

# การศึกษาพฤติกรรมแอนไอโซทรอปิกของโลหะแผ่น ที่มีผลต่อการเกิดรอยดิ่ง ในการขึ้นรูปทรงกระบอก

(The Study of Sheet Metal Anisotropic Behavior on Earing Defect of Deep Drawing)

พิชญ์ จันทร์มณี คลธรรม เอพกานนท์\*

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

E-mail : [pichjane@yahoo.com](mailto:pichjane@yahoo.com) , E-mail : [aranon2001@yahoo.com](mailto:aranon2001@yahoo.com)\*

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงการทดลองถึงการศึกษาพฤติกรรมแอนไอโซทรอปิก ของโลหะแผ่นที่มีผลต่อการเกิดรอยดิ่ง โดยการออกแบบการทดลองกำหนดให้มีการศึกษาวัสดุที่นำมาขึ้นรูปในทิศทางทำมุมกับแนวการรีด 0, 45, 90 องศา และศึกษาถึงผลกระทบของค่า R -Value ที่มีผลต่อการเกิดรอยดิ่งของวัสดุ 2 ชนิด คือ วัสดุเหล็ก Spcen - sd และวัสดุทองเหลือง โดยกำหนดให้มีอัตราส่วนการขึ้นรูปเป็น 1.79 หล่อลื่นด้วยน้ำมันมะพร้าวและไม่ใช้เบลนจ์โฮลเดอร์ในการขึ้นรูป การศึกษาคุณสมบัติแอนไอโซทรอปิกของโลหะแผ่นเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E8M - 94a ผลการวิจัยปรากฏว่าวัสดุเหล็ก Spcen - sd มีค่า R - Value มากจะเกิดรอยดิ่งมากที่สุดที่มุม 45 องศา กับทิศทางการรีด ส่วนวัสดุทองเหลืองมีค่า R - Value มาก จะเกิดรอยดิ่งน้อยที่สุดที่ทำมุม 45 องศา กับทิศทางการรีดเช่นกัน และ  $\Delta R$  ของวัสดุเหล็ก Spcen-sd มีค่าน้อยส่งผลให้เกิดรอยดิ่งมากที่สุดที่ทำมุม 45 องศา กับทิศทางการรีด มีลักษณะคล้ายรูประฆังหงาย ส่วน  $\Delta R$  ของวัสดุทองเหลืองมีค่าน้อยส่งผลให้เกิดรอยดิ่งน้อยที่สุดที่ทำมุม 45 องศา กับทิศทางการรีด มีลักษณะคล้ายรูประฆังคว่ำ จากการศึกษาคุณสมบัติแอนไอโซทรอปิกของโลหะแผ่นพบว่าในทิศทางทำมุม 45 องศา กับทิศทางการรีดจะมีค่าแอนไอโซทรอปิก (R - Value) สูงกว่าในทิศทางอื่น ๆ และให้ผลการเกิดรอยดิ่งต่างกันกับชนิดวัสดุ

## Abstract

*This is the experimental research on study behavior of anisotropic of sheet metal that affect to earing occurs. By experiment design was fix to study materials as deep drawing in angle with rolling direction as 0, 45, 90°, and study to effect of R-Value that affect to earing occurs. In progress by design 2 materials test, that is, Spcen-sd steel and brass materials . To fix dic set has limiting drawing ratio as 1.79, by coconut oil lubricate and not use blank holder to deep drawing in study qualifications of anisotropic of sheet metal by using standard tensile teeting of ASTM E8M - 94a testing. The result of research to find that Spcen-sd steel has more R-Value will occurs most earing at 45° with rolling direction. In addition , brass materials has more R-Value will occurs least earing at 45° with rolling direction the same. Besides,  $\Delta R$  of Spcen-sd steel has less value to result in most earing at 45° with rolling direction as characteristic similar overturn bell , and  $\Delta R$  of brass materials has less value to result in least earing at 45° with rolling direction as characteristic similar topple bell. From study qualifications of anisotropic of sheet metal , to find that in angle direction 45° with rolling direction have more R-Value than another direction.*

