บทความวิจัย

การศึกษาความสามารถในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์

A Study the Ability to Deep Drawing Process a Square Cup by Finite Element Method

สัญญา คำจริง[1*] ญาณพินิจ วชิรสุรงค์ [2] และปพน สมประสงค์ [2]

Sanya Kumjing[1*], Yanpinit Vachirasurong and Papon Somphasong[2]

บทคัดย่อ

การนำเอาเทคโนโลยีการจำลองความสามารถในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมขนาด 24 x 30 x 20 mm. วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กสแตนเลส เกรด SUS430 และ SUS304 ความหนา 2 mm. โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลของการวิเคราะห์ความเครียดประสิทธิผล (Equivalent strain) ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน จนทำให้ทราบผลที่เกิดขึ้นกับแผ่น Blank หลังขึ้นรูป โดยแผ่น Blank ก่อนปั๊มขึ้นรูปจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ 1) ชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม 2) ชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ตัดขอบข้างเป็นมุม 45 องศา 3) ชิ้นงานเป็นแผ่นกลม พบว่าการปั๊มขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยม เหล็กเกรด SUS 304 ทั้ง 3 ลักษณะ พบว่าชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้นจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะเสียหายกับชิ้นงานในการขึ้นรูป และสำหรับการปั๊มขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยม เหล็กเกรด SUS 430 ด้วยแผ่น Blank ชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม พบว่าชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้นจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะเสียหายกับชิ้นงานในการขึ้นรูป แต่การปั๊มขึ้นรูป ด้วยแผ่น Blank ชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ตัดขอบข้างเป็นมุม 45 องศา และ ชิ้นงานเป็นแผ่นกลมนั้น ปรากฏว่าชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้นมีความเสี่ยงที่จะเสียหายกับชิ้นงานในการขึ้นรูป บริเวณส่วนโค้งรัศมีที่เกิดการดัดงอ ดังนั้นก็สามารถสรุปได้ว่าลักษณะของแผ่น Blank สำหรับเหล็กสแตนเลส ที่เหมาะสมควรมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมมากที่สุด

คำสำคัญ : การลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยม ไฟไนท์เอลิเมนต์

---

[1] อ., สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

[2] อ., สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

[*] Corresponding author: Tel.089-4551334 e-mail: skumjing@hotmail.com

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ปี 2556

Abstract

Adoption of simulation technology, the ability to draw up a Cup-shaped square 24 x 30 x 20 mm. Material is stainless steel grade SUS430 and SUS304, thickness 2 mm. Using finite elements. In order to obtain the effective stress analysis (Equivalent strain) to the workpiece. So what happened to the discs Blank sheet before the forming by stamping it, there are three types: 1) a rectangular piece of sheet 2) the rectangular pieces and cutting edge is angled 45 degrees 3) pieces of the disc. Found that the square cup stamping steel grade SUS 304, all the part after forming they do not pose a risk of damage to the piece of molding. And for the square cup stamping steel grade SUS 430 with a Blank piece is a rectangle. The workpiece after forming , they do not a risk to damage the piece of molding. Blank piece Stamping with the rectangular pieces cutting edge is angled 45 degrees and the specimen is a disc. It appears that after forming the workpiece, there is a risk of damage to the piece of molding around the curvature radius of the bend. Therefore, it can be concluded that the characteristics of the stainless steel Blank. You should look into the most squares.

Keywords: Cup-Shaped Square, Finite Element

บทนำ

กระบวนการลากขึ้นรูปโลหะแผ่น (Deep Drawing) ถือว่ามีความสำคัญในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่างๆในอุตสาหกรรม ซึ่งกระบวนการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมก็จะประสบปัญหาในด้านการไหลตัวที่แต่ละจุดไม่เท่ากันทุกด้าน ส่งผลต่อการสร้างแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิตจริง ดังนั้นกระบวนการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จึงเข้ามามีบทบาทในกระบวนการวิเคราะห์ความสามารถของการลากขึ้นรูปถ้วยที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยม และเป็นที่ทราบกันดีว่าการนำเหล็กแผ่นมาใช้ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานสำเร็จ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับชิ้นงานในกระบวนการลากขึ้นรูป(Deep Drawing) มีปัจจัย หรือตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการขึ้นรูป ระหว่างการลากขึ้นรูป แม่พิมพ์ตัวผู้ (Punch) กดแผ่นเปล่า (Blank) ผ่านปากแม่พิมพ์ตัวเมียทำให้แม่พิมพ์เกิดการดัด (Bending) และดัดกลับ (Unbending) เนื้อโลหะที่อยู่ระหว่างแผ่นกดจะมีความเค้นดึงตามแนวการกดของแม่พิมพ์ตัวผู้ และความเค้นอัดตามแนวเส้นรอบวง (Hoop compression stress) เนื้อโลหะที่ผนังถ้วยได้รับความเค้นดึงแนวแกน (Axial tension) ส่วนที่ก้นถ้วย เนื้อโลหะเกิดสภาวะความเค้นดึงทั้งสองแนวแกน สภาวะความเค้นที่กล่าวมาจะมีผลต่อแรงในการขึ้นรูปและความเสียหายที่เกิดขึ้นในงานลากขึ้นรูป เช่น การเกิดการย่น การฉีกขาด (Tear) ซึ่งทำให้ชิ้นงานได้รับความเสียหายจนใช้การไม่ได้

การคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ในการทำนายผลลัพธ์ของปัญหาที่เราสนใจโดยไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบงานจริง จึงช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย อีกทั้งยังช่วยในการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมหรือแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยข้อได้เปรียบเหล่านี้ทำให้กรรมวิธีทางไฟ

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ปี 2556

ไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในทางวิศวกรรมศาสตร์ ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยนี้ จะมีส่วนทำให้ผู้ประกอบการเกิดความเชื่อมั่นในการนำเทคโนโลยีมาช่วยพัฒนาศักยภาพด้านการแข่งขัน เนื่องจากอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ของประเทศเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้นความจำเป็นที่จะใช้โปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เข้ามาช่วยในการศึกษาวิเคราะห์ปัญหาก่อนการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ เพื่อลดข้อผิดพลาดและลดเวลาของการออกแบบผลิตแม่พิมพ์ เป็นผลให้ผู้ประกอบการสามารถผลิตชิ้นส่วนที่มีคุณภาพ ส่งมอบได้ทันเวลา อีกทั้งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการปรับแก้ หรือ การ Try out แม่พิมพ์

วิธีการวิจัย

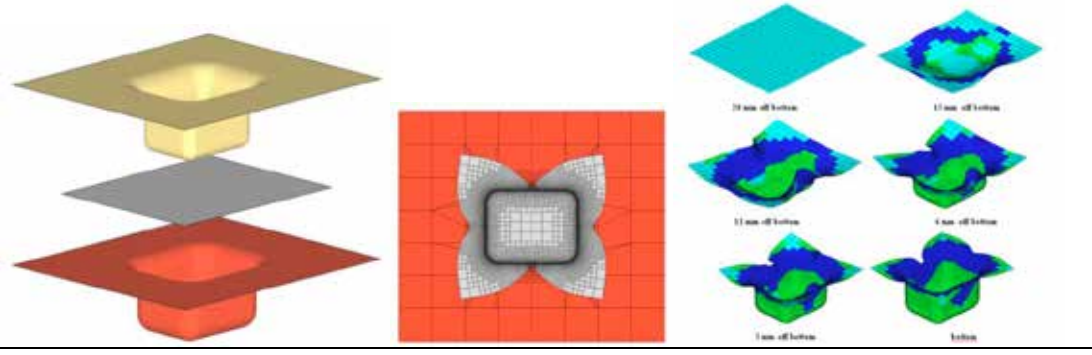
การดำเนินการวิจัยนี้เริ่มจากการให้คำปรึกษากับผู้ประกอบการธุรกิจระดับห้องแถว ที่รับงานสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ โดยมีคำถามด้านการขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม ด้วยวัสดุชิ้นงานที่เหล็กสแตนเลส เกรด SUS430 และ SUS304 ความหนา 2 mm. ควรขึ้นรูปด้วยลักษณะของแผ่นชิ้นงานแบบใด จึงจะสามารถลดความเสียหายกับบริเวณผิวของชิ้นงานระหว่างกระบวนการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม ซึ่งโดยปกติแผ่นชิ้นงานก่อนปั๊มขึ้นรูปจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ 1) ชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม 2) ชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ตัดขอบข้างเป็นมุม 45 องศา 3) ชิ้นงานเป็นแผ่นกลม ทั้งนี้ทางผู้วิจัยจึงเสนอที่จะใช้โปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ มาช่วยในการจำลองการขึ้นรูปเพื่อง่ายต่อการตัดสินใจในการเลือกลักษณะของแผ่นชิ้นงานก่อนปั๊มขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม โดยเลือกขนาดของกล่องสี่เหลี่ยมตามผู้ประกอบการ คือ ขนาดกล่องสี่เหลี่ยม ขนาด 24 x 30 x 20 mm. ความหนา 2 mm. ชิ้นงานเป็นเหล็กเกรด SUS430 และ SUS304 และกำหนดค่ารัศมี PUNCH และ DIE คงที่ (5mm.) อนึ่งขั้นตอนแรกของการสร้างแบบจำลอง คือต้องทราบข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปกำหนดค่าในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ เช่น คุณสมบัติของชิ้นงานที่ใช้ลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม เป็นต้น

สำหรับขั้นตอนของโปรแกรมการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ก็จะเริ่มด้วยการสร้างแบบจำลองการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยจำลอง Upper Die , Lower Die และแผ่น Blank ขั้นตอนที่ 2 สร้างแบบจำลอง Formability Step ขั้นตอนที่ 3 สร้างแบบจำลอง Blank Final Shape ขั้นตอนที่ 4 สร้างแบบจำลองการขึ้นรูปชิ้นงาน(Thinning) และขั้นตอนสุดท้าย คือ SIMULATION REPORT (Forming Limit Diagram)

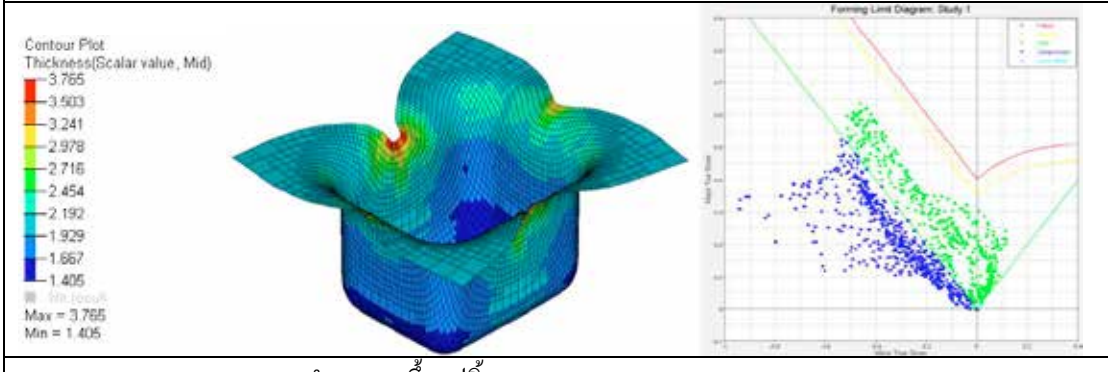
ผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าการจำลองความสามารถในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลของการวิเคราะห์ความเครียดประสิทธิผล (Equivalent strain) ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานนั้นก็หมายความว่าบริเวณที่มีความเครียดสูงโอกาสที่บริเวณดังกล่าวจะเกิดความเสียหาย (ฉีกขาด) ก็มีสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ข้อมูลในการจำลอง คือ การกำหนดรัศมี PUNCH และ DIE คงที่ (5mm.) วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กเกรด SUS430 และ SUS304 ความหนา 2 mm. และลักษณะของชิ้นงาน (แผ่น Blank) ที่ศึกษา มี 3 ชนิด ประกอบด้วย การขึ้นรูปโดยใช้แผ่นBlankเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม , แผ่นสี่เหลี่ยม ตัดขอบข้างละ15 mm. มุม 45 องศา และแผ่นชิ้นงานกลม ซึ่งขนาดของกล่องสี่เหลี่ยมที่ขึ้นรูป คือ 24 x 30 x 20 mm. สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

1. ผลการจำลองการขึ้นรูป เหล็ก SUS304 ความหนา 2 mm. รัศมี PUNCH และ DIE คงที่ 5mm.โดยใช้แผ่น Blank เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม พบว่าชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้นจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะเสียหายกับชิ้นงานในการขึ้นรูป



จำลอง Upper Die , Lower Die และแผ่น Blank / จำลอง Blank Final Shape / จำลอง Formability Step

