

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2555 ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ ที่ทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสดำเนินการวิจัยให้ลุล่วงดังเป้าหมาย ของวิจัยเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมจัดทำรายงานวิจัยฉบับนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ได้อำนวยความสะดวกการใช้เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ ที่มีประสิทธิภาพ จึงทำให้งานวิจัยปราศจากความขัดข้อง ด้วยปัญหาต่างๆ ดังนั้นประโยชน์ทั้งหลายจากงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบความดีทั้งหมดให้กับทุกท่านดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น และผู้วิจัยขออุทิศให้ทุกท่านที่เกี่ยวข้องต่อไป

สิวกร อ่างทอง

สมศักดิ์ แก่นทอง

ชื่อโครงการ

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรต่อสมบัติการขึ้นรูป ของเหล็ก SPCC

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2555

จำนวนเงิน 218,100 บาท

ระยะเวลาเวลาทำการวิจัย

ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2554 ถึง 30 กันยายน 2556

ชื่อผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวกร อ่างทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ แก่นทอง

บทคัดย่อ

การขึ้นรูปลึก (Deep drawing) ชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร มีความยุ่งยากซับซ้อนมากกว่าการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างสมมาตร ทั้งนี้เพราะการขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่ไม่สมมาตร เกิดจากการขึ้นรูปหลายรูปแบบในชิ้นงานเดียวกันเช่น การตัด การดัด การลากขึ้นรูป ดังนั้นการควบคุมการไหลของโลหะแผ่นเรียบเข้าสู่ดายจึงทำได้ยาก และจำเป็นต้องควบคุมตัวแปรการขึ้นรูปให้มีความเหมาะสมงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร

การศึกษานี้เริ่มต้นจากการออกแบบแม่พิมพ์ที่จะใช้ในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีลักษณะไม่สมมาตร เพื่อใช้ในการทดสอบอิทธิพลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการขึ้นรูป 4 ตัวแปรคือ รูปร่างแผ่นเปล่า (Blank geometry) ขนาดแรงกดขึ้นงาน (Blank holding force, BHF) ชนิดของสารหล่อลื่น (Lubricant type) และ รูปร่างครอว์ปีด (Draw bead geometry) ในขั้นตอนการทดสอบจะมีการบันทึกผลแรงกดขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานในขณะขึ้นรูปทุกครั้ง การวัดผลการทดลองจะนำเอาชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้วมาตรวจสอบความเสียหายและวัดขนาดของความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นในตำแหน่งต่าง ๆ บนชิ้นงานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป

จากผลการทดลองพบว่า รูปร่างของแผ่นตัดเปล่า และแรงกดขึ้นงานที่เหมาะสมนอกจากจะสามารถลดแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปแล้วยังสามารถลดระดับความเครียดบนชิ้นงานได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามขนาดของแรงกดขึ้นงานที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นตัดเปล่าและกลไกของแม่พิมพ์ สารหล่อลื่นจะลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ผิวสัมผัสของชิ้นงานโดยตรง ด้วยสารหล่อลื่นชนิดแข็งโพลีเอทรีลีนชิ้นงานสามารถเลื่อนไหลได้ดีสามารถลดแรงที่ใช้เพื่อขึ้นรูปได้ดีที่สุด (116.02 kN) และการใช้ครอว์ปีดที่มีขนาดเหมาะสม จะสามารถควบคุมการไหลของแผ่นตัดเปล่าเข้าสู่ดายได้ดี จะทำให้สามารถลดขนาดของความเครียดในบริเวณจุดวิกฤติได้ดี อย่างไรก็ตามการใช้ครอว์ปีดจะต้องมีการปรับขนาด แผ่นตัดเปล่าให้โตขึ้น เพิ่มแรงกดขึ้นงาน และเลือกใช้สารหล่อลื่นให้เหมาะสม

ABSTRACT

Deep drawing process of a non-symmetric part is more complicate than a symmetrical one due to the characteristic of metal forming of the non-symmetrical part is more complicate than the symmetrical part. It requires a combination of bending, stretching as well as drawing. Therefore, the research aims to study parameters of the deep drawing process that influence the formability of a non-symmetrical workpiece.

