

การวิเคราะห์การดีดกลับในการดัดงอรูปตัววีของแผ่นโลหะสแตนเลสโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

An Analysis Of Springback In V-Die Bending Of Stainless Sheet By Finite Element Method

กฤษพล ประภาพันธ์ สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การศึกษาในปัญหานี้คือการดีดตัวกลับหลังจากที่เอาภาระออก โดยแผ่นสแตนเลสจะมีรูปร่างไม่เป็นตามที่ต้องการ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยจึงได้มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์การดีดตัวกลับของแผ่นสแตนเลส JIS SUS430 ขนาด 15 x 40 x 1.5 มม. โดยทำการดัดที่มุม 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 องศา กับแนวรีด โดยใช้รัศมีของพUNCH 2, 3, 4 และ 5 มม. โดยการวิเคราะห์ความเครียดในระนาบเพื่อหาค่าการดีดตัวกลับ และนำผลการทดลองที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งขนาดของรัศมีปลายพUNCHจะแปรผันตรงกับค่าการดีดตัวกลับและทิศทางทำมุม 0 องศา กับแนวรีดจะมีค่าการกระเด็นตัวกลับมากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

การศึกษากการวิเคราะห์การขึ้นรูปดัดของแผ่นสแตนเลส โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในระนาบสองมิติ[5] การวิเคราะห์ผลและการคำนวณของจากการประยุกต์ใช้โปรแกรม ABAQUS ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปนี้ โดยการเปรียบเทียบกับผลการทดลองและในการวิเคราะห์นี้ไม่ได้พิจารณาผลกระทบของแรงเสียดทานและความร้อนในกระบวนการขึ้นรูปดัด

คำสำคัญ : การดีดตัวกลับ, ทิศทางแนวรีด, ไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

This study in this problem is springback after unloaded of V-bending. For this reason, this research has focused on the analysis of springback of stainless sheet JIS SUS430 with the dimensions of 15 x 40 x 1.5 mm. The stainless sheets were formed at the angles of 0, 15, 30, 45, 60, 75 and 90 degrees to the rolling direction by radius of punch are 2, 3, 4 and 5 mm. By analyzing the stress in the plane to find the springback of stainless steel sheet. And the experimental results were compared with the model by finite element method which a size of the punch radius is proportional to the springback and bending at 0 degrees of rolling direction will make the most of springback angle. This consistent with the experimental results.

The study analyzed the bending of stainless steel sheet by finite element method in 2D. Analysis and calculation from the application program ABAQUS. By comparing the experiment results and the analysis does not consider the effects of friction and heat in the bending process.

Keywords : Springback, Rolling Direction, Finite Element.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

กรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะให้ได้ลักษณะตามที่ต้องการ ซึ่งเป็นกระบวนการที่เป็นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรม การผลิต เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมปิโตรเลียม เป็นต้น ดังนั้นการตัดขึ้นรูปแผ่นโลหะจำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุเพื่อให้ได้รูปทรงที่ต้องการมากที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติทางกลของโลหะมีความแตกต่างกันการตัดขึ้นรูปของโลหะแผ่นในทิศทางที่แตกต่างกันย่อมให้ผลที่แตกต่างกันด้วย

ปัญหาที่สำคัญของการขึ้นรูปคือ โลหะแผ่นจะเกิดการบิดตัวกลับ หลังจากที่เขากระออกจากชิ้นงานทำให้รูปทรงของชิ้นงานเปลี่ยนไปและไม่ได้รูปทรงตามที่ต้องการ เนื่องจากแรงกดพื้นซ์ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดที่มีค่าสูงพอ ที่ทำให้ผิวนอกของโลหะอยู่ในสภาพพลาสติก ขณะที่บริเวณแกนในยังคงมีสภาพยืดหยุ่น ดังนั้นโลหะที่ยังมีสภาพยืดหยุ่นก็จะพยายามกลับคืนสู่สภาพเดิม