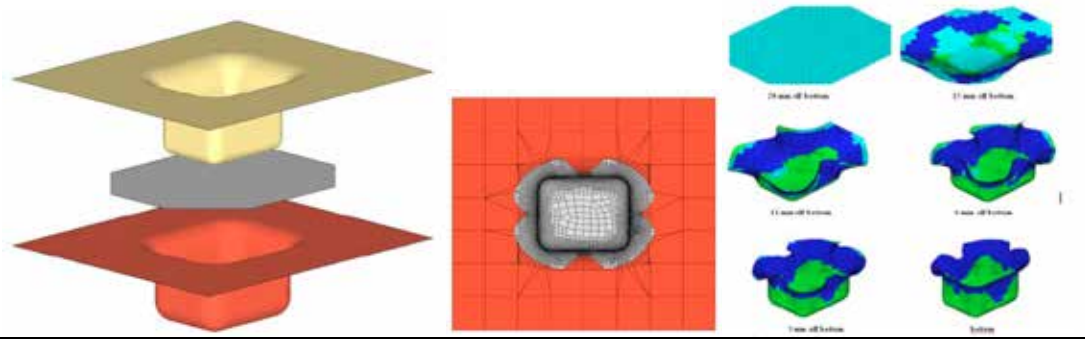


แบบจำลองการขึ้นรูปชิ้นงาน (Thinning) / Forming Limit Diagram

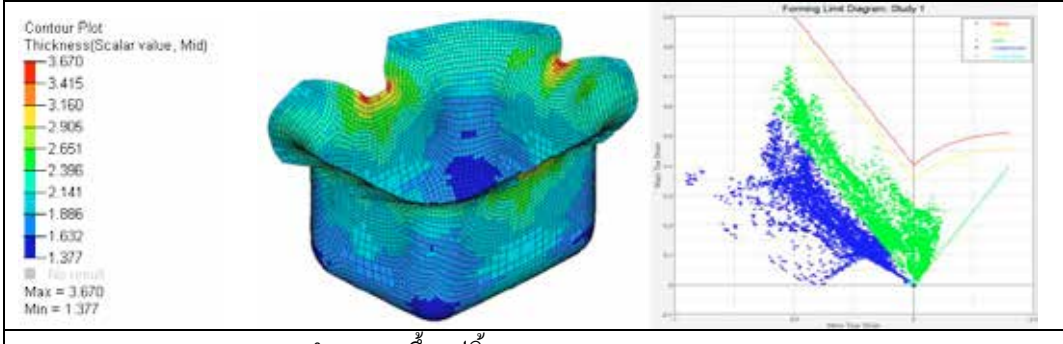
ภาพที่ 1 ผลจำลองการลากขึ้นรูป เหล็กเกรด SUS 304 โดยใช้แผ่นBlankเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม

2. ผลการจำลองการขึ้นรูป เหล็ก SUS304 ความหนา 2 mm. รัศมี PUNCH และ DIE คงที่ 5mm. โดยใช้แผ่นสี่เหลี่ยม ตัดขอบข้างละ15 mm. มุม 45 องศา พบว่าชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้นจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะเสียหายกับชิ้นงานในการขึ้นรูป

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ปี 2556



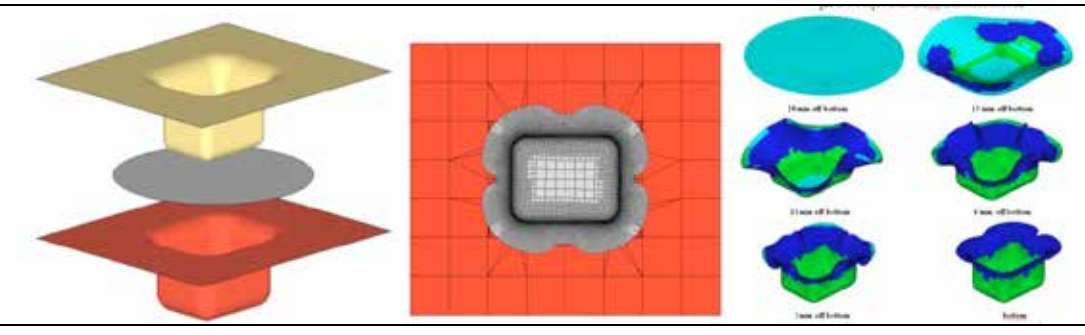
จำลอง Upper Die , Lower Die และแผ่น Blank / จำลอง Blank Final Shape / จำลอง Formability Step