The study was carried out on four parameters i.e. blank geometry, blank holding force (BHF), lubrications and draw beads by conducting a series of experiments. The experiments were carried on hydraulic press machine using 1 mm. thickness sheet metal (graded SPCC). The drawing force and blank holding force were monitored and recorded continuously during the test. The formed workpiece was examined by eyes and recorded any defect if it was occurred. Moreover, the equivalent strain at certain points were measured and recorded.

The experimental results showed that the blank geometry and BHF were not only influence the drawing force but also the level of equivalent strain. However, the BHF varied with the size of the blank. It was found that the lubricant reduced both drawing force and equivalent strain. The best lubricant for non-symmetric deep-drawing process was the polyethylene sheet. The draw bead geometry was directly influence the equivalent strain on the part. It was able to control the metal flow in to die; as a result, the equivalent strains on the formed part were more balance. The strain level at the critical point was reduced; on the other hand, the stain at the lower point was increased.

Keyword: deep drawing metalwork, Non- asymmetrical

คำสำคัญ : กระบวนการขึ้นรูปลึก แผ่นตัดเปล่า แรงกดชิ้นงาน สารหล่อลื่น และ ครอว์ปีด

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 นิยามศัพท์ที่สำคัญ	2
1.5 ทฤษฎีที่สำคัญและ/หรือแนวความคิดที่นำมาใช้ในงานวิจัย	4
1.5.1 ทฤษฎีการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปลึก	5
1.5.2 การขึ้นรูปลึกรูปทรงกระบอกกลม	7
1.5.3 การขึ้นรูปลึกรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและเปลือกรูปวงรี	9
1.5.4 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการขึ้นรูปลึก	13
1.5.5 ปัญหาในการขึ้นรูป	16
1.5.6 สมบัติเชิงกลและความสามารถในการขึ้นรูป	18
(Mechanical properties and formability)	
1.5.7 การตีดกริดและวิเคราะห์กริดวงกลม (Analysis of circle grid)	22
1.5.8 ชนิดของเหล็กแผ่นที่ใช้ในการขึ้นรูปลึก	25
1.5.9 ดรอว์บีด (Draw bead)	26
1.5.10 สารหล่อลื่นในงานดึงขึ้นรูปลึก	28
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 2 วิธีการดำเนินงาน	33
2.1 แผนการดำเนินงาน	33
2.2 วัสดุที่จะนำมาใช้ทำการขึ้นรูปลึก	35
2.3 การออกแบบแม่พิมพ์	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 การสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปลึก	40
2.5 การเตรียมแผ่นขึ้นงาน	45
2.6 การกำหนดตัวแปรทดสอบ	47
2.7 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล	52
บทที่ 3 ผลการทดลอง	56
3.1 ผลของการทดสอบด้วยชนิดรูปร่างของแผ่นตัดเปล่า	56
3.2 ผลของการทดสอบด้วยแรงกดที่ขึ้นงาน	63
3.3 ผลของการทดสอบด้วยชนิดสารหล่อลื่น	70
3.4 ผลของการทดสอบด้วยชนิดของครอว์ปีด	77
บทที่ 4 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	83
4.1 สรุปผลการทดลอง	83
4.2 ข้อเสนอแนะ	86
เอกสารอ้างอิง	87
ภาคผนวก	89
ก การคำนวณ	90
ข ข้อมูลการทดลอง	97
ค การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM	102
ง ชิ้นส่วนแม่พิมพ์	106
จ ผลงานที่ดีพิมพ์	115
ประวัตินักวิจัย	118