จุดประสงค์ของบทความนี้ ศึกษาเปรียบเทียบค่าการกระด้างตัวกลับของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 430 ตามตัวแปรต่างๆคือรัศมีปลายพื้นซ์ ความหนาของวัสดุ ทิศทางทำมุมกับแนวรีดของวัสดุ มุมดัด ของวัสดุและศึกษาเปรียบเทียบผลของมุมดัดกลับจากการใช้วิธีดัดมุมให้เพิ่มขึ้น เพื่อสามารถแก้ไขการบิดตัวกลับ รวมถึงการเปรียบเทียบจากการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการวิเคราะห์การบิดกลับในการขึ้นรูปของโลหะแผ่น

ซึ่งจะศึกษาลักษณะการตัดขึ้นรูปตัววี 90 องศาของแผ่นสแตนเลส JIS SUS430[2] ขนาด 15x40x1.5 มม. ความกว้างของคาย 25 มม. ที่รัศมีพื้นซ์ 2, 3, 4 และ 5 มม.

ศึกษาการตัดขึ้นรูปแผ่นวัสดุชิ้นงานในทิศทางทำมุม 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 องศา กับแนวทิศทางแนวรีดทิศทางละ 3 ชิ้น รวมทั้งหมด 21 ชิ้น [6]

การวิเคราะห์เป็นการจำลองโดยใช้โปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์และพิจารณาระนาบ 2 มิติ แบบความเครียดในระนาบโดยจะนำผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์มาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยไม่คำนึงถึงแรงเสียดทานและความร้อนในระหว่างกระบวนการตัดขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

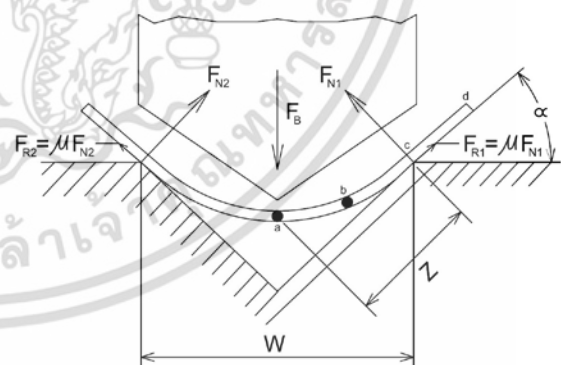
2. ทฤษฎีการตัดขึ้นรูป

การตัดเป็นกรรมวิธีที่ทำให้ชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงเชิงเรขาคณิต โดยชิ้นงานจะมีความโค้งและมุมเกิดขึ้น การตัดทำให้ชิ้นงานที่มีความโค้งอยู่แล้วเปลี่ยนความโค้งไปจากเดิม [3]

การตัดแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือช่วงแรกเป็นช่วงดัดอิสระ ซึ่งเส้นการตัดของวัสดุเลื่อนอยู่ระหว่างขอบคายและพื้นซ์ และช่วงที่สอง เป็นการกดให้แผ่นวัสดุมีรูปทรงตามผิวหน้าพื้นซ์และคาย แผ่นจะวัสดุมีการดัดอย่างยืดหยุ่นในตอนต้นและเพิ่มขึ้นเกือบเป็นเส้นตรงกับระยะเลื่อนพื้นซ์ จนกระทั่งอัตราส่วนของดีเฟิร์กชัน (f) ต่อความกว้างคาย (w) ที่กึ่งกลางของแผ่นวัสดุ ทำให้ความเค้นบริเวณผิวชั้นนอกถึงขีดจำกัดความยืดหยุ่นของวัสดุ จากทฤษฎีสภาพยืดหยุ่น อัตราส่วนนี้คือ

$$\frac{f}{w} = \frac{1}{6} \frac{R_p}{E} \left(\frac{w}{t} \right) \quad (1)$$

เมื่อเลื่อนพื้นซ์ต่ำลงมา บริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปถาวร (รูปที่ 1 แสดงโหนดและแรงกระทำที่ขอบพร้อมทั้งลักษณะการเปลี่ยนรูป) [1] ขยายจาก a ไป b แผ่นวัสดุในช่วง bc ยังคงอยู่ในช่วงการดัดยืดหยุ่น ส่วนแผ่นวัสดุในช่วงปลาย cd ยังคงตรงเหมือนเดิมและเริ่มมีการกระดกขึ้น



