การลดความเค้นตกค้างของชิ้นงานอลูมินัม A 5056 ในกระบวนการตีเย็นแบบย้อนกลับ

Residual stress reduction of aluminum A 5056 part in cold backward extrusion process

พิทักษ์ สุขเข[1] และ ดิลก ศรีประไพ[2]

Phithak Sukkhe[1] and Dilok Sriprapai[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้เสนอวิธีการการลดความเค้นตกค้างในชิ้นงานอลูมินัม A 5056 ที่เกิดขึ้นในขณะขึ้นรูป ด้วยวิธีการปรับรูปร่างของพันช์(Punch) ภายใต้หลักการการไหลผ่านสิ่งกีดขวางของโลหะ ให้สามารถเคลื่อนที่ได้ราบรื่นที่สุด ขั้นตอนดำเนินการจะเริ่มจาก การออกแบบรูปทรงของพันช์โดยนำสมการทางคณิตศาสตร์ มาใช้แทนมุมมน (Fillet) ของพันช์มาตรฐาน ได้แก่ เส้นโค้งไซคลอยด์ (Cycloid) เส้นโค้งแทร็กทริกซ์ (Tractrix) เส้นโค้งพาราโบลา (Parabola) นอกจากนั้น ยังผสมเส้นโค้งต่างๆ เพื่อให้เกิดความหลากหลายมากขึ้น ในขณะเดียวกันได้ใช้ซอฟท์แวร์เชิงพาณิชย์ ทำการจำลองการขึ้นรูปจากพันช์ รูปแบบต่างๆที่ได้ออกแบบไว้เบื้องต้น เพื่อพยากรณ์ความเค้นที่เกิดขึ้นภายในเนื้อโลหะ เมื่อได้ข้อสรุปจากการจำลองการขึ้นรูปพันช์แล้ว จึงดำเนินการสร้างพันช์และทำการทดสอบต่อไป สำหรับตัวพันช์นั้นทำจากเหล็กแม่พิมพ์งานเย็น DC53 มีความแข็ง 60 HRC ชิ้นงานอลูมิเนียม A 5056 เคลือบผิวด้วย กรรมวิธีบอนเดอไรซิง (Bonderizing)เพื่อลดแรงเสียดทาน ผลการทดลองปรากฏว่า การใช้เส้นโค้งผสมระหว่างเส้นโค้งพาราโบลากับเส้นโค้งแทร็กทริกซ์ สามารถลดความเค้นภายหลังการขึ้นรูปได้ดีที่สุดและยังทำให้สามารถลดภาระแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปได้20%

Abstract

This research proposes a method to reduce residual stress in the aluminum A 5056 occur while forming. In accordance with the punch shape adjusted under the principle of flowing through the obstruction to be able to move as smoothly as possible. Step to be taken form, the used of mathematical modular design of the punch instead of rounded corners (Fillet) of the standard punch such as cycloid, tractrix and parabola. In addition, the curves are still mixed to achieve greater diversity. Meanwhile using the commercial software simulated forming the several punches on the basic design to predict stresses that occur within the metal. Overall the result of the simulation forming punch, then proceed to continue the creation and testing. For the punch is made from a die steel DC53, hardness is 60 HRC and the A5056 aluminum workpiece coated by Bonderizing process to reduce the friction. The results showed that a combination of tractrix curves and parabola curves to be able to reduce the stress after forming and 20% of the force in forming.

e-mail address : dilok.sri@kmutt.ac.th

[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Department : Tool and Material Engineering , Faculty : Engineering , King Mongkut's University of Technology Thonburi

