

การศึกษาการไฟน์แบลนก์แบบไร้แหวนจิก

A study of Fine Blanking without V-ring

สุเทพ เยี่ยมชัยภูมิ¹ ชาญ ถนัดงาน² และ ศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์³

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ¹ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต² ภาควิชา

วิศวกรรมเครื่องกล³ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทร 0-2287-3211 – 25 ต่อ 210¹, 0-2913-2520 ต่อ 1003², 8531³ โทรสาร 0-2587-4350² E-mail: y_suthep@hotmail.com¹, chn@kmitnb.ac.th²,

chw@kmitnb.ac.th³

Suthep Yiemchaiyaphum¹ Charn Thanadngarn² and Sirisak Harnchoowong³

Department of Industrial Engineering¹, Department of Production Engineering², Department of Mechanical Engineering³

Rajamangkala University of Technology Khungthep Sathorn Bangkok 10120, Thailand¹, King Mongkut's Institute of Technology North

Bangkok2,3 Bangsue Bangkok 10800, Thailand^{2,3}

Tel: 0-2287-3211 – 25 Ext: 210¹, 0-2913-2520 Ext: 1003², 8531³ Fax: 0-2587-4350² E-mail: y_suthep@hotmail.com¹, chn@kmitnb.ac.th²,

chw@kmitnb.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของมุมลาดเอียงปลายพUNCH ความลึกของมุมลาดเอียงปลายพUNCH และรัศมีคมตัดพUNCH ที่มีผลต่อคุณภาพผิว คุณภาพรูปทรง และค่าพิถีความเคืองของมุมลาดเอียงผิวรอยตัด ในกระบวนการไฟน์แบลนก์แบบไร้แหวนจิก ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยนำผลลัพธ์เชิงตัวเลขที่ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองวัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการจำลองและทดลองเป็นเหล็กกล้าอะมุนตามมาตรฐาน JIS.SP4D P/O ความหนา 7 mm เคลือบเรซินเครื่องมือตัด 0.5 % ของความหนาวัสดุ สำหรับการจำลอง ใช้มุมลาดเอียงปลายพUNCH 0° ถึง 90° โดยเพิ่มครั้งละ 5° ความลึกมุมลาดเอียงปลายพUNCH 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mm และรัศมีคมตัดพUNCH 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 mm ตามลำดับ แต่สำหรับการทดลอง ใช้มุมลาดเอียงปลายพUNCH 20° ถึง 45° โดยเพิ่มครั้งละ 5° ความลึกมุมลาดเอียงปลายพUNCH 0.5 mm และรัศมีคมตัดพUNCH 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 mm ตามลำดับ ชิ้นงานมีการหล่อลื่นด้วยน้ำมัน Holifa HFF 24

จากผลลัพธ์เชิงตัวเลขพบว่า การเพิ่มมุมลาดเอียงปลายพUNCH จาก 0° ถึง 45° มีผลทำให้ค่าแรงตัดเฉือนค่อยๆ ลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง แต่สำหรับมุมลาดเอียงปลายพUNCH ตั้งแต่ 45° ถึง 85° ค่าแรงตัดเฉือนค่อยๆ เพิ่มขึ้น และมีติของพUNCHที่เหมาะสมที่สุดคือ มุมลาดเอียงปลายพUNCH 30° ± 2° ความลึกมุมลาดเอียงปลายพUNCH 0.5 mm และรัศมีคมตัดพUNCH 0.2 mm ค่าความผิดพลาดสูงสุดระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองกับการทดลองคือ 4.60%

Abstract

The objective of this research is to study the effects of the punch chamfer angle, the punch chamfer depth and the punch radius on the quality of cut edge, the geometrical quality and the tolerance angular accuracy of part in the fine blanking without V-ring process by finite element method. The numerical results are then to be compared with the experimental results. In both the simulation and experiment, mild steel JIS.SP4D P/O with 7 mm thick, die clearance of 0.5% are used in common. For the simulation, punch chamfer angles of 0° to 90° with an increment of 5°, punch chamfer depths of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mm and punch radii of 0.05, 0.10, 0.15 and 0.20 mm are applied. On the other hand, punch chamfer angles of 20° to 45° with an increment of 5°, punch chamfer depth of 0.5 mm and punch radii of 0.05, 0.10, 0.15 and 0.20 mm are used for the experiment. Holifa HFF 24 is used as lubricant.

The numerical results show that the increasing of the punch chamfer from 0° to 45° causes the decreasing of shear force. This agrees with the experimental results. However, the increasing of punch chamfer angle from 45° to 85° increases the magnitude of shear force. The optimum dimensions of the punch are: the punch chamfer angle has the values of 30° ± 2°, the punch chamfer depth is 0.5 mm and the punch radius equals to 0.2 mm. In addition, the

maximum error between the simulation model and the experiment is 4.60%.

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่ากระบวนการไฟน์แบลนก์เป็นกระบวนการที่มีระยะช่องว่างเครื่องมือตัดน้อย โดยมีแรงดันมากที่แบลนก์โฮลเตอร์และแคนเตอร์พันซ์ เพื่อเพิ่มความเค้นอัดให้แก่วัสดุชิ้นงานเพื่อไม่ให้เกิดการแตกหักขึ้นขณะทำการตัดเฉือน (blanking) และได้ผิวชิ้นงานที่เรียบส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไฟน์แบลนก์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อน ต้องการความเที่ยงตรงสูง โดยไม่ผ่านกระบวนการอื่นๆ อีกจึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงซึ่งเป็นพื้นฐานในการพัฒนา ปัจจุบันนี้กระบวนการไฟน์แบลนก์ได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในกรณีผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นงานที่มีทั้งส่วนโค้งส่วนเว้าหรือมีพื้นที่ที่นูนออก มีความแตกต่างของรูปทรงวัสดุซึ่งส่งผลต่อการกำหนดตำแหน่งแหวนจิก หรือบางครั้งไม่สามารถใช้แหวนจิกได้ เพราะฉะนั้นภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว จึงเป็นการยากที่จะทำให้ผิวของชิ้นงานมีความเรียบ ในงานวิจัยนี้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว จึงได้นำข้อมูลจากประสบการณ์ของการทำงานเพื่อมาออกแบบรูปทรงพันซ์ใหม่โดยไม่ขัดกับแนวคิดและหลักการของกระบวนการไฟน์แบลนก์แต่อย่างใด