รูปที่ 1 แรงดัดในแม่พิมพ์รูปตัววี

ab : การเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่น-พลาสติก

bc : การเปลี่ยนรูปในช่วงยืดหยุ่น

cd : ช่วงที่มีการกระดกขึ้น

α : มุมดัด, ρ : มุมเสียดทาน z : แขน โมเมนต์

แรงกดพื้นซ์ช่วงจะสามารถหาได้จาก

$$F_p = 2F_k(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) \quad (2)$$

แรงที่ขอบ F_k ขึ้นอยู่กับความต้านการคดของแผ่นวัสดุ ซึ่งไม่ขึ้นกับแรงกดพื้นซ์แต่เป็นแรงปฏิกิริยาของความต้านทานการขึ้นรูป ดังนั้นแรงที่ขอบคือ

$$F_k = \frac{M_i}{z} \quad (3)$$

เมื่อ M_i คือโมเมนต์ภายในแผ่นวัสดุและ z คือแขนโมเมนต์ ดังนั้น จึงได้ความสัมพันธ์ของแรงกดพื้นซ์ ช่วงขณะและเป็นฟังก์ชันของระยะเลื่อนพื้นซ์ f คือ

$$F_p(f) = \frac{2M_i(f)}{z(f)} (\cos \alpha(f) + \mu \sin \alpha(f)) \quad (4)$$

แรงจากการคดในแม่พิมพ์รูปตัววีเป็นผลมาจากการแปรผันของค่า M_i , z และ α โดยค่าแต่ละค่ามี

ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ดังนี้

1. โมเมนต์ภายใน M_i เพิ่มขึ้นพร้อมกับระยะเลื่อนพื้นซ์ ทั้งนี้เนื่องจากความโค้งเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงมีผลทำให้แรงเพิ่มขึ้นตลอดช่วงระยะเลื่อนพื้นซ์ทั้งหมด

2. ความยาวแขนโมเมนต์ z เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสลิปที่เกิดขึ้นภายหลัง จนกระทั่งแผ่นวัสดุสัมผัสกับคาน หลังจากนั้นความยาวแขนโมเมนต์ลดลงอีกครั้งหนึ่ง การเพิ่มความยาวแขนโมเมนต์จึงลดลงอีกครั้งหนึ่ง การเพิ่มความยาวแขนโมเมนต์ อย่างน้อยก็ทำให้เพิ่มแรงกดพื้นซ์มีอัตราการเพิ่มน้อยลง

3. มุมคด α เพิ่มขึ้นมีผลทำให้แรงลดลง ทั้งนี้ที่แผ่นวัสดุสัมผัสกับคาน การเปลี่ยนมุมคดก็ไม่มีผลกระทบต่อไป

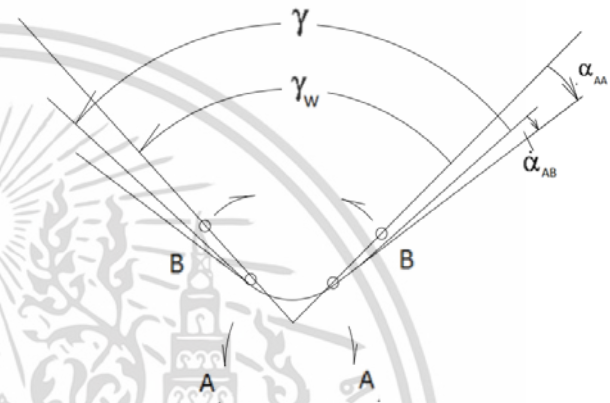
2.1 ค่า Anisotropy ของวัสดุ

ค่า Anisotropy ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่วัสดุมีคุณสมบัติไม่เท่ากันทุกทิศทางซึ่งจะบอกด้วยอัตราความเครียดถาวร (Plastic Strain Ratio, R-value) ซึ่งได้จากการทดสอบแรงดึงวัสดุแล้วหาอัตราส่วนของค่า True Strain ซึ่งถ้าได้ค่า R value มากแสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางด้านความกว้างมากส่วนทางด้านความหนาเปลี่ยนแปลงน้อย ซึ่งหาได้จากสมการ

$$R = \frac{\ln \left(\frac{w_t}{w_0} \right)}{\ln \left(\frac{t_1}{t_0} \right)} \quad (5)$$

