



อิทธิพลของรัศมีปาดายในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก

Influences of Die Radius on Rectangular Cup Deep Drawing

ไพศาล เอี่ยมมี* รัชชชัย แก้วสีใส² บัญชา วงศ์ศรีทา³ บุญเรือง เย็นศิริ⁴ ชวลา วรณสิทธิ์⁵ กุลชาติ จุลเพ็ญ⁶

^{1,2,3,4,5,6}

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

E-mail: paisamaemmi@yahoo.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของรัศมีปาดายขนาด 6, 8, 10 และ 12 มม. ในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก ขนาดถ้วยกว้าง 60 มม. ยาว 60 มม. ลึก 30 มม. ความกว้างปีกด้านละ 4 มม. เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของรัศมีปาดายที่มีผลต่อแรงสูงสุดในการลากขึ้นรูป คุณภาพของถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีกหลังการลากขึ้นรูป รวมถึงรัศมีปาดายที่เหมาะสมต่อการลากขึ้นรูป โดยในการทดลองนี้จะใช้ เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCC (JIS) และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด SAPH440 (JIS) ขนาดแผ่นเปล่า 120 x 120 มม.หนา 1.4 มม. ลากขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก และเปรียบเทียบผลการทดลอง จากการทดลองพบว่าเหล็กทั้งสองชนิด จะใช้แรงในการลากขึ้นรูปลดลงเมื่อใช้รัศมีปาดายขนาดใหญ่ขึ้น และทุกรัศมีปาดายที่ทดลองสามารถลากขึ้นรูปชิ้นงานได้สมบูรณ์ ชิ้นงานไหลตัวได้ดี ไม่เกิดรอยย่นกับวัสดุทั้งสองชนิดเมื่อใช้แรงกดแผ่นกดชิ้นงานเท่ากับ 37.17 kN. สำหรับเหล็ก SPCC และ 55.74 kN. สำหรับเหล็ก SAPH440 ตามลำดับ ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงของความหนา เหล็ก SAPH440 บริเวณมุมกันกล่องจะมีความบางกว่าเหล็ก SPCC เนื่องจากเหล็ก SAPH440 มีความสามารถในการยืดตัวที่น้อยกว่า ในส่วนลักษณะผิวของชิ้นงาน เหล็ก SAPH440 เกิดการยึดติดกับผิวแม่พิมพ์ได้ง่ายทำให้เกิดรอยเสียดสีบนชิ้นงานที่เห็นได้ชัดเจนกว่าเหล็ก SPCC

คำหลัก รัศมีปาดาย ถ้วยสี่เหลี่ยม ลากขึ้นรูป

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตรถยนต์ที่สำคัญของโลกประเทศหนึ่ง และมีแนวโน้มที่จะผลิตเพื่อส่งออกจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ ในการผลิตรถยนต์เพื่อส่งออกจะต้องผลิตให้ได้รถยนต์แบบต่างๆ กัน ตามความต้องการที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศ การผลิตชิ้นส่วนรถยนต์จะมีกระบวนการเชื่อมประกอบตัวถัง เป็นการนำชิ้นส่วนที่เป็นโลหะซึ่งได้ผ่านกระบวนการขึ้นรูปมาแล้ว มาเชื่อมประกอบให้เป็นตัวถังรถ โลหะที่ใช้ชิ้นนี้ มีความหนาแตกต่างกันไปตามความจำเป็นและการออกแบบ แต่ในความเป็นจริงแล้วนั้นเหล็กที่มีความหนาไม่มาก จะถูกนำมาขึ้นรูปให้เป็นสันนูนโดยเทคนิคทางวิศวกรรม ที่เรียกว่ากระบวนการลากขึ้นรูป (Deep drawing) [4] ก็จะทำให้ได้ค่าความแข็งแรงมากขึ้น การนำเหล็กที่มีความแข็งแรงเป็นพิเศษ (High Tensile Steel) มาใช้เสริมใน

โครงสร้างตัวถัง [1] เพื่อลดการยุบตัวจากแรงกระแทกที่เกิดจากการชนรวมทั้งเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างตัวถัง [2] กระบวนการลากขึ้นรูป (Deep drawing) เป็นกระบวนการที่สลับซับซ้อนมาก เนื่องจากการลากขึ้นรูปจะเกี่ยวข้องกับตัวแปรหลายชนิด จึงจำเป็นต้องพิสูจน์ให้เห็นถึงตัวแปรเหล่านั้นว่ามีผลต่อการลากขึ้นรูปอย่างไร การลากขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยทรงกระบอกจะมีความสมมาตรในการไหลตัวของเหล็กที่ผ่านช่องว่างระหว่างพunchและตาย จึงสามารถควบคุมการไหลได้อย่างสมบูรณ์และง่าย แต่การลากขึ้นรูปที่ไม่สมมาตรในการไหลตัวของเหล็กผ่านช่องว่างระหว่างพunchและตาย จะควบคุมการไหลได้ยาก เช่น การลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งถือว่าเป็นพื้นฐานมากที่สุดในการลากขึ้นรูป [3], [4] การนำเหล็กแผ่นมาใช้ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะ [11], [12] ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานสำเร็จ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับชิ้นงานในกระบวนการลากขึ้นรูป [5] ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของรัศมีปาดายแม่พิมพ์ตัวเมีย (DIE RADIUS) ในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีกเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCC (JIS) และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด SAPH440 (JIS) เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง หาค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรในการลากขึ้นรูป สามารถนำอิทธิพลของตัวแปรในการลากขึ้นรูป ไปใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่ชิ้นงานรูปถ้วยทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก โดยการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการลากขึ้นรูป เช่น รัศมีปาดายแม่พิมพ์ตัวเมีย (DIE RADIUS) แรงกดของแผ่นกดชิ้นงาน ความหนาและคุณภาพของชิ้นงานภายหลังการลากขึ้นรูป