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แรงดันที่เหมาะสมที่ใช้กดยึดแผ่นขึ้นงานตามวัสดุต่างๆ	10
1.2 ค่าพิกัดความเค้นสำหรับงานลากขึ้นรูป	15
1.3 ค่าอัตราส่วนการขึ้นรูปสูงสุด	16
1.4 สมบัติเชิงกลของแผ่นเหล็กกล้ารีดเย็น	19
1.5 เหล็กแผ่นรีดเย็น (มาตรฐาน JIS)มาตรฐาน	25
1.6 เหล็กแผ่นรีดเย็น (มาตรฐาน JIS) สมบัติทางกล	26
1.7 สารหล่อลื่นที่ใช้กับการดึงขึ้นรูปลึก	28
2.1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุขึ้นงาน (%)	36
2.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ทำการวิจัย	37
2.3 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์	39
2.4 ตัวอย่างของการวัดความเครียดในขึ้นงาน	54
ข.1 แรงของการขึ้นรูปต่อชนิดของแผ่นตัดเปล่า (Blank geometry)	98
ข.2 ความรุนแรงด้วยความเค้นเทียบเท่า (Equivalent strain) ชนิดของแผ่นตัดเปล่า	98
ข.3 แรงของการขึ้นรูปต่อสัดส่วนของแรงกด	98
ข.4 ความรุนแรงด้วยความเค้นเทียบเท่า (Equivalent strain) สัดส่วนของแรงกด	99
ข.5 แรงของการขึ้นรูปต่อสารหล่อลื่น	99
ข.6 ความรุนแรงด้วยความเค้นเทียบเท่า (Equivalent strain) สารหล่อลื่น	100
ข-7 แรงของการขึ้นรูปต่อชนิดของดรอว์บีด	100
ข-8 ความรุนแรงด้วยความเค้นเทียบเท่า (Equivalent strain) ชนิดของดรอว์บีด	101
ค.1 ข้อมูลการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้า SPCC	104
ง.1 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์	107

