

อิทธิพลของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่อคุณภาพชิ้นงาน
ในการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม
The Effect of Friction Coefficient to the Strain Edge
with Rectangular Box

มนฤดี ผาปลิมมา กังวาล นาคศุภรังษี และ สว่าง ฉันทวิทย์

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 นางลั่นจี พุ่มหาเมฆ สาทร กรุงเทพมหานคร 10120

โทร. 02-2879600 E-mail: yiemolly@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการลากขึ้นรูปลึกได้พัฒนามากขึ้นมีการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากขึ้น โดยเฉพาะการออกแบบตำแหน่งที่ไม่ต้องการให้มีร่องรอยของดรอว์ปิตบนชิ้นงาน จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคใหม่เพื่อไม่ให้เกิดร่องรอยของดรอว์ปิตขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างส่วนเรียบตรงกับบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยม ด้วยวิธีการกำหนดอัตราส่วนค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานค่าต่างๆ โดยใช้วัสดุเหล็กกล้ารีดเย็นตามมาตรฐาน JIS SPCC ความหนา 0.5 มิลลิเมตรใช้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยมเท่ากับ 0.057, 0.061, 0.067, 0.073, และ 0.080 ตามลำดับและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานส่วนเรียบตรงคงที่ 0.16 ขนาดชิ้นงานกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร ลึก 50 มิลลิเมตรหล่อลื่นด้วยน้ำมันมะพร้าว ใช้ความเร็วในการลากขึ้นรูปคงที่ 35 mm/sec จากผลการทดลอง และการทดลอง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำจะทำให้ความสามารถในการลากขึ้นรูปชิ้นงานดีขึ้นและในขณะเดียวกันอัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานยิ่งมีค่ามากยิ่งทำให้การลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามรัศมีพันซ์และรัศมีปากตายต่ำจะส่งผลให้ค่าความเครียดบริเวณก้นถ้วยมีค่ามากขึ้นและยังส่งผลต่อแรงในการลากขึ้นรูปที่มากขึ้นตามขนาดของรัศมีพันซ์และรัศมีปากตายที่เปลี่ยนไป การลดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยมยิ่งมากยิ่งขึ้นจะเป็นผลดีต่อการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม และจากผลการวิจัยยังพบว่าการใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการทำนายกระบวนการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อลดต้นทุนการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์รวมถึงช่วยลดต้นทุนการผลิตด้านอื่นๆ ได้เป็นอย่างดีและสามารถทำให้ทราบถึงเงื่อนไขขอบเขตความสามารถในการลากขึ้นรูปลึกรวมถึงการใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ ในการพิจารณาเลือกใช้ตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการลากขึ้นรูปลึกได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: กระบวนการลากขึ้นรูปลึก สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน การออกแบบแม่พิมพ์ ไฟไนต์เอลิเมนต์

ABSTRACT

Now days, to designing products in deep drawing technology are more complicate especially, to design of the unwanted of draw bead on work-piece. So, the new techniques are requiring designing for decrease draw bead. Therefore, this research aims to study the ratio of friction coefficient between the strain edge and corner of rectangular box deep drawing process by using standard JIS SPCC cold roll steel material, 0.5 mm of thickness. Friction coefficient in box corner were used; 0.57, .061, 0.067, 0.073, and 0.080 respectively, and friction coefficient in starting edge fixed to 0.16 with 100 x 120 x 50 mm of box sized, with lubricant oil, deep drawing velocity 35 mm/sec. The results from simulation and experiment found that the form ability increase when the friction coefficient decrease meanwhile, when the friction coefficient ratio increase the efficiency of rectangular box deep drawing increase too. However, as the punch and die radius decrease results to increase the strain on bottom corner of box and deep drawing force increase. To reduce the friction coefficient in bottom corner of box was increase the deep drawing efficiency. That is to say, the finite element simulation can prediction of the deep drawing box to reduce cost in design and manufacturing tools and forming ability conditions for use these available in rectangular box deep drawing process.