ถึงแม้ว่าจะมีประสบการณ์การทำงานมากน้อย แต่ในเรื่องการทำงานก็ยังมีทดลองผิดลองถูก ซึ่งมีผลทำให้เสียเวลาและเพิ่มค่าใช้จ่ายมากขึ้นด้วยเหตุดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้นำเอาระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการทำนายความเสียหายและการเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นงาน เช่น รอยฉีกขาด รอยเสี้ยน และรูปร่างตายโรลในกระบวนการไฟน์แบลนก์ ผลจากการวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สอดคล้องกับผลการทดลอง ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่ากรรมวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อทำนายความเสียหายและการเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นงานในกระบวนการไฟน์แบลนก์ได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลกระทบของมุมลาดเอียงปลายพันซ์ ความลึกมุมลาดเอียงปลายพันซ์ และรัศมีคมตัดที่มีผลต่อคุณภาพผิว คุณภาพรูปทรง และค่าพิคัดความเค้น มุมเอียงภาคตัดขวางบริเวณผิวรอยตัด เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการไฟน์แบลนก์แบบไร้แหวนจิก

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เกณฑ์การแตกหักแบบเหนียว

การหาค่าเกณฑ์การแตกหักเป็นกฎเกณฑ์พื้นฐานในการกำหนดจุดแตกหักที่แท้จริงก่อนที่วัสดุชิ้นงานจะแยกออกจากกัน โดยการฝาดึงเกิดการเปลี่ยนรูปของวัสดุจนกระทั่งเกิดการแตกหัก ซึ่งค่าเกณฑ์การแตกหักดังกล่าวอาจจะหาค่าได้โดยวิธีการทดสอบการดึง วิธีการทดสอบการกดบนชิ้นงานหรือการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเกณฑ์การแตกหักแบบเหนียวของวัสดุ จากวัสดุชิ้นทดสอบซึ่งไม่ทราบถึง

กระบวนการขึ้นรูปหรือกรรมวิธีการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้อาศัยเกณฑ์การแตกหักแบบเหนียวของ Cockcroft and Latham มาช่วยในการวิเคราะห์ รวมถึงการผสมผสานเกณฑ์การแตกหักโดยอาศัยเกณฑ์การแตกหักของ Maximum Tensile Stress [6,18]

$$\int_0^{\bar{\epsilon}_f} \sigma^* \cdot d\bar{\epsilon} = C \tag{1}$$

$$\int_0^{\bar{\epsilon}_f} \sigma^* \cdot d\bar{\epsilon} = -\frac{K}{\sqrt{3}} \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{n+1} (2\alpha+1) (\sqrt{\alpha^2+\alpha+1})^n \epsilon_z^n \Delta\epsilon_z \tag{2}$$

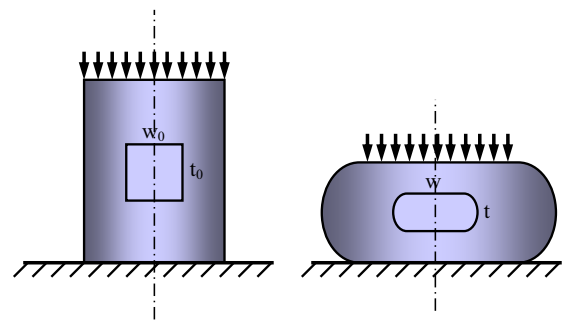
- เมื่อ C = Constant value
- σ^* = Peak tensile stress at Damage Point
- ϵ_f = fracture strain
- $\bar{\epsilon}$ = equivalent strain
- K = coefficient of strength

ในการทดลองการกดจะใช้เครื่องไฮดรอลิคเพรสขนาด 320 ตัน ก่อนทำการทดลองจะต้องทำตารางสี่เหลี่ยมไว้ที่บริเวณผิวด้านข้าง ตรงจุดกึ่งกลางชิ้นงาน ดังภาพที่ 1 เพื่อวัดความเปลี่ยนแปลงขนาดตารางในแนวความกว้าง และการเปลี่ยนแปลงความสูงของชิ้นทดสอบที่ลดลงไปครั้งละ 10% ทั้งนี้เพื่อคำนวณหาค่าความเครียดในแนวเส้นรอบวงและแนวแกนตามสมการที่ 3, 4 และ 5 จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการแตกหักขึ้น แล้วบันทึกเปอร์เซ็นต์การลดลงของความสูงที่จุดแตกหักดังกล่าว [1,2,6,15,18]

$$\epsilon_z = \ln \left[\frac{t}{t_0} \right] = \ln \left[\frac{-5.08}{7} \right] = -0.321 \tag{3}$$

$$\epsilon_\theta = \ln \left[\frac{w}{w_0} \right] = \ln \left[\frac{9.70}{7} \right] = 0.326 \tag{4}$$

$$\alpha = \frac{d\epsilon_\theta}{d\epsilon_z} = \frac{0.326}{-0.321} = -1.01 \tag{5}$$



ภาพที่ 1 แสดงชิ้นทดสอบการกดเพื่อหาค่าเกณฑ์การแตกหัก

$$\int_0^{\bar{\epsilon}_f} \sigma^* \cdot d\bar{\epsilon} = C = -\frac{k}{\sqrt{3}} \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{n+1} (2\alpha+1) \left(\sqrt{\alpha^2 + \alpha + 1}\right)^n \epsilon_z^n \Delta \epsilon_z$$

$$C = -\frac{731.8 \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{0.22+1}}{\sqrt{3}} ((2 \times (-1.01)) + 1) \times \left(\sqrt{(-1.01)^2 + (-1.01) + 1}\right)^{0.22} \times (0.321^{0.22}) \times (-0.7392)$$

$$= 296.0177$$

หลังการทดสอบ นำค่าที่ได้จากการวัดมาคำนวณหาค่าวิกฤติการแตกหักโดยอาศัยเกณฑ์การแตกหักของ Cockcroft and Latham จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และจากการจำลองด้วยโปรแกรมมาทำการเปรียบเทียบกัน ก่อนที่จะมีการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป

2.2 สมบัติทางกลของวัสดุ

การทดสอบหาค่าสมบัติทางกลของวัสดุ ซึ่งเป็นสมบัติทางกลแบบยืดหยุ่น-พลาสติก ผู้วิจัยได้ใช้การทดสอบแรงดึงวัสดุเหล็กกล้า ตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O และใช้เครื่องทดสอบแรงดึงแบบ Universal Testing Machine (UTM.) โดยใช้ความเร็วในการดึง 10 mm/min วัดจุดประสงค์เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมของวัสดุ และสามารถนำมาเขียนแบบโมเดลทางคณิตศาสตร์ของวัสดุในรูปของสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเชิงยกกำลัง คือ [3,4,5,14,15,18]

$$\bar{\sigma} = K \bar{\epsilon}^n + Y \tag{6}$$

ค่า n คือ เลขยกกำลังของความเครียดเชิง K คือสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของวัสดุ และค่า Y คือความเค้นคราก สำหรับการกำหนดสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยจะกำหนดให้เป็นแบบยืดหยุ่น-พลาสติก จากการทดสอบแรงดึงจะได้ความสัมพันธ์ของสมการความเค้นและความเครียดเชิงยกกำลังดังนี้

$$\text{เหล็กกล้า SPHD P/O; } \bar{\sigma} = 731.8 \bar{\epsilon}^{0.22} + 266$$

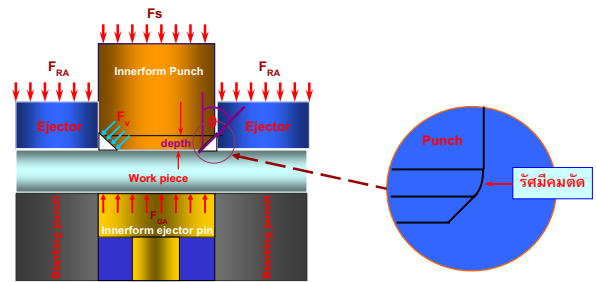
2.3 การทดลองหาสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

ในการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายนี้ จะใช้วิธีการกดวงแหวน (Ring Compression Test) [13,15,16] โดยจะทำการทดสอบวัสดุ เหล็กกล้า JIS.SPHD P/O ทั้งนี้ก็เพื่อให้ทราบถึงสภาวะการกดในกระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์ว่าค่าของความเสียหายที่เกิดขึ้นมีสัมประสิทธิ์ความเสียหายเกิดขึ้นเท่าใด จากผลการทดสอบการกดวงแหวนเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของวัสดุชิ้นงานได้ค่า ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเฉลี่ยเหล็กกล้า JIS.SPHD $\mu = 0.114$

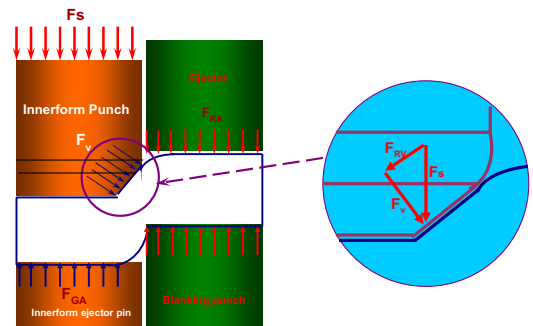
3. กรรมวิธีการจำลองการทำงานทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลอง [11,12,17]

การศึกษาการไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไร้แหวนจิกสำหรับงานเพียงพินซ์ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกคือ หลักการและแนวคิดในการออกแบบพินซ์ และตายให้มีรูปทรงทางเรขาคณิตเพื่อง่ายต่อการทำชิ้นส่วนแม่พิมพ์ โดยการออกแบบต้องอยู่บนพื้นฐานของการทำให้ผิวรอยตัดภาคตัดขวางราบเรียบ เหมือนกับการไฟไนต์เอลิเมนต์แบบมีแหวนจิก ซึ่งจากแนวคิดการไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไร้แหวนจิก ดังกล่าว ปัจจัยที่มีผลกระทบโดยตรงมี 3 ปัจจัยหลักคือ ขนาดรูปร่างแหวนจิก รัศมีคมตัด และแรงกดแหวนจิก แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเฉพาะ งานเพียงพินซ์ข้อเดียวซึ่งมีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกันเล็กน้อยดังนี้คือ ตัวปลดชิ้นงาน (Ejector) ทำหน้าที่เป็นตัวกดแทนแหวนจิก มุมลาดเอียงปลายพินซ์ และความลึกมุมลาดเอียงปลายพินซ์ทำหน้าที่เปรียบเสมือนแหวนจิก (V-ring) และรัศมีคมตัดทำหน้าที่ในการบดแต่งผิวสำเร็จ (Burnishing) บริเวณภาคตัดขวางผิวรอยตัดเนื่องการไฟไนต์เอลิเมนต์



ภาพที่ 2 หลักการและแนวคิดการออกแบบแม่พิมพ์ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไร้แหวนจิก

เมื่อออกแบบบริเวณปลายพินซ์ใหม่ทำให้พฤติกรรมการขึ้นรูป และแรงที่กระทำบริเวณปลายพินซ์ เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของแรงที่กระทำ ดังกล่าวโดยขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตวัตถุดิบ การกำจัดมลทิน การทำให้วัสดุมีสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง และชนิดของวัสดุแต่ละชนิดจะมีผลต่อคุณภาพของผิวงาน ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาเหล็กกล้าลมนตามมาตรฐาน JIS.SPHD. P/O สำหรับใช้ทำเฟืองโซ่รถจักรยานยนต์เท่านั้น ซึ่งลักษณะการวิเคราะห์พฤติกรรมการขึ้นรูปและแรงที่กระทำบนวัสดุชิ้นงานสำหรับการไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไร้แหวนจิก ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงแรงกระทำบริเวณปลายพินซ์

