

**การศึกษาเชิงตัวเลขผลกระทบของพารามิเตอร์ในการออกแบบแม่พิมพ์และ
กระบวนการผลิตต่อการทูนขึ้นรูปเย็นชิ้นงานสมมาตรรอบแกน**
**Numerical Study of effects of design and process parameters on cold forging of
axisymmetric part**

ณัฐพงษ์ พรหมแก้ว* และ จุฬาลักษณ์ คำไม้

ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

* ติดต่อ: โทรศัพท์: (662) 9132500 ต่อ 1539, โทรสาร: (662) 5870029

E-mail: np.bird77@gmail.com*, jcm@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบและกระบวนการทูนขึ้นรูปต่อการไหลของโลหะในแม่พิมพ์และคุณภาพของชิ้นงาน รวมถึงสมรรถนะของแม่พิมพ์ โดยใช้การจำลองเชิงตัวเลข การทูนขึ้นรูปเย็นชิ้นงานสมมาตรรอบแกน โดยแบบจำลองเชิงตัวเลขที่สร้างขึ้นได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงซึ่งเปรียบเทียบได้ดี จากนั้นจึงนำมาศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ทั้งสองประเภทได้แก่ มุมเทปเปอร์และรัศมีปลาย Punch ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในส่วนของการออกแบบแม่พิมพ์ และศึกษาผลกระทบของภาระแรงที่กระทำ และการหล่อลื่นซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในส่วนของการผลิต โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเค้น, ความเครียด, และแรงที่กระทำบนแม่พิมพ์ แนวทางในการออกแบบแม่พิมพ์ใหม่สำหรับชิ้นส่วนดังกล่าวได้ถูกนำเสนอจากผลการศึกษาดังกล่าวโดยสามารถเพิ่มความสูงของชิ้นงานได้ถึง 18% จากเดิมที่ทางโรงงานใช้อยู่

คำหลัก: การจำลองเชิงตัวเลข การทูนขึ้นรูปเย็น การออกแบบแม่พิมพ์ พารามิเตอร์

Abstract

This paper studies effects of cold forging design and process parameters on the metal flow workpiece quality and die performance using numerical simulation of cold forging process. The model has firstly been validated by comparing the simulation results obtained with the die and process condition currently used in a factory with the experimental results from the factory. Good agreement has been seen. The model has then been used to study the influence of design parameters and process parameters which included punch taper, punch fillet radii and lubrication. The analyses have been done by comparing the stress, strain and forging load. The new design approach for this workpiece that has been presented in this study can increase the height of the part up to 18% .

Keywords: Numerical simulation, Forging process, Die design, Parameter

1. บทนำ

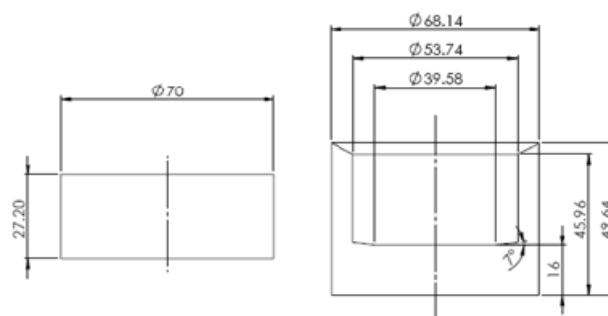
กระบวนการทุบขึ้นรูปเย็นเป็นกระบวนการที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องจักรที่รูปร่างไม่ซับซ้อนมากนัก ข้อได้เปรียบของการทุบขึ้นรูปเย็นเมื่อเทียบกับการทุบขึ้นรูปร้อนคือ ชิ้นงานจะมีผิวและค่าพิถีความคาดเคลื่อนดีกว่า มีเศษวัสดุเหลือทิ้งน้อยกว่าและใช้พลังงานน้อยกว่า เนื่องจากกระบวนการทุบขึ้นรูปเย็นเป็นการทุบขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้อง การไหลของโลหะจะไม่ดีเท่าที่อุณหภูมิสูง การหล่อลื่นจึงมีผลต่อการไหลของโลหะอย่างมาก การออกแบบแม่พิมพ์และกระบวนการจึงเป็นส่วนที่สำคัญ พารามิเตอร์ต่างๆทั้งสำหรับแม่พิมพ์และกระบวนการจะต้องถูกออกแบบให้เหมาะสมเพื่อช่วยให้โลหะไหลได้ดีขึ้นและช่วยกักเก็บสารหล่อลื่นให้อยู่ในส่วนที่ต้องการ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ไม่มีความบกพร่อง พารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถจำแนกได้เป็น พารามิเตอร์สำหรับแม่พิมพ์ (Die Design Parameters) และพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการผลิต (Process Parameters) [1] ดังแสดงในรูปที่ 1 โดย Design Parameters จะเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบขนาดและรูปร่างของแม่พิมพ์ เช่น Corner Radii, Corner Fillet และ Size เป็นต้น ส่วน Process Parameters จะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในช่วงของการผลิตเช่น สารหล่อลื่น (Lubricant), ขั้นตอนการทุบขึ้นรูป (Process Step), วัสดุแม่พิมพ์ เป็นต้น

ในบทความวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของการปรับ มุมเทปเปอร์, รัศมีฟิลเลทที่มุม (corner fillet radii) และ Friction โดยทำการศึกษาเชิงตัวเลข ทำการสร้างแบบจำลองไฟไนต์โวลุ่ม ตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำลองโดยเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ จากนั้นนำแบบจำลองมาศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆ

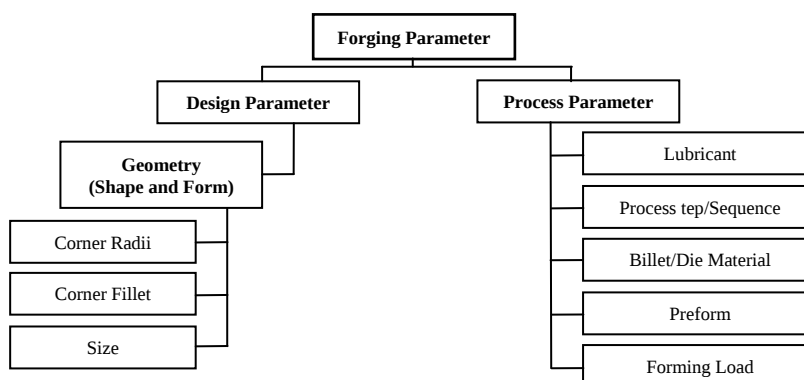
2. การสร้างแบบจำลองการทุบขึ้นรูปชิ้นงาน

สมมาตรรอบแกน

ชิ้นงานที่จะทำการศึกษามีลักษณะเป็นทรงกระบอกแสดงในรูปที่ 2 โดยทุบขึ้นรูปจากบิลเลททรงกระบอก สามารถพิจารณาปัญหานี้เป็นแบบ 2 มิติแบบสมมาตรรอบแกนได้ ในที่นี้ได้ทำการจำลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการไหลของโลหะ และค่าความเค้นความเครียดรวมถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์โวลุ่มต้องทำการกำหนดรูปร่างสัณฐานของชิ้นงานเริ่มต้น และแม่พิมพ์คุณสมบัติของวัสดุ เงื่อนไขขอบ เงื่อนไขสัมผัส และสภาวะการผลิต



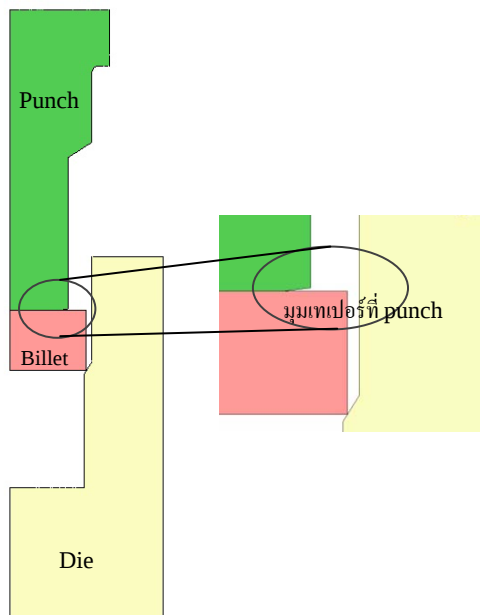
รูปที่ 2 รูปร่างและขนาดของชิ้นงาน



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงองค์ประกอบของตัวแปรในกระบวนการทุบขึ้นรูป [1]