บทนำ

องค์ประกอบที่สำคัญของแม่พิมพ์ทุบขึ้นรูปงานเย็นที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานหรือแม้กระทั่งตัวแม่พิมพ์ก็คือพันช์ เพราะแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปส่วนใหญ่จะไปปรากฏอยู่ที่พันช์แลนด์ (Punch land) และพันช์ต้องรับภาระความเค้นในการขึ้นรูปทั้งหมดกว่า 50% ของความเค้นทั้งหมด จึงทำให้พันช์ต้องรับภาระแรงในการขึ้นรูปแต่ละครั้งสูงมาก ซึ่งสามารถทำให้พันช์บวม พันช์ติดชิ้นงาน และอายุการใช้งานสั้นลง นอกจากนั้นยังไม่สามารถควบคุมความเที่ยงตรงของชิ้นงานได้อย่างสม่ำเสมออีกด้วย รูปร่างของพันช์ตอนปลายจึงเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบที่จำเป็นที่สุด ซึ่งจะเห็นว่า ถึงแม้จะใช้ข้อแนะนำโดยหลักการออกแบบพันช์ทั่วไปแล้วก็ยังเกิดปัญหาอยู่เนืองๆ เพราะไม่สอดคล้องกับวัสดุที่ต้องการขึ้นรูป การออกแบบพันช์ที่ดี จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบมิติ และขนาดที่ถูกต้อง แม่นยำต่างๆ ได้แก่ ฟิลเลท, รูปร่างปลายพันช์, Clearance, ความยาวพันช์ เป็นต้น การออกแบบพันช์ที่ไม่เหมาะสมจะสร้างปัญหาตามมาภายหลังอย่างมากมาย งานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานว่า การออกแบบพันช์เพื่อให้เนื้อวัสดุไหลตัวได้ดีขึ้นจะเป็นเงื่อนไขหลักที่ทำให้ความเค้นในการขึ้นรูปลดลง และส่งผลให้ ความเค้นตกค้างในชิ้นงานลดน้อยลงไปด้วย ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการนำชิ้นงานไปอบอ่อน (Annealing) เพื่อลดความเค้น ที่ตกค้างในชิ้นงานให้น้อยลงและช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ให้สูงขึ้นกว่าเดิม ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการวิเคราะห์คือ ฝาครอบเลนซ์กล้อง NIKON R324 วัสดุชิ้นงาน Al 5056 และทำการออกแบบและปรับเปลี่ยนรูปทรงของพั้นช์ให้มีความเหมาะสม

วัสดุและอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกันได้แก่

เครื่องมือทดสอบวัสดุ

1 ทดสอบความเค้นไหลของอลูมินัม ซึ่งจะใช้วิธีการกดอัดด้วยเครื่องตีขึ้นรูปขนาด 400ตัน

2 ทดสอบสัมประสิทธ์ความเสียดทานด้วยวิธีการกดแบบวงแหวน (Ring test)

3 วัสดุอลูมิเนียม A 5056 ผ่านการเคลือบผิวแบบบอนเดอไรซ์

เครื่องมือทดลองในการตีขึ้นรูป

1 เครื่องตีขึ้นรูปเย็นขนาด 650 ตัน

2 ชุดแม่พิมพ์ตีขึ้นรูปประกอบด้วยพันช์ทำจากเหล็กแม่พิมพ์ วัสดุ DC53

3 เครื่องกลึง ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

4 เครื่องวัดพิกัด

5 เครื่องวัดความกลม

6 ซอฟท์แวร์จำลองการขึ้นรูป Deform 3D

วิธีการทดลอง

การสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองแม่พิมพ์นั้นได้จัดทำขึ้นโดยใช้โปรแกรม Unigraphics NX 6 ซึ่งมีการแบ่งออกเป็นส่วนของ พั้นช์ ดาย (Die) และชิ้นงาน แบบจำลองทั้งหมดนี้จะสร้างเป็นรูปแบบสามมิติ หลังจากนั้นจึงส่งไปยังโปรแกรมวิเคราะห์การขึ้นรูปแบบสมมาตรซึ่งในแบบ 3มิติ สามารถแสดงผลเข้าใจง่ายและรูปร่างลักษณะใกล้เคียงรูปร่างความเป็นจริงมากที่สุดแต่ใช้เวลาในการประมวลผลนาน แต่เนื่องจากชิ้นงานมีรูปร่างสมมาตรจึงทำการวิเคราะห์งานเพียงหนึ่งในสี่ส่วนของชิ้นงานทั้งหมด เพื่อประหยัดเวลาในการประมวลผล ดังแสดงใน Figure 1