3.1 การจำลองการไฟน์แบลลงก์ด้วยโปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ [2,3,4,7,8,9,10]

โปรแกรม DEFORM_2D เป็นโปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ในเชิงพาณิชย์ สามารถให้ผลการทดลองในรูปแบบการไหลตัวของวัสดุที่แตกต่างกัน โดยแบบจำลองที่ใช้แทนพฤติกรรมทางกลของวัสดุจะใช้แบบจำลองวัสดุแบบยืดหยุ่น-พลาสติก (Elasto-Plastic) ตามทฤษฎีของฟอน มิเชส (Von Mises Theory) ในการอธิบายและทำนายผลกระทบที่เกิดขึ้นกับวัสดุในกระบวนการผลิต สามารถที่จะกำหนดแม่พิมพ์ให้เป็นแบบวัสดุแข็งเกร็ง (Rigid) หรือ อีลาสติก (Elastic) ก็ได้ โปรแกรม DEFORM_2D ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางและได้ผลดีในอุตสาหกรรม การขึ้นรูปโลหะ เพื่อที่จะทำให้การจำลองการเปลี่ยนแปลงวัสดุ สามารถทำนายพฤติกรรมในการไหลตัวของวัสดุและการคืบแม่พิมพ์, ทำนายการสึกหรอของแม่พิมพ์ (Die Wear), ทำนายการแตกหัก, การเสียหายของแม่พิมพ์หรือชิ้นงาน, ตรวจสอบข้อบกพร่องในการไหลของวัสดุ, ตรวจสอบการแตกหักแบบเหนียว ระหว่างกระบวนการผลิต เป็นต้น

3.2 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในการวิจัย

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย คือ เหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O หน้า 7.2 mm (0.281")

3.2.2 เคลือบเรซินซ์เครื่องมือนัด 0.5 % ของความหนาวัสดุ

3.2.3 มุมคมตัดบริเวณปากตาย 90°

3.2.4 มุมลาดเอียงปลายพินซ์ 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45°
ความลึกมุมลาดเอียง 0.50, 1.0, 1.5, 2.0 mm และรัศมีคมตัดพินซ์ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 mm ตามลำดับ

3.2.5 วัสดุพินซ์-ตายคือเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI M2

3.2.6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพินซ์ 17 mm (0.672")

3.2.7 ออกแบบโมดูลการจำลองการไฟน์แบลลงก์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อช่วยในการตัดสินใจ

3.2.8 จำลองการทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูป

3.2.9 การจำลองตั้งอยู่บนสมมติฐาน พินซ์ ตาย แหวนจิก และเคาน์เตอร์พินซ์ เป็นวัสดุแข็งเกร็ง แบบสมมาตรรอบแกน พฤติกรรมการไหลตัวของวัสดุเป็นแบบพลาสติก

3.2.10 ใช้สารหล่อลื่น Holifla : Fine Blanking Oil HFF 24 เป็นน้ำมันสังเคราะห์ที่ใช้ในงานขึ้นรูปโลหะสำหรับการไฟน์แบลลงก์โดยตรงซึ่งมีสมบัติเหมือนน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติ แต่มีความหนืดสูง

3.2.11 ความเร็วเคาน์เตอร์พินซ์และตายคงที่ 40 mm/sec ขนาดกำลังเครื่องเพรส 320 ตัน

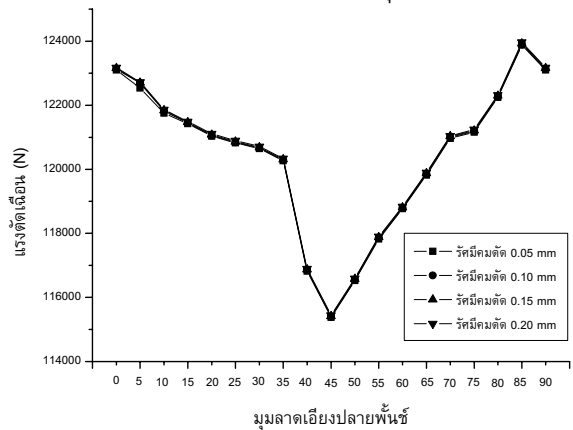
4. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานเบื้องต้นด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลของการวิเคราะห์กรรมวิธีไฟน์แบลลงก์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้ซอฟต์แวร์ DEFORM 2D เวอร์ชัน 8.0 เป็นดังต่อไปนี้

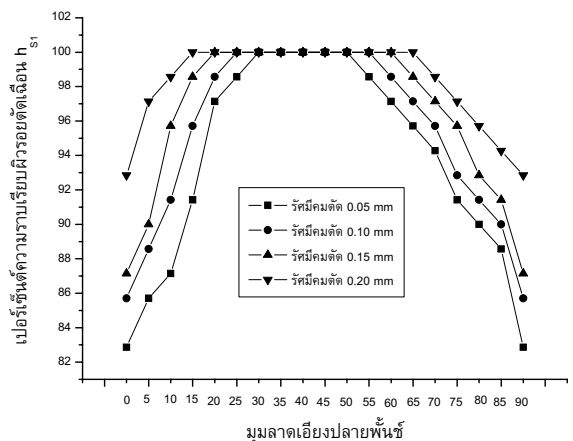
4.1.1 ผลของแรงตัดที่ได้จากการจำลองการทำงาน

แรงตัดเฉือนสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการจำลองการทำงานพบว่า การเพิ่มมุมลาดเอียงปลายพินซ์จาก 0° - 45° มีผลทำให้ค่าแรงตัดเฉือนค่อยๆ ลดลง แต่สำหรับมุมลาดเอียงปลายพินซ์ตั้งแต่ 45° - 85° ค่าแรงตัดเฉือนค่อยๆ เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันรัศมีคมตัดมากขึ้นจะทำให้แรงตัดเฉือนมีแนวโน้มมากขึ้น และค่าที่ได้จากการจำลองการทำงานจะมีค่าน้อยกว่าแรงตัดเฉือนจริงอยู่บ้าง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในสภาวะการทำงานจริงจะมีเรื่องอิทธิพลจากแรงเสียดทานแบบไม่คงที่ การขยายตัวเนื่องจากความร้อน การสึกหรอที่ตัวแม่พิมพ์ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวยากที่จะกำหนดให้มีค่าตรงกัน ทำได้แต่เพียงให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด จึงทำให้ค่าแรงตัดที่ได้จากการตัดจริงมีค่ามากกว่าการวิเคราะห์ด้วยการจำลองการทำงานดังแสดงในภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนต่อความหนาวัสดุ



ภาพที่ 4 กราฟแรงตัดที่ได้จากการจำลองการทำงานในภาวะเงื่อนไขต่างๆ

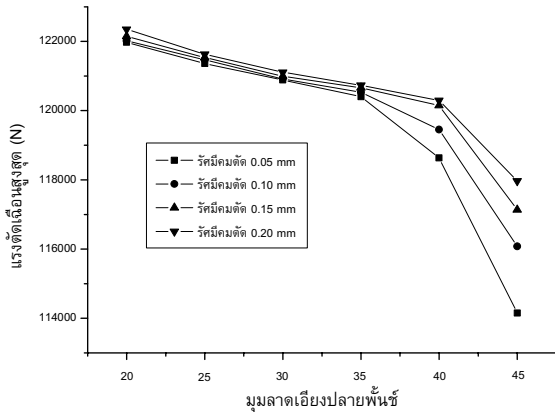
4.1.2 ลักษณะภาคตัดขวางของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการทำงาน



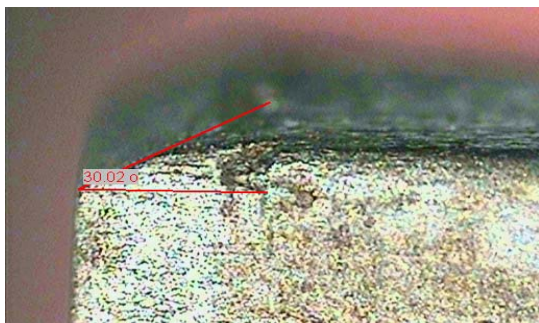
ภาพที่ 5 กราฟเปอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนที่ได้จากการจำลองการทำงาน

4.2 ผลที่ได้จากการทดลอง

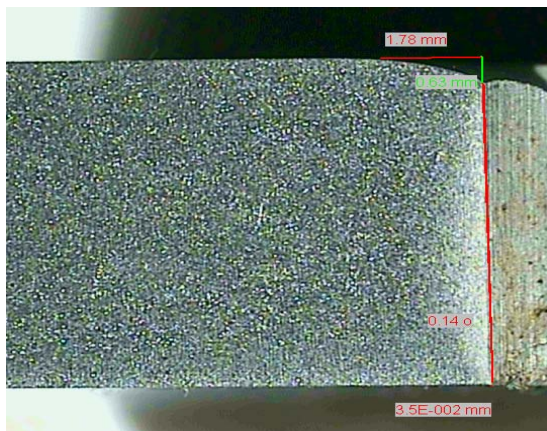
4.2.1 การทดลองของงานวิจัยนี้ใช้แรงกด Ejector Punch 24 ตัน แรงกด Ejector inner form Punch 12 ตัน ที่ความเร็วพ่น 40 mm/sec จากการเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลองของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปและผลของตัวแปรอื่นๆ มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกัน



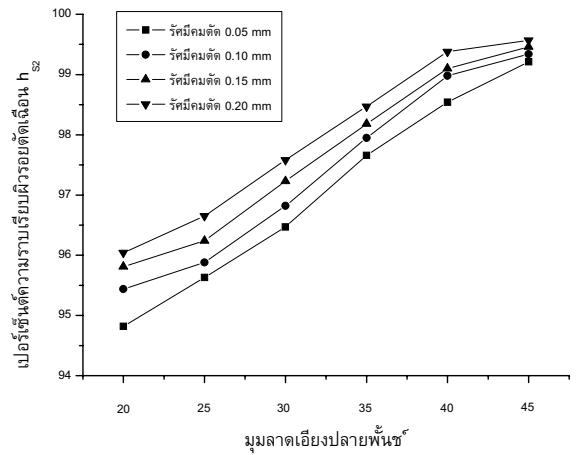
ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับมุมลาดเอียงปลายพ่น



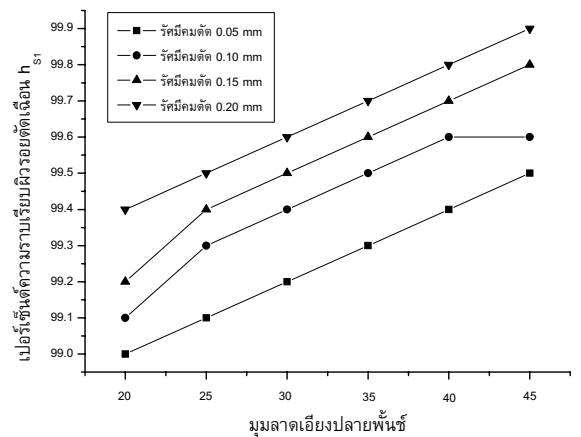
ภาพที่ 7 ลักษณะรูปทรงทางเรขาคณิตปลายพ่นมุม 30° ความลึกคมตัด 0.5 mm



