

## การศึกษาผิวงานตัดในงานเซมิเพียชด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

โอริส มณีสาย<sup>1\*</sup> และ พงษ์ศักดิ์ ถึงสุข<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

กระบวนการตัดเจาะเซมิเพียชเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นซึ่งเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ในการผลิตชิ้นงานไฟไนต์แบลงก์ที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงและผิวรอยตัดเนียนที่ได้มีความเรียบตรงปราศจากรอยแตกหักและชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวไม่จำเป็นต้องนำไปผ่านกระบวนการใดๆอีก ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการผลิตชิ้นงานได้เป็นอย่างดี คุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดเจาะเซมิเพียชจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ วัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน JIS.SPHC รูปร่างชิ้นงานเป็นวงแหวน ความหนา 6 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm. ช่องว่างเครื่องมือตัด 0.5 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ กำหนดเงื่อนไขของรัศมีขอบคมตัดพื้นซ์และคาย 0.0 1.0 และ 2.0 mm.ตามลำดับ ผลลัพธ์การวิจัย พบว่ารัศมีขอบคมตัดพื้นซ์และคายที่มีขนาดเล็กจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเนียนมีค่าน้อยแต่เมื่อรัศมีขอบคมตัดพื้นซ์และคายมีขนาดโตมากขึ้นเปอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเนียนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นรวมถึงเปอร์เซ็นต์ความกว้างคายโรลและความลึกคายโรลมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย นอกจากนี้รัศมีขอบคมตัดของพื้นซ์และคายยังมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเครียดในแนวแกนการเนียนหากค่าความเครียดมากเกินไปทำให้ส่วนโค้งมนของคายโรลมีค่ามากขึ้นและความราบเรียบผิวรอยตัดเนียนมีค่าลดลง

**คำสำคัญ** กระบวนการเซมิเพียช, กระบวนการไฟไนต์แบลงก์, การขึ้นรูปโลหะแผ่น

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

\*ผู้ติดต่อ อีเมลล์ : oris\_manee@hotmail.com รับเมื่อ 2 มิถุนายน 2554 ตอบรับเมื่อ 28 กรกฎาคม 2554

## An Investigation Shear Surface on Semi-Piercing with Finite Element Method

Oris Maneesai<sup>1\*</sup> and Pongsak Tuengsook<sup>2</sup>

### Abstract

The Semi-piercing process is a sheet metal forming process and popular in fine blanking process with high precision requirement and smooth shear surface without crack. The Semi-pierce parts can be completed without the secondary operations, and then cost and time are reduced. Many parameter such as, Experiments including specimens were made of low carbon steel according to JIS.SPHC standard, ring shape, thickness of 6 mm., diameter of 12 mm., clearance 0.5 percent of specimen thickness, cutting edge-radius of punch and die was determined as 0.0, 1.0, and 2.0 mm. respectively. As the results, the smaller of punch-die cutting edges radius percent of smooth shear surface was lease than the larger of punch-die cutting edge radius. Meanwhile, as the larger of punch-die cutting edge radius was increase, results to increasing of the percent of width and depth of die roll. In addition, its effect to the amount of strain on shear zone, as the larger of strain, results to increased of the die-roll and decreasing of smooth shear surface.

**Keywords:** Semi-piercing process, Blanking process, Sheet metal forming

---

<sup>1</sup> Department Mechanical Engineering and Industrial Engineering ,Faculty of Engineering ,Rajamangala University of Technology Krungthep

<sup>2</sup> Department Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

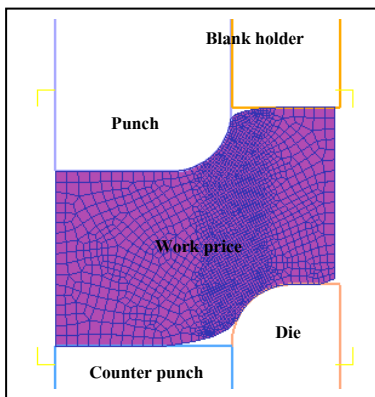
\*Corresponding author, Email: oris\_manee@hotmail.com Received 2 June 2011; Accepted 28 July 2011