เมื่อ R : Plastic Strain Ratio, w_0 : ความกว้างชิ้นงานก่อนทดสอบดึง (มม.), w_1 : ความกว้างชิ้นงานหลังทดสอบดึง (มม.), t_0 : ความหนาชิ้นงานก่อนทดสอบดึง (มม.), t_1 : ความหนาชิ้นงานหลังทดสอบดึง (มม.)

การติดกลับนอกจากขึ้นอยู่กับวัสดุแล้วยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วน $\frac{t}{r}$ ด้วย พิจารณาการติดกลับ จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าการติดกลับสองอย่างเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม



α_{AA} มุมติดกลับที่เกิดจากช่วงความยาว AA

α_{AB} มุมติดกลับที่เกิดจากช่วงความยาว AB

γ_w มุมที่ตัดได้ γ มุมในแม่พิมพ์คด

A, B ช่วงความยาว

รูปที่ 2 การติดกลับจากการคดคดรูปตัววี

3. การทดสอบการคดขึ้นรูป

จากการทดสอบหาค่าสมบัติทางกลจากการทดสอบทางด้านแรงดึงมาตรฐาน ASTM E8M-92a และพฤติกรรมการกระเดิงตัวกลับจากการคดขึ้นรูปตัววีมุม 90 องศา วัสดุโลหะแผ่น JIS SUS 430 โดยชิ้นงานทดสอบมีขนาด $15 \times 40 \times 1.5$ มิลลิเมตร ทดลองคดในทิศทางทำมุมต่างๆกับแนวของการรีดตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศาเพิ่มครั้งละ 15 องศาและเปลี่ยนรัศมีปลายพื้นซ์จำนวน 4 ขนาดจาก 2 ถึง 5 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องไฮดรอลิกเพรส และภายหลังการคดขึ้นรูปทำการวัดมุมด้วยการพล็อตในกระดาษ ซึ่งแสดงผลการทดลองได้นำเสนอตามลำดับดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางทำ มุมกับ แนวรั้ว	Ultimate tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Strain- hardening exponent (n)	Strain- hardening coefficient (K)	Plastic strain ratio (R)	Elongation (%)
0	447.580	315.03	0.308	879.98	0.783	32.400
15	473.674	265.632	0.299	859.85	0.334	30.833
30	443.699	240.857	0.301	889.96	0.452	29.500
45	438.302	299.985	0.303	891.64	0.476	27.400
60	454.835	265.632	0.301	899.06	0.509	27.367
70	458.462	240.857	0.302	910.39	0.517	28.300
90	449.672	240.857	0.287	868.66	0.605	32.000

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด JIS SUS 430 ความหนา 1.5 มม. จากการทดสอบทางคานแรงดึงมาตรฐาน ASTM E8M-92a

จากตารางที่ 1 พบว่าชิ้นงานทดลองในทิศทางทำมุม 75 องศา (Ultimate tensile strength) มากที่สุดและในทิศทางทำมุม 0 องศา กับแนวรั้วจะสามารถขึ้นรูปได้ดี เนื่องจากมีค่าตัวเลข ยกกำลังของความเครียดแข็ง (n) สูง ค่าตัวเลขยกกำลังของความเครียดแข็งนี้แสดงถึงระดับความเค้น ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการยืดตัวในช่วงการแปรรูปถาวรที่สม่ำเสมอ (uniform plastic deformation) คือยังไม่เกิดการคอด (necking) ดังนั้นวัสดุที่มีค่าตัวเลขยกกำลังของความเครียดแข็ง (n) สูง จะสามารถขึ้นรูปได้ดีและความแข็งแรงของวัสดุที่เพิ่มขึ้นระหว่างการแปรรูป ช่วยยับยั้งการแปรรูปเฉพาะ บริเวณคอดตัวทำให้ขาดที่ปริมาณการแปรรูปสูง และชิ้นงานในทิศทางทำมุม 0 องศา กับแนวรั้วจะมีค่าการกระเดื่องตัวกลับมากที่สุด เนื่องจากมีค่า Plastic Anisotropy (R-Value) มากอีกด้วย

