

## อิทธิพลของความดันกดยึดชิ้นงานในกระบวนการดัดขึ้นรูปโลหะแผ่นรูปตัวยู The Effect of Blank Holder Pressure in U-Shape Sheet Metal Forming Using FEM

สังคม ศรีสมพร<sup>1</sup>, สุรสิทธิ์ ปิยะศิลป์<sup>2</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002  
โทร. +66-43-244296 ต่อ 125, โทรสาร +66-43- 245878, E-mail: Sungkom\_Kri@hotmail.com, surasith@kku.ac.th

Sungkom Srisomporn , Surasith Piyasin

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

Tel: +66-43-244296 Ext. 125, Fax: +66-43-245878

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความดันกดยึดชิ้นงานในกระบวนการดัดขึ้นรูปโลหะแผ่นรูปตัวยู โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองกระบวนการขึ้นรูป ทำการศึกษาโดยใช้โปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS 5.4 สร้างแบบจำลองของกระบวนการในระนาบ 2 มิติและวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ความเครียดค่ามาก ชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ASTM316L แบบจำลองสร้างจากเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมสี่จุดขั้ว และแบบจำลองของการสัมผัสสร้างจากเอลิเมนต์สัมผัสแบบจุดสัมผัสกับเส้น กระบวนการที่ทำการศึกษาได้สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.15 และใช้ค่าความดันกดยึดชิ้นงาน 0, 4.82 และ 9.87 MPa ตามลำดับ ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มความดันกดยึดชิ้นงานให้กับกระบวนการมีผลทำให้การงอเป็นคลื่น และการดัดตัวกลับของผนังชิ้นงานมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังส่งผลให้ความเค้นกดสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานมีค่าลดลงด้วย

### Abstract

The objective of this research is to study the effect of blank holder pressure on U-shape sheet bending process using finite element method. The 2-D model of bending process is created by ANSYS release 5.4 finite element software. The effect of large strain will be considerably. The material property of sheet metal is ASTM316L. The plane strain finite element analysis of four-node quadrilateral elements is modeled. Point to line plane elements has been used to create the model of contact between blank and tools. The friction coefficient of this study is 0.15 and the blank - holder pressures are 0, 4.82 and 9.87 MPa in order. The results can be concluded that the increasing of the blank holder pressure not only decrease the side wall curl and wall spring back of the

work piece but also decrease the maximum compressive stress in deformed workpiece.

### สัญลักษณ์

$R_p$	รัศมีพินช์ (Punch profile radius)
$R_d$	รัศมีตาย (Die profile radius)
C	ระยะห่างระหว่างพินช์กับตาย (Die gap)
E	โมดูลัสของความยืดหยุ่น
$\sigma_y$	ความเค้นคราก (Yield Stress)
$\sigma_{ut}$	ความเค้นดึงสูงสุด (Ultimate tensile stress)
$\nu$	อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio)
$\mu$	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction Coefficient)
$\theta_{wall}$	มุมดัดตัวกลับของผนังชิ้นงาน (องศา)
$\Delta\theta$	มุมที่ต่างกันระหว่างก่อนและหลังการดัดตัวกลับ
$\Delta y$	ระยะการดัดตัวกลับของปีง