**Keyword:** Anisotropic Earing Rolling Direction

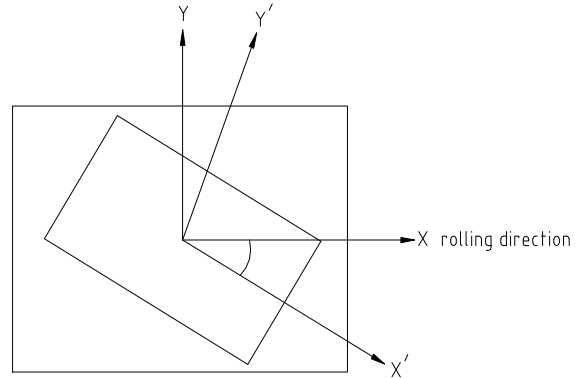
## 1. บทนำ

ปัจจุบันกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เป็นกระบวนการสำคัญในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างชิ้นงานให้เป็นรูปทรงต่างๆ ตามความต้องการ กระบวนการขึ้นรูปโลหะจัดเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมในการขึ้นรูปโลหะแผ่นปัจจัยสำคัญมักเกิดจากการออกแบบเครื่องมือการเลือกใช้วัสดุทั้งนี้ในการเลือกใช้วัสดุให้เกิดความเหมาะสม ซึ่งเป็นส่วนสำคัญยิ่ง ในการขึ้นรูปชิ้นงานทรงกระบอก ปัญหาสำคัญมักเกิดจากวัสดุเป็นหลัก ทำให้ต้องหาวิธีการแก้ไข และป้องกัน การเกิดพลาสติกแอนไอโซทรอปิกของวัสดุเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดรอยดิ่งบริเวณขอบของชิ้นงานทำให้ต้องตัดขอบที่มีรอยดิ่งออก หากรอยดิ่งเกิดขึ้นมากก็จะทำให้ต้องตัดขอบที่มาก หรืออาจต้องทิ้งชิ้นงานชิ้นนั้นไปเลยก็ได้ เนื่องจากไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการผลที่ตามมา คือ ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น ซึ่งในระบบการผลิตนั้นย่อมไม่มีใครต้องการให้เป็นเช่นนั้น การศึกษาพฤติกรรมแอนไอโซทรอปิกในการขึ้นรูปทรงกระบอก จึงถูกหยิบยกมาเป็นปัญหาสำคัญ เพื่อหาแนวทางแก้ไขและป้องกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงานต่อไป

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีพลาสติกวัสดุแอนไอโซทรอปิก [1]

ทฤษฎีคุณสมบัติทางกลของวัสดุแอนไอโซทรอปิกและการทำให้แข็งด้วยความเครียดซึ่งเป็นสิ่งต้องพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดต่อการตัดได้ และการคิดตัวกลับจากการขึ้นรูป ตลอดจนผลของความสามารถขึ้นรูปได้ สำหรับมุม  $\alpha$  กับการยอมรับในทิศทางการรีด ดังแสดงในรูปภาพที่ 1 เงื่อนไขสภาพการครากตามทฤษฎีของฮิลล์ (Hill's Theory) สภาพพลาสติกแอนไอโซทรอปิกจากรูปภาพที่ 1 ถ้าเป็นการสมมุติให้แผ่นวัสดุ มีคุณสมบัติระนาบเป็นไอโซทรอปิก ดังนั้นแอนไอโซทรอปิกของโลหะแผ่นเป็นการให้มุม  $\alpha$  กระทำกับทิศทางการรีดมีคุณสมบัติภาวะปกติ (ระนาบแอนไอโซทรอปิก)



รูปที่ 1 แสดงการตัดแผ่น โลหะที่ทำมุมกับแนวทิศทางการรีด

สามารถแสดงด้วยพารามิเตอร์เดียว โดยการกำหนดอัตราส่วนความเครียดพลาสติก (R-Value) บนพื้นฐานการทดสอบแรงดึงในแกนเดียวเท่ากับเป็นการเปลี่ยนแปลงความเครียดพลาสติกในระนาบของแผ่นวัสดุไปยังความเครียดพลาสติกตลอดความหนาโดยหาได้จากสมการ

$$R = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_z} \quad (1)$$

เมื่อ  $\epsilon_w$  และ  $\epsilon_t$  เป็นความเครียดพลาสติกจริงในแนวทิศทางความกว้าง (w) และความหนา (t) ของชิ้นทดสอบการดึงในแกนเดียวตามลำดับที่ได้จากการตัดแผ่นวัสดุจากมุมต่างๆ ในลักษณะทำมุมกับทิศ

