

การศึกษาตัวแปรของกระบวนการดัดไวป์รูปตัวแอลที่มีผลต่อการเกิดการดัดตัวกลับ ด้วยวิธีการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

The study of Parameter of L-Bending Wiping process causing spring back by Simulating Finite Element.

บุญส่ง ฤทธิธำ^{1*} วทัญญู เนตรสง่า² และกฤษ ฐนรัชชา²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น 150 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

²หน่วยวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น 150 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

Boonsong Ritta^{1*}, Wathanyou Neadsanga² and Krit Runruksa²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus 150 Srijun Road, Muang, Khonkaen, Thailand, 40000

²Research Unit, Engineering Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus 150 Srijun Road, Muang, Khonkaen, Thailand, 40000

*ผู้รับผิดชอบบทความ: Song_ritta@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 08-3402-5554

Received: 5 August 2019, Revised: 20 August 2020, Accepted: 29 October 2020

บทคัดย่อ

การดัดชิ้นงานนับเป็นกระบวนการที่สำคัญในสายงานประกอบของภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะเมื่อมีข้อบกพร่องบนชิ้นงาน พนักงานจำเป็นต้องมีการตกแต่งอีกครั้งก่อนจัดส่งสายการผลิตต่อไป ข้อบกพร่องหลักที่มักพบเป็นส่วนใหญ่คือการสปริงกลับของแผ่นโลหะ งานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการสปริงกลับของแผ่นโลหะ คือวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 เหล็กโครงสร้างเกรด SPCC และอะลูมิเนียมเกรด AA6016 ความหนา 1 มิลลิเมตร มีตัวแปรคือรัศมีตายอยู่ในช่วงระหว่าง 0.25t ถึง 5.5t และช่องว่างแม่พิมพ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0.25t ถึง 1.25t ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์บนแม่พิมพ์ไวป์ตาย (Wiping die) เพื่อวิเคราะห์มุมดัดและสัมประสิทธิ์การสปริงกลับ ผลการทดลองพบว่าความแข็งแรงจุดครากมีผลต่อการสปริงกลับของวัสดุ และรัศมีตายแปรผันโดยตรงต่อการสปริงกลับ นอกจากนี้ยังพบว่าช่องว่างแม่พิมพ์แคบการสปริงกลับยากกว่าช่องว่างแม่พิมพ์กว้าง และสัมประสิทธิ์การสปริงกลับของเหล็กกล้าไร้สนิมจะลดลงเมื่ออัตราส่วนรัศมีตายต่อความหนาชิ้นงานเพิ่มขึ้น และการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองจริง

คำสำคัญ การสปริงกลับ งานดัดรูปตัวแอล ไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

Bending is an important process for assembly lines in the industrial sectors. Particularly, when there is a defect on the work piece, the employee has to waste time decorating before the next production line delivery. The main defect is the spring back of the metal sheets. Therefore, this research has studied the spring black of different types of metal sheet, which are stainless steel material grade SUS304, structural steel SPCC grade and aluminum grade AA6016, thickness 1 mm, by changing the variable of the radius to be in the range from 0.25t to 5.5t 1t, and set the mold gap in the range from 0.25 t to 1.25t, by using the finite element method on the wiping die to analyze the bending angle and the spring return coefficient. The result shows that yield strength affects the spring return of the material and the die radius is directly proportional to the spring. When considering the mold gap, it is found that the narrow mold gap causes less spring back than the wider mold. The spring return coefficient of stainless-steel decreases when the ratio of die radius to the thickness of workpiece increase. The simulation of using finite element produced results consistent with the real experiment.