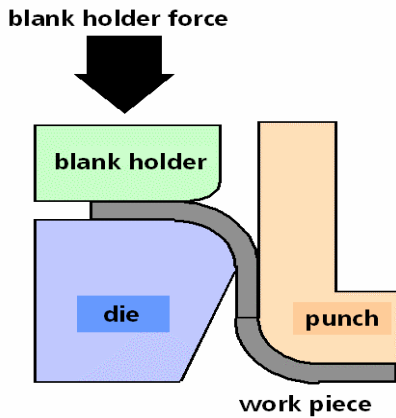
### 1. บทนำ

ในอดีตการออกแบบและวิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปโลหะ เพื่อให้ได้รูปร่างและสมบัติทางกลของชิ้นงานเป็นไปตามที่ต้องการ ต้องใช้ประสบการณ์และการลองผิดลองถูกของนักออกแบบ แต่ปัจจุบันการวิเคราะห์ ออกแบบและศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการขึ้นรูปโลหะทำได้ง่ายและประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย เนื่องจากมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองของกระบวนการ [1] ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น ชิ้นงานจะถูกกดให้มีรูปร่างเหมือนกับรูปร่างของตาย (Die) มากที่สุด แต่ความจริงแล้วหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานที่ได้จะมีการดัดตัวกลับ ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานที่ได้ไม่ตรงตามที่ต้องการ ปัญหาการดัดตัวกลับเกิดจากอิทธิพลของปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปหลายปัจจัย ซึ่งความดันกด

ยึดชิ้นงานก็เป็นหนึ่งในหลายปัจจัยที่มีผลต่อการติดตัวกลับของชิ้นงาน ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น [2] การเลือกความตึงยึดชิ้นงานที่น้อยหรือมากเกินไปให้กับกระบวนการ อาจจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างไม่เป็นไปตามที่ต้องการ

## 2. รายละเอียดแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

รูปร่างแบบจำลองของงานวิจัยแสดงไว้ดังรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 รูปร่างของแบบจำลองแบบสมมาตร

### 2.1 ขนาดของชิ้นงานและชุดเครื่องมือ

ขนาดของชิ้นงานและชุดเครื่องมือในงานวิจัยครั้งนี้ แสดงไว้ดังตารางที่ 1 โดยขนาดต่าง ๆ ถือเป็นตัวแปรควบคุมของงานวิจัย ตารางที่ 1 ขนาดของชิ้นงานและชุดเครื่องมือ (เนื่องจากการวิเคราะห์โดยใช้ความเครียดระนาบ ดังนั้นถือว่าความกว้างของแบบจำลองมีค่าเข้าใกล้อนันต์)

พินช์ (Punch) (mm)	50x70
ดาย (Die) (mm)	93.95
$R_p$ (mm)	5
$R_d$ (mm)	5
C (mm)	1.05
ชิ้นงาน (mm)	1x240
ความตึงยึดชิ้นงาน (MPa)	0, 4.82, 9.87
ระยะกดลึกของพินช์ (mm)	60

### 2.2 เอลิเมนต์ของชิ้นงานและชุดเครื่องมือ

แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นงานและชุดเครื่องมือสร้างจากเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมแบบสี่จุดต่อ (Four-node quadrilateral element หรือ Solid Plane42 ของ ANSYS) เนื่องจากเป็นเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่มีการดัดได้ดี [3] สำหรับฟังก์ชันประมาณภายในของเอลิเมนต์ (Element shape function) แสดงไว้ตามสมการที่ (1) ดังนี้

$$N_i = \frac{1}{4} (1 + \xi \xi_i) (1 + \eta \eta_i) \quad (1)$$

โดยที่  $\eta, \xi$  = พิกัดธรรมชาติของเอลิเมนต์

### 2.3 เอลิเมนต์สัมผัส (Contact Element)

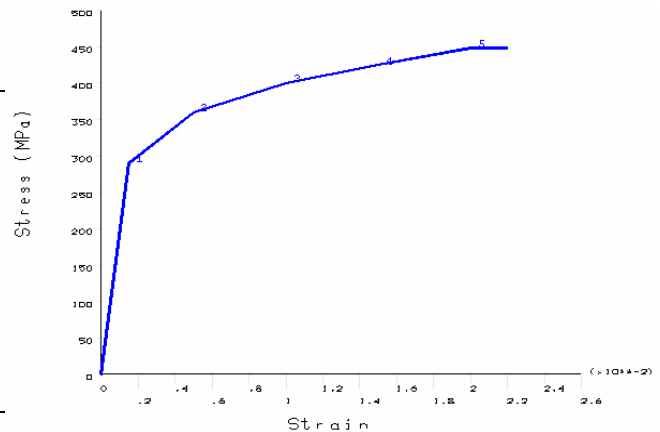
เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปโลหะจริงมีการสัมผัสกันระหว่างชิ้นงานและชุดเครื่องมือ ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองของกระบวนการเพื่อศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงเลือกเอลิเมนต์สัมผัสแบบจุดสัมผัสกับเส้น (Point-to-Line element หรือ Contac48 ของ ANSYS) เพื่อสร้างแบบจำลองของการสัมผัสกันระหว่างชิ้นงานและชุดเครื่องมือ