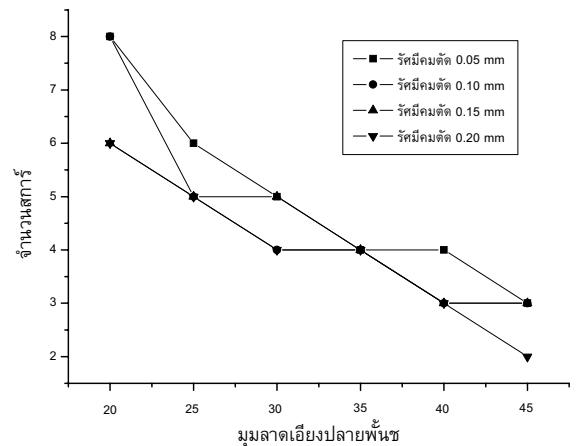
ภาพที่ 8 ลักษณะขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากพ่นมุม 30° ความลึกคมตัด 0.5 mm



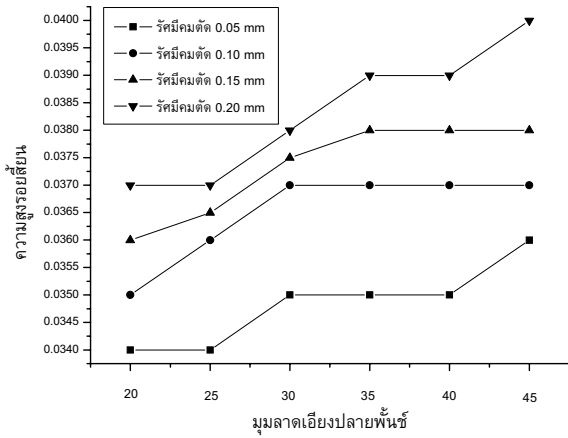
ภาพที่ 9 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน h_{s2} กับค่ามุมลาดเอียงปลายพ่น



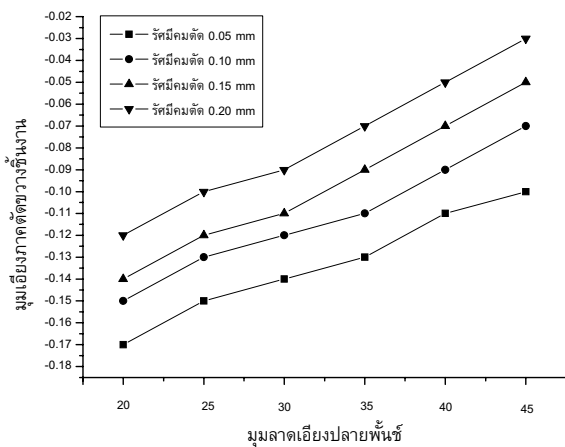
ภาพที่ 10 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน h_{s1} กับค่ามุมลาดเอียงปลายพ่น



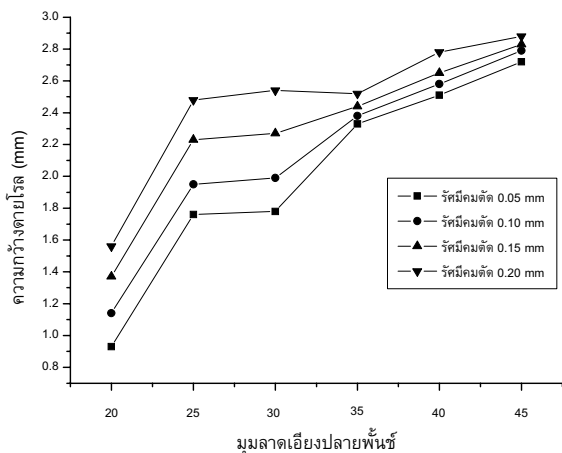
ภาพที่ 11 กราฟเปรียบเทียบรอยสกรับนภาคตัดขวางบริเวณผิวรอยตัดเฉือนของชิ้นงานกับค่ามุมลาดเอียงปลายพ่น



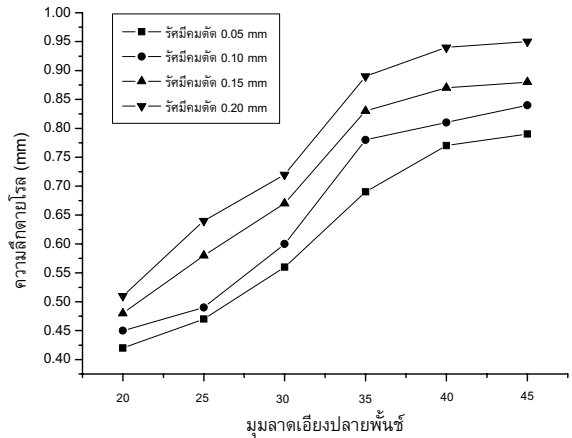
ภาพที่ 12 กราฟเปรียบเทียบความสูงรอยเสี้ยนกับค่ามุมลาดเอียงปลายพีด



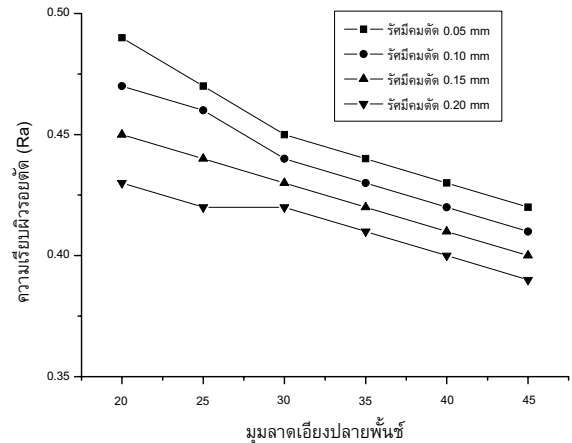
ภาพที่ 13 กราฟเปรียบเทียบความเอียงภาคตัดขวางรอยตัดกับค่ามุมลาดเอียงปลายพีด