Keywords: Spring-Back, L-Bending Process, Finite Element

1. บทนำ

งานขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการตัดเป็นการเปลี่ยนรูปบริเวณรัศมีพับได้ 2 ลักษณะ กล่าวคือขอบด้านนอกมีความเค้นดึงส่วนขอบด้านในมีความเค้นอัดแต่ไม่เกินค่าความแข็งแรงดึงและอัดสูงสุด โดยลดลงตามความหนาไปยังเส้นแกนกลาง โดยความเค้นทั้งสองน้อยมากหมายถึงยังอยู่ในช่วงการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (ต่ำกว่าค่าความแข็งแรงครากบนเส้นโค้งความเค้น และความเครียด) นอกเหนือบริเวณดังกล่าวเกิดความเค้นสูงกว่าจุดคราก หมายถึงการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร [1-3] ดังรูปที่ 1 และ รูปที่ 4 แสดงบริเวณการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นและแบบถาวรเมื่อแม่พิมพ์เปิดช่วงการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นจะพยายามคืนสภาพแต่ไม่สามารถทำได้ทั้งหมดเนื่องจากถูกกดด้วยบริเวณเปลี่ยนรูปถาวรด้านนอกและด้านใน ดังนั้นวัสดุจึงคืนรูปได้บางส่วนเพื่อสร้างความสมดุลระหว่างบริเวณยืดหยุ่นและบริเวณเปลี่ยนรูปถาวรเรียกกลไกนี้ว่า การสปริงกลับ [3-5] ตัวแปรที่มีผลต่อการสปริงกลับ คือความหนาชิ้นงาน ความเร็วกดจากพินซ์ ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ รัศมีการตัด ทิศทางเกรน และสัมประสิทธิ์ความเสียหาย เป็นต้น หลายปีที่ผ่านมามีงานวิจัยกล่าวถึงตัวแปรการสปริงกลับ ดังนี้ [6] ศึกษา ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ รัศมีการตัด ระยะเวลาบิดตาย ด้วยกระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่ารัศมีการตัดมีผลต่อการสปริงกลับ [7] ศึกษาความไวต่อตัวแปรเชิงตัวเลขที่จำเป็นต่อการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การสปริงกลับ ในการขึ้นรูปด้วย พบว่าการพยากรณ์ให้ผลใกล้เคียงกับเชิงตัวเลข [8] ศึกษา มุมตัดชิ้นงานที่มีผลต่อการสปริงกลับของวัสดุและความหนาที่แตกต่างกันพบว่าวัสดุหนาการสปริงกลับง่ายกว่าวัสดุบาง [9] ศึกษาวัสดุอะลูมิเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมมุม 22 และ 90 องศา ที่มีผลต่อการสปริงกลับ พบว่ามุมตัด 90 องศา ให้การสปริงกลับมากกว่ามุม 22 องศา [10] ศึกษา ระยะความยาวการตัดชิ้นงาน ทิศทางเกรน และความหนาแผ่นโลหะ ที่มีผลต่อการสปริงกลับของชิ้นงานรูปตัววี พบว่าตัวแปรทั้งสองมีอิทธิพลต่อการสปริงกลับ [11] ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรม ANSYS APDL 14.0 ศึกษาการสปริงกลับของแท่งผสมด้วยกระบวนการไอบีง พบว่ารัศมีการตัดเพิ่มขึ้นจะมีอิทธิพลต่อการสปริงกลับ [12] ศึกษาตัวแปรความหนาโลหะแผ่น ชนิดวัสดุ แรงเสียหายรัศมีและรูปร่างตาย พินซ์ ของวัสดุอะลูมิเนียม ทองแดง เหล็ก โครงสร้าง และเหล็กเครื่องมือ ที่มีอิทธิพลต่อการสปริงกลับของงานตัดขอบชิ้นงาน ด้วยโปรแกรม ANSYS™ LS-DYNA™ พบว่ารัศมีการตัดมีอิทธิพลมากกว่าตัวแปรอื่น

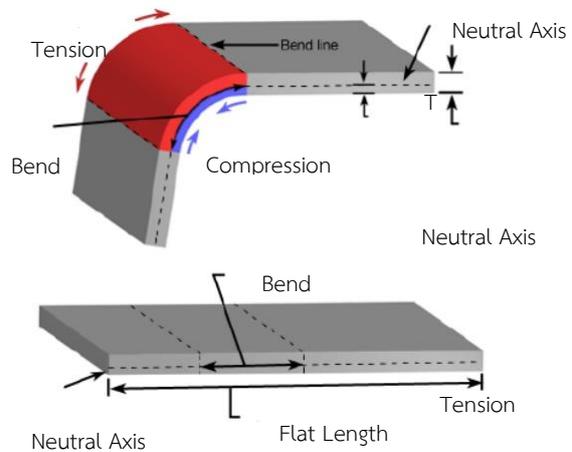
การสปริงกลับจะมีผลกระทบต่อสายงานการประกอบขึ้นส่วนภาคอุตสาหกรรมโดยตรง ซึ่งหากเกิดปัญหาการสปริงกลับ พนักงานต้องปรับแก้ก่อนการประกอบ เพื่อให้งานมีคุณภาพและตรงตามมาตรฐานการผลิตซึ่งทำให้เสียเวลาและ

ต้นทุนการผลิตต้องเพิ่มขึ้น ดังนั้นในบทความวิจัยชุดนี้จึงได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาพฤติกรรมการสปริงกลับของวัสดุที่แตกต่างกัน โดยเปลี่ยนตัวแปรรัศมีการตัด และระยะช่องว่างแม่พิมพ์ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์หาค่าและสัมประสิทธิ์การสปริงกลับขึ้นทดสอบและเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง

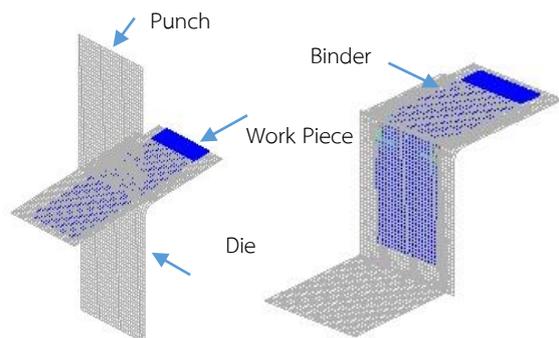
2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์