### 2.4 สมบัติทางกล (Mechanical properties)

สมบัติทางกลของวัสดุที่กำหนดให้กับแบบจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ สมบัติทางกลของชิ้นงานซึ่งกำหนดให้เป็นแบบ Multilinear Isotropic (โดยใช้ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดแบบวิศวกรรม) แสดงไว้ดังรูปที่ 2 และค่าสมบัติทางกลของชุดเครื่องมือแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติทางกลของวัสดุ

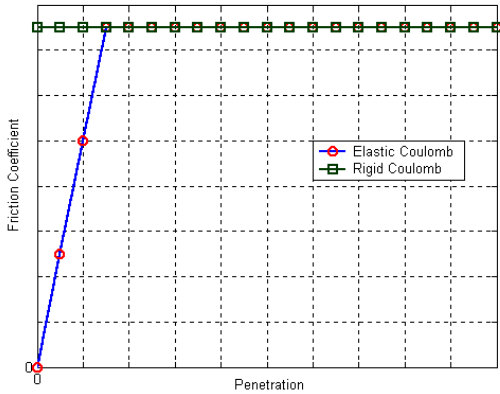
สมบัติทางกล	ชิ้นงาน	ชุดเครื่องมือ
E (GPa)	193	200
$\sigma_y$ (MPa)	290	$\infty$
$\sigma_{ut}$ (MPa)	548	$\infty$
$\nu$	0.3	0.3
$\mu$	0.15	0.15



รูปที่ 2 กราฟแสดงพฤติกรรมของวัสดุชิ้นงาน

### 2.5 รูปแบบของแรงเสียดทาน

งานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้รูปแบบของแรงเสียดทานแบบ Elastic Coulomb เนื่องจากเป็นรูปแบบของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการขึ้นรูปโลหะ [4] พฤติกรรมของแรงเสียดทานแบบ Elastic coulomb แสดงไว้ในรูปที่ 3 ดังนี้



รูปที่ 3 แสดงรูปแบบพฤติกรรมของแรงเสียดทาน

ทาน

### 2.6 การวิเคราะห์แบบจำลอง

เนื่องจากแบบจำลองเป็นกระบวนการที่มีการสัมผัสกันระหว่างชิ้นงานและชุดเครื่องมือ และมีการเสียรูปของชิ้นงานอย่างมาก ดังนั้นการวิเคราะห์แบบจำลองจึงเป็นแบบการวิเคราะห์ปัญหาไม่เชิงเส้นแบบสถิต โดยพิจารณาถึงผลกระทบเนื่องจากความเครียดค่ามากที่เกิดขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์ปัญหาของงานวิจัยครั้งนี้ใช้เงื่อนไขความเสียหายของฟอนมิสเซต (Von Mises) ตามสมการที่ (2) ดังนี้

$$2\sigma'^2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \quad (2)$$

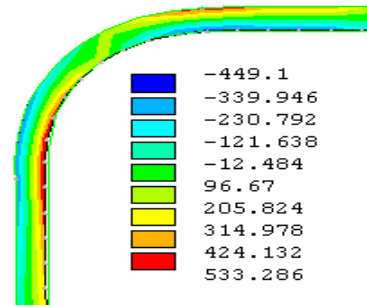
โดยที่  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  คือค่าความเค้นหลักตามแนวแกนที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