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุชิ้นงาน เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.2.1 วัสดุชิ้นงาน

ในการศึกษาจะใช้เหล็กแผ่นสำหรับลากขึ้นรูปลึก จำนวน 2 ชนิด คือเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCC (JIS) และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด SAPH440 (JIS) โดยเตรียมแผ่นเปล่า [6], [7] เหล็กทั้งสองชนิดที่ขนาดความกว้างเท่ากับ 120 มม. ความยาวเท่ากับ 120 มม. และหนาเท่ากับ 1.4 มม. องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกลของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440

Symbol (JIS)	SPCC		SAPH440	
Chemical composition (%)	C	0.0267	C	0.1260
	S	0.0135	Si	0.0500
	Mn	0.1545	Mn	1.0250
	P	0.0236	P	0.0120
	Cr	0.0123	S	0.0030
	Ni	0.0112	Cr	0.0210
	Mo	0.0047	Ni	0.0180
	Cu	0.0170	Mo	0.0120
	V	0.0029	Cu	0.0200
	Co	0.0021	Nb	<0.0010
	Al	0.0290	V	0.0020
	Ti	0.0016	Co	<0.0010
	Sn	0.0035	Al	0.0210
	W	0.1255	B	<0.0010
	-	-	Ti	0.0010
	-	-	As	0.0020
	-	-	Sn	0.0080
	-	-	W	0.0010

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติทางกลเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440

Symbol (JIS)	SPCC	SAPH440
Thickness (mm.)	1.4	1.4
Yield Point σ_y (MPa)	226	357
Ultimate Strength σ_u (MPa)	321	478
Elongation (%)	46.0	33.6

2.2.2 สารหล่อลื่น

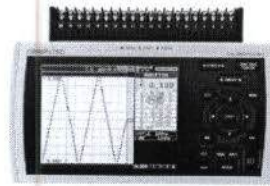
ในการลากขึ้นรูปด้วยสียหล่อลื่นแบบมีปีกที่รัศมีปาดาย 6.8, 10 และ 12 มม. เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของรัศมีปาดายที่มีผลต่อการลากขึ้นรูปเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 เพื่อให้ผลการทดลองเป็นไปอย่างถูกต้องโดยไม่มีอิทธิพลของสารหล่อลื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงเลือกใช้สารหล่อลื่นเพียงชนิดเดียวในการลากขึ้นรูปสารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลองคือ น้ำมันมะพร้าว ซึ่งเป็นน้ำมันพืชที่มีลักษณะสีเหลือง มีราคาถูกนิยมใช้กันโดยทั่วไป สามารถใช้ในงานขึ้นรูปเหล็กได้ทั้งเหล็กกล้าและเหล็กกล้าไร้สนิม ใช้หล่อลื่นได้โดยตรงไม่ต้องผสมกับน้ำ

2.2.3 เครื่องปั๊มไฮดรอลิก

ในการทดลองใช้เครื่องปั๊มไฮดรอลิกขนาด 80 ตัน ยี่ห้อ TMC ขนาดหน้าโต๊ะกว้าง 800 มม. ยาว 800 มม. ขนาดช่วงชักสูงสุด 650 มม. สามารถปรับระดับแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานได้ โดยแรงดันที่ใช้ในการกดแผ่นกดยึดชิ้นงาน จะถูกส่งมาจากคานชูนั่งที่อยู่ใต้โบลสเตอร์ของเครื่องปั๊มไฮดรอลิก ซึ่งการทำงานของคานชูนั่งสามารถควบคุมแรงดันให้คงที่ได้

