การศึกษากระบวนการผลิต Yoke Spline ด้วยกรรมวิธีทุบขึ้นรูปร้อนโดยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

The study of hot forging process for manufacturing Yoke Spline by using finite element modeling

สุรวุฒิ ยะนิล

ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

surawut.y@fte.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณเศษเหลือทิ้งของชิ้นงาน Yoke Spline จากกระบวนการทุบขึ้นรูปร้อน ซึ่งการลดปริมาณเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการทุบขึ้นรูปจะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ โดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองกระบวนการทุบขึ้นรูป ซึ่งชิ้นงานทำจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C โดยวิธีดำเนินการวิจัยจะทำการทดลองในแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์บนโปรแกรม Simufact Forming มีขั้นตอนดังนี้ สร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ทำการจำลองการทุบขึ้นรูปโดยแบ่งออกเป็น 36 การทดลอง ซึ่งแต่ละการทดลองจะมีรูปร่างและขนาดของ พรีฟอร์มที่แตกต่างกัน วัดความยาวครีบระหว่างชิ้นงานจริงกับแบบจำลอง วัดแรงที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานจริงกับแบบจำลอง แล้วเปรียบเทียบความยาวครีบและแรงที่ได้ระหว่างชิ้นงานจริงกับแบบจำลอง เพื่อหาขนาดและรูปร่างของพรีฟอร์มที่เหมาะสมที่ทำให้ปริมาณเศษเหลือทิ้งน้อยที่สุด และศึกษาพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ขนาดความยาวชิ้นงานเริ่มต้น องศาพรีฟอร์มและรัศมีพรีฟอร์ม ผลจากการทดลองพบว่าขนาดของชิ้นงานเริ่มต้นและรูปร่างพรีฟอร์มมีความสัมพันธ์ต่อความยาวครีบโดยตรง ซึ่งขนาดความยาวของชิ้นเริ่มต้นมีอิทธิพลมากที่สุดต่อความยาวครีบ และการออกแบบ พรีฟอร์มที่เหมาะสมทำให้แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลดลงซึ่งจะส่งผลให้แม่พิมพ์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

คำสำคัญ: กระบวนการทุบขึ้นรูป, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.

Abstract

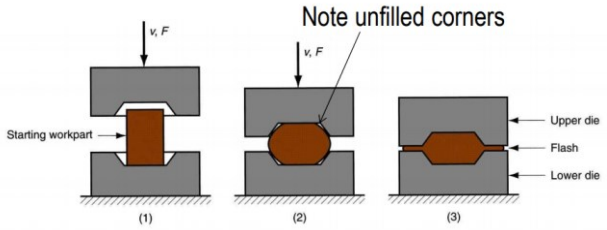
This research aims to reduce the waste of Yoke Spline from the hot forging process. The reduction of debris from the pounding process can reduce the cost of production. Using the finite element modeling model, the pushing process was performed. The workpiece is made of medium carbon steel material S45C. The research is conducted in the Finite Element Simulation. Finite element modeling. Simulation of the piling is divided into 36 experiments, each of which has its shape and size. Different preforms Measure the fin length between the actual workpiece and the model. Measure the force that occurs between the actual workpiece and the model. Then compare the fin length and the force between the actual workpiece and the model. To find the appropriate preform size and shape that minimizes waste. And studied all three parameters, namely the initial workpiece size Degrees, preforms, and radii. The experimental results show that the initial workpiece size and preform shape correlate directly with the fin length. The length of the initial piece has the greatest

influence on the length of the fin and the proper preform design, thus reducing the forming force, resulting in a longer mold life.

Keyword: hot forging process, finite element method

1. บทนำ

การทุบขึ้นรูปเป็นกระบวนการขึ้นรูปโดยอาศัยแรงอัด)Compressive Force) ผ่านแม่พิมพ์เพื่อกดอัดให้ชิ้นงานมีขนาดและรูปทรงตามต้องการดัง ภาพที่ 1 โดยแรงอัดดังกล่าวจะทำให้เกิดความเค้นขึ้นในชิ้นงานจนกระทั่งความเค้นเพิ่มขึ้นมาก) พอที่จะทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรPermanent Deformation) จนได้เป็นรูปทรงตามต้องการ แม่พิมพ์งานร้อนต้องรองรับอุณหภูมิที่สูงขณะใช้งาน เพื่อขึ้นรูปร่างของชิ้นงานประเภทอะลูมิเนียม แมกนีเซียม เหล็ก หรือโลหะต่างๆ โดยทั่วไปเหล็กกล้าที่ใช้สำหรับงานทุบขึ้นรูปร้อนต้องมีความแข็งแรงขณะใช้งานที่อุณหภูมิสูงอย่างดีเยี่ยม ความต้านทานต่อแรงกระทำแบบไดนามิก และความต้านทานต่อการเสียดสีขณะใช้งานที่อุณหภูมิสูง ความเหนียวและความคงทนเป็นสิ่งสำคัญต่อการทำงานในลักษณะนี้