### 3. ผลของการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์แบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานคงที่ 0.15 และเปลี่ยนค่าความดันกดยึดชิ้นงาน 0, 4.82 และ 9.87 MPa ตามลำดับ ได้ผลการศึกษาออกมาเป็นดังนี้

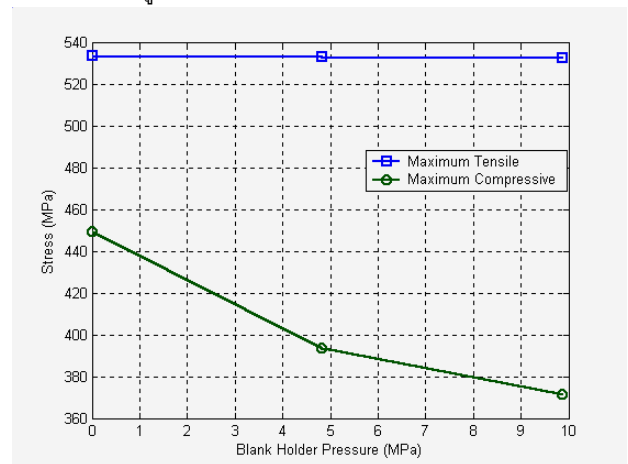
#### 3.1 ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ ความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจะเกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของการดัดชิ้นงาน ดังนั้นจึงการศึกษาจึงสนใจพิจารณาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจากการดัดชิ้นงานเท่านั้น ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าความเค้นดัดสูงสุดจะเกิดขึ้นบริเวณของรัศมีตาย ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4



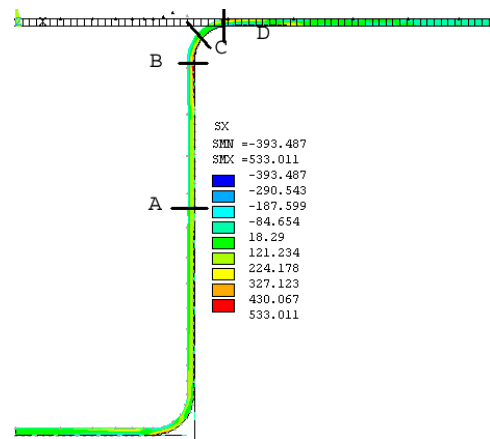
รูปที่ 4 แสดงบริเวณที่เกิดความเค้นสูงสุด

และเมื่อทำการศึกษาโดยเพิ่มความดันกดยึดชิ้นงานให้กับแบบจำลองพบว่าความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันในทุกค่าความดันกดยึดชิ้นงาน ส่วนความเค้นกดสูงสุดจะมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มความดันกดยึดชิ้นงานให้กับกระบวนการ จะทำให้ชิ้นงานถูกยึดแน่นมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้มีอิทธิพลของความเค้นที่เกิดขึ้นจากการพยายามดึงชิ้นงานของพื้นที่มาหักล้างกับค่าความเค้นกดที่เกิดขึ้นจากการดัดชิ้นงาน ดังความสัมพันธ์ในรูปที่ 5



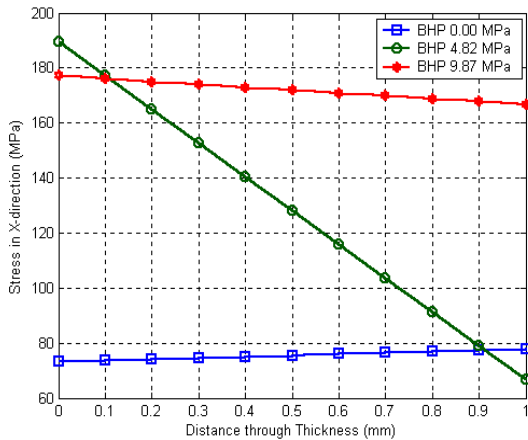
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความดันกดยึดชิ้นงาน