2.1 การกำหนดรูปร่างและขนาดของแม่พิมพ์และชิ้นงานเริ่มต้น

บิลเลทที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 mm และสูง 27.2 mm ดังในรูปที่ 2 ชุดแม่พิมพ์ประกอบไปด้วย punch และแม่พิมพ์ด้านล่าง โดยแม่พิมพ์ด้านล่างมีลักษณะเป็นถ้วยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 68.14 mm สูง 68 mm punch เป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 53.74 mm โดยที่ปลาย punch เป็น taper ทำมุม 7 องศา การทุบเป็นแบบ open die เนื่องจากชิ้นงานเป็นทรงกระบอกสมมาตรรอบแกน ดังนั้นจึงทำการจำลอง 2 มิติแบบสมมาตรรอบแกน รูปที่ 3 แสดงแบบจำลองที่ใช้



รูปที่ 3 แสดงชุดแม่พิมพ์และแบบจำลองสำหรับการทุบขึ้นรูป

2.2 คุณสมบัติและพฤติกรรมของวัสดุ

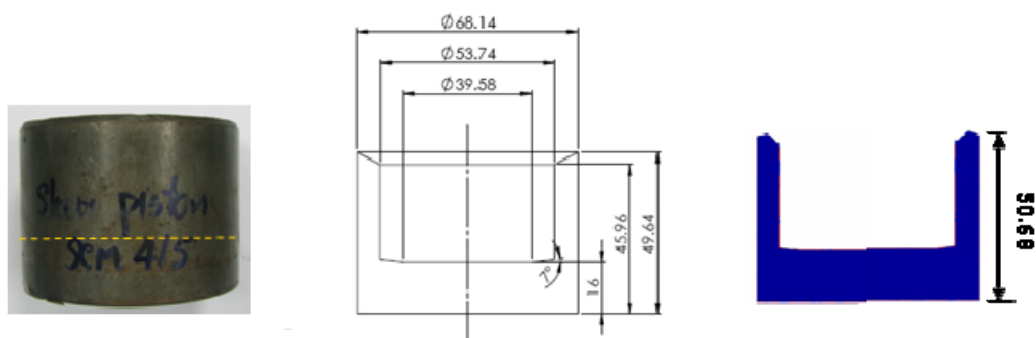
สำหรับแม่พิมพ์และ punch จะมีการเสียรูปน้อยมากเมื่อเทียบกับชิ้นงานจึงกำหนดให้แม่พิมพ์เป็นวัสดุแข็งเกร็ง (rigid body) เพื่อลดความซับซ้อน สำหรับวัสดุชิ้นงานเป็นเหล็ก SCM 415 กำหนดพฤติกรรมเป็นแบบ elastic-plastic คุณสมบัติวัสดุได้จากการทำการทดสอบแรงดึง