ทางการรีด

$$\text{ดังนั้น } \epsilon_w = \ln(w/w_0) \text{ และ } \epsilon_t = \ln(t/t_0)$$

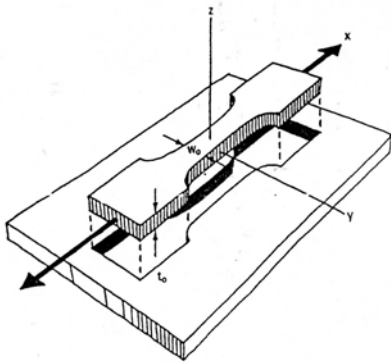
สำหรับวัสดุ ค่าแอนไอโซทรอปิกในทิศทางอุดมคติ  $R = 1$  มีนิยามว่าเป็นอัตราส่วนความเครียดในแนวความกว้างต่อความหนา ถ้าหากกรณีของวัสดุโลหะแผ่นมีความหนาน้อยมาก ก็จะเป็นการยากในการวัดค่าความเครียดในแนวความหนา  $\epsilon_t$  บนวัสดุแผ่นบางได้แม่นยำ เพราะฉะนั้นความเครียดในแนวความหนามักหาได้จากการวัดความเครียดในแนวความยาวและความกว้าง โดยใช้ปริมาตรคงตัว

$$\varepsilon_r = -\varepsilon_i + \varepsilon_w \quad (2)$$

เพื่อการวัดที่แม่นยำควรใช้ภาคตัดลดลงให้ค่อนข้างยาวมาก เมื่อเทียบกับความกว้างและภาคตัดทดสอบที่ใช้วัดค่า  $\varepsilon_i$  และ  $\varepsilon_w$  ควรอยู่ห่างจากบ่าขึ้นทดสอบให้มาก บางครั้ง R ไม่แปรผันตามความเครียด เพราะฉะนั้นอัตราส่วนของความเครียดที่เพิ่มขึ้น  $d\varepsilon_w / d\varepsilon_i = R$  ในการตัดโลหะแผ่น พารามิเตอร์ ค่า R จากการวัดค่าแอนไอโซทรอปิกคือเป็นการสมมุติให้เป็นค่าคงตัวอยู่ตลอดทั้งระนาบความเครียดพลาสติก โดยทั่วไปค่า R แอนไอโซทรอปิกในแนวตั้งฉากมักไม่คงที่ ในระนาบของแผ่นโลหะ แต่จะแปรเปลี่ยนไปตามทิศทางที่ทำมุมกับทิศทางการรีด ดังนั้นค่าเฉลี่ยของแอนไอโซทรอปิกที่รีดมีสมมาตรกัน คำนวณได้โดยใช้ค่า R ที่หาได้จากการรีดที่แตกต่างกัน

$$\bar{R} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4} \quad (3)$$

เมื่อ  $R_0, R_{45}$  และ  $R_{90}$  เป็นการแสดงค่าที่หาได้ในทิศทางการรีดที่มุม 0, 45 และ 90 องศา



รูปที่ 2 แสดงขึ้นทดสอบแรงดึงในการหาค่า R - Value

## 2.2 หลักพื้นฐานในการตีปรอว์ [3]

การตีปรอว์ เป็นกรรมวิธีในการขึ้นรูปเย็น โลหะแผ่นให้เป็นรูปทรงกลวง โดยใช้พื้นชั้นแผ่นโลหะที่เป็นแผ่นแบนราบให้ไหลผ่านช่องเปิดของดาบเข้าไปในดาบ โดยที่ยังมีความหนาคงเดิม ไม่เกิดรอยย่น รอยคั้ง และรอยแตกร้าว โลหะแผ่นต้องมีคุณสมบัติยึดดึงเพียงพอที่ยอมให้ โลหะแผ่นไหลเข้าไปในช่องเปิดของดาบ ในกรรมวิธีในการตีปรอว์ เพื่อให้รูปเปลือกถ้วยที่สมบูรณ์ ต้องคำนึงถึงตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการตีปรอว์ตัวที่สำคัญต่างๆ นี้สามารถจำแนกได้เป็นตัวแปรดังนี้

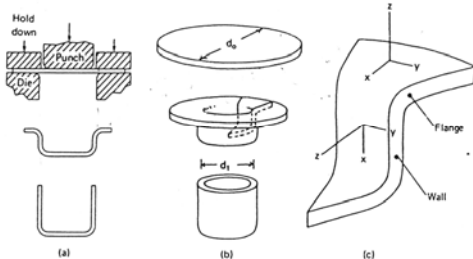
### ตัวแปรหลัก

1. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแผ่นวัสดุชิ้นงาน
  - ค่าตัวเลขยกกำลังการทำให้แข็งด้วยความเครียด เป็นค่าที่แสดงความสามารถทำให้แข็งด้วยความเครียด ใช้วัดสภาพการยืด (Stretch) ของโลหะแผ่น
  - ค่าอัตราส่วนความเครียดพลาสติก เป็นค่าการต้านทานต่อการลดความหนาของวัสดุ
  - ค่าแอนไอโซทรอปิกในระนาบของโลหะแผ่นเป็นตัวแนวโน้มการเกิดรอยคั้ง (Earing)
2. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสารหล่อลื่น
  - ความทนทานต่ออุณหภูมิ
  - ความทนทานต่อความดัน
3. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแผ่นขึ้นงาน
  - รูปทรงขึ้นงานสำเร็จ
  - อัตราส่วนการครอว์
4. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแม่พิมพ์
  - ความเรียบของผิวหน้าแม่พิมพ์
  - รัศมีของพื้นซ์ และ ของดาบส์
  - เคลือบแรนซ์ที่ใช้