โดยการทดลองการกดพื้นที่ในแต่ละครั้งมีความเร็วในการแปรรูปเท่ากับ 0.000294 เมตรต่อวินาที ขนาด 60 ตันและการเคลื่อนที่ด้วยการปรับตำแหน่งแรม (ram) ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.0025 เมตรต่อวินาทีและในตำแหน่งแรมเคลื่อนที่มายังจุดต่ำสุดมีการหน่วงเวลาไว้ 3 วินาทีหลังจากนั้นจะเคลื่อนที่ขึ้นตำแหน่งสูงสุดโดยอัตโนมัติ สำหรับการทดลองวัดมุมการตีกลับด้วยการพล็อตลงในกระดาษหลังจากการตัดหนึ่งครั้งและวัดอีกครั้งหลังจากจากนั้นหนึ่งเดือนเพื่อศึกษาความแตกต่างของมุมที่มีการตีกลับหลังจากเอากะระออก

4. การวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์[4]

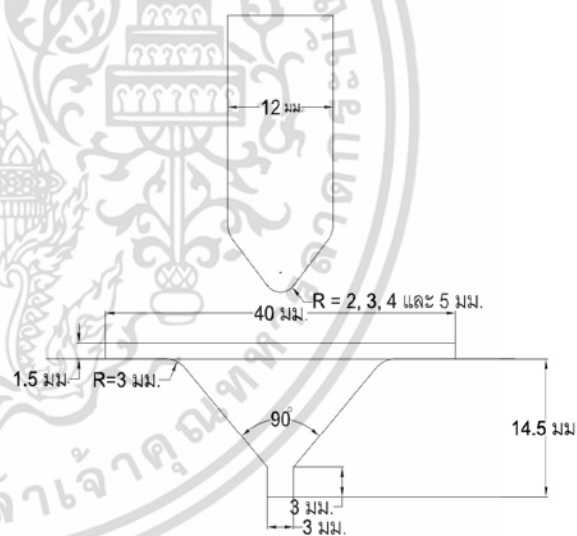
ลำดับขั้นตอนการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ชิ้นงานวัสดุโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 430 กระบวนการตัดขึ้นรูปจำแนกได้เป็น

1. การควบคุมกระบวนการจำลอง

วิเคราะห์ปัญหาในระนาบ 2 มิติ แบบความเครียดในระนาบ และกำหนดคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงานเป็นแบบแอนไอโซทรอปิกในระนาบ

2. การสร้างแบบจำลองกระบวนการตัดขึ้นรูป

- มุมพื้นที่และมุมคาย มีขนาด 90 องศา
- รัศมีขอบพื้นที่มีขนาด คือ 2, 3, 4 และ 5 มม.
- รัศมีขอบคายเท่ากับ 12 มม.
- ความกว้างของคายเท่ากับ 25 มม.
- ขนาดวัสดุชิ้นงาน โดยมีความกว้าง 20 มม. หนา 1.5 มิลลิเมตรและยาว 40 มิลลิเมตร