2.3 เงื่อนไขขอบ เงื่อนไขสัมผัส และสภาวะการผลิต

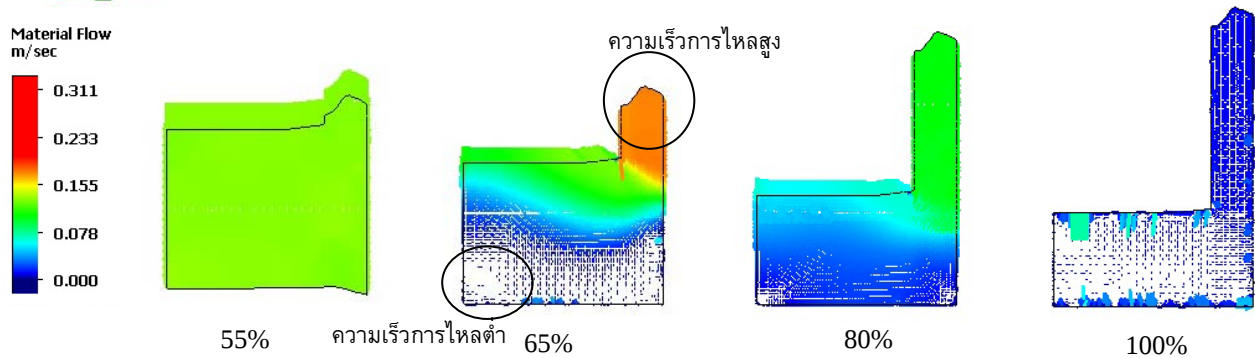
การทุบขึ้นรูปเป็นการทุบโดยใช้ crank press โดยมีรัศมีของ crank press เท่ากับ 0.5 m ความยาว rod 1.5 m ความเร็วของการหมุน 1 rad/s โดยกระบวนการทุบขึ้นรูปที่จำลองนั้น punch เคลื่อนตัวลง ดังนั้นต้องกำหนดเงื่อนไขให้ punch เคลื่อนที่ลงได้อย่างเดียวโดยเคลื่อนที่ลงเป็นระยะเท่ากับ 0.06482m ในขณะที่แม่พิมพ์ล่างจะถูกยึดอยู่กับที่ สำหรับคู่ผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานและแม่พิมพ์กำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.1 การทุบขึ้นรูปเป็นการทุบที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิบิลเลทและแม่พิมพ์มีอุณหภูมิเดียวกัน ในระหว่างการทุบขึ้นรูปจะเกิดพลังงานความร้อนขึ้น ดังนั้นต้องกำหนดให้สภาวะอุณหภูมิไม่คงที่ (Anisothermal condition)

3. ผลการจำลองเปรียบเทียบกับชิ้นงานจริง

เพื่อทำการตรวจสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นได้ทำการจำลองการทุบขึ้นรูปเป็นชิ้นงานตามสภาวะการผลิตเดิมและทำการเปรียบเทียบกับชิ้นงานจริงที่ผลิตอยู่ผลการเปรียบเทียบแสดงดังในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานจริง(ซ้าย) และแบบจำลอง(ขวา)