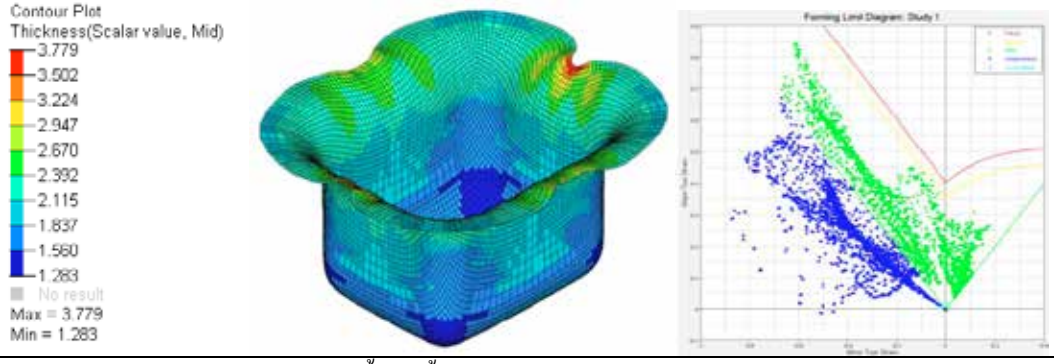
แบบจำลองการขึ้นรูปชิ้นงาน (Thinning) / Forming Limit Diagram

ภาพที่ 2 ผลจำลองการลากขึ้นรูป เหล็กเกรด SUS 304 โดยใช้แผ่น Blank เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ตัดขอบข้าง

3. ผลการจำลองการขึ้นรูป เหล็ก SUS304 ความหนา 2 mm. รัศมี PUNCH และ DIE คงที่ 5mm.โดยใช้แผ่น Blank เป็นแผ่นทรงกลม พบว่าชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้นจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะเสียหายกับชิ้นงานในการขึ้นรูป



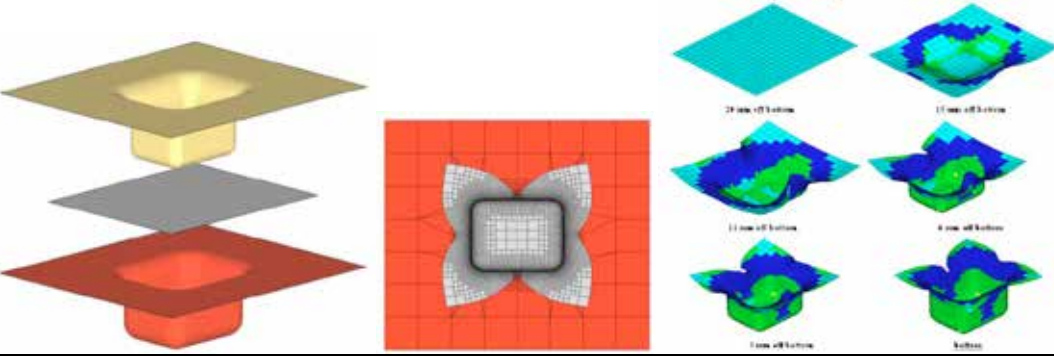
จำลอง Upper Die , Lower Die และแผ่น Blank / จำลอง Blank Final Shape / จำลอง Formability Step



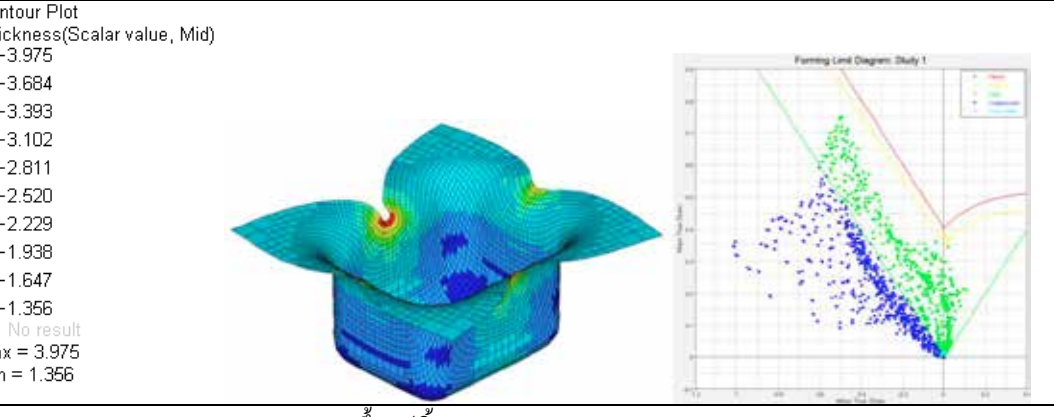
แบบจำลองการขึ้นรูปชิ้นงาน (Thinning) / Forming Limit Diagram