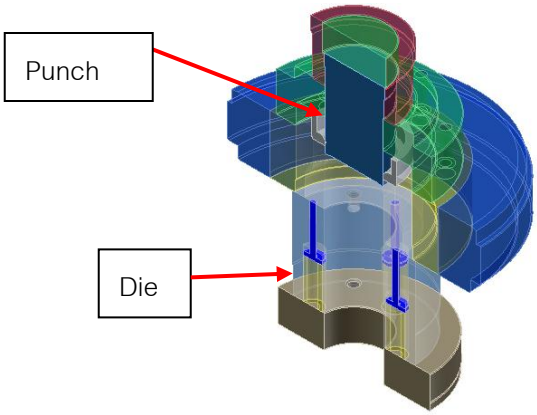


Figure 1 Die Set includes punch and die.

การกำหนดขนาดและจำนวนเอลิเมนต์(Element)ที่เหมาะสม

การใช้โปรแกรมจำลองการขึ้นรูปจะต้องมีการกำหนดขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสมเพื่อหาผลเฉลยการไหลตัวในขณะทำการตีขึ้นรูป งานวิจัยนี้เลือกใช้เอลิเมนต์แบบสามมิติเนื่องจากงานที่ทำการวิเคราะเป็นแบบ 3 มิติ จำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้ในการคำนวณนั้น มีความจำเป็นต้องมีความละเอียดพอ และเหมาะสมกับรูปร่างของชิ้นงานอีกด้วย ในที่นี้ได้ กำหนดจำนวน เอลิเมนต์ไว้ที่ 30,000 เอลิเมนต์

หลักการออกแบบพันช์ตามแนวคิด

ลำดับแรก จะต้องลดความซับซ้อนของชิ้นส่วนพันช์มาตรฐานใน Figure 2 (A) จากสองชิ้นให้เป็นชิ้นเดียว ดังแสดงใน Figure 2 (B) เพราะสามารถลดการเกิดครีบในบริเวณรอยต่อและทำให้ความเค้นที่เกิดจากการขึ้นรูปสามารถกระจายตัวได้ดี เนื่องจากในกรณีพั้นสองชิ้น Ring punch มีหน้าตัดเล็กและไม่สามารถถ่ายเทความเค้นที่เกิดขึ้นให้กับ Punch main จึงทำให้เกิดความเค้นตกค้างสูง ดังแสดงใน Figure 4 (B) ในกรณีพั้นหนึ่งชิ้นความเค้นจะกระจายตัวได้ดีกว่าเนื่องจากพั้นมีหน้าตัดใหญ่ขึ้นและเป็นชิ้นเดียวกัน ดังแสดงใน Figure 4 (C)

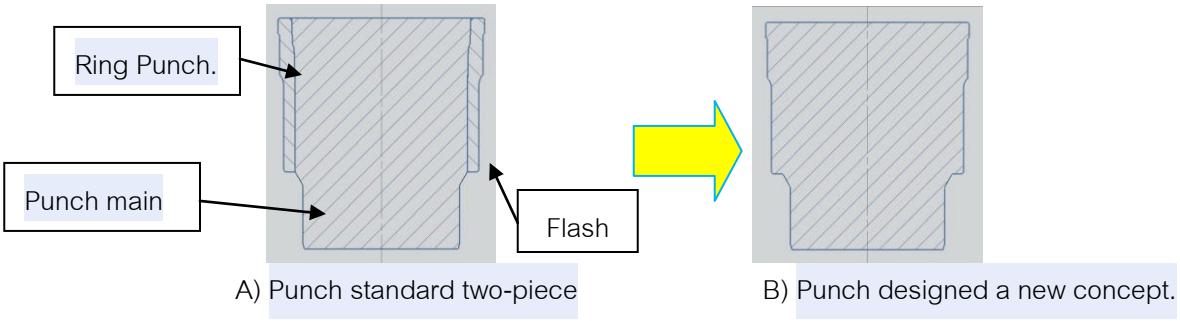


Figure 2 Punch with the design principle of simplifying and reducing the intensity of stress.