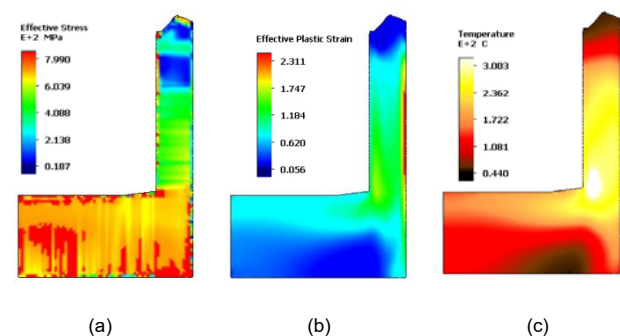


รูปที่ 4 การไหลของโลหะขณะที่ทุบขึ้นรูปในแต่ละช่วงการเคลื่อนที่ของ punch

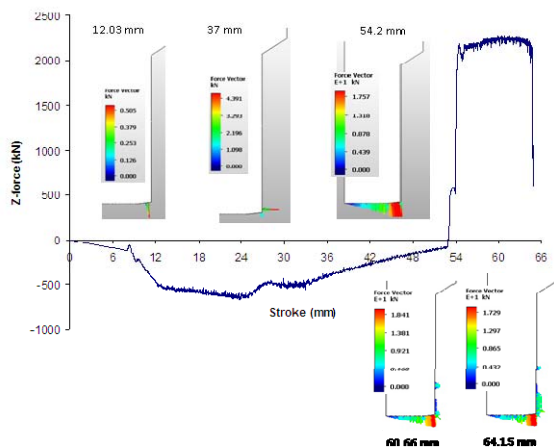
จากการเปรียบเทียบพบว่าความสูงของผนัง sleeve piston มีความแตกต่างกันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 2.09% ซึ่งเปรียบเทียบกันได้ดี ดังนั้นแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานี้มีความถูกต้องและยอมรับได้ การไหลของโลหะขณะที่ทุบขึ้นรูปในแต่ละช่วงการเคลื่อนที่ของ punch แสดงในรูปที่ 4 เนื่องจากขนาดบิลเลทที่ใช้ในกรณีนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่ากัน แม่พิมพ์จึงไม่สัมผัสกับแม่พิมพ์ล่างตั้งแต่แรก เมื่อเริ่มกด punch ชิ้นงานจะไหลลงที่ 55% ของระยะที่ punch เคลื่อนที่ลง ชิ้นงานยังไม่สัมผัสแม่พิมพ์ล่าง โลหะไหลด้วยความเร็วใกล้เคียงกันทั้งชั้นที่ 65% เมื่อชิ้นงานสัมผัสแม่พิมพ์การไหลของโลหะช่วงล่างจะช้าลงมาก เนื่องจากถูกจำกัดการเคลื่อนที่ด้วยตัวแม่พิมพ์ล่าง ในขณะที่บริเวณที่สัมผัส punch โลหะยังมีการไหลอยู่ โลหะจะไหลเร็วในบริเวณที่เป็นช่องว่างโดยไหลย้อนขึ้นไปตามด้านข้างของ punch บริเวณฐานใกล้กึ่งกลางของชิ้นงานจะมีความเร็วต่ำแสดงว่ามีการไหลเกิดขึ้นน้อยมาก โลหะไหลช้าลงเมื่อ punch เคลื่อนที่ลงมากขึ้น

รูปที่ 5 (a-c) แสดงการกระจายของค่าความเค้น ความเครียด และอุณหภูมิตามลำดับ บริเวณมุมด้านขวาเกิดความเค้นสูง ความเครียดเกิดสูงบริเวณผนังด้านนอกของชิ้นงานเนื่องจากเป็นบริเวณที่ยึดตัวสูง อุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิห้องเพราะชิ้นงานมีการเปลี่ยนรูปสูงและเกิดความเครียดสูงทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากการเสีรูปถาวร บริเวณมุมที่สัมผัส punch เป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงมาก อุณหภูมิของ

แม่พิมพ์บริเวณดังกล่าวมีผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ จากการจำลองดังกล่าวจะเห็นว่าบริเวณมุมจะเป็นบริเวณวิกฤต เมื่อพิจารณากราฟของแรงที่กระทำบน punch ซึ่งแสดงในรูปที่ 6 พบว่าบริเวณขอบ punch มีแรงกระทำมากกว่าบริเวณอื่นตั้งแต่ช่วงแรกของการกด ในช่วงแรกชิ้นงานยังไม่สัมผัสแม่พิมพ์ล่างทำให้แรงที่กระทำบน punch มีเพียงแคขอบ punch แต่เมื่อชิ้นงานสัมผัสแม่พิมพ์ล่าง punch มีแรงกระทำเพิ่มขึ้นในด้านหน้าตัดดังแสดงในรูป จะเห็นว่าแรงเพิ่มขึ้น และเมื่อผนังชิ้นงานสูงขึ้น punch จะมีแรงกระทำด้านข้างด้วยอย่างไรก็ตามบริเวณขอบ punch เป็นบริเวณที่มีแรงกระทำมากที่สุด



รูปที่ 5 แสดงค่าและการกระจายตัวของ a) effective stress b) effective strain c) อุณหภูมิ ที่ 100%