ภาพที่ 3 ผลจำลองการลากขึ้นรูป เหล็กเกรด SUS 304 โดยใช้แผ่น Blank เป็นแผ่นทรงกลม

4. การจำลองการขึ้นรูป เหล็ก SUS 403 ความหนา 2 mm. รัศมี PUNCH และ DIE คงที่ 5mm. โดยใช้แผ่น Blank เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม พบว่าชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้นจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะเสียหายกับชิ้นงานในการขึ้นรูป



จำลอง Upper Die , Lower Die และแผ่น Blank / จำลอง Blank Final Shape / จำลอง Formability Step

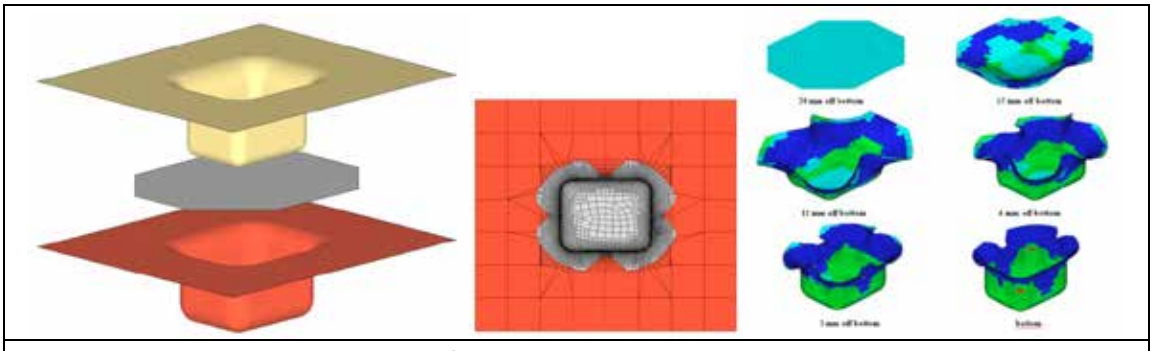


แบบจำลองการขึ้นรูปชิ้นงาน (Thinning) / Forming Limit Diagram

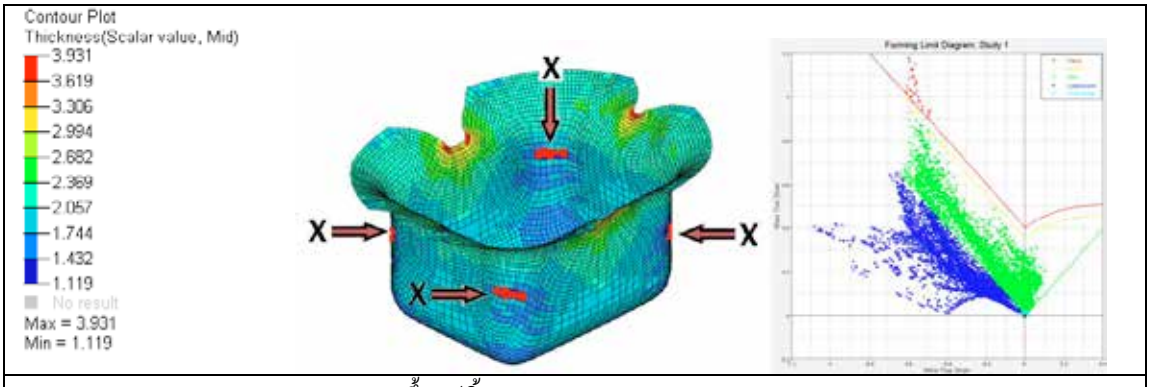
ภาพที่ 4 ผลจำลองการลากขึ้นรูป เหล็กเกรด SUS 403 โดยใช้แผ่น Blank เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ปี 2556

5.การจำลองการขึ้นรูป เหล็ก SUS 403 ความหนา 2 mm. รัศมี PUNCH และ DIE คงที่ 5mm. โดยใช้แผ่นสี่เหลี่ยม ตัดขอบข้างละ15 mm. มุม 45 องศา พบว่าชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้น มีความเสี่ยงที่จะเสียหายกับชิ้นงานในการขึ้นรูป บริเวณส่วนโค้งรัศมีที่เกิดการดัดงอ ดังรูป