**1. บทนำ**

กระบวนการเคมีเพ็ชเป็นกระบวนการหนึ่งในหลายกระบวนการที่นิยมนำมาใช้โดยการขึ้นรูปกดจะให้ชิ้นงานนูนคือหากกดให้ชิ้นงานมีส่วนนูนออกมาหลายๆจะทำให้เกิดการแตกหัก ดังนั้นหากต้องการป้องกันความเสียหายจำเป็นต้องหาแนวทางแก้ปัญหา มีบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องหลายบทความที่อธิบายถึงสาเหตุของการแตกหักในแนวแถบการเฉือนกล่าวคือสุเทพ เข้มชัยภูมิ และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาการไฟน์แบลงก์แบบไร้แหวนจิกโดยเสนอแนะการลดการแตกหักในแนวแถบการเฉือนโดยทำขอบคมตัดพื้นซ์เป็นขอบเอียง Thipprakmas et. al. [2] ได้นำเสนอการใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยวิเคราะห์ปัญหาการแตกหักในกระบวนการไฟน์แบลงก์ Chen et. al. [3] นำเสนอแนวทางการลดรอยขีดขาดของผิวชิ้นงานโดยกรรมวิธีทางเทอร์โมคัปเปิล งานวิจัยนี้จึงมีข้อสมมุติฐานการออกแบบมุมขอบคมตัดพื้นซ์รัศมีเพื่อใช้กับชิ้นงาน

**2. สมมุติฐานและงานวิจัย**

การควบคุมการแตกหักของเนื้อวัสดุในแนวแถบการเฉือนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการเคมีเพ็ชเนื่องจากไม่ต้องการให้เกิดความเครียดและความเค้นดกค้ำงมากในบริเวณดังกล่าวมีบทความวิจัยหลายบทความ [1] ได้นำเสนอการออกแบบขอบคมตัดพื้นซ์และคายเป็นแบบรัศมีในกรณีที่ต้องการรอยนูนและร่อนทั่วไปใช้งาน โดยที่เนื้อวัสดุไม่ขาดจากกัน



รูปที่ 1 แนวคิดการออกแบบขอบคมตัดพื้นซ์และคาย

ข้อสมมุติฐานเบื้องต้นของความน่าจะเป็นของลักษณะรูปร่างเครื่องมือตัดเพื่อเพิ่มความเค้นไฮโดรสแตติกบริเวณแนวตัดเฉือนแสดงดังรูปที่ 1 สามารถลดแรงกดแบลงก์ไฮสเคอร์และแรงกดเคาน์เตอร์พื้นซ์ลงเพื่อลดปัญหาการลดขนาดความหนาวัสดุหลังการขึ้นรูป

**3. วิธีการจำลอง และทดลอง**

**3.1 วิธีการจำลอง**

งานวิจัยนี้ได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในรูปแบบของโปรแกรม Deform 2D การจำลองตั้งอยู่บนสมมุติฐานพื้นซ์และคาย แบลงก์ไฮสเคอร์และเคาน์เตอร์พื้นซ์ เป็นวัสดุแข็งเกร็งแบบสมมาตรรอบแกนพฤติกรรมของวัสดุเป็นแบบยืดหยุ่น-พลาสติก ดังในรูปที่ 1 ช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการเคมีเพ็ชเพื่อง่ายต่อการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปถาวร โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของความเครียดความเค้นในแนวแถบการเฉือน ผู้วิจัยใช้เอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมจำนวนเอลิเมนต์ 3,500 เอลิเมนต์ ก่อนการจำลองผู้วิจัยได้เปรียบเทียบผลลัพธ์การทดสอบแรงดึงระหว่างการทดลองกับการจำลองเพื่อยืนยันความถูกต้องของสมบัติวัสดุ รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผิวสัมผัสระหว่างเครื่องมือตัดกับวัสดุชิ้นงาน ใช้กรรมวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขในการหาค่าตอบโดยใช้เทคนิค Least square method ช่วยในการหาค่าตอบข้อมูลได้จากการทดสอบแรงดึง แทนค่าลงในสมการ Least square ที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ

$$\begin{bmatrix} N \\ N\bar{\epsilon} \\ \sum_{i=1}^N \epsilon_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N\bar{\sigma} \\ \sum_{i=1}^N \epsilon_i \sigma_i \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$n = \frac{[\sum (\log \sigma) \times \sum (\log \epsilon)^2] - [\sum (\log \epsilon \log \sigma) \times \sum \log \epsilon]}{N(\sum (\log \epsilon)^2) - (\sum \log \epsilon)^2} \tag{2}$$

$$b = \frac{N(\sum \log \epsilon \log \sigma) - (\sum \log \epsilon) \times (\sum \log \sigma)}{N(\sum (\log \epsilon)^2) - (\sum \log \epsilon)^2} \tag{3}$$