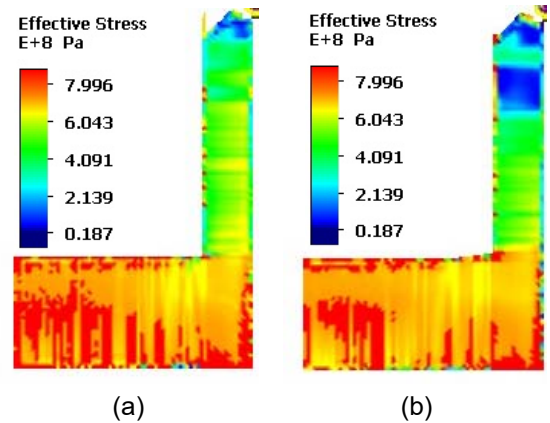


รูปที่ 6 กราฟแสดงแรงที่กระทำบน punch ตามแกน Z

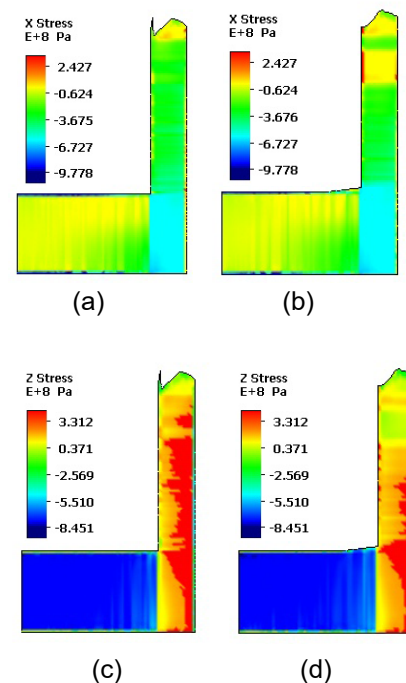
4. การศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์แม่พิมพ์ต่อ การทูนขึ้นรูปชิ้นงาน

ในที่นี้จะทำการศึกษาผลกระทบของความเสียหายบน มุมเทปเปอร์ และฟิลเลทของ punch พบว่าเมื่อสัมประสิทธิ์ความเสียหายมากขึ้น ค่า effective stress และ effective strain เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.05 กับ 0.15 มีความแตกต่างกันไม่ถึง 10% เมื่อเปรียบเทียบความสูงของผนังชิ้นงานพบว่าสูงขึ้นเพียง 0.4% แรงของ punch เพิ่มขึ้น 11%

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนมุมเทปเปอร์โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.1 พบว่าเมื่อมุมเพิ่มขึ้นความสูงของผนังชิ้นงานเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบค่าที่ค่ามุม 0 และ 7 องศา พบว่าต่างกันประมาณ 7.4% ค่า effective stress ลดลงเมื่อเทียบที่ค่ามุม 0 และ 7 องศา ค่า effective stress ลดลงเฉลี่ยประมาณ 40% ดังแสดงในรูปที่ 7 ค่า effective strain ลดลง 1.8% แต่เมื่อพิจารณา stress ตามแนวรัศมี (แกน X) และ stress ตามแนวแกน Z ดังในรูปที่ 8 พบว่า stress ตามแนวรัศมีสูงขึ้นประมาณ 25% stress ตามแนวแกน Z ลดลง อย่างไรก็ตามพบว่าแรงที่กระทำที่ Punch ลดลงเมื่อมุมเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่ 0 องศา กับ 7 องศา กับที่ ค่า radial force ต่างกัน 35% ในขณะที่ z-force ต่างกัน 2.2%



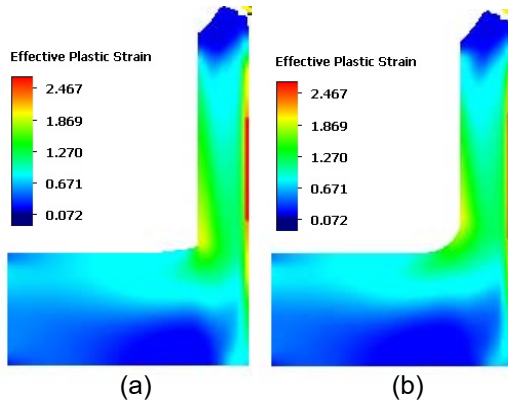
รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่า effective stress ที่มุมเทปเปอร์ (a) 0 องศา และ (b) 7 องศา



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่า stress ในแนวรัศมีที่มุมเทปเปอร์ (a) 0 องศา และ (b) 7 องศา และในแนวแกน Z (c) 0 องศา และ (d) 7 องศา