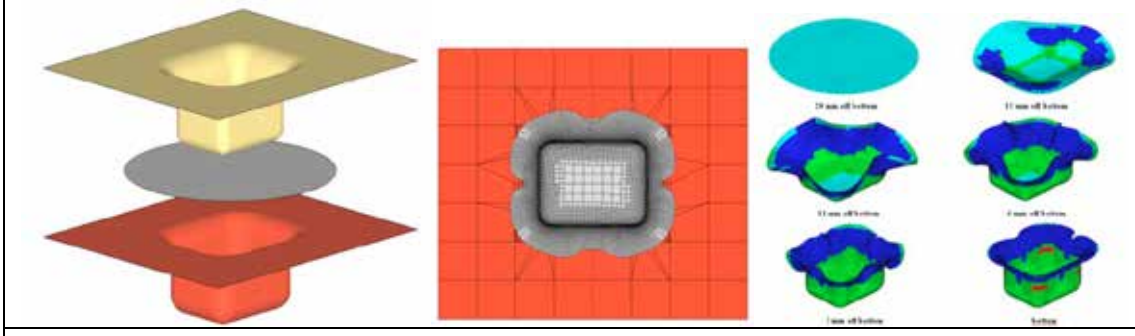
จำลอง Upper Die , Lower Die และแผ่น Blank / จำลอง Blank Final Shape / จำลอง Formability Step



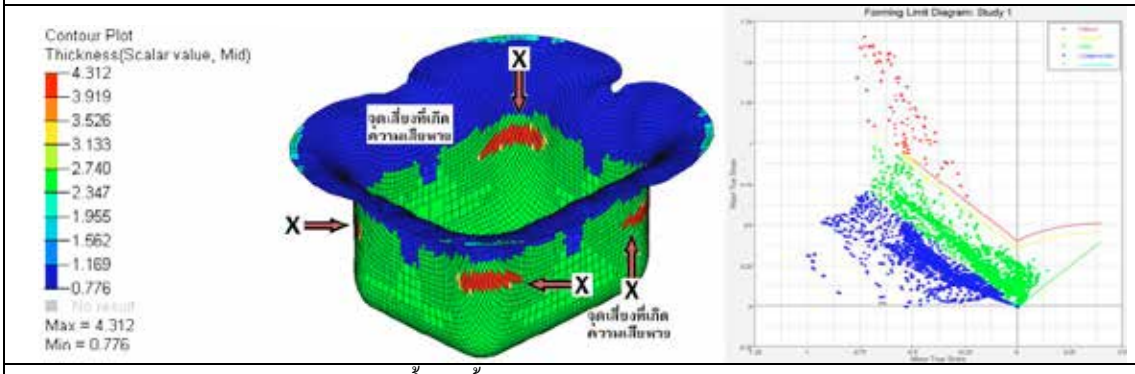
แบบจำลองการขึ้นรูปชิ้นงาน (Thinning) / Forming Limit Diagram

ภาพที่ 5 ผลจำลองการลากขึ้นรูป เหล็กเกรด SUS 403 โดยใช้แผ่น Blank เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ตัดขอบข้าง

6. การจำลองการขึ้นรูป เหล็ก SUS 403 ความหนา 2 mm. รัศมี PUNCH และ DIE คงที่ 5mm. โดยใช้แผ่น Blank เป็นแผ่นทรงกลม พบว่าชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้น มีความเสี่ยงที่จะเสียหายกับชิ้นงานในการขึ้นรูป บริเวณส่วนโค้งรัศมีที่เกิดการดัดงอ ดังรูป



จำลอง Upper Die , Lower Die และแผ่น Blank / จำลอง Blank Final Shape / จำลอง Formability Step