#### 3.2 ความเค้นที่กระจายตัวตลอดความหนาของชิ้นงาน

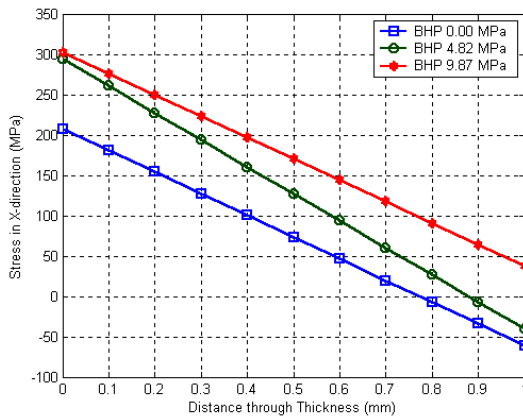


รูปที่ 6 แสดงบริเวณที่ศึกษาการกระจายตัวของความเค้นดัด

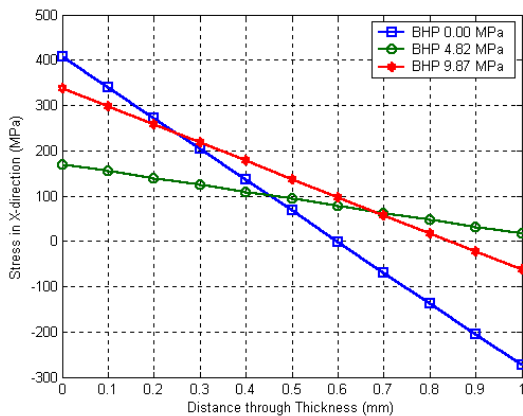
จากรูปที่ 6 เมื่อทำการศึกษถึงการกระจายความเค้นที่เกิดจากการดัด (Stress in X-direction) ตลอดความหนาของชิ้นงานบริเวณ A, B, C และ D ตามลำดับ พบว่าผลการศึกษาเป็นไปตามแสดงในรูปที่ 7 ดังนี้



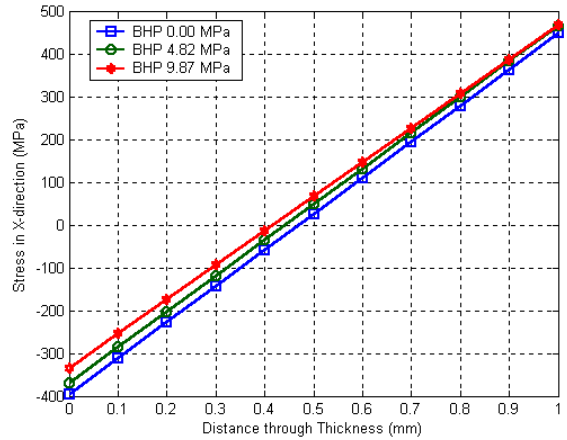
(a) การกระจายตัวของความเค้นบริเวณ A



(b) การกระจายตัวของความเค้นบริเวณ B



(c) การกระจายตัวของความเค้นบริเวณ C



(d) การกระจายตัวของความเค้นบริเวณ D

รูปที่ 7 การกระจายตัวของความเค้นตลอดความหนาของชิ้นงาน

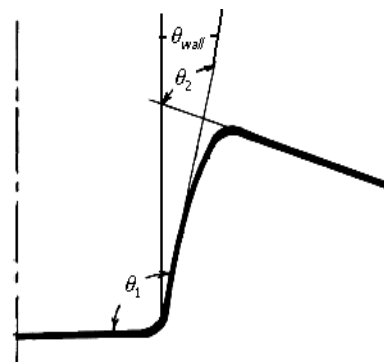
จากรูปที่ 7 พบว่าความเค้นที่กระจายตลอดความหนาของชิ้นงานมีแนวโน้มที่จะกลายเป็นความเค้นดึงมากขึ้นเมื่อเพิ่มความดันกดยึดชิ้นงานให้กับกระบวนการ