สมการ  $y = ax + b$  (4)

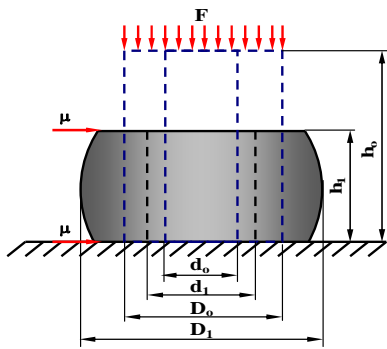
โดยที่  $n = 0.381$

$$C = 10^b = 10^{2.64836} = 455$$

หรือ 
$$\sigma = 10^b \times \epsilon^n$$
  

$$= 455 \times \epsilon^{0.381}$$

หาค่าของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานค่าความเค้นเฉลี่ยได้จากแรงกดขึ้นทดสอบหารด้วยพื้นที่เฉลี่ยบนผิวหน้าขึ้นทดสอบรูปถึงเบียร์และตัวแปรอื่นๆเช่นค่าความสูงถูกกดขยุบ (h) รัศมีขึ้นทดสอบ (a) และรัศมีภายในขึ้นทดสอบ (r) ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้แสดงดังรูปที่ 2 จากผลการทดสอบได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเท่ากับ 0.12



รูปที่ 2 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

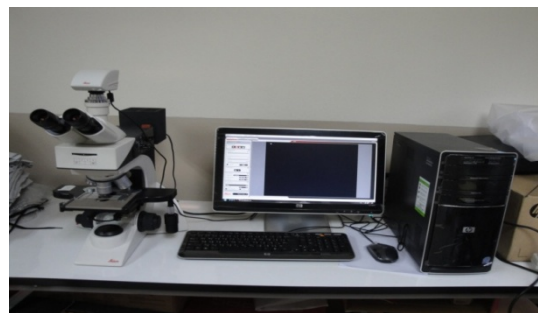
กรณีที่ต้องการคุณภาพชิ้นงาน โดยเฉพาะลักษณะการแตกหักของโลหะที่นำมาทำการขึ้นรูปและให้ง่ายต่อการวิเคราะห์จำเป็นต้องกำหนดสมบัติวัสดุเกี่ยวกับค่าการแตกหักวิกฤตให้กับโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้ค่าเกณฑ์การแตกหักวิกฤตของ Normalized Cockcroft & Latham ได้ค่าเกณฑ์การแตกหัก  $C=1.94$

$$C_{NormC\&L} = \int_0^{\epsilon} \frac{\sigma_1}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon} \quad (5)$$

- เมื่อ
- $\sigma_1$  = ความเค้นหลัก
  - $\bar{\sigma}$  = ความเค้นประสิทธิผล
  - $\bar{\epsilon}$  = ความเครียดประสิทธิผล

### 3.2 วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยผู้วิจัยได้ใช้วิธีการทดลองโดยการสุ่มตัวอย่างจากปัจจัยต่างๆของกรณีศึกษาเพื่อขจัดความผิดพลาดหรือความลำเอียงเนื่องจากบุคคล โดยการสุ่มสิ่งตัวอย่างมา 1 สิ่งตัวอย่างเพื่อนำมาประกอบชิ้นขึ้นผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการกดตัดทั้ง 3 ตำแหน่งคือที่ระยะกดลึก 30 60 และ 90 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ มาตัดแบ่งครึ่งจากนั้นนำมาขัดกัดครูดและส่องด้วยกล้องไมโครสโคปสำหรับวัดขนาดรูปร่างชิ้นงานเปรียบเทียบกับผลลัพธ์การจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 3 กล้องไมโครสโคปสำหรับวัดขนาดรูปร่างชิ้นงาน

โดยการวัดขนาดรูปร่างที่เป็นส่วนรอยเว้าและส่วนรอยนูน ดังนี้ คือ ขนาดความกว้างตายโรล ความลึกตายโรลและความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนในช่วงก่อนที่เนื้อวัสดุจะเกิดการแตกหักเพื่อยืนยันผลการจำลอง