ลำดับที่สอง ทำการออกแบบปรับรัศมีของพั้นช์ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ เส้นโค้งไซคลอยด์ เส้นโค้งแทร็กทริกซ์ เส้นโค้งพาราโบลา เส้นโค้งผสม ระหว่างเส้นโค้งแทร็กทริกซ์ กับเส้นโค้งพาราโบลา มาทดแทนรัศมีมุมมนตามมาตรฐานเดิม ในการปรับครั้งนี้ ได้ปรับภายใต้สมมติฐานการไหลของวัสดุดีขึ้น และจะทำให้ความเค้นภายในชิ้นงานลดลง ดังแสดงใน Figure 3

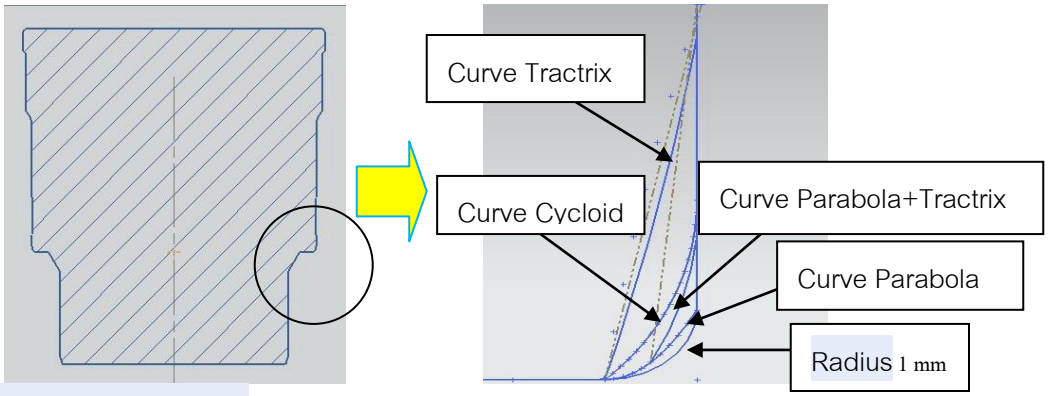
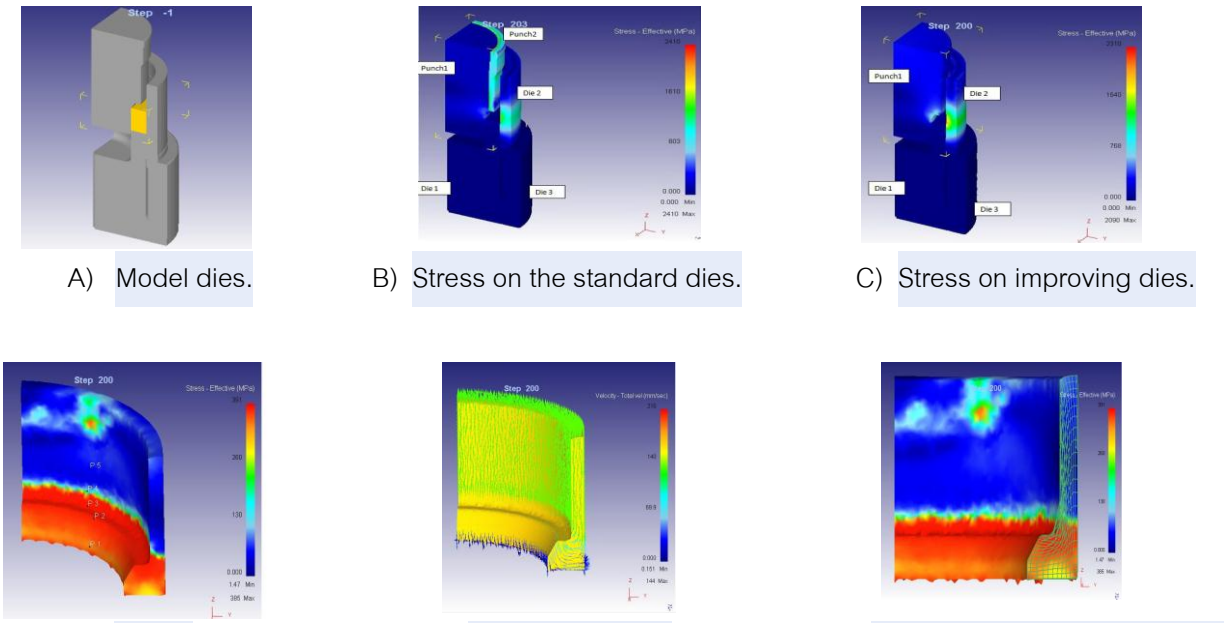