2.2.4 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

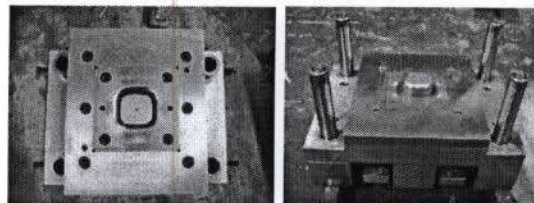
ในการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล ได้กำหนดตัวแปรของการทดลองโดยอิทธิพลของตัวแปรการทดลองได้แก่ รัศมีปาดายขนาด 6.8, 10 และ 12 มม. ทำการทดสอบตัวแปรที่ระดับและบันทึกการเปลี่ยนแปลงของแรงต่อระยะความลึกที่ขึ้นรูป วัดแรงและบันทึกผลการทดลองด้วยอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ (Mini data logger) ซึ่งเป็นอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลพื้นฐานของระบบ (data logger) โดยผ่านอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำมัน (Pressure transducer) ตัววัดระยะทาง (Liners guide) บันทึกข้อมูลผ่านอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (Flash Drive) เพื่อความสะดวกในการถ่ายโอนข้อมูลจากอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณมายังคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ

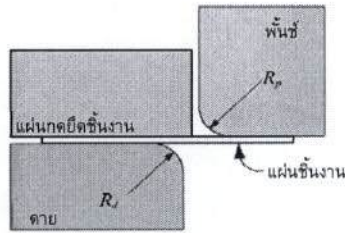
2.2.5 ชุดแม่พิมพ์

เป็นแม่พิมพ์สำหรับลากขึ้นรูปด้วยสียหล่อลื่นจัดระบบมีปีกที่มีขนาดความกว้างของกันด้วยสียหล่อลื่นเท่ากับ 60 มม. ความยาวเท่ากับ 60 มม. และความลึกเท่ากับ 30 มม. สามารถถอดเปลี่ยนตายได้ขณะแม่พิมพ์ติดตั้งอยู่บนเครื่องปั๊มไฮดรอลิก โดยไม่ต้องยกแม่พิมพ์ลง ลักษณะของชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปด้วยสียหล่อลื่นแบบมีปีกแสดงดังรูปที่ 2



(ก) แสดงลักษณะของพื้นที่ (ข) แสดงลักษณะของตาย
รูปที่ 2 แสดงลักษณะของชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปด้วยสียหล่อลื่น
จัดระบบมีปีก

ในการทดลองจะใช้พื้นที่เพียงตัวเดียวแต่จะเปลี่ยนขนาดของรัศมีปาดาย โดยจะใช้ขนาดของรัศมีมุมตายคงที่ (R_d) เท่ากับ 21.71 มม. แล้วเปลี่ยนขนาดรัศมีปาดายเป็น 6.8, 10 และ 12 มม. พื้นที่และตายทำจากเหล็ก SKD11 ชุบแข็งที่ระดับ 60 ± 2 HRC โดยมีรัศมีปาดพื้นที่เท่ากับ 10 มม. รัศมีมุมพื้นที่ (R_p) เท่ากับ 20 มม. มีระยะช่องว่างระหว่างพื้นที่และตาย [8], [10] เท่ากับ 1.71 มม. ลักษณะของรัศมีมุมพื้นที่และรัศมีมุมตายแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงภาพหน้าตัดของรัศมีมุมพunch (R_p)
และรัศมีมุมตาย (R_d)

3. คำเนิการทดลอง

การดำเนินการทดลองจำเป็นที่จะต้องทราบค่าต่างๆ ในทางทฤษฎีก่อนเพื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณ ไปใช้เป็นค่าในการอ้างอิงเบื้องต้นของการทดลอง สำหรับค่าที่มีความจำเป็นที่ต้องทราบก่อนทำการทดลองประกอบด้วย ค่าของแรงสูงสุดที่ใช้ในการลากชิ้นรูปขึ้นงาน [9] ค่าของแรงกดแผ่นยึดชิ้นงาน [10] ที่ใช้ในการลากชิ้นรูปของเหล็กที่นำมาทำการทดลองทั้งสองชนิด ค่าของขนาดแผ่นเปล่าขึ้นงานก่อนการลากชิ้นรูป [7] ความเร็วในการลากชิ้นรูปที่ใช้มีค่าเท่ากับ 12 เมตร/นาที สำหรับรายละเอียดในการคำนวณค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการทดลองมีดังนี้

3.1 แรงสูงสุดที่ใช้ในการลากชิ้นรูป สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้ [9]

$$F_{\max} = \pi d_m s_o \left[1.1 \frac{1.3 s_u}{\eta_{\det}} \left(\ln \frac{d_o}{d_i} - 0.25 \right) \right] \quad (1)$$

3.2 แรงกดของแผ่นยึดชิ้นงาน โดยทั่วไปแรงกดของแผ่นยึดชิ้นงานจะมีขนาดประมาณ 1/3 เท่า ของแรงที่พunch ใช้สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้ [4], [10]