Keywords: Deep drawing process, Friction coefficient, Die design/Finite element

1. บทนำ

กระบวนการลากขึ้นรูปเป็นกระบวนการผลิตที่นิยมกันอย่างแพร่หลายและมีการขยายตัวในภาคอุตสาหกรรมเป็นอย่างมากหากออกแบบแม่พิมพ์ไม่ดีอาจทำให้เสียเวลาในการลองผิดลองถูก ต้นทุนการผลิตสูง สิ่งเหล่านี้อาจเกิดจากตัวแปรอื่นที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพชิ้นงาน เช่น สัดส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน [1] ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิเคราะห์เกี่ยวกับการเกิดรอยย่น รัศมีปาดาย การออกแบบและติดตั้งดอร์ปิดและการไหลตัวของวัสดุ [2-7] แต่ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสม

ของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างส่วนเรียบตรง กับบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยมในการทดแทนการใช้ดอร์ปิดโดยวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์เทียบกับการทดลอง กำหนดเงื่อนไขการออกแบบให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแตกต่างกัน 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งมุมกล่องสี่เหลี่ยม และตำแหน่งของส่วนเรียบตรง เพื่อให้ได้ความสามารถในการลากขึ้นรูปที่เหมาะสมต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

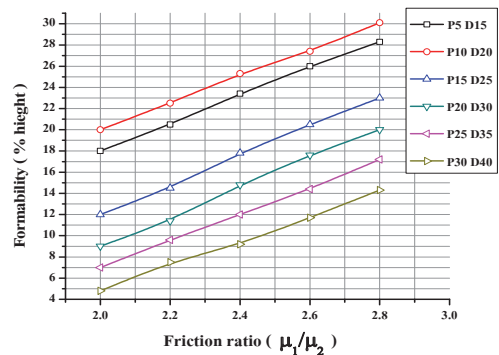
งานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ คือ การจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการ

ทดลอง โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 2 ตำแหน่ง คือบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยม (μ_1) มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 0.057, 0.061, 0.067, 0.073 และ 0.08 ตามลำดับ และบริเวณส่วนเรียบตรง (μ_2) กำหนดให้มีค่าคงที่ เท่ากับ 0.16 อัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยมและบริเวณส่วนเรียบตรง มีค่าเท่ากับ 2.0, 2.2, 2.4, 2.6, และ 2.8 ตามลำดับ เพื่อให้แผ่นชิ้นงานเริ่มต้นไหลลงสู่เบ้าตายเป็นพร้อมกันและความสามารถในการลากขึ้นรูปที่เหมาะสม

2.1 การวิเคราะห์ผลการจำลองและการทดลอง

จากผลลัพธ์การทดลองผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานส่วนเรียบตรง μ_1 และตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยม μ_2 ในอัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ระดับต่างๆ และใช้รัศมีพันซ์ตายในอัตราส่วนต่างกัน 6 ระดับ ดังภาพที่ 1 พบว่า อิทธิพลของอัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีผลต่อความสามารถในการลากขึ้นรูปมาก กล่าวคือ อัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานค่าน้อยส่งผลให้ความสามารถในการลากขึ้นรูปต่ำ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากขึ้นความสามารถในการลากขึ้นรูปจะสูงขึ้นตามลำดับเนื่องจากการไหลตัวของเนื้อวัสดุในส่วนเรียบตรงกับบริเวณมุมกล่องสี่เหลี่ยมเริ่มไหลตัวลงสู่เบ้าตายเป็นพร้อมๆ กันและสามารถช่วยลดค่าความเครียดในแนวตั้งได้ อย่างไรก็ตามค่าความเครียดในแนวเส้นรอบวงยังเกิดขึ้นในทุกๆ ขั้นตอนการกดลากขึ้นรูปดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดค่าความเครียดในแนว

เส้นรอบวงโดยการกำหนดสัดส่วนระหว่างรัศมีพันซ์กับรัศมีตายที่เหมาะสม หากกำหนดสัดส่วนระหว่างรัศมีพันซ์กับรัศมีตายน้อยไป (P5/D15) จะทำให้เกิดความเครียดในแนวเส้นรอบวงต่ำแต่เกิดความเครียดในแนวตั้งมากขึ้นและเมื่อกำหนดสัดส่วนระหว่างรัศมีพันซ์กับรัศมีตายเป็นมากไป (P15/D25, P20/D30, P25/D35, P30/D40) จะทำให้เกิดค่าความเครียดในแนวเส้นรอบวงมากขึ้น ดังภาพที่ 1 อัตราส่วนระหว่างรัศมีพันซ์กับรัศมีตายที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 : 2 เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นผู้วิจัยได้นำเสนอพฤติกรรมผลการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมจากการจำลองและการทดลองมาเปรียบเทียบค่าความเค้น-ความเครียดเพื่ออธิบายพฤติกรรมดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นในทุกๆ ตำแหน่งของขั้นตอนการลากขึ้นรูปว่ามีความสอดคล้องกันอย่างไร ดังภาพที่ 2, 3, 4, 5 และ 6