แบบจำลองการขึ้นรูปชิ้นงาน (Thinning) / Forming Limit Diagram

ภาพที่ 6 ผลจำลองการลากขึ้นรูป เหล็กเกรด SUS 403 โดยใช้แผ่น Blank เป็นแผ่นทรงกลม

อภิปรายผลการวิจัย

การลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมเป็นกระบวนการลากขึ้นรูป มักประสบปัญหาในด้านการไหลตัวที่แต่ละจุดไม่เท่ากันทุกด้าน ส่งผลต่อการสร้างแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิตจริง ซึ่งการวิจัยนี้เริ่มจากปัญหาของผู้ประกอบการธุรกิจระดับห้องแถว ที่รับงานสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ โดยต้องสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยม ขนาด 24 x 30 x 20 mm. วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กสแตนเลส เกรด SUS430 และ SUS304 ความหนา 2 mm. สำหรับการสร้างแม่พิมพ์ไม่ได้มีปัญหา แต่ปัญหาอยู่ที่ลักษณะของแผ่น Blank แบบใด จึงจะสามารถลดความเสียหายกับบริเวณผิวของชิ้นงานระหว่างกระบวนการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยม ซึ่งโดยปกติแผ่น Blank ก่อนปั๊มขึ้นรูปจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ 1) ชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม 2) ชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ตัดขอบข้างเป็นมุม 45 องศา 3) ชิ้นงานเป็นแผ่นกลม ทั้งนี้ทางผู้วิจัยจึงนำโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ เข้ามาช่วยในการจำลองการขึ้นรูปเพื่อง่ายต่อการตัดสินใจในการเลือกลักษณะของแผ่น Blank ก่อนปั๊มขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยม โดยเลือกขนาดของถ้วยสี่เหลี่ยมตามผู้ประกอบการและกำหนดค่ารัศมี PUNCH และ DIE คงที่ (5 mm.) ขั้นตอนแรกของการสร้างแบบจำลอง คือต้องทราบข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปกำหนดค่าในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ปี 2556

สำหรับผลการจำลองความสามารถในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลของการวิเคราะห์ความเครียดประสิทธิผล (Equivalent strain) ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานจนทำให้ทราบผลที่เกิดขึ้นกับแผ่น Blank หลังขึ้นรูป คือ การปั๊มขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยม เหล็กเกรด SUS 304 ทั้ง 3 ลักษณะ พบว่าชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้นจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะเสียหายกับชิ้นงานในการขึ้นรูป แต่การปั๊มขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยม เหล็กเกรด SUS 430 ด้วยแผ่น Blank ชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม พบว่าชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้นจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะเสียหายกับชิ้นงานในการขึ้นรูป แต่การปั๊มขึ้นรูป ด้วยแผ่น Blank ชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ตัดขอบข้างเป็นมุม 45 องศา และชิ้นงานเป็นแผ่นกลมนั้น ปรากฏว่าชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้น มีความเสี่ยงที่จะเสียหายกับชิ้นงานในการขึ้นรูป บริเวณส่วนโค้งรัศมีที่เกิดการดัดงอ ดังนั้นก็สามารถสรุปได้ว่าลักษณะของแผ่น Blank สำหรับเหล็กสแตนเลส ที่เหมาะสมควรมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมมากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยนี้ถือได้ว่าเป็นการนำเอาเทคโนโลยีการจำลองสภาวะการขึ้นรูป โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึก จนทำให้เข้าใจถึงประโยชน์ของเทคโนโลยี หรือการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในงานวิศวกรรม (CAE) ซึ่งหลังการพิจารณา เพื่อให้ได้ชิ้นงานตามแบบที่ลูกค้าของบริษัท ฯ ต้องการ พบว่าทำให้ลดความเสี่ยงและยังช่วยลดเวลาในการผลิตชิ้นงาน โดยเฉพาะลักษณะของแผ่น Blank แบบใด จึงจะสามารถลดความเสียหายกับบริเวณผิวของชิ้นงานระหว่างกระบวนการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยม ซึ่งโดยปกติแผ่น Blank ก่อนปั๊มขึ้นรูปจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ 1) ชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม 2) ชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ตัดขอบข้างเป็นมุม 45 องศา 3)ชิ้นงานเป็นแผ่นกลม ซึ่งพบว่า การปั๊มลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยม ขนาด 24 x 30 x 20 mm.วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กสแตนเลส เกรด SUS430 และ SUS304 ความหนา 2 mm. ที่เหมาะสม ควรมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมมากที่สุด เพราะชิ้นงานหลังการขึ้นรูปนั้นจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่จะเสียหาย

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555 และ ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] จุลศิริ ศรีงามผ่อง. (2539). **วิศวกรรมแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่นเบื้องต้น**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พิมพ์ครั้งที่ 8.

[2] ชาญยุทธ มะกา. (2545). **การศึกษาอิทธิพลของชนิดวัสดุทำแม่พิมพ์ที่มีผลต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 67 – 86.

[3] Lange,K. (1985). **Hand Book of Metal Forming**. McGraw-Hill, New York, pp.24.1-24.41

[4] Zhibing,Z., Yuqi,L., Ting, D., Zhigang L. (2007). **Blank design and formability prediction of complicated progressive die stamping part using a multi-step unfolding method**. Journal of Materials Processing Technology [Electronic], Vol.205 No.1 pp.425-431

[5] Gang Fang, Pan Zeng and Lulian Lou. (2002). Finite **element simulation of effect of clearance on the forming quality metals in blanking.** Journal of material Technology, Netherlands.