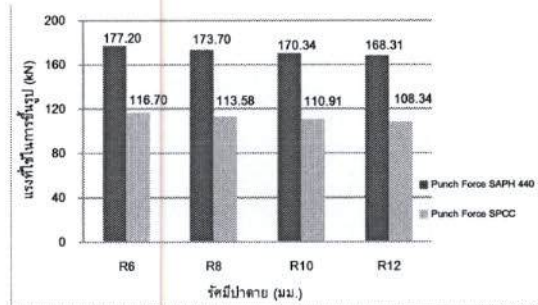
$$F_{BH} = A_{BH} P_{BH} \quad (2)$$

4. ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

4.1 แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป

ในการทดลอง เพื่อเก็บข้อมูลได้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณกับเครื่องปั๊มไฮดรอลิก โดยเชื่อมต่ออุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ (Mini data logger) ผ่านอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำมัน (Pressure transducer) และตัววัดระยะทาง (Liners guide) ที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องปั๊มไฮดรอลิก เพื่อใช้วัดค่าแรงกดของพunch แรงกดแผ่นยึดชิ้นงาน และระยะกลิ้งของชิ้นงาน บันทึกข้อมูลที่ได้ลงอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Flash Drive) เพื่อความสะดวกในการถ่ายโอนข้อมูลจากอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณมายังคอมพิวเตอร์ จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานด้วยสแตนเลสแบบมีปีกด้วยเหล็ก SPCC สามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์ โดยใช้แรงกดแผ่นยึดชิ้นงาน 37.17 kN. ชิ้นงานที่ได้จากการลากชิ้นรูปด้วยรัศมีพunch ทั้ง 4 ระดับ ไม่เกิดรอยแตกและรอยยับ เช่นเดียวกัน จึงนำผลของแรงกดแผ่นยึดชิ้นงานและแรงสูงสุดที่ใช้ในการลากชิ้นรูปของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 มาทำการเปรียบเทียบกันแสดงดังรูปที่ 4

เป็นค่าที่ได้มาจากการคำนวณทางทฤษฎี ชิ้นงานที่ได้สมบูรณ์ไม่เกิดรอยแตกและรอยยับเช่นเดียวกัน จึงนำผลของแรงกดแผ่นยึดชิ้นงานและแรงสูงสุดที่ใช้ในการลากชิ้นรูปของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 มาทำการเปรียบเทียบกันแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบแรงขึ้นรูปชิ้นงานระหว่างเหล็ก SPCC กับเหล็ก SAPH440

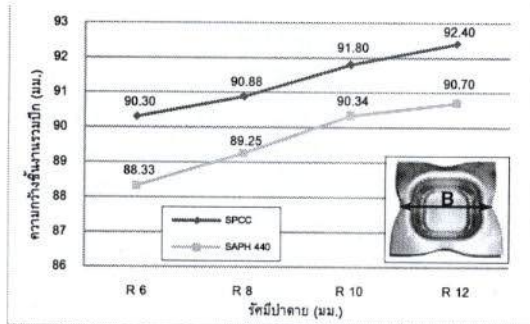
หลังจากที่ได้ทำการทดลองลากชิ้นรูปเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 เมื่อชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วมีความสมบูรณ์ไม่เกิดรอยแตกและรอยยับในทุกๆระดับของตัวแปรทดสอบ จึงทำการเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลง ของแรงกดแผ่นยึดชิ้นงานและแรงสูงสุดที่ใช้ในการลากชิ้นรูป ระหว่างเหล็ก SPCC กับเหล็ก SAPH440 จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าเหล็ก SAPH440 ใช้แรงลากชิ้นรูปสูงกว่าเหล็ก SPCC ในทุกระดับของรัศมีพunch ที่เปลี่ยนไป เนื่องจากคุณสมบัติทางกลของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 ที่ใช้ในการทดลองมีความแตกต่างกัน โดยเหล็ก SAPH440 เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงมากกว่าเหล็ก SPCC จึงใช้แรงกดของพunch เพื่อที่จะทำให้แผ่นขึ้นงานเปลี่ยนรูป ไหลเข้าไปยังปากตายจนกระทั่งถึงความลึกที่ต้องการคือ 30 มม. มากกว่าเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 ต้องใช้แรงกดแผ่นยึดชิ้นงานมากกว่าเหล็ก SPCC เพื่อป้องกันการเกิดรอยยับบริเวณปีกของถ้วยสแตนเลสจัดรัส โดยเหล็ก SPCC ใช้แรงกดแผ่นยึดชิ้นงานที่เหมาะสมคือ 37.17 kN. ส่วนเหล็ก SAPH440 ใช้แรงกดแผ่นยึดชิ้นงานที่เหมาะสมคือ 55.74 kN.