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการลากขึ้นรูปกับอัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

2.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการจำลองกับการทดลอง

การศึกษาพฤติกรรมผลการเปลี่ยนรูปถาวรโดยสังเกตจากค่าความเค้น-ความเครียดในทุกๆ ตำแหน่งของขั้นตอนการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมผู้วิจัยได้เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการจำลองด้วย

ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลอง กำหนดขนาดของรัศมีพื้นที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิเมตร และรัศมีปากตาย 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 คู่กันตามลำดับ จากนั้นนำผลการทดลอง และจำลองมาเปรียบเทียบค่าความเค้น-ความเครียด พบว่าผลลัพธ์การจำลองและการทดลองมีแนวโน้มไปในทางทิศเดียวกัน และมีความสอดคล้องกัน จากผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ 2 ประเด็นดังนี้

อิทธิพลของความเครียดที่ส่งผลกระทบต่อ ชิ้นงานในขณะที่ลากขึ้นรูปเกิดจากการไหลตัวของวัสดุ ลงสู่เบ้าตายไม่พร้อมเพียงกันเนื่องจากรัศมีพื้นที่และรัศมีตาย ถ้ารัศมีพื้นที่ตายมีขนาดโตขึ้นทำให้การไหลตัวของเนื้อวัสดุลงในเบ้าตายดีขึ้นใช้แรงในการลากขึ้นรูปขึ้นรูปต่ำในทางตรงข้ามถ้ารัศมีพื้นที่ตายมีขนาดเล็กจะทำให้การไหลตัวของเนื้อวัสดุลงในเบ้าตายไม่ดี ใช้แรงในการลากขึ้นรูปขึ้นรูปสูงผลตามมาทำให้เกิดความเครียดมากตาม

อิทธิพลของความเค้นที่ส่งผลกระทบต่อ ชิ้นงานในขณะที่ลากขึ้นรูปพบว่า ในขณะที่มีการลากขึ้นรูปแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยที่ค่าความเค้นในแต่ละตำแหน่งมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากบางตำแหน่งเกิดความเค้นดึงเพียงอย่างเดียวบางตำแหน่งเกิดทั้งความเค้นดึงและความเค้นอัดและบางตำแหน่งเกิดเฉพาะความเค้นอัดเพียงอย่างเดียวทำให้ค่าความเค้นประสิทธิผลมีความแตกต่างกัน

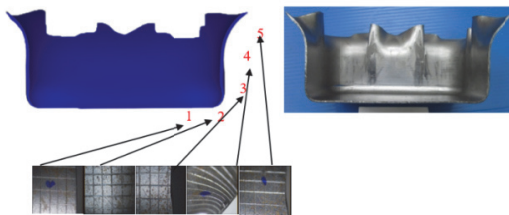
2.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองและการทดลองกรณีศึกษาที่ 1 รัศมีพื้นที่ 5 มิลลิเมตร และรัศมีปากตาย 15 มิลลิเมตร

ในการวิเคราะห์ความเครียดผู้วิจัยได้กำหนดตำแหน่งไว้ 5 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่ 1 บริเวณก้น