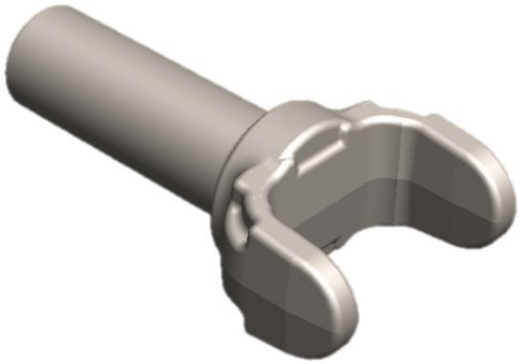
ภาพที่ 1 รูปร่างชิ้นงานสำเร็จที่ใช้ในการทดลอง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการทุบขึ้นรูปร้อนเป็นกระบวนการที่ใช้อย่างแพร่หลายในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรและชิ้นส่วนยานยนต์ในการผลิตครั้งละมากๆ สามารถใช้ผลิตชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนได้ดี และมีเศษเหลือทิ้งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการตัดปาดผิว [2] ในการออกแบบแม่พิมพ์และหาสภาวการณ์ผลิตที่เหมาะสมต้องคำนึงถึงหลายปัจจัยนอกจากคุณภาพชิ้นงานแล้ว ยังมีจำนวนขั้นตอนการทุบขึ้นรูปที่ควรจะน้อย เศษวัสดุเหลือทิ้งต้องมีปริมาณน้อยอายุการใช้งานแม่พิมพ์นาน เป็นต้น โดยทั่วไปการออกแบบแม่พิมพ์และหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมจะทำโดยประสบการณ์และการลองผิดลองถูก การสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการทุบขึ้นรูปร้อน เพื่อหาขนาดชิ้นงานเริ่มต้นที่เหมาะสมของชิ้นส่วนยานยนต์ Yoke Spline ซึ่งทำจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C ซึ่งเป็นโลหะที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์หาขนาดชิ้นงานเริ่มต้นที่เหมาะสมในการขึ้นรูป ซึ่งสามารถลดการลองผิดลองถูกลงได้และเป็นวิธีที่ยอมรับในทางวิศวกรรม ในการทดลองนี้จะทำการทดลองทุบขึ้นรูปชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีความซับซ้อน ซึ่งปัญหาทั่วไปที่พบในชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนคือ เนื้อโลหะไหลไม่เต็มแม่พิมพ์ ซึ่งสาเหตุอาจเกิดมาจากความดันภายในแม่พิมพ์ไม่เพียงพอ การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจจะทำการปรับตัวแปรของรูปร่างแม่พิมพ์ เช่น ความยาวครีบ ความกว้างครีบ เป็นต้น การทดลองนี้จะทำการศึกษาการทุบขึ้นรูปร้อนชิ้นส่วนยานยนต์ Yoke Spline ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ ขนาดชิ้นงานเริ่มต้น รัศมีแม่พิมพ์ และองศาลาดเอียงแม่พิมพ์ เพื่อหาขนาดชิ้นงานเริ่มต้นที่เหมาะสมทำให้ลดปริมาณเศษวัสดุที่ต้องตัดทิ้งลงได้

3. ขั้นตอนการดำเนินการ

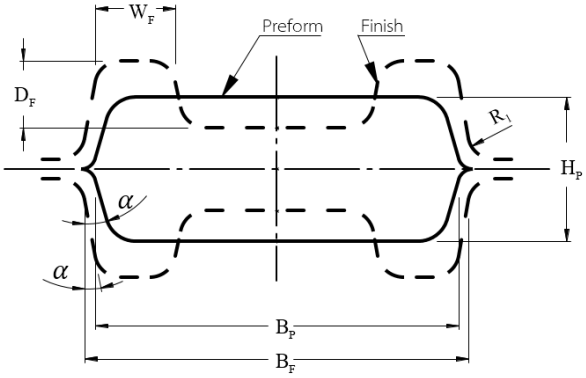
การศึกษาการทุบขึ้นรูปร้อนชิ้นส่วนยานยนต์ Yoke Spline ตามภาพที่ 2 ชิ้นงานดังกล่าวมีการผลิตจริงโดยปัญหาคือ มีปริมาณเศษวัสดุที่ต้องตัด ทิ้งปริมาณมาก ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น