### 3.3 การติดตัวกลับของชิ้นงาน

จากการวิเคราะห์หาค่าการติดตัวกลับบริเวณของผนังชิ้นงาน การติดตัวกลับของมุมบริเวณรัศมีพื้นซ์ ( $\theta_1$ ) การติดตัวกลับของมุมบริเวณรัศมีตาย ( $\theta_2$ ) และระยะการติดตัวกลับของปีกชิ้นงาน ได้ผลเป็นดังนี้ (รูปร่างของชิ้นงานและตัวแปรที่พิจารณาศึกษาแสดงไว้ดังรูปที่ 8)

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาการติดตัวกลับของชิ้นงาน

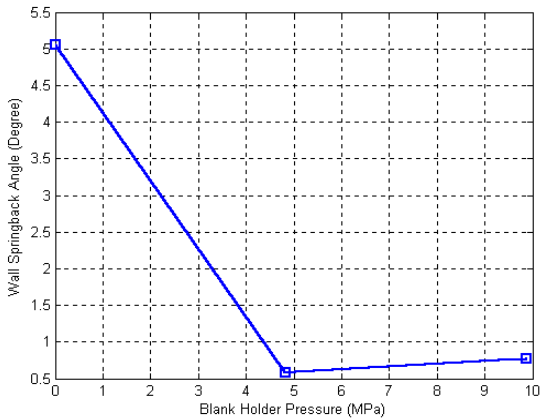
ความดันกดยึดชิ้นงาน (MPa)	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	$\theta_{wall}$	$\Delta y$
0	-3.65	-2.103	5.058	2.774
4.82	0.004	-3.366	0.576	-1.890
9.87	-0.07	-1.578	0.776	-0.45



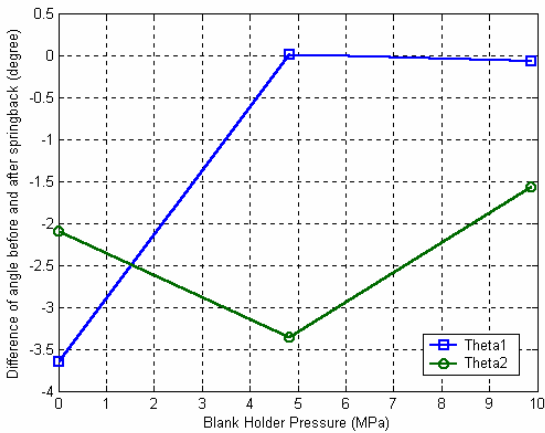
รูปที่ 8 รูปร่างและตัวแปรที่พิจารณาในการศึกษา

จากผลการศึกษาที่ได้ในตารางที่ 3 ของมุมที่มีค่าบวกหมายถึงมีการติดตัวกลับทิศทางทวนเข็มนาฬิกากับรูปร่างเดิมที่ยังไม่ติดตัวกลับ และค่ามุมที่มีค่าเป็นลบหมายถึงมีการติดตัวกลับทิศทางตามเข็มนาฬิกากับรูปร่างเดิมที่ยังไม่ติดตัวกลับ และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 3

มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันกดยึดชิ้นงานกับการติดตัวกลับของชิ้นงานได้ดังนี้