Figure 3 Change the radius of the punch Curve Cycloid , Curve Tractrix , Curve Parabola and Curve Parabola + Tractrix.

ลำดับที่สาม นำแบบจำลองวิเคราะห์การขึ้นรูป และบันทึกผลการทดลองดังแสดงใน Figure 4



A) Model dies. B) Stress on the standard dies. C) Stress on improving dies.

D) Of the Flash E) Flow of materials. F) Vertical flow and compresses.

Figure 4 The solution set of stresses on Punch & die and stresses in the work price.

นำผลการทดลองที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปทั้งหมด มาทำการเปรียบเทียบค่า ความเค้นประสิทธิผล (Effective stress) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานของแต่ละรูปแบบ ทำการเลือกพั้นช์ ที่สามารถลด ความเค้นตกค้างในชิ้นงานและในแม่พิมพ์ได้มากที่สุดรวมถึงภาระแรงการขึ้นรูปที่น้อยที่สุด ดังแสดงใน Figure 5 ซึ่งได้แสดงถึงการเปรียบเทียบพั้นช์ 7 รูปแบบ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า พั้นช์ที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดคือ พั้นช์ที่มีรัศมีพั้นช์ ที่สร้างจากเส้นโค้งพาราโบลาผสมกับเส้นโค้งแทร็กทริกซ์ เพราะมีค่าความเค้นประสิทธิผลในชิ้นงานเท่ากับ 390.57 Mpa หลังจากนั้นจึงทำการสร้างพั้นช์ทดสอบตีขึ้นรูปจริง และบันทึกผลการทดลอง ต่อไป

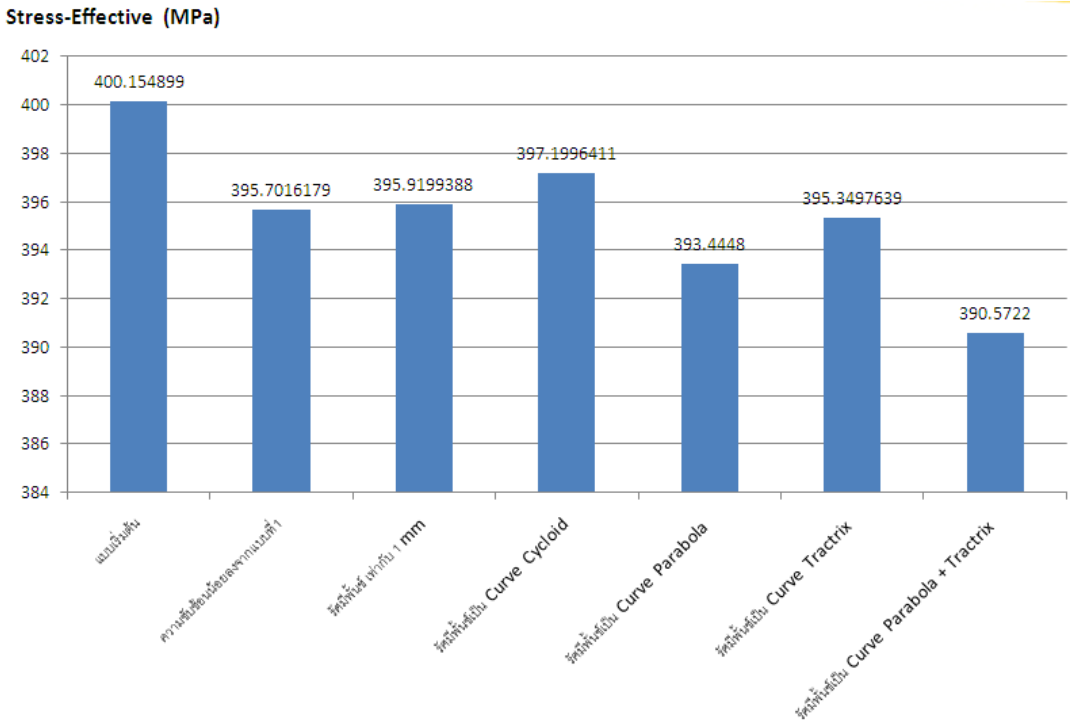
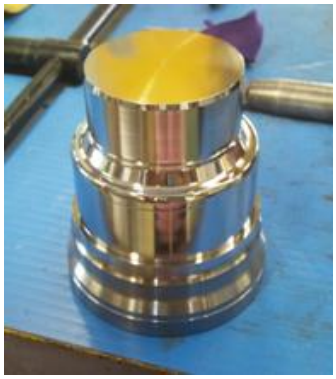