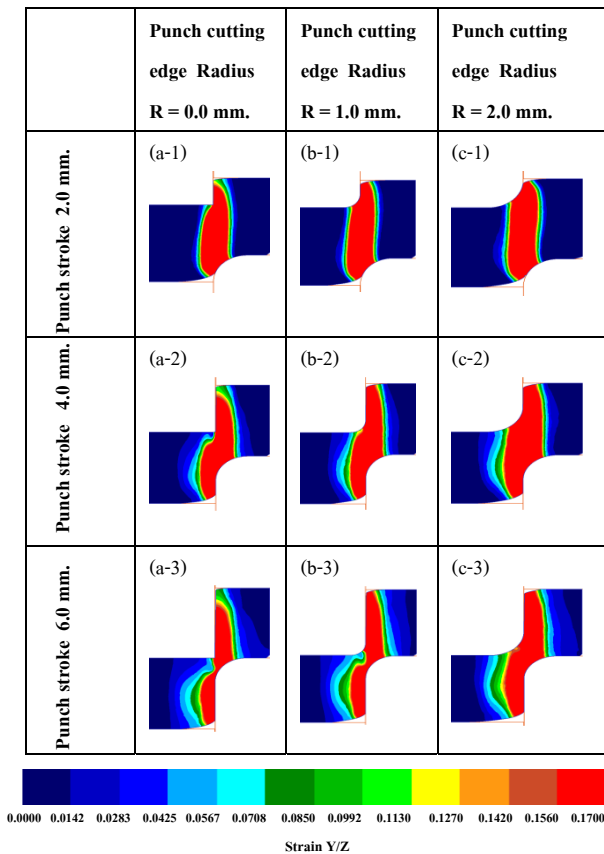
### 4. ผลลัพธ์จากการจำลอง และการทดลอง

#### 4.1 การเปรียบเทียบความเครียดของเนื้อวัสดุในระหว่างขั้นตอนการเชื่อมเพียงจากการจำลอง

จากรูปที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบความเครียดของเนื้อวัสดุที่ตำแหน่งพินซ์สโตรกต่างๆจากการจำลอง ในรูปที่ 4(a) แสดงความเครียดของเนื้อวัสดุในการเชื่อมเพียงด้วยขอบคมตัดพื้นรัศมี 0.0 mm. ในรูปที่ 4(b) 1.0 mm. และในรูปที่ 4(c) 2.0 mm. ตามลำดับ ผลลัพธ์การวิจัยทำให้ทราบว่าที่ระยะพินซ์สโตรกในช่วงเริ่มต้นการกระจายตัวของความเครียดในแนวแถบการเฉือนไม่เท่ากันตลอดแนวแถบการตัดเฉือน โดยบริเวณมุมปาก

คายจะมีการกระจายตัวเป็นแนวความกว้างมากกว่าบริเวณมุมปลายพื้นซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4(a-1) พื้นซ์สโตรกเพิ่มมากขึ้นลักษณะการกระจายตัวของความเครียดยังมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงมาก แนวด้านข้างผิวสัมผัสของบริเวณปลายคายความเครียดมีการกระจายตัวเป็นบริเวณที่กว้างมากขึ้น ในรูปที่ 4(a-2) พื้นซ์สโตรก 6.0 mm. การกระจายตัวของความเครียดมีแนวโน้มลดลงแต่ที่ผิวสัมผัสด้านข้างของขอบคมตัดพื้นซ์และคายมีค่ามากขึ้นขอบคมตัดพื้นซ์รัศมี 1.0 mm. ในรูปที่ 4(b) ลักษณะการกระจายตัวของความเครียดในแนวแถบการเฉือนจะมีการเปลี่ยนแปลงที่มีแนวโน้มที่มีค่าน้อยแต่จะแผ่ขยายออกเป็นบริเวณที่กว้างตลอดแนวแถบการตัดเฉือนในรูปที่ 4(b-1)

เมื่อเคลื่อนพื้นซ์สโตรกมายังตำแหน่ง 4.0 mm. การกระจายตัวของความเครียดยังคงเหมือนเดิม แต่ตรงบริเวณมุมปลายคายจะมีความเครียดสูงกว่าบริเวณอื่นในรูปที่ 4(b-2) พื้นซ์สโตรกจนถึงตำแหน่งสุดท้ายการกระจายตัวของความเครียดกลับมีแนวโน้มลดลง แสดงว่าการยึดตัวในช่วงสุดท้ายของกระบวนการเซมิเพียมีการยึดตัวน้อย ขอบคมตัดพื้นซ์รัศมีเป็น 2.0 mm. ในรูปที่ 4(c-1)การกระจายตัวของความเครียดมีมากกว่าทุกกรณีที่ทำการศึกษาและการกระจายตัวของความเครียดเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ พื้นซ์สโตรกมายังตำแหน่ง 4.0 mm. การกระจายตัวของความเครียดยังมีมากเป็นบริเวณที่กว้างมากขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของขอบคมตัดพื้นซ์และคายในรูปที่ 4(c-2) ระยะการเคลื่อนที่ 2.0 mm. การกระจายตัวของความเครียดในบริเวณแถบการเฉือนตัวยังคงมีบริเวณที่กว้างตามลำดับแต่ค่าของความเครียดมีค่าไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4(c-3)