**ตัวแปรรอง**

1. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ
  - ความไวต่ออัตราเครียดของแผ่นวัสดุ
  - ความราบเรียบของแผ่นวัสดุ
2. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแผ่นชิ้นงาน
  - สภาพของขอบแผ่นงาน
  - ตำแหน่งบนคานาเพลท (Die Plate)
3. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเพรส
  - ความเร็วขึ้นรูป
  - วิธีการจับยึดแผ่นชิ้นงาน
  - ความแข็งตึงของเครื่องเพรสและความแม่นยำในการนำเคลื่อนของไกด์ (Guide)

การตีปดรอยด้วยทรงกระบอกก้นแบน (การทดสอบรูปถ้วยของสวิตช์)กรรมวิธีนี้ค่อนข้างง่าย มิใช่ในเชิงพาณิชย์เพื่อผลิตถึงความดัน ถ่านไฟฉาย และปลอกกระสุนปืน กระป๋องเครื่องดื่ม ซึ่งบริเวณขอบเกิดการเปลี่ยนรูปมากที่สุดและบริเวณผนัง ซึ่งต้องรับแรงที่ทำให้เปลี่ยนรูปได้เพียงพอ ถ้าวัดเส้นผ่านศูนย์กลางแบลงก์ใหญ่เกินไป แรงที่ต้องส่งผ่านผนังจะมีค่ามากเกินไป จึงทำวัสดุครากและเสียหายสภาพขึ้นรูปได้



รูปที่ 3 แสดงรูปถ้วยที่ผ่านการดรอว์บางส่วนเพื่อแสดงระบบพิกัด

**2.3 การหาขนาดแบลงก์ [5]**

สิ่งที่มีความสำคัญมากก็คือการหาแผ่นแบลงก์ที่จะนำมาดรอว์ได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้เพราะประการแรกคือ

ความประหยัดเนื่องจากต้องการตัดแบลงก์ให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ ประการที่สอง การที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เกินไป ทำให้อัตราส่วนการดรอว์เพิ่มขึ้น และสามารถทำให้ชิ้นงานแตกได้ ขนาดแบลงก์สามารถหาได้จากเงื่อนไขว่า ปริมาณของแบลงก์ต้องเท่ากับซึ่งสามารถหาขนาดของแบลงก์ได้จากผลรวมของพื้นที่ผิวแต่ละส่วน  $A_n$  ของชิ้นงานสำเร็จ นั่นคือ

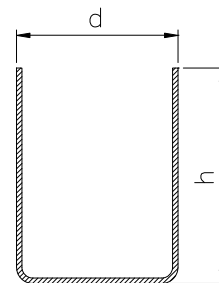
$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^i A_n} \tag{4}$$

สำหรับรูปถ้วยอย่างง่าย ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางใน  $d_1$  และสูง  $h$  เมื่อไม่คิดผลจากรัศมีโค้งที่ขอบพื้นซ์