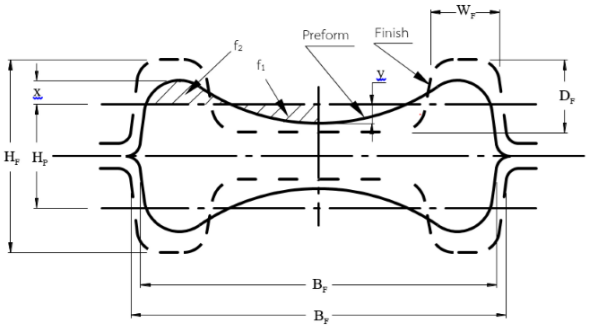
ภาพที่ 2 รูปร่างชิ้นงานสำเร็จที่ใช้ในการทดลอง

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.024

การออกแบบชิ้นงานเริ่มต้นหรือการพรีฟอร์มในงานทุบขึ้นรูปถือว่าเป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง เพราะหากรูปร่างชิ้นงานมีความซับซ้อน จะทำให้เนื้อโลหะไหลตัวได้ไม่ดีซึ่งเป็นผลให้เนื้อโลหะไม่เต็มแม่พิมพ์ และสิ้นเปลืองเนื้อวัสดุมากเกินไป ซึ่งถ้าต้องการจะลดปริมาณเนื้อวัสดุก่อนการขึ้นรูปจำเป็นต้องมีการออกแบบพรีฟอร์มที่เหมาะสมโดยแบ่งพรีฟอร์มออกเป็นสองรูปร่างดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4

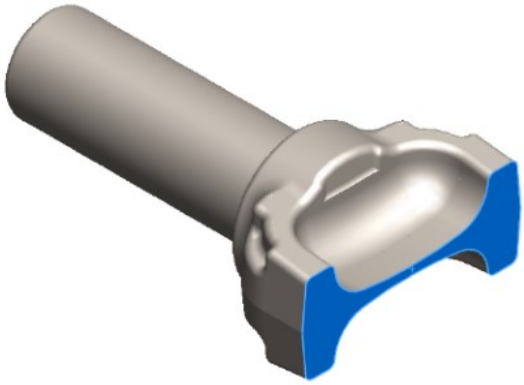


ภาพที่ 3 รูปร่างพรีฟอร์มเมื่อ $D_F < 2 \cdot W_F$



ภาพที่ 4 รูปร่างพรีฟอร์มเมื่อ $D_F > 2 \cdot W_F$

ขั้นตอนการกำหนดขนาดของการพรีฟอร์ม เมื่อขนาดความสูงของแขนชิ้นงานสำเร็จ D_F น้อยกว่า สองเท่าของความกว้างของแขนชิ้นงานสำเร็จ W_F จะใช้รูปร่างพรีฟอร์ตามภาพที่ 3 เนื่องจากมีการไหลตัวในแนวตั้งต่ำ เมื่อขนาดความสูงของแขนชิ้นงานสำเร็จ D_F มากกว่า สองเท่าของความกว้างของแขนชิ้นงานสำเร็จ W_F จะใช้รูปร่างพรีฟอร์มรูปตัว H ตามภาพที่ 4 เนื่องจากเกิดการไหลตัวในแนวตั้งสูง ในการสร้างแบบจำลองนี้ทำการทุบขึ้นรูปชิ้นส่วนยานยนต์ Yoke Spline ด้วยการทุบขึ้นรูปร้อนรูปร่างหน้าตัดบริเวณที่เนื้อโลหะไหลตัวในแนวตั้งตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 หน้าตัดบริเวณที่เนื้อโลหะไหลตัวแนวตั้ง