ถ้วย ตำแหน่งที่ 2 รัศมีก้นถ้วย ตำแหน่งที่ 3 ผนังก้นถ้วย ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากถ้วย ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากถ้วย ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลอง พบว่า ตำแหน่งที่ 1 บริเวณก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.106 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.104 ตำแหน่งที่ 2 รัศมีก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำเช่นกันวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.075 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.075 ตำแหน่งที่ 3 ผนังก้นถ้วยค่าความเครียดจะมีค่ามากที่สุดวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.136 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.139 ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากถ้วยค่าความเครียดจะสูงเล็กน้อยวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.0891 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.089 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากถ้วยค่าความเครียดจะต่ำลงวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.0292 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.028 ค่าความเครียดมากที่สุดคือตำแหน่งที่ 3 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นช่วงกึ่งกลางระหว่างก้นถ้วยกับปากถ้วยที่ถูกยึดตัวแทบอยู่กับที่ส่วนบริเวณใกล้เคียงจะมีค่าความเครียดลดลงตามลำดับและเมื่อเปรียบเทียบค่าความเครียดจากการจำลองกับการทดลองมีแนวโน้มสอดคล้องกัน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองและการทดลองกรณีที่ 1

จุดที่ กรณี 1	ค่าความเครียด				
	1	2	3	4	5
จำลอง	0.106	0.075	0.136	0.089	0.029
ทดลอง	0.104	0.074	0.139	0.089	0.028



(ก) กรณีที่ 1 ที่ได้จากการจำลอง

(ข) ชิ้นงานที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับการทดลองที่รัศมีพันธ์ 5 มิลลิเมตร รัศมีปากตาย 15 มิลลิเมตร

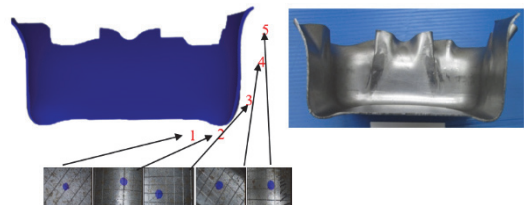
2.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองและการทดลองกรณีศึกษาที่ 2 รัศมีพันธ์ 10 มิลลิเมตร และรัศมีปากตาย 20 มิลลิเมตร

ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลอง ดังตารางที่ 2 และ ภาพที่ 3 ผลลัพธ์จากการจำลองกับการทดลองพบว่า ตำแหน่งที่ 1 บริเวณก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.130 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.128 ตำแหน่งที่ 2 รัศมีก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำเช่นกันวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.189 และวัดค่าความเครียดจากการ

ทดลองได้ 0.185 ตำแหน่งที่ 3 ผนังถ้วยค่าความเครียดจะเริ่มมีค่ามากขึ้นวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.109 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.111 ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากถ้วยค่าความเครียดจะสูงที่สุดวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 1.047 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 1.044 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากถ้วยค่าความเครียดจะต่ำลงอีกครั้งวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.0643 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.0640 ค่าความเครียดมากที่สุดคือตำแหน่งที่ 4 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวยังเป็นช่วงที่ถูกดึงยึดระหว่างกันถ้วยกับปากถ้วยที่ถูกยึดตัวเกือบจะอยู่กับที่ อย่างไรก็ตามตำแหน่งที่ 4 ค่าความเครียดแม้ว่าจะสูงแต่ยังส่งผลต่อความสามารถในการลากขึ้นรูป

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองและการทดลองกรณีที่ 2

จุดที่ กรณี 2	ค่าความเครียด				
	1	2	3	4	5
จำลอง	0.130	0.189	0.109	1.047	0.064
ทดลอง	0.128	0.185	0.111	1.044	0.064



(ก) กรณีที่ 2 ที่ได้จากการจำลอง

(ข) ชิ้นงานที่ 2 ที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับการทดลองที่รัศมีพันธุ์ 10 มิลลิเมตร รัศมีปากตาย 20 มิลลิเมตร

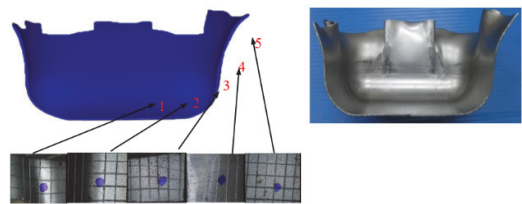
2.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองและการทดลองกรณีศึกษาที่ 3 รัศมีพันธุ์ 15 มิลลิเมตร และรัศมีปากตาย 25 มิลลิเมตร

ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลอง ดังตารางที่ 3 และ ภาพที่ 4 ผลลัพธ์จากการจำลองกับการทดลองพบว่า ตำแหน่งที่ 1 บริเวณกันด้วยค่าความเครียดจะต่ำวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.153 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.152 ตำแหน่งที่ 2 รัศมีพันธุ์กันด้วยค่าความเครียดจะต่ำเช่นกันวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.150 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.153 ตำแหน่งที่ 3 ผนังด้วยค่าความเครียดเริ่มสูงมากขึ้นวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.189 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.187 ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากด้วยค่าความเครียดจะสูงมากที่สุดวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 1.150 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 1.160 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากด้วยค่าความเครียดจะลดต่ำลงอีกครั้งวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.429 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.427 ค่าความเครียดมากที่สุดคือตำแหน่งที่ 4 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นช่วงที่เกือบถึงกลางระหว่างกันด้วยกับปากด้วยที่ถูกยึดตัวแทบอยู่กับที่ ดังนั้นตำแหน่งที่ 2, 3, 4 จะมีโอกาสดึงยึดมากที่สุด ผลของการดึงยึดจะทำให้เกิดความเครียดบนเนื้อวัสดุ

หากค่าความเครียดที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าสมบัติวัสดุ จะทำให้วัสดุเกิดการแตกหักทันที

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองและการทดลองกรณีศึกษาที่ 3

จุดที่ กรณี 3	ค่าความเครียด				
	1	2	3	4	5
จำลอง	0.153	0.150	0.189	1.150	0.429
ทดลอง	0.152	0.153	0.187	1.160	0.427



(ก) กรณีที่ 3 ที่ได้จากการจำลอง

(ข) ชิ้นงานที่ 3 ที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับการทดลองที่รัศมีพันธุ์ 15 มิลลิเมตร รัศมีปากตาย 25 มิลลิเมตร

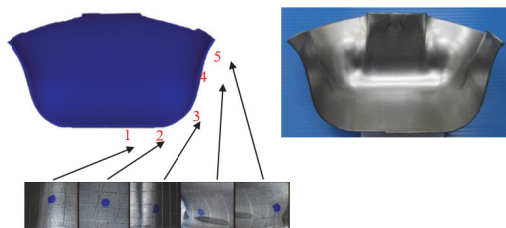
2.6 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองและการทดลอง กรณีศึกษาที่ 4 รัศมีพันธุ์ 20 มิลลิเมตร และรัศมีปากตาย 30 มิลลิเมตร

ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลอง ดังตารางที่ 4 และ ภาพที่ 5 ผลลัพธ์จากการจำลองกับการทดลอง พบว่าตำแหน่งที่ 1 บริเวณกันด้วยค่าความเครียดมีค่าต่ำแต่จะเริ่มมีค่ามากกว่ากรณีอื่นๆ ที่ผ่านม้าวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.147 และวัดค่าความเครียดจากการ

ทดลองได้ 0.149 ตำแหน่งที่ 2 รัศมีก้นถ้วยค่าความ
เครียดจะต่ำวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้
0.183 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้
0.179 ตำแหน่งที่ 3 ผนังถ้วยค่าความเครียดจะมีค่า
ต่ำลงวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.115
และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.112
ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากถ้วยค่าความเครียดจะมีค่ามาก
ขึ้นวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.485 และ
วัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.490 ตำแหน่ง
ที่ 5 บริเวณปากถ้วยค่าความเครียดจะมีค่าสูงสุดวัด
ค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.780 และวัดค่า
ความเครียดจากการทดลองได้ 0.782 ค่าความเครียด
มากที่สุดคือตำแหน่งที่ 5 เนื่องจากปีกถ้วยในบริเวณ
ดังกล่าวเกิดการจับจีบขึ้นรอบๆ ปากถ้วย ดังนั้นจึง
ส่งผลให้ตำแหน่งดังกล่าวถูกดึงยืดมากขึ้นและ
มากกว่าตำแหน่งอื่นๆ ผลของการจับจีบที่มากเกินไป
ทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายขึ้น

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองและ
การทดลองกรณี 4

จุดที่ กรณี 4	ค่าความเครียด				
	1	2	3	4	5
จำลอง	0.147	0.183	0.115	0.485	0.780
ทดลอง	0.149	0.179	0.112	0.490	0.782