4.2 อิทธิพลของรัศมีพunch ที่มีผลต่อความกว้างของชิ้นงานรวมปีก

นำชิ้นงานที่ได้จากการทดลองทั้งเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 มาวัดความกว้างของชิ้นงานรวมปีกโดยกำหนดตำแหน่งของการวัดความกว้างระหว่างปีกทั้งสองด้าน ในบริเวณปีกที่เว้าเข้าไปลึกที่สุด ซึ่งเป็นจุดที่แคบที่สุดของชิ้นงานได้ผลของการทดลองแสดงดังรูปที่ 5 จากรูปที่ 5 ผลการวัดความกว้างของชิ้นงานรวมปีก ชิ้นงานจากเหล็ก SPCC จะมีความกว้างของชิ้นงานรวมปีกมากกว่าเหล็ก SAPH440 เล็กน้อย จากการยึดตัวของแผ่นขึ้นงานขณะกระบวนการลากชิ้นรูป เหล็ก SPCC จะมีการยึดตัวมากกว่าเหล็ก SAPH440 เนื่องจากเหล็ก SPCC เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงต่ำกว่าเหล็ก SAPH440 และความกว้างของ



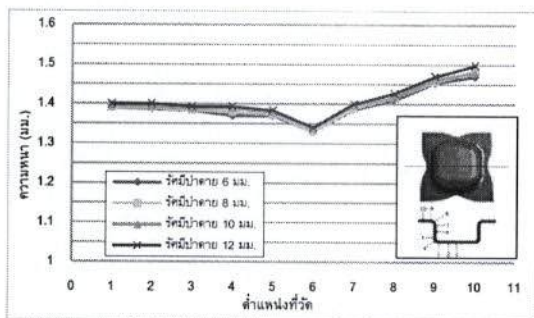
ชิ้นงานรวมปีกที่วัดได้นั้น ค่าความกว้างของชิ้นงานจากเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือค่าความกว้างของชิ้นงานรวมปีกจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเลือกใช้รัศมีปาดายขนาดใหญ่ขึ้นจากการตัดตัวของชิ้นงานบริเวณปากถ้วยให้โค้งตามขนาดของรัศมีปาดาย เมื่อใช้ขนาดของรัศมีปาดายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นปากถ้วยก็จะกว้างขึ้น ทำให้ความกว้างของชิ้นงานรวมปีกกว้างขึ้นตามไปด้วย



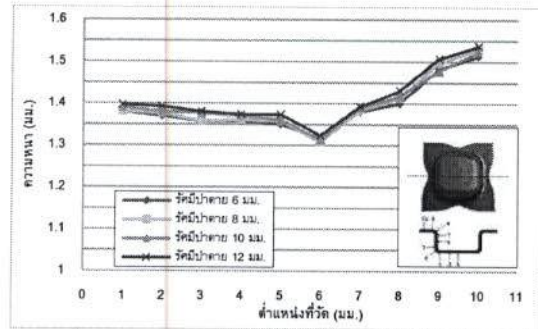
รูปที่ 5 กราฟแสดงความกว้างของชิ้นงานรวมปีก (B) ของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440

4.3 อิทธิพลของรัศมีปาดายที่มีผลต่อความหนาผนังถ้วย ด้านตรงของชิ้นงาน

จากการทดลองลากชิ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก เมื่อทำการลากชิ้นรูปชิ้นงาน ได้ถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีกที่สมบูรณ์ ไม่เกิดรอยแตกและรอยย่น จึงนำชิ้นงานที่ได้จากการลากชิ้นรูปมาทำการตัดผ่าครึ่งเพื่อวัดความหนาของผนังชิ้นงานส่วนที่ตรง แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างเป็นกราฟเส้น เพื่อเปรียบเทียบผลความหนาผนังด้านตรงของชิ้นงานที่รัศมีปาดายแต่ละระดับของตัวแปรที่ทดสอบ ได้กราฟเส้นความหนาผนังด้านตรงของชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 6 และ 7 จากรูปที่ 6 และ 7 ผลความหนาผนังด้านตรงของชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีลากชิ้นรูปลึก โดยใช้รัศมีปาดายในการลากชิ้นรูปที่แตกต่างกัน การวัดความหนาของชิ้นงานจะวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ตั้งแต่กันถ้วยไปจนถึงปีกถ้วย จากผลที่ได้จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดของรัศมีปาดาย จะไม่มีอิทธิพลอย่างชัดเจน ต่อความหนาผนังด้านตรงของชิ้นงาน