$$\frac{\pi}{4} d_0^2 = \frac{\pi}{4} d_1^2 + \pi d_1 h \tag{5}$$

ดังนั้น

$$d_0 = \sqrt{d_1^2 + 4d_1 h} \tag{6}$$



รูปที่ 4 การหาขนาดของแผ่นแบลงก์

ส่วนการหาความสูง  $h$  ของชิ้นงานดรอว์ได้จากสมการ

$$h = \frac{d_1}{4} (\beta^2 - 1) \tag{7}$$

เมื่อ

$d_0$  เส้นผ่านศูนย์กลางแบลงก์

$A_n$  พื้นที่ผิวของชิ้นงาน

$d_1$  เส้นผ่านศูนย์กลางพื้นซ์

$\beta$  อัตราส่วนการดรอว์

#### 2.4 การหาขีดจำกัดการครอว์ [6]

เมื่อเลือกใช้อัตราส่วนการครอว์  $\beta = d_0/d_1$  มากขึ้น ถ้าเงื่อนไขอย่างอื่นคงเดิม จำเป็นต้องใช้แรงดึงขึ้นรูปมากขึ้น ส่วนที่เป็นผนังของชิ้นงานจะต้องรับแรงจำนวนนี้ให้ได้ เพราะฉะนั้นอัตราส่วนการครอว์จึงต้องไม่เกินค่าสูงสุดซึ่งเรียกว่า “ขีดจำกัดอัตราส่วนการครอว์” (Limiting Drawing Ratio)  $\beta_{max}$  ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้เกิดการฉีกขาดบริเวณก้นถ้วย ซึ่งความเสียหายแบบแรกเรียกว่าการฉีกขาดก่อนกำหนด (Premature Cracks) และอีกอย่างหนึ่งเรียกว่าการฉีกขาดแท้ (Proper Cracks) การฉีกขาดก่อนกำหนดมักเกิดขึ้นในบริเวณรัศมีก้นถ้วย ส่วนการฉีกขาดแท้สามารถเกิดขึ้นที่บริเวณรัศมีก้นถ้วย และบริเวณต่อเนื่องระหว่างรัศมีก้นถ้วยและผนังถ้วย

#### 2.5 ผลกระทบค่าแอนไอโซทรอปีกในการครอว์ [3]

การตีปดครอว์เป็นกระบวนการที่แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติด้านแอนไอโซทรอปีกของโลหะแผ่นงานอย่างชัดเจน จากผลกระทบของค่าแอนไอโซทรอปีกที่มีต่อการเพิ่มอัตราส่วนการครอว์ให้สูงขึ้นแล้ว จำเป็นต้องเลือกใช้โลหะแผ่นที่มีค่าแอนไอโซทรอปีกให้สูงขึ้นไปด้วย เช่นเดียวกันถ้ามีโลหะแผ่นที่มีค่าแอนไอโซทรอปีกต่ำก็สามารถขึ้นรูปที่อัตราส่วนการครอว์ที่ต่ำๆ เท่านั้น การเลือกใช้โลหะที่มีค่าแอนไอโซทรอปีกสูง นั้น ไม่ใช่เพราะมีคุณสมบัติ ด้านการทำให้งบาง (Wall Thinning) ของแผ่นโลหะขณะขึ้นรูปเท่านั้น แต่ยังสามารถลดแรงในการครอว์อีกด้วยเมื่อพิจารณาในกรณีเกิดความเค้นในระนาบปกติที่มีความเค้นหลัก  $\sigma_1$  และ  $\sigma_2$  เกิดขึ้นบนที่บริเวณขอบปึกของการขึ้นรูปลึก ตามทฤษฎีของฟอน มิสเสส (Von Misses) สำหรับวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นแอนไอโซทรอปีก และทุกจุดเกิดความเครียดไม่เท่ากัน จะเกิดเกณฑ์การครากของโลหะคือ

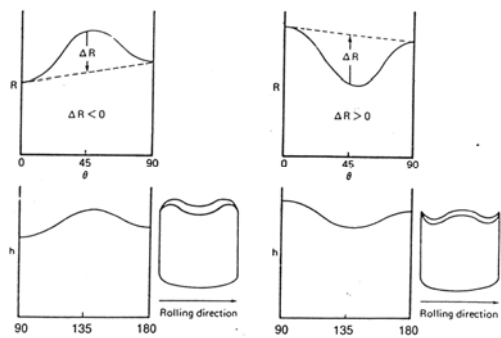
$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_1 + \sigma_2)} \quad (8)$$

ทั้งนี้แอนไอโซทรอปีกในระนาบเป็นตัวต้นเหตุที่ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอที่ขอบงาน เวลาขึ้นรูปลึกซึ่งเรียกว่า “รอยดิ่ง” ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิด เมื่อโลหะแผ่นมีค่า R เพิ่มขึ้น ความสูงของการเกิดรอยดิ่งก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

ความสูงของรอยดิ่งจะสูงขึ้นประมาณ 15 - 20 % ของความสูงรูปถ้วย ในการประมาณค่าคุณลักษณะการตีปดครอว์ของ โลหะแผ่น ปกติแล้วจะใช้ส่วนของอัตราความเครียดพลาสติกเฉลี่ยซึ่งหาได้จากสมการดังนี้

$$\bar{R} = \frac{1}{4}(R_0 + 2R_{45} + R_{90}) \quad (9)$$

เพื่อให้การทำนายได้ใกล้เคียงขึ้นของคุณสมบัติของการตีปดครอว์ ใช้ค่า  $R_{min}$  แทนค่า  $R$  เพราะการฉีกขาดจะเกิดขึ้นถ้าค่า  $R_{min}$  อยู่ต่ำกว่าขีดจำกัดต่ำสุด ฉะนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมาก ที่ต้องเลือกโลหะแผ่นที่มีค่า  $\bar{R}$  ให้สูง และเลือกค่า  $\Delta R$  ให้ต่ำๆ เท่าที่จะหาได้ในการใช้งาน