ภาพที่ 14 กราฟเปรียบเทียบความกว้างตายโรลกับค่ามุมลาดเอียงปลายพีด



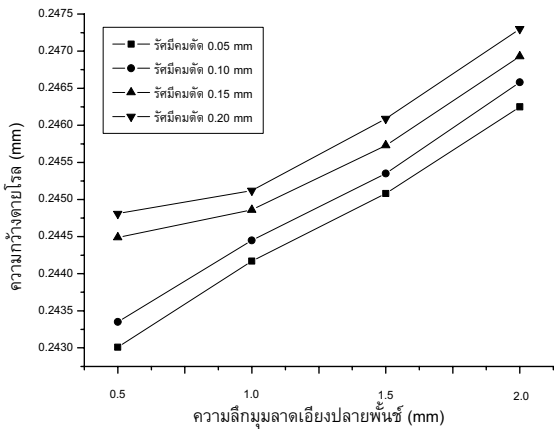
ภาพที่ 15 กราฟเปรียบเทียบความลึกตายโรลกับค่ามุมลาดเอียงปลายพีด



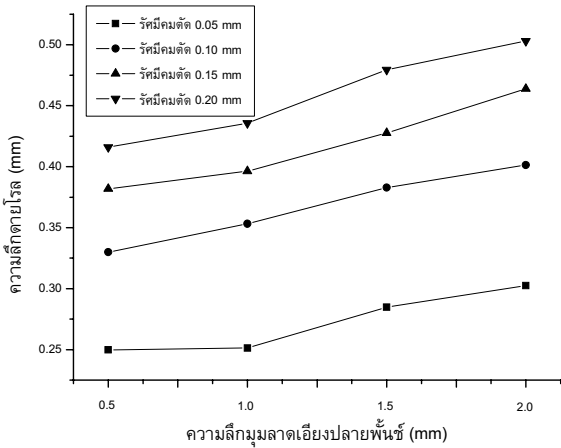
ภาพที่ 16 กราฟเปรียบเทียบความเรียบผิวกับค่ามุมลาดเอียงปลายพีด

4.3 ผลที่ได้จากปรับปรุงการจำลองการทำงานโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

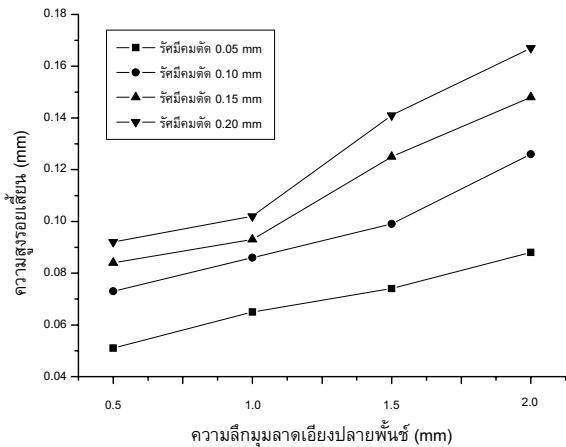
ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพรูปทรงและคุณภาพผิวรอยตัดภาคตัดขวางมากที่สุดคือ หลักการป้องกันการไหลตัวของวัสดุไม่ให้ไหลตัวเข้าสู่โพรงแบบ โดยทั่วไปสำหรับกระบวนการไฟนแบลนก์ จะอาศัยแหวนจิกคดียึดเหนี่ยวรั้งวัสดุเอาไว้ไม่ให้เนื้อวัสดุ บริเวณการตัดเฉือนไหลตัวเข้าสู่โพรงแบบ แต่ถ้าหากกรณีที่ต้องการหลีกเลี่ยงแหวนจิกจึงจำเป็นต้องออกแบบวิธีการป้องกันไม่ให้วัสดุไหลตัวเข้าสู่โพรงแบบ โดยวิธีการที่ง่ายที่สุดและบำรุงซ่อมแซมง่ายที่สุด คือการออกแบบมุมลาดเอียงบริเวณปลายพีด เพื่อให้ทำหน้าที่ดันเนื้อวัสดุบริเวณ รอยตัดเฉือนออกในขณะที่ทำการแบลนก์ ในขณะที่เดียวกันต้องเพิ่มแรงกดอัดมากขึ้นเพื่อให้เนื้อวัสดุบริเวณรอยตัดเฉือนไหลตัวเข้าสู่โพรงแบบอีกทางหนึ่ง แต่ผลของการเพิ่มแรงกดทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น และเสี่ยงต่อการแตกหักของชุดแม่พิมพ์ ในงานวิจัยนี้ใช้แรงกด Ejector Punch 24 ตัน และแรงกด Ejector inner form Punch 12 ตัน



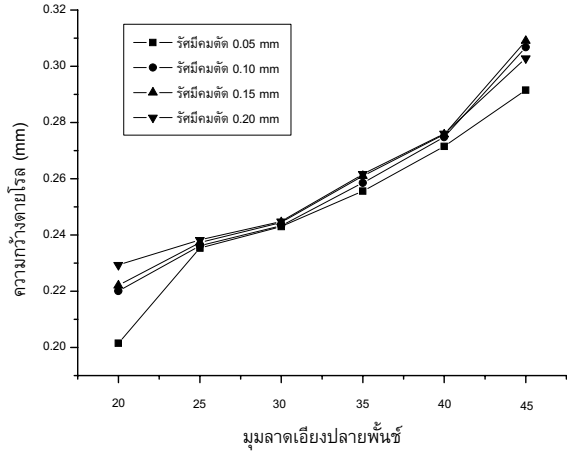
ภาพที่ 17 กราฟเปรียบเทียบความกว้างตายโรลกับค่าความถี่มุลาดเอียงปลายฟัน 30°