รูปที่ 6 กราฟแสดงความหนาผนังด้านตรงของชิ้นงานเหล็ก SPCC แต่ละรัศมีปาดาย



รูปที่ 7 กราฟแสดงความหนาผนังด้านตรงของชิ้นงานเหล็ก SAPH440 แต่ละรัศมีปาดาย

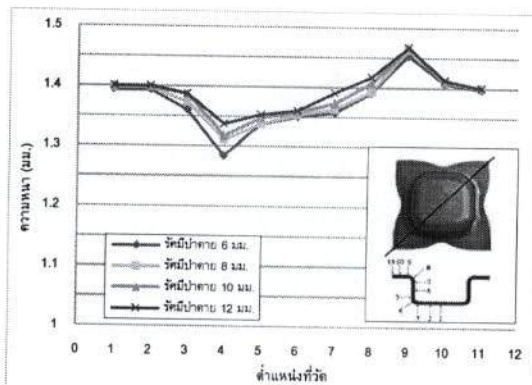
ทั้งนี้ผลการวัดความหนาผนังชิ้นงานของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน นอกจากนี้จะพบว่า ตรงบริเวณตำแหน่งที่ 6 จะเป็นตำแหน่งที่มีความหนาของผนังถ้วยน้อยที่สุด เพราะเป็นบริเวณที่เกิดความเค้นดึงในแนวแกนสูงสุดของการลากชิ้นรูป ส่วนบริเวณปีกถ้วยในตำแหน่งที่ 10 ชิ้นงานจะมีความหนามากที่สุด และจะมีความหนาเพิ่มมากกว่าความหนาเริ่มต้นของชิ้นงานซึ่งเป็นผลมาจากความเค้นอัดในแนวเส้นรอบวงบริเวณปีกถ้วยในขณะลากชิ้นรูปนั่นเอง

4.4 อิทธิพลของรัศมีปาดายที่มีผลต่อความหนาผนังบริเวณมุมกลองของชิ้นงาน

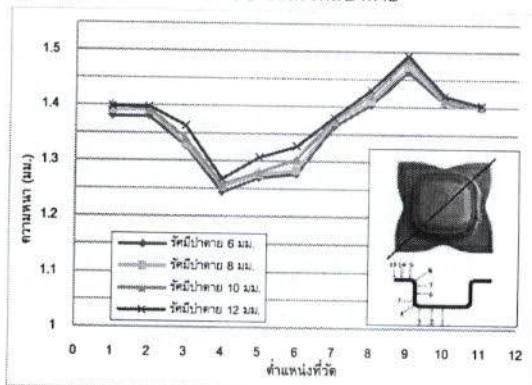
เนื่องจากกระบวนการลากชิ้นรูปชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส การไหลตัวของชิ้นงานบริเวณด้านตรงกับบริเวณมุมกลองจะมีอัตราการไหลตัวของแผ่นชิ้นงานไม่เท่ากัน จึงได้ทำการตัดผ่าชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ไม่เกิดรอยแตกและรอยย่นในแต่ละรัศมีปาดาย เพื่อวัดความหนาผนังถ้วยบริเวณมุมกลองแล้วนำค่าที่ได้มาสร้างเป็นกราฟเส้น เพื่อเปรียบเทียบผลความหนาผนังถ้วย บริเวณมุมกลองของชิ้นงานที่รัศมีปาดายแต่ละระดับของตัวแปรที่ทดสอบ ได้กราฟแสดงความหนาผนังถ้วยบริเวณมุมกลองของชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 8 และ 9 จากการวัดค่าความหนาของชิ้นงาน ที่ได้จากการทดลองตามแนวเส้นทแยงมุมของชิ้นงานที่รัศมีปาดาย 6,8,10 และ 12 มม. พบว่าความหนาของชิ้นงานเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความหนาของผนังถ้วยบริเวณมุมกลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือบริเวณกันถ้วยในตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 จะมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนาลดลงจากความหนาเดิมของแผ่นเปล่าเพียงเล็กน้อย จากนั้นจะเริ่มลดลงในตำแหน่งที่ 3 และ 4 โดยบริเวณมุมกลองเหนือรัศมีพินซ์ หรือตำแหน่งที่ 4 เป็นจุดที่รับแรงดึงสูงสุด จากการตัดโค้งตามรัศมีพินซ์และแรงดึงจากการตัดโค้งตามรัศมีพินซ์ ทำให้ผนังถ้วยบริเวณนี้ มีความหนาน้อยที่สุดซึ่งเหมือนกันทั้งเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 ในตำแหน่งที่ 5 ความหนาจะเพิ่มขึ้นตามความสูงของผนังกลองจนถึงตำแหน่งที่ 9 โดยที่ตำแหน่งที่ 9 จะมีความหนาสูงสุด เนื่องจากการขยายตัวของแผ่นชิ้นงานที่มาจาก การเบียดหรือการอัดตัวในแนวเส้นรอบวง จากนั้นความหนา



ของชิ้นงานจะค่อยๆ ลดลงจนเท่ากับความหนาเดิมของแผ่นเปล่า ในตำแหน่งที่ 10 และตำแหน่งที่ 11 ความหนาจะใกล้เคียงกับความหนาเดิมของวัสดุแสดงดังรูปที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 กราฟแสดงความหนาผนังด้วยบริเวณมุมกล่องชิ้นงานเหล็ก SPCC แต่ละรัศมีปาดาย



รูปที่ 9 กราฟแสดงความหนาผนังด้วยบริเวณมุมกล่องชิ้นงานเหล็ก SAPH 440 แต่ละรัศมีปาดาย

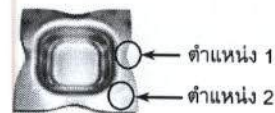
4.5 อิทธิพลของรัศมีปาดายที่มีผลต่อรอยแตกและรอยย่น