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอยดิ่งกับการแปรผันเชิงมุมของ R ในที่นี้  $h$  คือความสูงผนัง

#### 2.6 รอยดิ่ง [1]

ขอบด้านบนของถ้วยที่ได้จากการครอว์ไม่เรียบอย่างสมบูรณ์ แต่ค่อนข้างมีตำแหน่งที่สูงหรือดิ่ง (Ears) พร้อมทั้งมีแอ่ง (Valleys) อยู่ระหว่างรอยดิ่ง ดังรูปที่ 5 ลักษณะทั่วไปคือมีรอยดิ่ง 4 รอย แต่บางครั้งอาจพบว่ามี 2, 6 หรือ 8 รอย รอยดิ่งเกิดจากผลของแอนไอโซทรอปีกในระนาบและมีสหสัมพันธ์กับการแปรผันเชิงมุมของ R ซึ่งที่ตำแหน่งเชิงมุมซึ่ง R มีค่าน้อย วัสดุมีความหนาเพิ่มขึ้น ดังนั้นผนังจึงต่ำกว่า และ

ตำแหน่งซึ่ง R มีค่ามากผนังบางลงและสูงกว่า ความสูงและตำแหน่งกับรอยดิ่งมีสหสัมพันธ์ที่ดีกับพารามิเตอร์

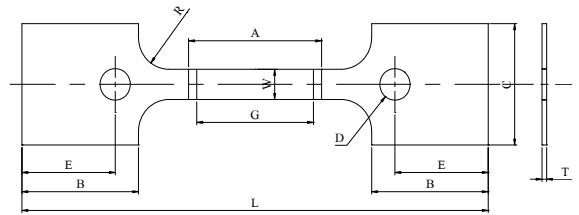
$$\Delta R = \frac{R_0 + R_{90} - 2R_{45}}{2} \quad (10)$$

เมื่อ  $\Delta R > 0$  เกิดรอยดิ่งที่  $0^\circ$  และ  $90^\circ$  ถ้า  $\Delta R < 0$  เกิดรอยดิ่งที่ประมาณ  $\pm 45^\circ$  รอยดิ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนา เพราะต้องตัดขอบเอาเนื้อโลหะออกไปมาก เพราะฉะนั้นผลประโยชน์ที่ได้จาก  $\bar{R}$  มีค่ามากซึ่งทำให้ LDR มีค่ามากด้วยนั้นจึงเป็นไปได้ถ้า  $\Delta R$  มีค่ามากเกินไป

### 3. วิธีการดำเนินงาน

ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า R-Value และผลการเกิดรอยดิ่งในการขึ้นรูปทรงกระบอกในทิศทางทำมุม 0, 45, 90 องศา กับทิศทางการรีดเนื่องจากผลของพฤติกรรมแอนไอโซทรอปิกโดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปทรงกระบอก โดยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง พื้นซ์ 42 mm. และคายส์ขนาด 44 mm.
- 2) เตรียมชิ้นทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 mm. เพื่อทำการทดลอง
- 3) นำแม่พิมพ์ขึ้นรูปมาติดตั้งกับเครื่องเพรสทำการทดลอง
- 4) นำชิ้นงานทดสอบวางลงบนพื้นซ์ซึ่งอยู่ด้านล่าง แล้วทำการกดขึ้นรูป ทดสอบและวัดค่าแรงการกดแต่ละครั้งแล้วบันทึกค่า ซึ่งก่อนทำการทดสอบชิ้นงานจะต้องทำความสะอาดชิ้นทดสอบก่อนทุกชิ้นและหล่อลื่นด้วยน้ำมันมะพร้าว
- 5) นำชิ้นทดสอบในแต่ละชุดการทดสอบมาทำการตรวจสอบขนาดด้วย เครื่องมือวัดไฮเกจดิจิตอล เพื่อวัดการเกิดรอยดิ่งขึ้นทดสอบแล้วบันทึกค่าเพื่อหาสัดส่วนการเกิดรอยดิ่ง ต่อทิศทางการรีดวางในการตรวจสอบขนาดต้องทำความสะอาดชิ้นทดสอบก่อนทุกครั้งเพื่อลดค่าผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น
- 6) วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลอง
- 7) สรุปผลการทดลอง