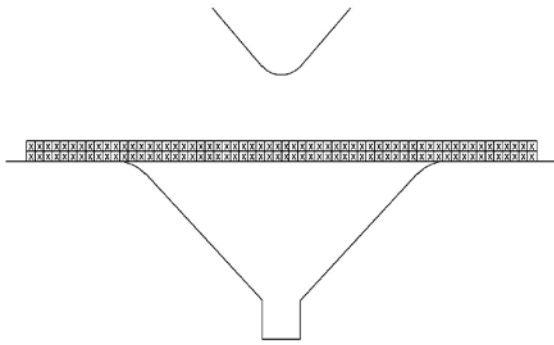


ภาพที่ 4 การสร้างแบบจำลองของการตัดขึ้นรูป

3. การแบ่งส่วนเอลิเมนต์

การแบ่งส่วนเอลิเมนต์บนแบบจำลองชิ้นงาน มีลักษณะ 2 มิติ ใช้เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมและเนื่องจากบริเวณชิ้นงานที่ถูกพื้นที่กดตัดจะเกิดความเค้นหนาแน่นมากและมีการเปลี่ยนรูปมากกว่าส่วนอื่นๆ จึงแบ่งเอลิเมนต์นี้ให้มีความหนาแน่นและละเอียดมากกว่าส่วนอื่นๆ ดังภาพที่ 5

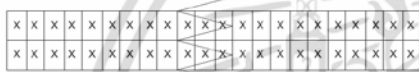
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5 การแบ่งส่วนเอลิเมนต์ขอบแบบจำลองชิ้นงาน

4. การกำหนดเงื่อนไขขอบ

การกำหนดเงื่อนไขขอบให้กับแบบจำลองชิ้นงานนี้จะกำหนดให้โหนดของแกนสมมาตรบนชิ้นงานไม่ให้เคลื่อนที่ในแนวแกน x แต่สามารถเคลื่อนที่ในแนวแกน y ได้

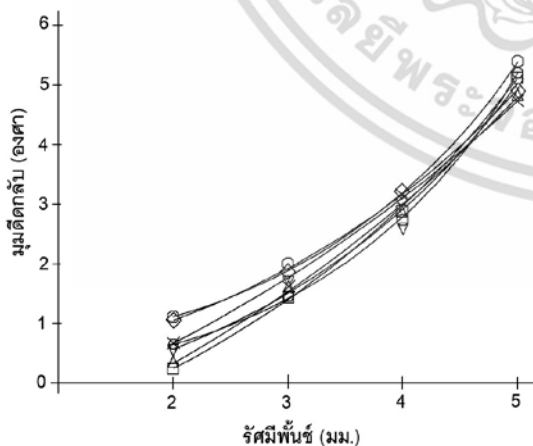


ภาพที่ 6 เงื่อนไขขอบของแบบจำลองชิ้นงาน

5. ผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการทดลองตัดชิ้นงานวัสดุโลหะแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 430 ความหนา 1.5 mm. ด้วยรัศมีปลายพื้นซ์แตกต่างกันได้ผลการทดลองดังรูปที่ 7

○d=0 □d=15 △d=30 ▽d=45 ○d=60 ◇d=75 ×d=90



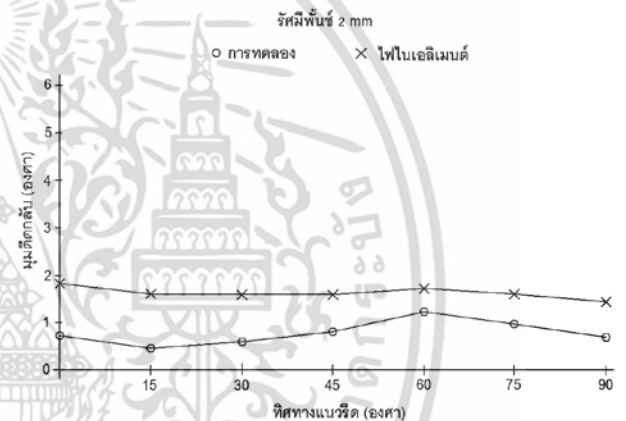
รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบผลของรัศมีปลายพื้นซ์ต่อการกระแ่งตัวกลับ ในการตัดรูปตัววีของวัสดุแผ่นเหล็กจากรูปที่ 7 พบว่ารัศมีปลายพื้นซ์มีอิทธิพลต่อการบิดตัวกลับของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม JIS SUS430 อย่างชัดเจน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