ความเสียหายที่จะเกิดขึ้นบนชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรคือ เกิดรอยย่นที่ปิกด้วย เกิดรอยฉีกขาดที่บริเวณมุมรัศมีพื้นหรือ รอยฉีกขาดที่เกิดจากการไหลตัวไม่เท่ากันที่บริเวณต่างๆ ของ ชิ้นงานที่บริเวณปิกของชิ้นงานด้วยสลิเลียม โดยเฉพาะขอบปิก ตรงบริเวณรัศมีมุมโค้ง จะมีแนวโน้มที่จะเกิดการโก่งตัว และเกิด รอยย่นได้มากที่สุด เพราะเป็นบริเวณที่เกิดความเค้นอัดในแนวเส้น รอบวงมาก และบริเวณรัศมีมุมโค้งจะเกิดความเค้นดัดด้วย ทำให้ การไหลตัวของแผ่นชิ้นงานช้ากว่าบริเวณขอบเส้นตรงของตัว จึง ทำให้เนื้อวัสดุเกิดการอัดตัวบริเวณรัศมีมุมโค้งซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ เกิดการโก่งตัวหรือเกิดรอยย่น การลากขึ้นรูปจำเป็นต้องใช้แรง ในการลากขึ้นรูปที่สูงขึ้น เพื่อเอาชนะแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งใน บางครั้ง จะทำให้งานเกิดการฉีกขาดตรงบริเวณรัศมีมุมโค้งที่ก้น ด้วย จากการทดลองลากขึ้นรูปด้วยสลิเลียมจตุรัสแบบมีปิกด้วย เหล็ก SPCC ที่แรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงาน 37.17 kN. และเหล็ก SAPH440 ที่แรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงาน 55.74 kN. ที่รัศมีปาดาย

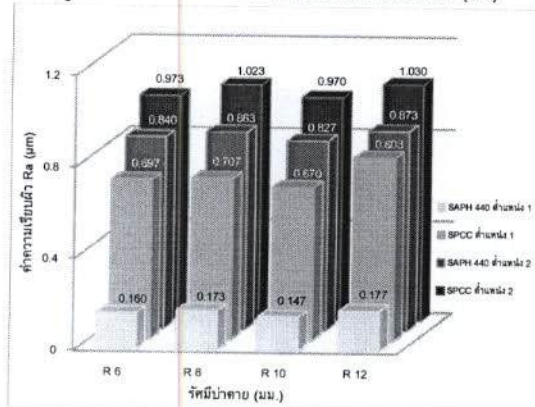
ขนาด 6,8,10 และ 12 มม. ชิ้นงานรูปด้วยสลิเลียมจตุรัสแบบมีปิก จากเหล็กทั้งสองชนิดที่ได้นั้น ไม่เกิดรอยแตกและรอยย่นขึ้นที่ บริเวณปิกของชิ้นงาน เนื่องจากรัศมีมุมโค้งของพื้นและคายของ ชุดแม่พิมพ์ ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดใหญ่ จึงทำให้แผ่นชิ้นงาน สามารถไหลตัวได้ง่ายขึ้น และการเลือกใช้แรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงาน ในการทดลองที่ได้มาจากการคำนวณซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในระดับที่มีความเหมาะสม ทำให้ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 ไม่เกิดรอยแตกและรอยย่น

4.6 อิทธิพลของรัศมีปาดายที่มีผลต่อความเรียบผิว

จากการทดลองการลากขึ้นรูปด้วยสลิเลียมจตุรัสแบบมีปิกที่ รัศมีปาดาย 6,8,10 และ 12 มม. นำชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง ด้วยเหล็กทั้งสองชนิดมาทำการวัดค่าความเรียบผิว (Ra) โดยกำหนด ตำแหน่งที่จะทำการวัดค่าความเรียบผิว 2 ตำแหน่ง บริเวณปิกของ ด้วยแสดงดังรูปที่ 10 ผลของการวัดค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน (Ra) บริเวณปิกด้วย โดยวัดในตำแหน่งที่กำหนดไว้ นำค่าที่ได้มา เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลของค่าความเรียบผิวจากเหล็กทั้งสอง ชนิดคือเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 แสดงตำแหน่งในการวัดค่าความเรียบผิว (Ra)



รูปที่ 11 แผนภูมิแสดงค่าความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชิ้นงาน

จากรูปที่ 11 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง รัศมีปาดายกับค่า ความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) หลังผ่านกระบวนการลากขึ้นรูป โดย เป็นผลของการทดลองระหว่างเหล็กสองชนิดคือเหล็ก SPCC และ เหล็ก SAPH440 จะเห็นว่าในบริเวณตำแหน่งที่ 1 ซึ่งเป็นจุดที่มี การเปลี่ยนแปลงความหนาเพิ่มขึ้นจากความหนาเดิมจะมีความ เรียบผิว (Ra) ละเอียดกว่าตำแหน่งที่ 2 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไม่มีการ เปลี่ยนแปลงความหนาจากความหนาเดิม แต่เมื่อพิจารณาถึงรัศมี ปาดาย จะเห็นได้ว่ารัศมีปาดายไม่มีอิทธิพลที่ชัดเจนต่อค่าความ เรียบผิวของชิ้นงาน ในบริเวณตำแหน่งที่ได้ทำการวัดทั้ง 2 ตำแหน่ง โดยมีแนวโน้มที่เหมือนกันทั้งเหล็ก SPCC และเหล็ก



