหนา (Thickness strain) ของขึ้นงานในแต่ละจุด ของการใช้ดรอร์ปิดแต่ละชนิด ที่ระดับแรงกดขึ้นงานต่างกัน 30% ,50% และ 70% บริเวณจุดที่ตรวจวัดความเครียดบนขึ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 บริเวณจุดที่ตรวจวัดความเคียดบนชิ้นงาน [9]

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดลองการเกิดความเคียด ณ บริเวณสูงสุด

แรงกดชิ้นงาน	ความเคียด		
	ดรอว์ปิดโลหะ	ดรอว์ปิดเสริมแรงยางธรรมชาติ	ดรอว์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์
30 %	0.185 (A6)	0.171 (A6)	0.172 (A6)
50 %	0.236 (A6)	0.196 (A5)	0.195 (A6)
70 %	0.469 (A6)	0.311 (A6)	0.306 (A6)

จากการทดลองพบว่าความเคียดที่เกิดขึ้นสูงสุดของทุกตัวแปรการทดลอง คือจุด A6 ซึ่งเป็นบริเวณที่วัสดุเกิดการยืดตัวได้สูงสุด ที่แรงกดชิ้นงาน 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแรงกดชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้นทำให้ความสามารถการไหลตัวของโลหะลดลง เพราะเกิดการขึ้นรูปแบบคิงยัด ทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง ที่จุด A6 มีความรุนแรงความเคียดสูงสุด ซึ่งเป็นพื้นที่จุดวิกฤติ เนื่องจากมีรัศมีในการดรอว์น้อย จึงทำให้ชิ้นงานมีขนาดบริเวณนี้ ในการใช้ดรอว์ปิดโลหะจะพบความรุนแรงความเคียดที่จุด A1 ถึง A8 สูงกว่าดรอว์ปิดชนิดอื่น และจุดตรวจ A9 และ A10 จะเห็นว่าความเคียดสูงเป็นของการใช้ดรอว์ปิดเสริมแรงยางสังเคราะห์

4. สรุป

4.1 การใช้ดรอว์บีดเสริมแรงอย่างสังเคราะห์กักชิ้นงาน แรงกดชิ้นงานที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานที่ระดับ 70 เปอร์เซนต์ของแรงลากขึ้นรูป ถ้าใช้แรงกดชิ้นงานน้อยกว่านี้ ที่ระดับ 50 และ 30 เปอร์เซนต์ พบว่า แรงกดชิ้นงานไม่เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยยับบริเวณขอบปีกชิ้นงานและผนังด้านข้าง

4.2 การใช้ดรอว์บีดโลหะที่ระดับแรงกดชิ้นงาน 50 เปอร์เซนต์ ของแรงลากขึ้นรูปลึก มีความเหมาะสมในการลากขึ้นรูปชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตร เนื่องจากได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ ซึ่งความหนาของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และมีความเครียดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยตามด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2554 จากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ และอุปกรณ์ การวิจัยต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- กิตติภักดิ์ รัตนจันทร์. (2542). *ผลกระทบจากดรอว์บีดในการขึ้นรูปโลหะแผ่น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชาญชัย ทรัพย์ากร. (2537). *การออกแบบแม่พิมพ์*. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- เชษฐ อุทัยยัง. (2546). *การศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการลากขึ้นรูปลึกโดยใช้สารหล่อลื่น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- บุญส่ง จงกลณี. (2552). *การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรต่อสมบัติการขึ้นรูปของเหล็ก SPCC*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- Fuh-Kuo Chen, Pao-Ching Tszeng. (1997). An analysis of drawbead restraining force in the stamping process. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 38. pp:827-842.

- Lange K. (1985). *Metal Forming Handbook*. New York : McGraw-Hill.
- Livatyali H. Firat M. Gurler B. Ozsoy M. (2010). An experimental analysis of drawing characteristic of a dual-phase steel through a round drawbead. *Materials and Design*. (31). pp: 1639-1643.
- Samuel M. (2002). Influence of drawbead geometry on sheet metal forming. *Journal of Materials Processing Technology*. 122. pp:94-103.
- Schuler GmbH. (1998). *Metal Forming Handbook*. Berlin: Springer.