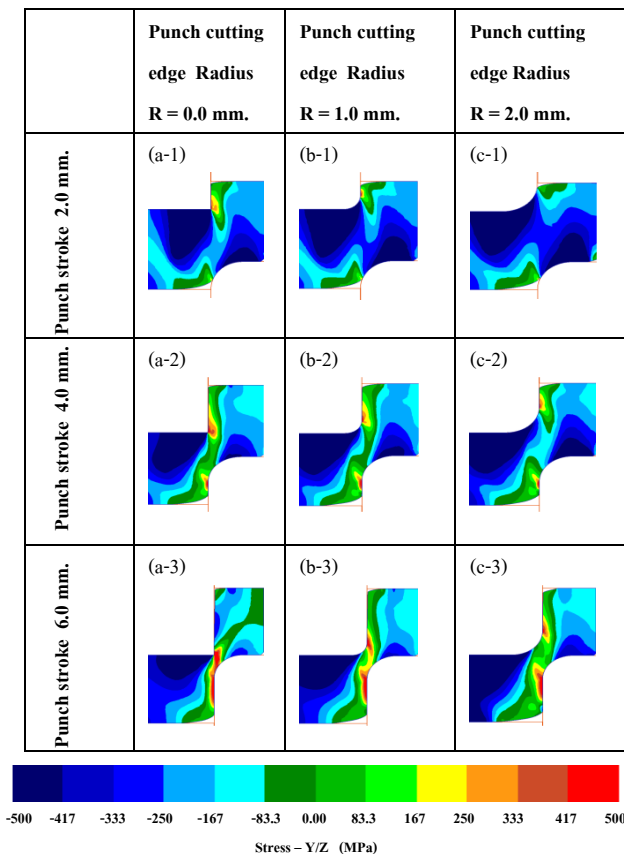
รูปที่ 4 การเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเครียดภายในเนื้อวัสดุที่ตำแหน่งพื้นซ์สโตรกต่างๆ ในการเซมิเพียด้วยขอบคมตัดพื้นซ์รัศมี

#### 4.2 การเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเค้นของเนื้อวัสดุในระหว่างขั้นตอนการเซมิเพีย

จากรูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเค้นภายในเนื้อวัสดุในระหว่างขั้นตอนการเซมิเพีย จากผลของการกระจายตัวของความเครียดซึ่งผลทำให้การกระจายตัวของความเค้นมีค่าเป็นบวกบางส่วนเท่านั้นกล่าวคือที่บริเวณขอบคมตัดด้านข้างพื้นซ์มีการกระจายตัวของความเค้นเป็นความเค้นดึง ดังแสดงในรูปที่ 5(a-1) พื้นซ์สโตรกมายังตำแหน่งความลึก 4.0 mm. การกระจายตัวของความเค้นในแนวแถบการเฉือนจะก่อเริ่มก่อตัวทำให้เป็นความเค้นดึงดังแสดงในรูปที่ 5(a-2) พื้นซ์สโตรก 6.0 mm. การกระจายตัวของความเค้นในแนวแถบการเฉือนจะมีค่าความเค้นดึงเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากผลของความเครียดมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5(c-3)

ขอบคมตัดพื้นซ์รัศมี 1.0 mm. ดังแสดงในรูปที่ 5 (b-1) การกระจายตัวของความเค้นภายในเนื้อวัสดุเป็นความเค้นอัดตลอดแนวของแถบการเฉือน ตำแหน่งพื้นซ์สโตรก 4.0 mm. ค่าความเค้นอัดเริ่มลดลงและการกระจายตัวของความเค้นดึงขยายตัวมากขึ้น ทำให้ความเครียดมาก ในรูปที่ 5(b-2) พื้นซ์สโตรก