3.1 การออกแบบฟรีฟอร์มในการทุบขึ้นรูป

การทุบขึ้นรูปชิ้นงาน Yoke Spline ซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีความซับซ้อนการทุบขึ้นรูปภายในหนึ่งครั้งจะทำให้เนื้อโลหะไหลไม่เต็มแม่พิมพ์และใช้แรงในการขึ้นรูปสูงอีกด้วย ดังนั้นจึงกำหนดให้มีการตีแบ่งมวลออกเป็นสามขั้นตอนเพื่อลดแรงในการขึ้นรูปและทำให้เนื้อโลหะร้อนไหลตัวได้ดี

[3] การออกแบบขนาดต่างๆ ของพรีฟอร์มที่เหมาะสมจะสามารถทำให้เนื้อโลหะไหลตัวได้ดีส่งผลให้เนื้อโลหะไหลเต็มแม่พิมพ์ ซึ่งขนาดต่างๆ ที่จำเป็นเพื่อใช้ออกแบบพรีฟอร์ม ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดต่างๆ ที่ใช้ออกแบบพรีฟอร์ม

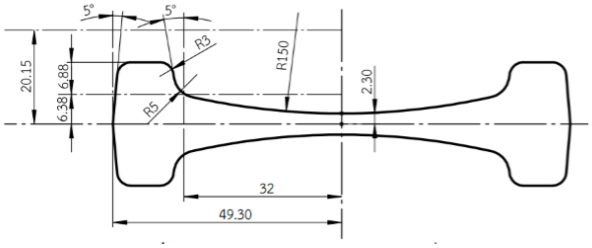
รายละเอียด	ขนาด
ความกว้างรวม (B_p)	98.6 mm
ความสูงเฉลี่ย (H_p)	12.76 mm
ความสูงยอด (x)	6.88 mm

ขนาดต่างๆ ที่คำนวณได้ในตารางที่ 1 จะใช้ออกแบบพรีฟอร์ม ได้รูปร่างพรีฟอร์มตามภาพที่ 6 และกำหนดสมบัติของวัสดุเพื่อจำลองการขึ้นรูปดังตารางที่ 2

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.024

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะ S45C (T=900 ºC 1200 ºC) [2]

S45C	คุณสมบัติของวัสดุ
25 MPa	Yield Stress
2033.95 MPa	Young's Modulus
0.29	Poisson's Ratio
7833.4 kg/mm3	Density
46.73 Watt/(m*K)	Thermal Conductivity
419 Joule/(kg*K)	Specific Heat & Heat Capacity
1.49e-005 1/K	Coefficient of Thermal Expansion



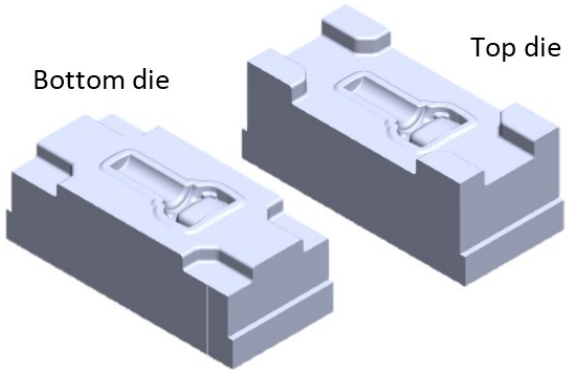
ภาพที่ 6 รูปร่างพรีฟอร์มจากขนาดที่ได้จากการคำนวณ

3.2 การสร้างแม่พิมพ์จากขนาดที่ออกแบบ

รูปร่างพรีฟอร์มที่ได้ออกแบบแล้วจะนำไปสร้างเป็นแม่พิมพ์โดยใช้โปรแกรม Solid Work 2013 ตามภาพที่ 7 ซึ่งการออกแบบแม่พิมพ์จะต้องเพิ่มส่วนโค้งมนให้กับมุมต่างๆ เพื่อให้เนื้อโลหะไหลตัวได้ดี ชิ้นงานปราศจากข้อพกพร่อง และลดการเกิดความเค้นตกค้างที่แม่พิมพ์