(ก) กรณีที่ 4 ที่ได้จากการจำลอง

(ข) ชิ้นงานที่ 4 ที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับการ
ทดลองที่รัศมีพ้นซ์ 20 มิลลิเมตร รัศมีปากตาย 30
มิลลิเมตร

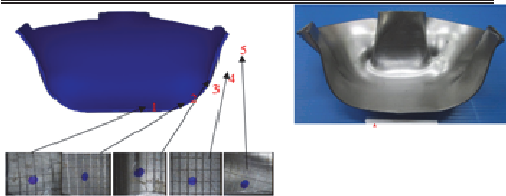
2.7 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองและ การทดลอง กรณีศึกษาที่ 5 รัศมีพ้นซ์ 25 มิลลิเมตร และรัศมีปากตาย 35 มิลลิเมตร

ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่างการ
จำลองกับการทดลอง ดังตารางที่ 5 และ ภาพที่ 6
ผลลัพธ์จากการจำลองกับการทดลอง พบว่าตำแหน่ง
ที่ 1 บริเวณก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำวัดค่าความ
เครียดจากการจำลองได้ 0.123 และวัดค่าความ
เครียดจากการทดลองได้ 0.125 ตำแหน่งที่ 2 รัศมี
ก้นถ้วยค่าความเครียดจะต่ำเช่นกันวัดค่าความเครียด
จากการจำลองได้ 0.187 และวัดค่าความเครียดจาก
การทดลองได้ 0.188 ตำแหน่งที่ 3 ผนังถ้วยค่าความ
เครียดจะมีค่ามากที่สุดวัดค่าความเครียดจากการ
จำลองได้ 0.940 และวัดค่าความเครียดจากการ
ทดลองได้ 0.939 ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากถ้วยค่า
ความเครียดจะสูงเล็กน้อยวัดค่าความเครียดจากการ
จำลองได้ 0.695 และวัดค่าความเครียดจากการ
ทดลองได้ 0.690 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากถ้วยค่า
ความเครียดจะต่ำลงวัดค่าความเครียดจากการจำลอง
ได้ 0.358 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้
0.355 ค่าความเครียดมากที่สุดคือตำแหน่งที่ 3
เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเกิดการยึดตัวคล้ายกับกรณี
ที่ 1 อย่างไรก็ตามบริเวณก้นถ้วยไม่สามารถควบคุม
รูปร่างได้ทำให้ก้นถ้วยยุบตัวมากซึ่งไม่เป็นดีต่อ

กระบวนการลากขึ้นรูปแม้ว่าจะขึ้นรูปได้แต่ตำหนิที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นผลดีต่อชิ้นงานสำเร็จ

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองและการทดลองกรณีที่ 5

จุดที่ กรณี 5	ค่าความเครียด				
	1	2	3	4	5
จำลอง	0.123	0.187	0.940	0.695	0.358
ทดลอง	0.125	0.188	0.939	0.690	0.355



(ก) กรณีที่ 5 ที่ได้จากจำลอง

(ข) ชิ้นงานที่ 5 ที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับการทดลองที่รัศมีพินซ์ 25 มิลลิเมตร รัศมีปากตาย 35 มิลลิเมตร

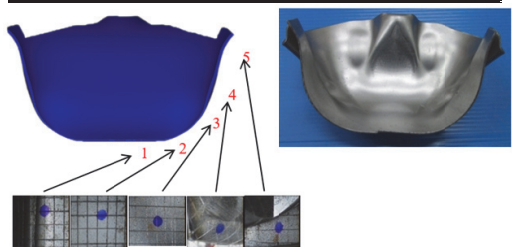
2.8 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองและการทดลอง กรณีศึกษาที่ 6 รัศมีพินซ์ 30 มิลลิเมตร และรัศมีปากตาย 40 มิลลิเมตร

ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลอง ดังตารางที่ 6 และ ภาพที่ 7 ผลลัพธ์จากการจำลองกับการทดลองพบว่าตำแหน่งที่ 1 บริเวณกันด้วยค่าความเครียดจะต่ำวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.368 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.366 ตำแหน่งที่ 2 รัศมี