6.0 mm. ค่าความเค้นดึงในแนวแถบการเฉือนจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีความเครียดมากจึงส่งผลทำให้เกิดความเค้นดึงมากตามในรูปที่ 5 (b-3) ขอบคมตัดพื้นรัศมี 2.0 mm. ในรูปที่ 5(c-1) การกระจายตัวของความเค้นอัดภายในเนื้อวัสดุจะมีค่ามากที่สุดของกรณีศึกษา ความเค้นอัดในแนวแถบการเฉือนมากขึ้นตาม พื้นซ์สโตรก 4.0 mm. การกระจายตัวของความเค้นจะแคบลงและค่าความเค้นอัดจะลดลงตามการเคลื่อนที่ของพื้นซ์สโตรก ในรูปที่ 5(c-2) ตำแหน่งสุดท้ายผลของความเครียดที่มีค่ามากขึ้นอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้เกิดความเค้นดึงเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในรูปที่ 5(c-3)

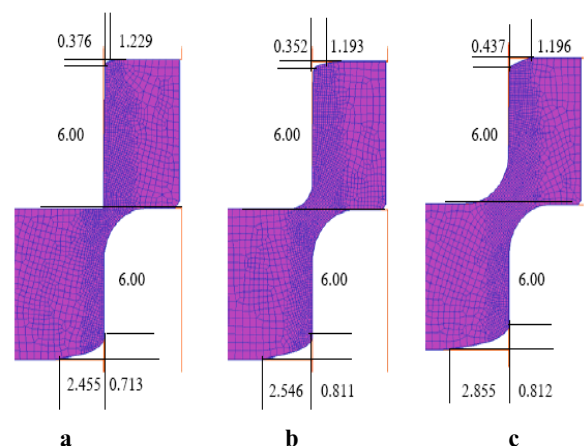


รูปที่ 5 การเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเค้นภายในเนื้อวัสดุที่ตำแหน่งพื้นซ์สโตรกต่างๆ

### 4.3 เปรียบเทียบผิวงานตัดที่ได้จากขั้นตอนการเชื่อมเพียง

จากรูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบผิวงานตัดที่ได้จากกระบวนการเชื่อมเพียงด้วยขอบคมตัดพื้นรัศมี ในรูปที่ 6(a) เป็นกรณีการเชื่อมเพียงด้วยขอบคมตัดพื้นรัศมี 0.0 mm. ในรูปที่ 6(b) 1.0 mm. และในรูปที่ 6(c) 2.0 mm. ตามลำดับ ผลของสามกรณีมีความแตกต่างกันดังนี้ การเชื่อมเพียงด้วยขอบคมตัดพื้นรัศมี 0.0 mm. พิจารณาด้านรอยเว้าของชิ้นงาน ความกว้างส่วนโค้งมน 1.229 mm. ความลึกส่วนโค้งมน 0.376 mm. ส่วนเรียบตรง 6.00 mm. พิจารณาด้านรอยนูนของชิ้นงาน ความกว้างส่วนโค้ง 2.455 mm. ความลึกส่วนโค้งมน 0.713 mm. ส่วนเรียบตรง 6.00 mm. ในรูปที่ 6(a)

ขอบคมตัดพื้นรัศมี 1.0 mm. จากผลการจำลองในรูปที่ 6 (b) พิจารณาด้านรอยเว้าของชิ้นงาน ความกว้างส่วนโค้งมน 1.193 mm. ความลึกส่วนโค้งมน 0.352 mm. ส่วนเรียบตรง 6.00 mm. พิจารณาด้านรอยนูนของชิ้นงาน ความกว้างส่วนโค้งมน 2.546 mm. ความลึกส่วนโค้งมน 0.811 mm. ส่วนเรียบตรง 6.00 mm. ขอบคมตัดพื้นรัศมี 2.0 mm. จากผลการจำลองในรูปที่ 6 (c) พิจารณาด้านรอยเว้าของชิ้นงาน ความกว้างส่วนโค้งมน 1.196 mm. ความลึกส่วนโค้งมน 0.437 mm. ส่วนเรียบตรง 6.00 mm. พิจารณาด้านรอยนูนของชิ้นงาน ความกว้างส่วนโค้งมน 2.855 mm. ความลึกส่วนโค้งมน 0.812 mm. ส่วนเรียบตรง 6.00 mm. ในรูปที่ 6(a)



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบผิวงานตัดที่ได้จากการเชื่อมเพียง