รูปที่ 6 ชิ้นทดสอบมาตรฐาน ASTM E8M-94a



รูปที่ 7 แสดงรอยดิ่งที่เกิดขึ้นของชิ้นงานสำเร็จ

### 4. ผลการทดลอง

การคำนวณหาค่า R-value หรือ อัตราส่วนความเครียดพลาสติกแอนไอโซทรอปิกในแนวความกว้างต่อความหนา ซึ่งจากการทดสอบการดึงขึ้นทดสอบมาตรฐาน สามารถนำค่าอัตราส่วนความเครียดที่ได้ มาแสดงการคำนวณด้วยสมการ

$$R = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} \quad \text{จะได้}$$

$$\epsilon_w = \ln \frac{12.50}{8.026} = 0.4430$$

$$\epsilon_t = \ln \frac{1}{0.734} = 0.3093$$

$$R = \frac{0.4430}{0.3093}$$

$$= 1.4323$$

การคำนวณหาผลความแตกต่างแอนไอโซทรอปิกในระนาบการเกิดรอยดิ่งของวัสดุจากสมการ

$$\Delta R = \frac{R_0 + R_{90} - 2R_{45}}{2}$$

วัสดุเหล็ก Spcen-sd

$$\Delta R = \frac{1.4323 + 1.7764 - 2(2.0078)}{2}$$

$$\Delta R = -0.40345$$

วัสดุทองเหลือง

$$\Delta R = \frac{1.0329 + 0.7996 - 2(1.0662)}{2}$$

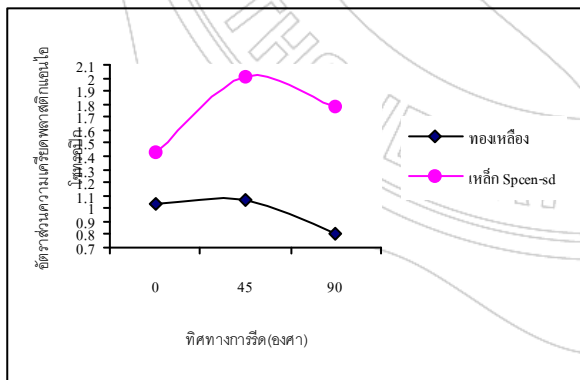
$$\Delta R = -0.14995$$

ตารางที่ 1 แสดงผลคุณสมบัติทางกลของวัสดุเหล็ก Spcen-sd

องศาการรีด	R-value	$\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation%
0	1.4323	763.061	413.530	46.28
45	2.0078	769.359	432.856	43.60
90	1.7764	733.140	415.257	46.20

ตารางที่ 2 แสดงผลคุณสมบัติทางกลของวัสดุทองเหลือง

องศาการรีด	R-value	$\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation%
0	1.0329	994.047	524.462	56.44
45	1.0662	933.656	478.728	48.48
90	0.7996	944.389	476.981	43.08

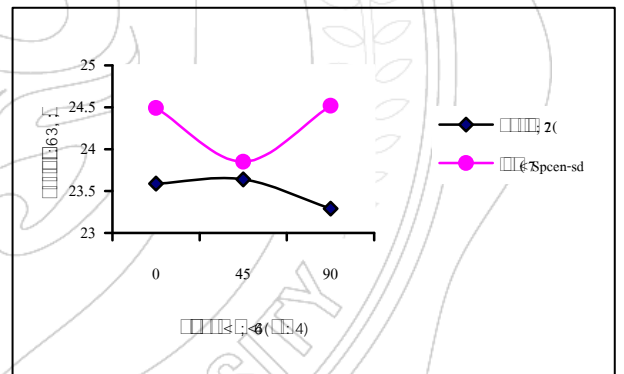


รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการกระจายค่าอัตราส่วนความเครียดพลาสติกแอนไอโซทรอปิกกับทิศทางการรีดของวัสดุ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่า R-value ที่เกิดขึ้นของวัสดุทั้งสองชนิดผลที่ออกมาจะเป็นไปในทิศทางใกล้เคียงกันคือวัสดุเหล็ก Spcen-sd จะมีค่า R-value สูงสุดที่ 45° กับทิศทางการรีดมีค่าเท่ากับ 2.0078 ส่วนวัสดุทองเหลืองก็จะมีค่า R-value สูงสุดที่ 45° กับทิศทางการรีดเช่นเดียวกัน ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 1.0662 มีลักษณะคล้ายรูปประฆังคว่ำ

ตารางที่ 3 แสดงผลการเกิดรอยดิ่งเฉลี่ยในแต่ละทิศทางการรีด

ชนิดของวัสดุ	$\Delta R$	ทิศทางองศาการรีด		
		0	45	90
เหล็ก	-0.40345	24.49	23.86	24.52
ทองเหลือง	-0.14995	23.59	23.64	23.29