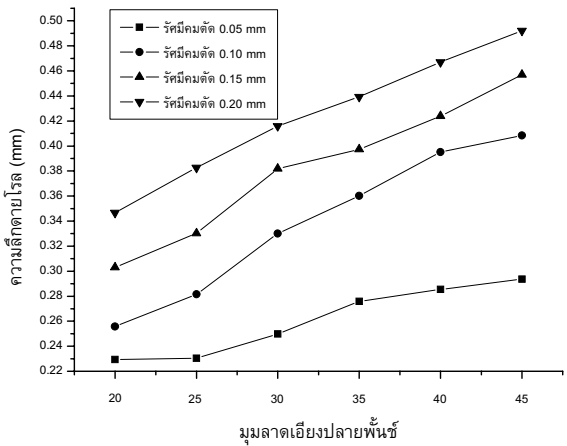
ภาพที่ 18 กราฟเปรียบเทียบความถี่ตายโรลกับค่าความถี่มุลาดเอียงปลายฟัน 30°



ภาพที่ 19 กราฟเปรียบเทียบความสูงรอยเสี้ยนกับค่าความถี่มุลาดเอียงปลายฟัน 30°



ภาพที่ 20 กราฟเปรียบเทียบความกว้างตายโรลกับค่ามุลาดเอียงปลายฟันภายใต้ช่วงมุลาดเอียงปลายฟันและแรงกดที่เหมาะสม



ภาพที่ 21 กราฟเปรียบเทียบความถี่ตายโรลกับค่ามุลาดเอียงปลายฟันภายใต้ช่วงมุลาดเอียงปลายฟันและแรงกดที่เหมาะสม

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากมุมเอียง และรัศมีปลายฟัน เพื่อให้ได้ค่าความถี่ที่เหมาะสม ในการทำผิวเรียบบริเวณภาคตัด ขวางรอยตัดเฉือน ด้วยกระบวนการไฟน์เบลนง์โดยการจำลอง และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ รูปทรงทางเรขาคณิตบริเวณปลายฟัน มีผลต่อคุณภาพของภาคตัดขวางซึ่งกันหาที่ได้จากการทดลองที่เหมาะสม โดยไม่ก่อให้เกิดรอยแตกหรือรอยฉีกขาดที่บริเวณขอบรอยตัดเฉือน สำหรับการศึกษาระบบการไฟน์เบลนง์แบบไร้แหวนจิก ในช่วงการเปลี่ยนรูปถาวรแบบยืดหยุ่น - พลาสติกคือมุมลาดเอียงปลายฟัน 30° ± 2° ที่ความถี่มุลาดเอียง 0.5 mm และรัศมีคมตัดฟัน 0.2 mm ค่าความผิดพลาดความกว้างตายโรล 4.6% ความถี่ตายโรล 2.85% เปอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน h_{s1} 0.79% ความลาดเอียงภาคตัดขวาง 0.33% ความสูงรอยเสี้ยน 2.7% ผลที่ได้ จากการทดลองและการจำลองการทำงานมีลักษณะคล้ายกัน คือรูปทรงทางเรขาคณิต

บริเวณปลายพลาซมี และบริเวณปากตายให้ผลต่อคุณภาพผิว และคุณภาพรูปทรงของชิ้นงานใกล้เคียงกัน ค่าความผิดพลาดแรงตัดเฉือนอยู่ในระดับ 1.07%

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] แสนสด พานิช, 2546. "อิทธิพลของมุมเอียงที่มีต่อการตัดขอบอะลูมิเนียมเจือ โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,
- [2] Chen, Z. H., et al, 1999. "A Study of Strain Localization in the Fine-Blanking Process Using the Large Deformation Finite Element Method." *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 86, pp. 163-197.
- [3] Chen, Z. H., et al, 2002. "Numerical Simulation of Fine-Blanking Process Using Mixed Finite Element Method." *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 44, pp 1309-1333.
- [4] Hambli, R, 2001. "Finite Element Simulation of Fine Blanking Process Using a Pressure Dependent Damage Model." *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 116, pp. 252-264.
- [5] Hatanaka, N., Yamaguchi, K. and Takakura, N, 2003 "Finite element simulation of the shearing mechanism in the blanking of sheet metal." Ph.D.Thesis, Department of Mechanical and Systems Engineering, Kyoto Institute of Technology.
- [6] M.G. Cockcroft and D.J. Latham, 1968. "Ductility and the Workability of Metals." *Journal of the institute of metals*, vol. 96, pp. 33-39.
- [7] Lee, T. C., Chan, L. C. and Cheng, P. F., 1997. "Application of the Finite Element Deformation Method in the Fine Blanking Process." *Journal of Material Processing Technology*. Vol. 63, pp. 744-749.
- [8] Kwak, T. S., Kim, Y. J. and Bae, W. B., 2002 "Finite element analysis on the effect of die clearance on shear planes in fine blanking." *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 6281, pp. 1-7.
- [9] Gang Fang, Pan Zeng and Lulian Lou, 2002. "Finite element simulation of the effect of clearance on the forming quality in the blanking process." *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 122, pp. 249-254.
- [10] Chan, L. C., et al. 2000 "Numerical simulation for fine-blanking-a new approach." Ph.D. Thesis, Department of Industrial and Systems Engineering, Hong Kong Polytechnic University.
- [11] ชาญ ถนัดงาน และคนอื่นๆ, 2532. โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้าน Press working ระยะที่ 3 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ขนาดใหญ่สำหรับงานแปรรูปที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.
- [12] ชาญ ถนัดงาน, 2547. เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.
- [13] สุรวุฒิ ยะนิล. 2545. "การวิเคราะห์หาแรงในการไฟนแบลนกกโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์." วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [14] Edlesthilwerke Buderus AG., et al, 1997. Cold Forming and Fineblanking a handbook on cold processing, material properties, component design. Switzerland.
- [15] Kurt Lange, 1985. Handbook of Metal Forming. McGraw-Hill, New York.
- [16] Schuler-Berlin, Heidelberg, 1998. Metal forming handbook. Springer, New York.
- [17] Ivana Suchy, 1998. Handbook of Die Design. McGraw – Hill Companies, New York.
- [18] Goijaerts, A. M, 1999. "Prediction of Ductile Fracture in Metal Blanking." Ph.D. Thesis, Eindhoven University of Technology. Netherlands.