Figure 5 Effective stress caused by variations punch.

ผลการทดลอง

เลือกพั้นช์ที่เหมาะสมไปทำการทุบขึ้นรูป ซึ่งในการทดสอบการขึ้นรูปจริงนั้นได้ทำการเปรียบเทียบ การขึ้นรูประหว่างพันช์มาตรฐาน และพั้นช์ที่ผ่านการออกแบบภายใต้เงื่อนไขการขึ้นรูปที่ดีที่สุด ดังแสดงใน Figure 6 ซึ่งในการทดสอบนี้จะออกแบบการทดลองการทุบขึ้นรูปทั้งหมด 10 ครั้ง แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง 5 ชิ้น ใช้กับพั้นช์ที่ออกแบบใหม่ ส่วน 5 ชิ้นที่เหลือใช้กับพั้นช์มาตรฐานที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน และทำการทุบขึ้นรูปแล้วนำไปกลึงสำเร็จเพื่อตรวจสอบมิติต่อไปดังแสดงใน Figure 7



A) Punch

B) Cold forging machine.

Figure 6 Forming experiments.

A) Workpiece before forging.

B) Workpiece after forging.

C) Workpiece after machining.

Figure 7 The process formed part.

จากผลจากการทดสอบพบว่า พันช์ที่ทำการออกแบบใหม่สามารถลดภาระแรงในการทุบขึ้นรูปได้สูงมากกล่าวคือ สามารถลดโหลดจากพันช์ที่ใช้งานในปัจจุบัน จาก 176 ตัน เหลือเพียง 141.4 ตัน เท่ากับการลดภาระลงได้ 34.6 ตัน หรือ 20% การทุบขึ้นรูปชิ้นงานในแม่พิมพ์ชิ้นงานจะมีรูปร่างคงตัว ในชิ้นงานจะมีความเค้นดึงและความเค้นอัดที่คงตัว เมื่อกลึงเอาผิวภายนอกออกทำให้ความเค้นกระจายออกมาในแบบที่ไม่คงตัวซึ่งจะทำให้ชิ้นงานบิดเบี้ยวและในการกลึงเอาผิวภายนอกออกหน้าตัดจะมีขนาดลดลงโมดุลัสของหน้าตัดลดลงจึงทำให้เกิดการบิดตัวเพราะการบิดตัวมากหรือน้อยแปรตามโมดุลัสของหน้าตัดชิ้นงาน โดยปกติชิ้นงานที่ทำจากพันช์มาตรฐาน จะต้องนำไปอบเพื่อคลายความเค้นตกค้างภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งนับว่าเป็นการสูญเสียเวลาในการผลิต และสิ้นเปลืองพลังงานเป็นอันมาก ดังนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบ ผลการวัดขนาดหลังจากการกลึง ชิ้นงานจากพันช์มาตรฐานที่ผ่านการอบคลายความเครียด กับชิ้นงานที่ได้จากพันช์แบบใหม่โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการคลายความเครียด ผลที่ได้รับ คือขนาดและค่าความกลมของชิ้นงานทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 1 ซึ่งแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า หลักแนวคิดในการปรับปรุงพันช์ในครั้งนี้ ให้ผลเป็นไปตามสมมติฐานครั้งแรก