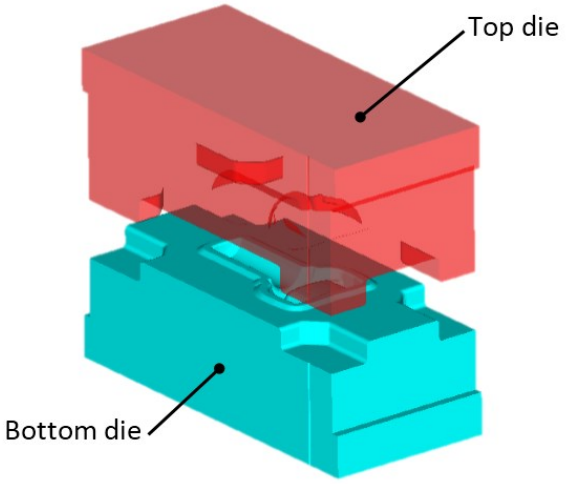
3.3 ความเค้นที่เกิดขึ้นที่แม่พิมพ์

รูปร่างพรีฟอร์มที่เหมาะสมจะทำให้ใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยลง แรงในการขึ้นรูปน้อยลงความเค้นที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ก็จะลดลงด้วย ซึ่งความเค้นที่ลดลง จะทำให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์ยาวนานขึ้น ความเค้นที่เกิดขึ้นทำให้แม่พิมพ์เกิดการสึกหรอ (Wear) เนื้อวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์จะถูกความเค้นถูกแรงเสียดทานทำให้ขนาดต่างๆ ของแม่พิมพ์จะไม่เท่าเดิมและหากปล่อยให้รับแรงต่อไปอย่างนั้นแม่พิมพ์ก็จะพังเสียหายในที่สุด



ภาพที่ 7 แม่พิมพ์โดยโปรแกรม Solid Work 2013

ในการออกแบบจะเพิ่มส่วนของความยาวครีบที่แม่พิมพ์ขนาด 10.5 มิลลิเมตร ตามค่าที่คำนวณได้ และได้เพิ่ม Guide เข้าที่แม่พิมพ์เพื่อให้แม่พิมพ์บนและแม่พิมพ์ล่างอยู่ใน Alignment เดียวกัน เมื่อได้ออกแบบแม่พิมพ์บนและแม่พิมพ์ล่างโดยโปรแกรม Solid Work 2013 แล้ว นามสกุล STL (*.stl) เพื่อให้ง่ายในการใช้งานร่วมกันกับโปรแกรมจำลองการทุบขึ้นรูปดังภาพที่ 7 จะนำแม่พิมพ์ที่ได้ออกแบบไปใช้ในโปรแกรม Simufact Forming V12 ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองการทุบขึ้นรูปตามภาพที่ 8 โดยจะใช้ไฟล์



ภาพที่ 8 แม่พิมพ์ในโปรแกรม Simufact Forming V12

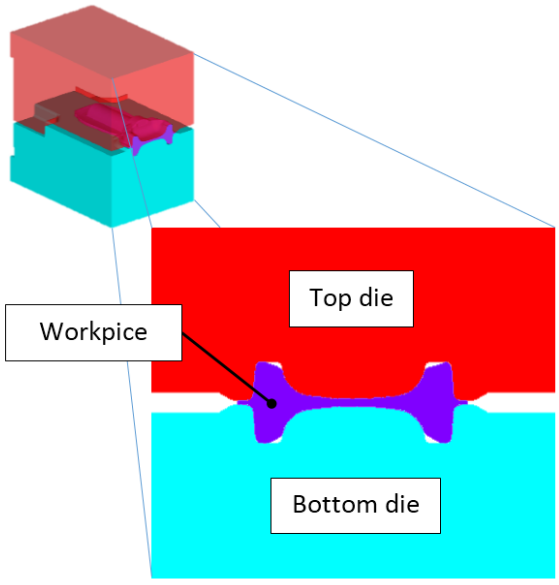
 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.024