กันด้วยค่าความเครียดจะเริ่มมากขึ้นวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.780 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.787 ตำแหน่งที่ 3 ผนังด้วยค่าความเครียดจะลดลงวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.148 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.151 ตำแหน่งที่ 4 รัศมีปากด้วยค่าความเครียดจะเริ่มสูงขึ้นอีกครั้งวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.585 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.588 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณปากด้วยค่าความเครียดจะต่ำลงอีกวัดค่าความเครียดจากการจำลองได้ 0.234 และวัดค่าความเครียดจากการทดลองได้ 0.235 ค่าความเครียดมากที่สุดคือตำแหน่งที่ 2 เนื่องจากบริเวณดังกล่าวยังเป็นช่วงเกือบกึ่งกลางระหว่างกันด้วยกับปากด้วยที่ถูกยึดตัวอย่างไรก็ตามชิ้นงานสำเร็จยังจับบีบมากเกินไปส่งผลให้ลากขึ้นรูปต่อไปอีกไม่ได้

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลระหว่างการจำลองและการทดลองกรณีที่ 6

จุดที่ กรณี 6	ค่าความเครียด				
	1	2	3	4	5
จำลอง	0.368	0.780	0.148	0.585	0.234
ทดลอง	0.366	0.787	0.151	0.588	0.235



(ก) กรณีที่ 6 ที่ได้จากจำลอง

(ข) ชิ้นงานที่ 6 ที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองกับการทดลองที่รัศมีพื้นที่ 30 มิลลิเมตร รัศมีปากตาย 40 มิลลิเมตร

จากผลลัพธ์ของการจำลองด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์คำตอบการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความสามารถในการลากขึ้นรูป และความเครียดทั้ง 5 ตำแหน่งเพื่อช่วยในการลดต้นทุนการผลิต ประหยัดเวลาการทำงานช่วยทำนายพฤติกรรมกรรมการเปลี่ยนรูปถาวรของชิ้นงานในการทดแทนการลองผิดลองถูกสำหรับช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึงกล่องสี่เหลี่ยมได้เป็นอย่างดี จากผลการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองจริงมีแนวโน้มไปในทางทิศเดียวกันและมีความสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต [2, 3, 5, 6]

3. สรุปผลการทดลอง

1. อัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานยังมีค่ามากยิ่งทำให้ความสามารถในการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
2. รัศมีพื้นที่และรัศมีปากตายเล็กจะส่งผลให้ค่าความเครียดบริเวณผนังถั่วมีค่ามากขึ้นและใช้แรงในการลากขึ้นรูปที่มากขึ้น
3. ขณะเดียวกันรัศมีพื้นที่และรัศมีปากตายมีขนาดโตขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเครียดบริเวณผนังถั่วมีค่าลดลง ใช้แรงในการลากขึ้นรูปจะลดลงตาม

4. การใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถช่วยในการทำนายรูปร่างรัศมีพื้นที่รัศมีตายวิเคราะห์แรงเสียดทานวิเคราะห์ความเค้น-ความเครียด แรงในการกระบวนการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อลดต้นทุนการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์แบบไร้ ดรอร์บิตรวมถึงช่วยลดต้นทุนการผลิตด้านอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี

4. เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติภูมิ รัตนจันทร์. ผลกระทบจากดรอร์บิตในการขึ้นรูปโลหะแผ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการผลิต). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ: 2542.
- [2] เชษฐ อุทัยยัง. การศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการลากขึ้นรูปลึงโดยใช้สารหล่อลื่น วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: 2546.
- [3] ไพศาล เอี่ยมมณี, ธวัชชัย แก้วสีใส, บัญชา วงศ์ศรีทา, และคณะ “อิทธิพลของรัศมีปากตายในการลากขึ้นรูปถั่วสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก” การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554. 21-24 ตุลาคม 2554.
- [4] วารุณี เปรมมานนท์. การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี; 2554.
- [5] B.Y. Ghoo and Y. T. Keum. Expert drawbead models for sectional FEM analysis of sheet metal forming

- processes. Journal of Materials Processing Technology 2000; Vol. 105: 7-16.
- [6] F. Mehmet. An analysis of sheet drawing characteristics with drawbead elements. Computational Materials Science 2008; Vol.41 : 266-2
- [7] Xi Wang and Jian Cao. An Analytical Prediction of Flange Wrinkling in Sheet Metal Forming Journal of Manufacturing Process 2000; Vol. 2: No. 2.