SAPH440 อย่างไรก็ตามจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าความเรียบผิวอยู่บ้าง แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงรัศมีปาดตาย จึงเป็นไปได้ว่าความเรียบผิวของชิ้นงาน ในบริเวณตำแหน่งที่ได้ทำการวัดค่านั้นเปลี่ยนไปเพราะอาจจะเกิดจากอิทธิพลของตัวเผลงอย่างอื่นที่ไม่ใช่ขนาดของรัศมีปาดตาย

5. สรุป

1. ขนาดของรัศมีปาดตาย มีอิทธิพลโดยตรงกับความสามารถในการไหลตัวของโลหะและพื้นที่สัมผัสของแผ่นชิ้นงานระหว่างตายกับแผ่นกดยึดชิ้นงาน ทั้งนี้ผลการทดสอบของแรงสูงสุดที่ใช้ในการลากขึ้นรูปของเหล็ก SPCC ก็ได้แนวโน้มเช่นเดียวกับเหล็ก SAPH440

2. รัศมีปาดตายมีผลต่อความกว้างของชิ้นงานรวมปีก

3. การปรับเปลี่ยนขนาดของรัศมีปาดตายจะมีอิทธิพลต่อความหนาของผนังบริเวณมุมกล้องของชิ้นงาน

4. ระดับแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงาน ตามค่าที่ได้จากการคำนวณเหล็กทั้งสองชนิด สามารถลากขึ้นรูปได้โดยไม่เกิดรอยแตกและรอยย่นที่ระดับแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงาน 37.17 kN. สำหรับเหล็ก SPCC และ 55.74 kN. สำหรับเหล็ก SAPH440

5. การเปลี่ยนแปลงของค่าความเรียบผิว (Ra) ของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH440 เป็นไปในลักษณะที่สอดคล้องกัน คือจะมีค่าความเรียบผิวที่ละเอียดในบริเวณตำแหน่งที่ 1 และจะมีค่าความเรียบผิว (Ra) เพิ่มขึ้นในบริเวณตำแหน่งที่ 2 โดยเหล็ก SAPH440 จะมีค่าความเรียบผิวที่ละเอียดกว่าเหล็ก SPCC

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจาก นายกฤษฎา หนูมานายศรีณ ลอยวรรณ นายบรรพต ชาดิมนตรี นายอนิรุช ปิ่นแก้ว นายอิสรา ไหมพรหม นายชัชณ สุระทักษะ นายสรพงศ์ วงษ์พัฒน์ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยทำการทดลองและบันทึกผล และขอขอบคุณอาจารย์บุญส่ง จงกลณี ที่ช่วยให้คำแนะนำในเรื่องการใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Takita, M. and Ohashi, H., Application of High-strength Steel Sheets for Automobiles in Japan [Online], Availabl:<http://www.edpsciences.org/article/metal/pdf/2001/09/takita.pdf> [2006, January 9].
- [2] ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเร้งม, 2552, การศึกษาเพื่อลดการยึดติดบนแม่พิมพ์ขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [3] ไพฑูรย์ โกวิทวงค์, 2544, การศึกษาอิทธิพลของรัศมีตายในการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- [4] วารุณี เปรมานนท์, 2552, แม่พิมพ์โลหะแผ่น, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า (2-4)-(142-179)
- [5] El-Wakil,D.S.,Kamal, M.N.E.M. and Darwish, A.H., 1980, "Mechanics of The Square Box Drawing Operation of Aluminum Blank," Mechanical Engineering Department, pp.679-759
- [6] Toh, C.H., 1984, "Deformation Analysis and Blank Design in Square Cup Drawing" Journal Mechanic Science, Vol. 25, No. 1, pp. 15-32.
- [7] ตรัสนัย ลัดดาวงศ์, 2552, การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปโลหะทรงกระบอกและทรงสี่เหลี่ยม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, หน้า 1-6
- [8] Huang, Y.M. and Chen, J.W., 1994, "Influence of The Tool Clearance in The Cylindrical Cup-Drawing Process," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 57, pp. 4-13.
- [9] Leu, D.K., 1996, "Prediction of The Maximum Drawing Load in the Cup-Drawing Process of Sheet Metals," Journal of Materials Processing Technology, Vol.72, pp. 256-261.
- [10] จุลศิริ ศรีงามผ่อง, 2539, วิศวกรรมงานแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่นเบื้องต้น, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า (7.1-7.42)-(8.1-8.46)
- [11] Lange, K., 1958, Handbook of Metal Forming, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, pp. 2.1-20.66
- [12] Schuler, 1998, Metal Forming Handbook, 2nd ed., Springer, Berlin Heidelberg, pp. 156-388.