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การแบ่งประเภทกลุ่มของการขึ้นรูป	3
1.2 การขึ้นรูปลึกด้วยทรงกระบอก	4
1.3 ชิ้นงานขึ้นรูปทรงกระบอกสี่เหลี่ยม	4
1.4 ตัวอย่างของชิ้นงานที่ขึ้นรูปแบบไม่สมมาตร	5
1.5 รูปทรงชิ้นงานสำเร็จด้วยการขึ้นรูปลึก	5
1.6 แบบจังหวะเดียวไม่มีแผ่นจับยึดชิ้นงาน	5
1.7 แบบจังหวะเดียวมีแผ่นจับยึดชิ้นงาน	6
1.8 แบบสองจังหวะมีตัวสไลด์แผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่	6
1.9 แบบสามจังหวะมีแผ่นจับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่และตัวคายคู่	7
1.10 (a) วิธีการลากขึ้นรูปลึก (b) ชิ้นงานทรงกระบอก (c) รูปถ้วยและแกนพิกัด x, y, z	8
1.11 ลักษณะของแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปลึก	8
1.12 สภาวะความเค้นที่เกิดระหว่างกระบวนการลากขึ้นรูปลึก	9
1.13 ความเค้นที่เกิดขึ้นในการขึ้นรูปลึก	9
1.14 พื้นที่ของความสามารถไหลตัว	11
1.15 ความเค้นและจุดบกพร่องของโลหะระหว่างการขึ้นรูปลึก	11
1.16 การไหลตัวของโลหะหลังการขึ้นรูป	12
1.17 ค่าแรงดันของแผ่นจับยึดชิ้นงานที่ต้องการในการลากขึ้นรูปครั้งแรก	14
1.18 การกระจายความเครียดสำหรับผลของค่า n ที่แตกต่างกันในบริเวณวิกฤต	22
1.19 ขั้นตอนการตีกริด (Electrochemical marking)	23
1.20 กรณีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริด	24
1.21 การเปลี่ยนแปลงของกริดวงกลม	24
1.22 (ก) แบบเดี่ยว (Single bead) (ข) แบบคู่ (Double bead)	27
1.23 (ก)แบบเดี่ยว (Single bead) (ข) แบบคู่ (Double bead)	27
1.24 (ก) สามเหลี่ยม (Three angle bead) (ข) แบบไม่ไหลตัว (Lock bead)	27
2.1 ไคอะแกรมวิธีดำเนินโครงการวิจัย	34
2.2 จุดทดสอบส่วนผสมทางเคมี	35
2.3 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile test)	37
2.4 ออกแบบขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน	38
2.5 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.6 การใส่แผ่นเสริมรองขนาด	40
2.7 การสวมชุดแม่พิมพ์ตัวบนกับชุดแม่พิมพ์ตัวล่าง	41
2.8 การติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องเพรส	41
2.9 แม่พิมพ์พร้อมใช้งาน	42
2.10 การเกิดปัญหาหลังจากทดสอบการขึ้นรูปชิ้นงาน	42
2.11 ชิ้นงานที่ขึ้นรูปและตัดกริดเพื่อวิเคราะห์ความเครียดที่แผ่นชิ้นงาน	43
2.12 ไดอะแกรมแผนการทำงานในการทดลองแม่พิมพ์	44
2.13 ชิ้นงานสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด 200x140 มม.	45
2.14 การจับยึดและติดตั้งบนเครื่องกัด	45
2.15 การจับยึดชิ้นงานบนเครื่อง CNC	45
2.16 การกัดชิ้นงานและชิ้นงานสำเร็จ	46
2.17 แผ่นตัดเปล่าสี่เหลี่ยมผืนผ้า	48
2.18 แผ่นตัดเปล่าสี่เหลี่ยมผืนผ้าบากมุม	48
2.19 แผ่นตัดเปล่าคำนวณโดยการประมาณค่า	49
2.20 การขึ้นรูปชิ้นงานในขณะที่เกิดการเปลี่ยนรูป	49
2.21 แผ่นกดชิ้นงานที่ไม่ใช้ครอว์บีด	51
2.22 ครอว์บีดชนิดสามเหลี่ยม (Insert in blank holder)	51
2.23 ครอว์บีดชนิดส่วนโค้งครึ่งวงกลม (Insert in blank holder)	52
2.24 เครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC : Automatic machine)	52
2.25 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Mini data logger)	53
2.26 อุปกรณ์วัดแรงดัน (Pressure transducer)	53
2.27 จุดที่ใช้ในการตรวจสอบวัดความเครียดบนชิ้นงาน	53
2.28 โปรแกรมในหมวดของคำสั่ง	54
2.29 การวัดขนาดกริดชิ้นงานหลังขึ้นรูปลิคด้วยโปรแกรม	55
3.1 แผ่นตัดเปล่าบากบากมุมกับชิ้นงานสำเร็จหลังขึ้นรูปลิค	57
3.2 ชิ้นงานหลังขึ้นรูปเพื่อวิเคราะห์	57
3.3 แรงกดขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานต่อระยะกดลึกของแผ่นเปล่าสี่เหลี่ยมผืนผ้า	58
3.4 แรงกดขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานต่อระยะกดลึกของแผ่นเปล่าสี่เหลี่ยมบากมุม	58
3.5 แผ่นตัดเปล่าบากบากมุมกับชิ้นงานสำเร็จหลังขึ้นรูปลิค	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.6	แรงกดและแรงขึ้นรูปของแผ่นงานตามการประมาณค่า	60
3.7	แผ่นตัดเปล่าโดยประมาณค่ากับชิ้นงานสำเร็จหลังขึ้นรูปลึก	60
3.8	การเปรียบเทียบแรงขึ้นรูปตามชนิดรูปร่างชิ้นงาน	61
3.9	แรงกดขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึก	61
3.10	บริเวณจุดที่ตรวจสอบวัดความเครียด	62
3.11	จุดที่ตรวจวัดกับความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ของชนิดแผ่นตัดเปล่า	62
3.12	ชิ้นงานสำเร็จด้วยแรงกด 10%	64
3.13	แรงกดขึ้นงานกับแรงขึ้นรูป 10% ต่อระยะกดลึก	64
3.14	ชิ้นงานสำเร็จด้วยแรงกด 30%	65
3.15	แรงกดขึ้นงานกับแรงขึ้นรูป 30% ต่อระยะกดลึก	65
3.16	ชิ้นงานสำเร็จด้วยแรงกด 50%	66
3.17	แรงกดขึ้นงานกับแรงขึ้นรูป 50% ต่อระยะกดลึก	66
3.18	ชิ้นงานสำเร็จด้วยแรงกด 70%	67
3.19	แรงกดขึ้นงานกับแรงขึ้นรูป 70% ต่อระยะกดลึก	67
3.20	แรงกดขึ้นงานกับแรงขึ้นรูป 10% 30% 50% และ 70% ต่อระยะกดลึก	68
3.21	แรงกดขึ้นงานต่อแรงขึ้นรูปสูงสุด	69
3.22	กราฟ (Equivalent strain) %ตามปริมาณของแรงกดขึ้นงานขึ้นรูป	69
3.23	แรงกดต่อระยะลึกของสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันมะพร้าว	71
3.24	แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานของสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์	72
3.25	แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานของสารหล่อลื่นชนิดพลาสติกโพลีเอทธีลีน	73
3.26	แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานของที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น	74
3.27	แรงกดขึ้นรูปลึกและแรงกดกับชนิดของสารหล่อลื่น	74
3.28	แรงกดขึ้นงานต่อแรงขึ้นรูปสูงสุดตามชนิดของสารหล่อลื่น	75
3.29	ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) กับชนิดสารหล่อลื่น	76
3.30	จุดบกพร่องชิ้นงานหลังการขึ้นรูปของครอว์บีด	77
3.31	ชิ้นงานสำเร็จไม่ใช่ครอว์บีด	78
3.32	แรงขึ้นรูปลึกกับแรงกดขึ้นงานของชนิดไม่ใช่ครอว์บีด	78
3.33	ชิ้นงานใช้ครอว์บีด (Draw bead) รูปสามเหลี่ยม	79
3.34	แรงขึ้นรูปลึกกับแรงกดขึ้นงานของครอว์บีด (Draw bead) รูปสามเหลี่ยม	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.35	ชิ้นงานใช้ดรอว์บีด (Draw bead) รูปปลายมนโค้ง	80
3.36	แรงขึ้นรูปลึกกับแรงกดชิ้นงานของดรอว์บีด (Draw bead) รูปปลายโค้งมน	80
3.37	แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของดรอว์บีดชนิดต่างๆ	81
3.38	แรงกดขึ้นรูปลึกกับแรงกดชิ้นงานตามชนิดของดรอว์บีด	81
3.39	ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) กับชนิดของดรอว์บีด	82
ก.1	เส้นขอบรูปของชิ้นงานหาความยาว Lt (L total)	91
ก.2	การคำนวณแผ่นตัดเปล่า	94
ค.1	เส้นโค้งการไหลตัวของวัสดุ SPCC	105
ง.1	ภาพประกอบของแม่พิมพ์	107