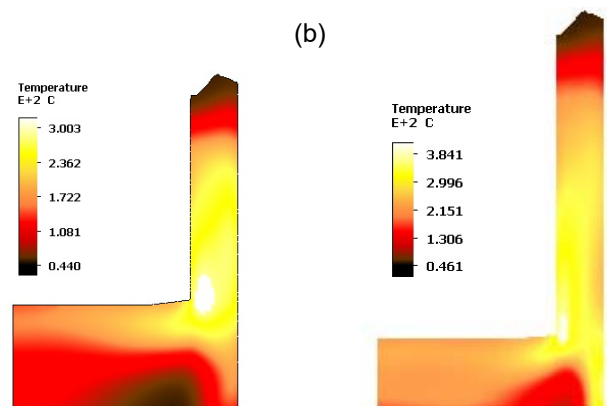
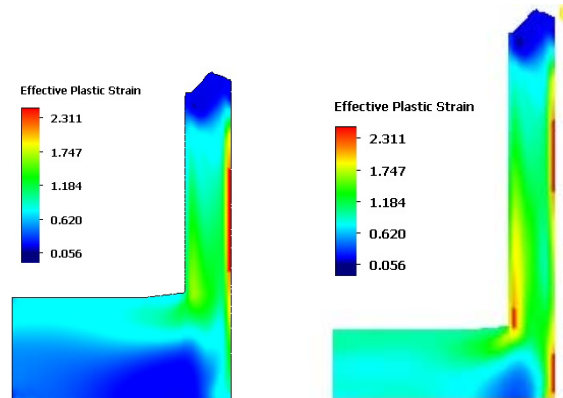
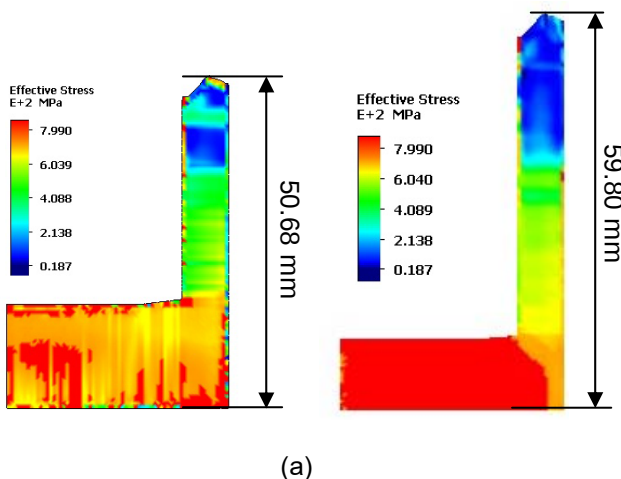
เมื่อปรับให้ punch มีฟิลเลทโดยยังใช้มุมเทปเปอร์ 7 องศาและสัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.1 พบว่าเมื่อรัศมีของฟิลเลทเพิ่มขึ้นความสูงของผนังของชิ้นงานลดลงเมื่อเทียบที่รัศมี 1 mm กับที่รัศมี 5 mm พบว่ามีความแตกต่างกันประมาณ 1.3% ค่า effective strain เพิ่มขึ้นประมาณ 2.3 % ดังแสดงในรูปที่ 9 ค่า effective stress เพิ่มขึ้นประมาณ 22% แรงที่กระทำที่ punch ในแนวรัศมีเพิ่มขึ้นประมาณ

45% ขณะที่ในแนวแกน Z ลดลงประมาณ 5.7%
ขณะที่ effective strain เพิ่มขึ้นประมาณ 2.3 %