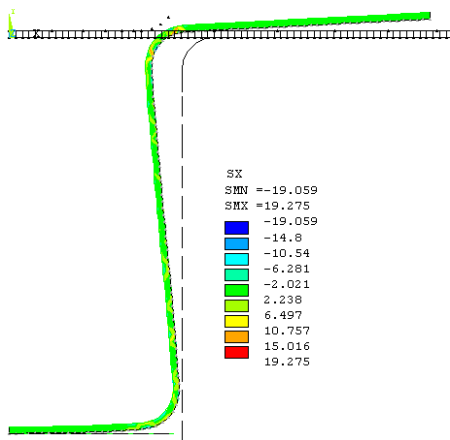
(a) มุมติดตัวกลับของผนัง



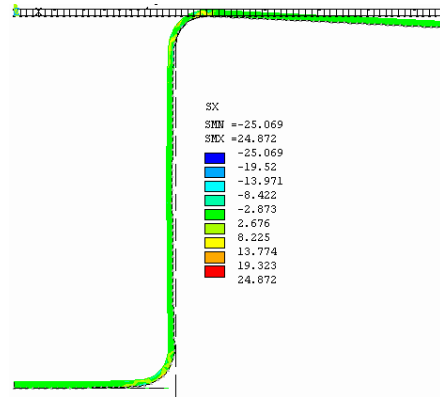
(b) ผลต่างของมุมก่อนและหลังการติดตัวกลับ

รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของความดันกดยึดชิ้นงานกับการติดตัวกลับ

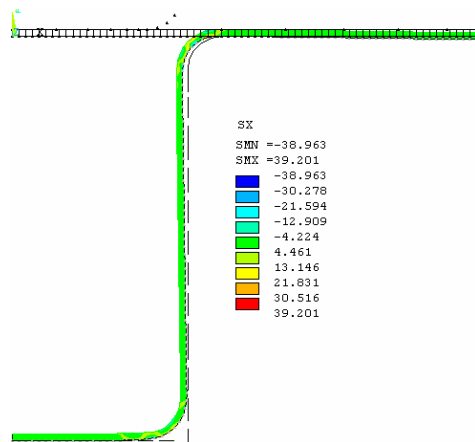
รูปร่างของชิ้นงานก่อน (ส่วนที่เป็นกริดสีดำ) และหลังจากผ่านกระบวนการแสดงไว้ดังนี้



(a) ความดันกดยึดชิ้นงาน 0.00 MPa



(b) ความดันกดยึดชิ้นงาน 4.82 MPa



(c) ความดันกดยึดชิ้นงาน 9.87 MPa

รูปที่ 10 รูปร่างของชิ้นงานที่ได้ในแต่ละกระบวนการ

#### 4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

เมื่อเพิ่มความดันกดยึดชิ้นงานในช่วงที่ทำการศึกษาให้กับกระบวนการพบว่า

- ความเค้นกดสูงสุดที่เกิดขึ้นในกระบวนการมีค่าลดลง
- การกระจายความเค้นตลอดความหนาของชิ้นงานมีแนวโน้มกลายเป็นความเค้นดึงมากขึ้น ซึ่งจากผลการศึกษาในหัวข้อ 3.2 และ 3.3 พบว่าเมื่อการกระจายความเค้นตลอดความหนากลายเป็นความเค้นดึงจะส่งผลให้การติดตัวกลับลดลงด้วย
- การติดตัวกลับของชิ้นงานมีค่าลดลง

ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้พบว่าแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกันกับการศึกษาของ M. Samuel [2]

## 5. เอกสารอ้างอิง

[1] Cristina Maria Oliveira Lima Roque, and Sérgio Tonini

Button. Application of the Finite Element Method In Cold Forging Processes. **Journal of the Braz. Soc. Mechanical Sciences**, 2000, Vol. XXII, No 2, pages. 189-202

[2] M. Samuel. Experimental and numerical prediction of springback and side wall curl in U-bendings of anisotropic sheet metals. **Journal of Materials Processing Technology**, Volume 105, Issue 3, 29 September 2000, Pages 382-393

[3] ศุภฤกษ์ ศิริเวทิน. ผลกระทบของไฟไนต์เอลิเมนต์โมเดลต่อผลคำนวณที่คำนวณได้ (2) กรณี: ปัญหาการดัด. วารสาร **Mechanical Technology**, พฤษภาคม 2545

[4] Kwansoo Chung, Jeong-Whan Yoon and Owen Richmond. Ideal sheet forming with frictional constraints. **International Journal of Plasticity**, Volume 16, Issue 6, 5 May 2000, Pages 595-610