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

m	ความไวของอัตราความเครียด
n	เลขชี้กำลังการทำให้แข็งด้วยความเครียด
r	อัตราส่วนความเครียดพลาสติก
r_m	แอนไอโซทรอปีตั้งฉาก
r_0	แอนไอโซทรอปีตามแนวทิศทางการรีด
r_{45}	แอนไอโซทรอปีทำมุม 45 องศา กับแนวทิศทางการรีด
r_{90}	แอนไอโซทรอปีทำมุม 90 องศา กับแนวทิศทางการรีด
Δr	แอนไอโซทรอปีระนาบ
σ	ความเค้น
$\mathcal{E}_1$	ความเครียดหลัก
$\mathcal{E}_2$	ความเครียดรอง
$\mathcal{E}_3$	ความเครียดจริงในแนวความหนา
β_n	อัตราส่วนขึ้นรูปโดยจำนวนครั้ง
β	อัตราส่วนการขึ้นรูป
Fd	แรงขึ้นรูป (N)
S_y	ความเค้นจุดคราก (N/mm^2)
S_u	ความเค้นสูงสุด (N/mm^2)
Lt	ความยาวรอบรูปทั้งหมด (mm)
So	ความหนาของวัสดุ (mm)
F_{BH}	แรงกดยึดแผ่นชิ้นงาน
A_{BH}	พื้นที่สัมผัสของแผ่นจับยึดชิ้นงาน
P_{BH}	แรงกดดันที่ใช้กับแผ่นจับยึดชิ้นงานต่ำที่สุด
BHF	แรงกดของแผ่นกดงาน (Blank holder force)