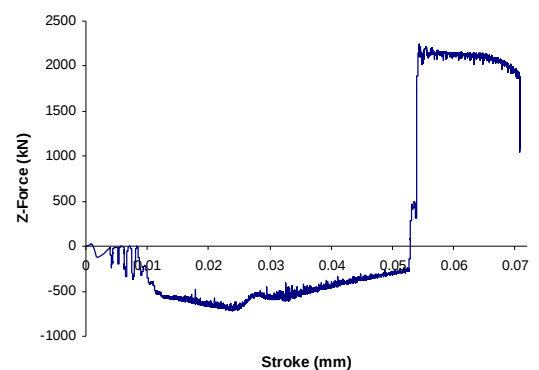


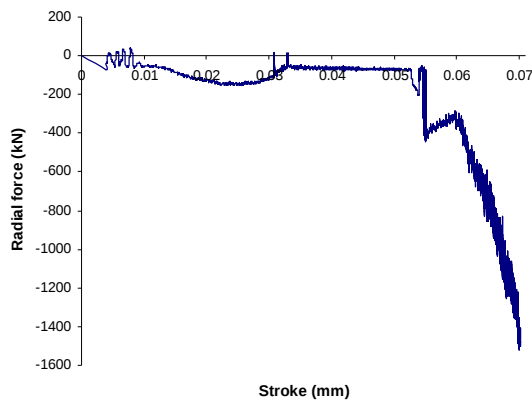
รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่า effective strain
ที่รัศมีฟิลเลท (a) 1mm และ (b) 5 mm

เพื่อจะเพิ่มความสูงของผนังชิ้นงานโดยทำการ
กด punch ลงเพิ่มขึ้นโดยที่ให้ความเค้น ความเครียด
และแรงที่ใช้ไม่สูงมากเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเรื่องชิ้นงาน
และ punch แตก ทั้งนี้ทำการปรับมุมเทปเปอร์เป็น 5
องศา และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็น 0.05 และ
ทำการกด punch เพิ่มขึ้น ผลการจำลองแสดงในรูปที่
10 (a)-(c) จากผลการจำลองพบว่าความสูงของผนัง
เพิ่มขึ้น 18% effective stress โดยรวมลดลงดังแสดง
ในรูป ค่า effective strain เพิ่มขึ้นไม่มากแต่บริเวณ
ขอบ punch เกิด strain สูง อุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อ
พิจารณาแรงที่ punch ดังในรูปที่ 11 พบว่าแรงใน
แนวแกน Z เพิ่มขึ้น 1.75% แรงในแนวแกนรัศมี
เพิ่มขึ้น 20%



รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการ
จำลองกระบวนการทุบขึ้นรูปเดิม(ซ้าย) กับผลที่ได้
จากการจำลองการขึ้นรูปด้วยพารามิเตอร์ใหม่(ขวา)
(a) การกระจายตัวของ effective stress (b) การ
กระจายตัวของ effective strain (c) การกระจายตัว
ของอุณหภูมิ





(b)

รูปที่ 11 แรงที่กระทำบน punch (a) ในแนวแกน Z
(b) ในแนวแกน X

5.สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาพารามิเตอร์ในกระบวนการทุบขึ้นรูป ซึ่งได้แก่ ความเสียดทาน, มุมเทปเปอร์ และรัศมีของ Punch จากผลการจำลองพบว่า เมื่อทำการปรับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากขึ้น ค่า Effective Stress และ Effective Strain และแรงที่กระทำต่อ Punch จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อเทียบความสูงจะมีความแตกต่างไม่มากนัก ส่วนพารามิเตอร์มุมเทปเปอร์ เมื่อทำการเพิ่มค่ามุมให้มากขึ้น จะพบว่าค่า Effective Stress และ Effective Strain และแรงที่กระทำต่อ Punch ลดลง และความสูงจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก และรัศมีฟิลเลทหรือรัศมีปลาย Punch ไม่ค่อยมีผลต่อการทุบขึ้นรูป แต่สามารถลดแรงที่กระทำต่อ Punch ได้

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ และนำมาทำการปรับปรุงเพื่อที่จะเพิ่มขนาดความสูงของชิ้นงาน พบว่าสามารถเพิ่มความสูงได้ 18% เมื่อเทียบความสูงจากของเดิม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท Asia Precision จำกัด ที่ได้เอื้อเพื่อเอกสารและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Abdullah, A.B., Embi, M.J., Hamouda, A.M.S. and Shuib, S. (2007). Effect of Design and Process Parameter to Cold Forging Die Design : A Finite Element Analysis, Journal of Applied Science 7(5), pp. 777-784.
- [2] William F. Hosford and Robert M. Caddell (2007). *Metal Forming Mechanics and Metallurgy*, 3rd Edition.
- [3] Taylan Altan, Gracious Ngaile and Gangshu Shen. (2005). *Cold and Hot Forging : Fundamental and Applications*, ASM International