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างความสูงจากกันรูปด้วยถึงปากทรงกระบอกกับอัตราส่วนความเครียดแอนไอโซทรอปิก (R-value)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของการเกิดรอยดิ่งของวัสดุทั้งสองชนิดนั้นแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง คือวัสดุเหล็ก Spcen-sd ให้ผล  $\Delta R$  -0.40345 กราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายรูปประฆังหงาย มีค่าการเกิดรอยดิ่งมากที่สุดที่ 45° กับทิศทางการรีด ส่วนวัสดุทองเหลืองให้ผล  $\Delta R$  -0.14995 กราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายรูป

ระฆังคว่ำ แต่ค่าการเกิดรอยดั่งที่มุม  $45^\circ$  กับทิศทางการรีด จะมีค่าน้อยที่สุดจากตาราง ที่ 2 แสดงผลการเกิดรอยดั่งเฉลี่ยในแต่ละและทิศทางการรีด

## 5. สรุปผลการทดลอง

1. คุณสมบัติแอนไอโซทรอปิก ( R - Value) ของเหล็ก Spcen-sd และทองเหลืองนั้นจะมีผลกระทบต่อ การเกิดกับรอยดั่งของชิ้นงานขึ้นรูปทรงระบอบ
2. วัสดุทั้งสองชนิดนี้จะเกิดรอยดั่งที่แตกต่างกันคือ วัสดุเหล็ก Spcen-sd มีค่า R-value สูงสุดอยู่ที่  $45^\circ$  กับทิศทางการรีด และในขณะที่เดียวกันรอยดั่งที่เกิดขึ้นในทิศทางการรีดนี้จะเกิดมากที่สุด ส่วนวัสดุทองเหลืองจะมีค่า R-Value สูงสุดที่  $45^\circ$  กับทิศทางการรีดเช่นกัน แต่กลับกันกับเหล็ก Spcen-sd รอยดั่งที่เกิดขึ้นจะน้อยที่สุด
3. คุณสมบัติแอนไอโซทรอปิก ( R - Value) ของวัสดุเหล็ก Spcen-sd มีค่าสูงสุดคือ 2.0078 ในทิศทางทำมุม  $45^\circ$  องศา กับแนวการรีด และวัสดุทองเหลืองมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1.0662 ในทิศทางทำมุม  $45^\circ$  องศา กับแนวการรีด ผลการวิจัยพบว่าในทิศทางทำมุม 45 องศา กับแนวทิศทางการรีด จะมีค่าแอนไอโซทรอปิก ( R - Value) ที่สูงกว่าในทิศทางอื่นๆ
4.  $\Delta R$  ของวัสดุเหล็ก Spcen-sd มีค่าน้อยกว่า 0 คือ - 0.403 ส่งผลให้เกิดรอยดั่งมากที่สุดที่ทำมุม 45 องศา กับทิศทางการรีด มีลักษณะคล้ายรูปประฆังหงาย ส่วน  $\Delta R$  ของวัสดุทองเหลืองมีค่าน้อยกว่า 0 คือ - 0.149 ส่งผลให้เกิดรอยดั่งน้อยที่สุดที่ทำมุม 45 องศา กับทิศทางการรีด มีลักษณะคล้ายรูปประฆังคว่ำ

## 6. เอกสารอ้างอิง

1. ชาญ ถนัดงาน. เทคโนโลยีขึ้นรูปเอกสารประกอบการสอน วิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูป กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2541

2. พิชัย จันทรมณี. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมการผลิต. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2542
3. พนา แซ่มสวัสดิ์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมการผลิต. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, 2541
4. นิमित ชีพพานิชไพศาล, รัชนี ไพศาล และสุรชัย ประกายจินดาวงศ์. การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของชิ้นงานกับแม่พิมพ์ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะ. ปริญญา นิพนธ์ วิศวกรรมอุตสาหการ ) กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , 2542
5. พิชัย จันทรมณี. การออกแบบแม่พิมพ์โลหะ เอกสารประกอบการเรียนการสอน วิชาการออกแบบแม่พิมพ์. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ, 2544
6. ชาญ ถนัดงาน และคณะ. การออกแบบและการสร้างแม่พิมพ์ขนาดเล็ก กรุงเทพมหานคร : สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ , 2538
7. ดำรง ไชยธีรานูวัตศิริ, การขึ้นรูปโลหะ, สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ภาควิชาเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.
8. ชาญชัย ทรัพย์ากร และคณะ. การออกแบบแม่พิมพ์. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมไทยญี่ปุ่น , 2535
9. ชาญ ถนัดงาน และกอบสิน ทวีสิน. คู่มือการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ราคาถูก. เอกสารประกอบการวิจัยและพัฒนา. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2533