Table 1 Comparing dimension diameter of workpiece after machine by lathe (mm)

ชิ้นงานผ่านการอบคลายเครียด พันช์มาตรฐาน		**ชิ้นงานไม่ผ่านการอบคลายเครียด พันช์ออกแบบใหม่**	
ชิ้นที่ 1	**ชิ้นที่ 2**	**ชิ้นที่ 1**	**ชิ้นที่ 2**
82.60	82.62	82.62	82.62
82.60	82.62	82.62	82.62
82.62	82.60	82.64	82.64
82.62	82.62	82.64	82.62
82.62	82.60	82.64	82.62

สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบลักษณะของพั้นช์ที่เหมาะสมกับการทุบขึ้นรูปชิ้นงาน Nikon R324 นี้ ซอฟท์แวร์จำลองการขึ้นรูปมีบทบาทสำคัญในการ เป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการออกแบบแม่พิมพ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากจะช่วยลดจำนวนของเสียและลดค่าใช้จ่ายจากการลองผิดลองถูกในการทดลองแม่พิมพ์แล้ว ก็ยังช่วยในการตัดสินใจในการเลือกพั้นช์ ได้แก่พั้นช์ที่มีรัศมีพั้นช์ แทนด้วย เส้นโค้งพาราโบลาผสมกับเส้นโค้งแทร็กทริกซ์ ซึ่งสามารถลด ความเค้นประสิทธิผลได้ 11.43 MPa และที่สำคัญคือสามารถลดภาระแรงการขึ้นรูปได้จริง จากการทุบขึ้นรูปชิ้นงาน Nikon R 324 เมื่อทำการทุบขึ้นรูปเปรียบเทียบกับพั้นช์มาตรฐานที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ชิ้นงานไม่มีการบิดเบี้ยวหลังการทุบขึ้นรูป ขนาดของชิ้นงานที่ผ่านการทุบขึ้นรูปแล้วอยู่ในค่าพิกัดความเผื่อที่กำหนดไว้ตรงตามต้องการ โดยไม่ต้องนำชิ้นงานที่ทุบขึ้นรูปไปเข้าขบวนการอบเพื่อคลายความเค้นตกค้าง ดังนั้นจึงสามารถลดกระบวนการลดความเค้นในชิ้นงานออกไปได้ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงได้มาก ชิ้นงานเสร็จตามเวลาที่กำหนด และไม่มีปัญหาในขั้นตอนการกลึงเพื่อให้ได้ชิ้นงานสำเร็จรูปตรงตามต้องการ ผลจากการวิจัยทำให้เห็นได้ว่า มีความเป็นไปได้กับการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ และแนวความคิดในการปรับปรุงเพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงต่อชิ้นส่วน มาประยุกต์เข้ากับอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนโลหะแผ่นในประเทศได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

Pedersen K. and O. Jensrud, **Cold forging of high strength aluminum alloys and the development of new thermomechanical processing**, Journal of Materials Processing Technology, Volumes 80-81, 1 August 1998, Pages 156-160.

TaylanAltan, Gracious Ngaile and GangshuShen, 2005, **Cold and Hot Forging Fundamentals and Applications**, pp. 167 – 171.

Monaghan J. and C. Mc. Cormack, **A finite element analysis of cold-forging dies using two- and three-dimensional models**, Journal of Materials Processing Technology, Volume 118, Issues 1-3, 3 December 2001, Pages 286-292.

Kim M. H., H. Y. Cho, G. S. Min and C. Y. Jo, **Process design of the cold forging of a billet by forward and backward extrusion**, Journal of Materials Processing Technology, Volume 135, Issues 2-3, 20 April 2003, Pages 375-381.

Heimlund O. and S. Tjøtta, **Finite-element simulations in cold-forging process design**, Journal of Materials Processing Technology, Volume 36, Issue 1, December 1992, Pages 79-96.