4. ผลลัพธ์ของงานวิจัย

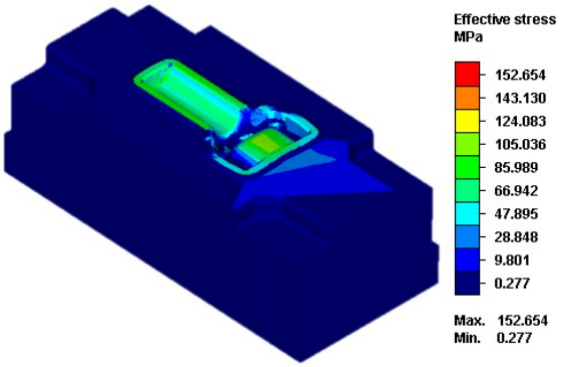
จากการทดลองทุบขึ้นรูปด้วยโปรแกรม Simufact Forming V12 บริเวณหน้าตัดชิ้นงานที่ได้ทำการออก แบบพรีฟอร์มซึ่งเป็นบริเวณที่มีการไหลตัวในแนวตั้งมากที่สุดพบว่า เนื้อโลหะไหลตัวได้ดีไม่มีการติดขัดเนื่องจากได้เพิ่มรัศมีโค้งมนให้แม่พิมพ์ แต่เนื้อโลหะไหลไม่เต็มแม่พิมพ์ในส่วนยอดของแม่พิมพ์ตาม ภาพที่ 9 เนื่องจากปริมาณของเนื้อโลหะน้อยเกินไปทำให้ความดันภายในแม่พิมพ์ต่ำ ปัญหาดังกล่าวอาจจะส่งผลให้เนื้อโลหะไหลไม่เต็มแม่พิมพ์ในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งแนวทางการแก้ไขคือ 1.เพิ่มความกว้างครีบ 2. เพิ่มปริมาณเนื้อ

ความดันภายในแม่พิมพ์เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่ทำให้เนื้อโลหะไหลเต็มแม่พิมพ์ หากความดันภายในมีมากเกินไปจะทำให้แม่พิมพ์สึกหรอได้ ความดันส่วนมากจะเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนท้ายของแม่พิมพ์ เนื่องจากเนื้อโลหะบริเวณส่วนแขนของพรีฟอร์มถูกแม่พิมพ์ดันให้ไหลไปส่วนท้ายทำให้ความดันบริเวณส่วนท้ายสูงกว่าบริเวณอื่นๆ

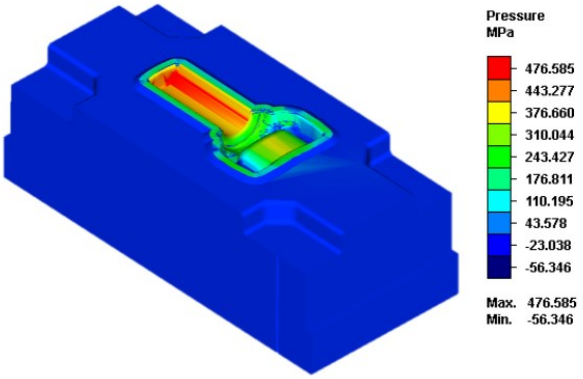
ความดันที่เกิดขึ้นนี้หากมีค่าที่เหมาะสมจะทำให้เนื้อโลหะไหลตัวตามบริเวณต่างๆ ได้ดี ทำให้เม็ดเกรนมีความละเอียดเพิ่มมากขึ้น และยังช่วยขจัดโพรงอากาศในชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 9 หน้าตัดพรีฟอร์บริเวณที่เกิดการไหลตัวแนวตั้ง



ภาพที่ 10 ความเค้นที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์



ภาพที่ 10 ความดันภายในแม่พิมพ์

5. สรุปผลการทดลอง

รูปร่างของพรีฟอร์มมีผลที่ทำให้เนื้อโลหะไหลเต็มแม่พิมพ์ ซึ่งการออกแบบพรีฟอร์มที่เหมาะสมจะทำให้ใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยลง ส่งผลให้ความเค้นและความดันภายในแม่พิมพ์ลดลงด้วย อายุการใช้งานแม่พิมพ์ยาวนานขึ้น การขึ้นรูปโดยใช้พรีฟอร์มที่ออกแบบนั้นส่งผลดีต่อการทุบขึ้นรูปคือทำให้เนื้อโลหะไหลเต็มแม่พิมพ์ชิ้นงานมีความสมบูรณ์และยังใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยลงอีกด้วย

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.024

6. การเขียนเอกสารอ้างอิง

[1] กิติกร คำมูล และสัจจาทิพย์ ทัศนียพันธ์, “Deforming Analysis of Brass Billets in the Hot Forging Process by Using Non-Linear Finite Element Analysis” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, 2554.

[2] ณัฐพงษ์ พรมแก้ว และ จุฬาลักษณ์ ค้าไม้, “การวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรเชิงสัณฐานของแม่พิมพ์ต่อการไหลโลหะในกระบวนการทุบขึ้นรูปร้อน,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 2552.

[3] ดำรง ไทยธีรานุวัฒศิริ.2537 .”การขึ้นรูปโลหะ”พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) หน้า *58-77*

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.024