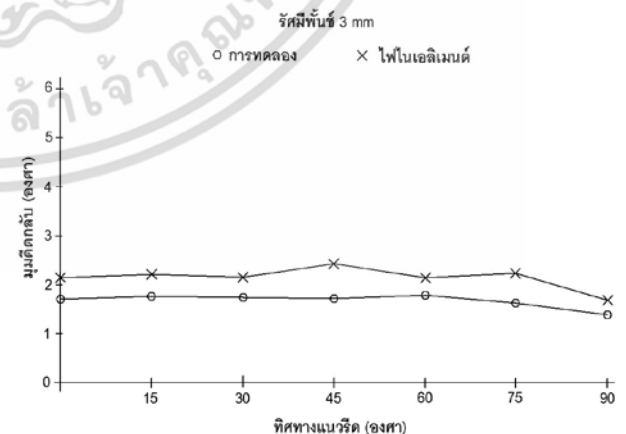
เพราะในการทดลองตัดด้วยรัศมีปลายพื้นซ์ 4 ขนาดคือ 2 mm ถึง 5 mm ขนาด 2mm มีค่าการบิดตัวกลับต่ำสุดและจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ จนถึงขนาดรัศมีปลายพื้นซ์ 5 mm.ที่มีค่าสูงสุด โดยรัศมีปลายพื้นซ์ 2 mm ทำให้เกิดแถบของการเปลี่ยนรูปแบบถาวรมากกว่า ส่งผลให้แถบยืดหยุ่นแสดงอิทธิพลได้น้อยลง ทำให้ค่าการบิดตัวกลับน้อยกว่ารัศมีปลายพื้นซ์ขนาดอื่น ๆ

5.1 การเปรียบเทียบผลการใช้แบบจำลองจากไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลองตัดชิ้นรูปตัววี

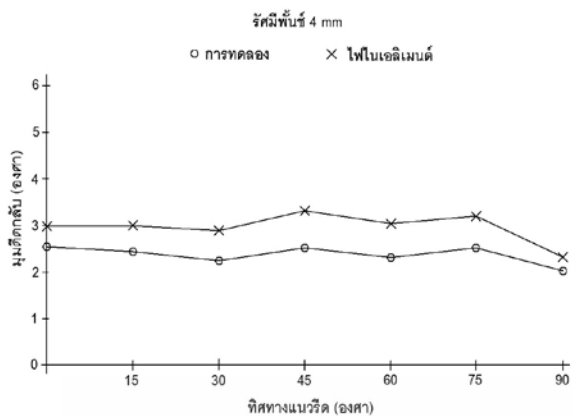
จากการทดลองตัดชิ้นงานรูปตัววีวัสดุโลหะแผ่น JIS SUS 430 ด้วยเครื่องไฮดรอลิกเพรสได้ผลการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ดังผลในรูปที่ 8 ถึง รูปที่ 11



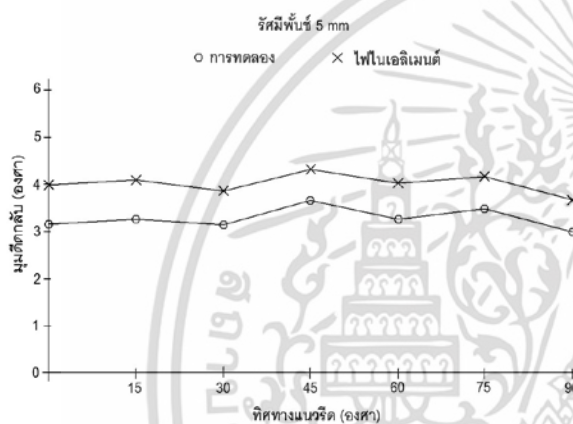
รูปที่ 8 ผลการเปรียบเทียบค่าการบิดตัวกลับระหว่างแบบจำลองคณิตศาสตร์กับผลการทดลองของตัดชิ้นงานที่มีทิศทางตามแนวรีดที่รัศมีปลายพื้นซ์ 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบค่าการบิดตัวกลับระหว่างแบบจำลองคณิตศาสตร์กับผลการทดลองของตัดชิ้นงานที่มีทิศทางตามแนวรีดที่รัศมีปลายพื้นซ์ 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบค่าการดัดตัวกลับระหว่างแบบจำลองคณิตศาสตร์กับผลการทดลองของคัตชิ้นงานที่มีทิศทางตามแนวรีดที่รัศมีปลายพื้นที่ 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบค่าการดัดตัวกลับระหว่างแบบจำลองคณิตศาสตร์กับผลการทดลองของคัตชิ้นงานที่มีทิศทางตามแนวรีดที่รัศมีปลายพื้นที่ 5 มิลลิเมตร

6. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการดัดตัวกลับของแผ่นเหล็ก JIS SUS 430 ขนาดกว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตรหนา 1.5 มิลลิเมตร ด้วยกรรมวิธีการคัตชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์รูปตัววีขนาดของด้ามมีมุม 90 องศา และเปลี่ยนขนาดของรัศมีพื้นที่ตั้งแต่ 2.0 ถึง 5.0 มิลลิเมตรเปรียบเทียบผลการดัดตัวกลับในแนวทิศทางทำมุมกับแนวของของการรีด ครั้งละ 15 องศาจาก 0 - 90 องศา ซึ่งสรุปผลการทดลองในข้อ 1-3 และผลของมุมที่ใช้ในการคัต และการปรับแก้มุมคัตต่อการดัดตัวกลับได้สรุปผลการทดลองในข้อ 4 มีรายละเอียดดังนี้

1. เมื่อรัศมีปลายพื้นที่ใช้ในการคัตมีขนาดเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการดัดตัวกลับเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

2. ผลการทำนายค่าการดัดตัวกลับระหว่างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และผลการทดลอง ให้ผลใกล้เคียงกันโดยมีความแตกต่างที่รัศมีพื้นที่ 2 มม. 0.74%, รัศมีพื้นที่ 3 มม. 0.43%, รัศมีพื้นที่ 4 มม. 0.61%, รัศมีพื้นที่ 5 มม. 0.59%.

3. ค่ามุมผ่อนคลายของวัสดุระยะเวลา 1 สัปดาห์ภายหลังเกิดการกระด้างตัวกลับ กรณีคัตด้วยเครื่องไฮดรอลิกเพรสมีค่ามุมเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.21 องศา

4. การคำนวณหาค่ามุมที่ใช้ในการปรับแก้มุมด้วยสมการที่ 6 และ 7

$$K = \frac{\sigma_{90}}{\sigma_e} \tag{6}$$

$$\sigma = K \sigma_{90} \tag{7}$$

σ_{90} = มุมอ้างอิง (90 องศา)

σ_e = มุมดัดตัวกลับหลังจากเอาภาระออก

σ = มุมที่ใช้สำหรับแก้ไข

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Z. Marcinaik, J.L. Duncan, S.J. Hu, "The Mechanics of Sheet Metal Forming," Vol.2, pp.1-10, 2002.

[2] Japanese Standard Association, "JIS Handbook Ferrous Materials & Metallurgy I," Vol.1, 2001.

[3] K. Lange, "Handbook of metal forming, McGraw-Hill Company," 1985.

[4] A. Nilsson, L. Melin, C. Magnusson, "Finite-Element Simulation of V-Die Bending a Comparison with Experimental Results," Journal of Materials Processing Technology, Vol.65, pp.52-58, 1997.

[5] T.D.S. Botelho, E. Bayraktar, G. Inglebert, "Comparison of Experimental and Simulation Results of 2D-draw-bend Springback," Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol.18, pp.275-278, 2006.

[6] D.K. Leu, "A simplified approach for evaluating bendability and springback in plastic bending of anisotropic sheet metal," Journal of Material Processing Technology, Vol.66, pp.9-17, 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้