**4.4 เปรียบเทียบผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดลอง**

หลักการพื้นฐานลักษณะทางกายภาพที่สามารถนำมาเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดลองได้เป็นอย่างดีคือการเปรียบเทียบโครงสร้างทางกายภาพภายในเนื้อวัสดุภายหลังการเปลี่ยนรูปถาวรในกระบวนการเซมิเพ็ช สรุปได้ดังนี้คือ

1. ที่พื้นที่สโตรก 2.0 mm. ตำแหน่งระยะกดลึก 30 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุพิจารณาความเครียดในแนวแถบการเลื่อนระหว่างการจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลองจะเห็นว่าลักษณะพฤติกรรมการกระจายตัวของความเครียดของทั้งสองมีลักษณะคล้ายคลึงกัน
2. ที่พื้นที่สโตรก 4.0 mm. ตำแหน่งระยะกดลึก 60 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ การกระจายตัวของความเครียดในแนวแถบการเลื่อนยังมีความชัดเจนมากขึ้น
3. ที่พื้นที่สโตรก 6.0 mm. ตำแหน่งระยะกดลึก 90 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ การกระจายตัวของความเครียดในแนวแถบการเลื่อนมีแนวโน้มและทิศทางของความเครียดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 7

ผลการจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองมีพฤติกรรม การเปลี่ยนรูปถาวรที่ตรงกันและสอดคล้องกับผลการวิจัยอื่นๆ ในอดีตอย่างมีนัยสำคัญ

**5. บทสรุป**

รัศมีขอบคมตัดพunch และรัศมีขอบคมตัดคายมีอิทธิพลต่อคุณภาพผิว และคุณภาพรูปทรงเป็นอย่างมากบริเวณที่เป็นรอยเว้าและรอยนูน มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันสรุปได้ดังนี้คือ ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีขอบคมตัดพunchและคายกับความกว้างคายโรล ความลึกคายโรล ความราบเรียบผิวรอยตัด รัศมีขอบคมตัดพunchและคายที่มีขนาดเล็กทำให้ขนาดเปอร์เซ็นต์ความกว้างคายโรล ความลึกคายโรล มีแนวโน้มลดลง และ ความราบเรียบผิวรอยตัดต่ำ ในทางตรงข้ามหากรัศมีขอบคมตัดพunchและคายมีขนาดโตขึ้นมีผลทำให้ขนาดเปอร์เซ็นต์ความกว้างคายโรลความลึกคายโรลมีค่ามากขึ้น และ ความราบเรียบผิวรอยตัดมีค่า ผลจากกรรมวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สอดคล้องกับผลการทดลอง สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อทำนายคุณภาพผิวชิ้นงานในกระบวนการเซมิเพ็ชได้เป็นอย่างดี





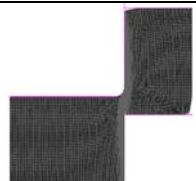

**6. กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัทศรีเจริญชัย เมทัลโปรดักส์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ค่าใช้จ่ายใช้ทำการทดลอง และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

**7. เอกสารอ้างอิง**

[1] S. Thipprakmas M. Jin and M. Murakawa, “Finite element simulation of Blanked Surface Features in Fine Blanking Process”, Proceedings of the 8<sup>th</sup> (ICTP) Advanced Technology of Plasticity, pp. 85-86.

[2] Z.H. Chen C.Y. Tang and T.C. Lee, “An investigation of tearing failure in fine-blank process using coupled thermo-mechanical method”, International Journal of Machine Tools & Manufacture 44, pp. 155-165.

	FEM simulation results	Experiment section results
Punch stroke 2.0		
Punch stroke 4.0 mm.		
Punch stroke 6.0 mm.		

รูปที่ 7 เปรียบเทียบผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดลอง

- [3] K. Lange, “Handbook of Metal Forming”, McGraw – Hill Companies Inc, New York. 1985.
- [4] Schuler GmbH, “Metal forming handbook”, Heidelberg, Springer, 1998.
- [5] K. Ono, “Metallurgical and Materials Transactions B”, Chemistry and Materials Science, Volume 1-42, 1970-2011.
- [6] S. Yiemchaiyaphum, “A study of fine blanking without V-ring”, Master of Engineering, Division of Production Engineering, Department of Production Engineering, Graduate School, King Mongkut’s Institute of Technology North Bankok, Thailand. 2005.