สร้างต้นแบบตามทฤษฎีงานตัด ซึ่งมีส่วนประกอบคือพินซ์ตาย แผ่นกดชิ้นงาน และแผ่นชิ้นงาน ด้วยคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 2 โดยมีรายละเอียดดังนี้ขนาดพินซ์กว้าง 30 มิลลิเมตร รัศมี 1 มิลลิเมตร สูง 40 มิลลิเมตร ขนาดตายกว้าง 30 มิลลิเมตร สูง 40 มิลลิเมตร ระยะระยะนาบพิวตาย 20 มิลลิเมตร รัศมีการตัด 0.25t 0.5t 1t 2t 3t 4t 4.5t 5t และ 5.5t ขนาดชิ้นงานกว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 70 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร ขนาดแผ่นกดกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ระยะช่องว่างระหว่างพินซ์กับตาย เท่ากับ 0.25 มิลลิเมตร 1 มิลลิเมตร และ 1.25 มิลลิเมตร เมื่อเตรียมต้นแบบสมบูรณ์ จากนั้นส่งไปยังโปรแกรม LS Dyna ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยวิธีการเปลี่ยนชิ้นงานต้นแบบทั้งหมดเป็น Surface

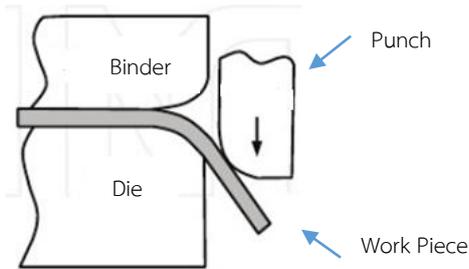


รูปที่ 1 กระบวนการตัดรูปตัวแอล [12]



รูปที่ 2 ต้นแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม LS Dyna

ขึ้นรูปตัดมุมชิ้นงานรูปตัวแอล 90 องศา จากชุดแม่พิมพ์ไวบิงตาย ดังรูปที่ 3 โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Finite Element Model) ด้วยโปรแกรม LS Dyna ซึ่งคำนวณการขึ้นรูปเป็นแบบ Explicit และการสปริงกลับเป็นแบบ Implicit บน PC Workstation หน่วยประมวลผล Intel® Core (TM) 2Quad CPU Q8400 @2.66GHz และ 2.67 GHz, RAM 3GB



รูปที่ 3 กระบวนการตัดชิ้นงานรูปตัวแอลด้วยแม่พิมพ์ไวบิง [13]

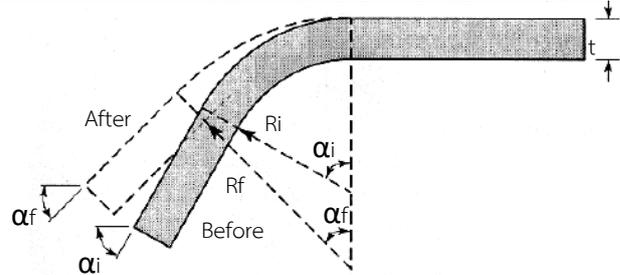
ตารางที่ 1 คุณสมบัติวัสดุทดลอง

Material	Yield Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	K	n
AA 6016	305	69	0.33	412	0.26
SUS 304	260	207	0.28	1154	0.35
SPCC	210	207	0.28	640	0.23

วัสดุชิ้นงานแบ่งเป็น 3 ชนิดคืออะลูมิเนียมเกรด AA6016 เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 และเหล็กโครงสร้างเกรด SPCC โดยคุณสมบัติดังตารางที่ 1 ชนิดเอลิเมนต์เป็นแบบโครงสร้างเปลือกหอย (Shell Element) จำนวน 5,600 Quadratic Quadrilateral Element (Quad Elements) และการอินทิเกรตเป็นแบบลดรูป ตามสมการของ Belytschko et al มีจำนวนจุดอินทิเกรตตามแนวความหนา 5 จุด สามารถเปลี่ยนรูปได้ทุกทิศทาง (Anisotropy) ตามความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นจริงกับความเครียดจริงเหนือจุดครากหรือในขอบเขตการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ดังสมการ (1)

$$\epsilon_0 = \epsilon_1 = \frac{1}{(2R / T) + 1} \quad (1)$$

- ϵ_0 = ความเครียดจริง ณ จุดครากถึงจุดสูงสุด (MPa)
- ϵ_1 = ความเครียดจริงเริ่มต้นถึงจุดสูงสุด (MPa)
- R = รัศมีตัด (มม.)
- T = ความหนาชิ้นงาน (มม.)



รูปที่ 4 การสปริงกลับ [14]

$$K_s = \frac{\alpha_f}{\alpha_i} = \frac{(2R_i / t) + 1}{(2R_f / t) + 1} \quad (2)$$

K_s = สัมประสิทธิ์หรือการคาดเดากการสปริงกลับ

α_i = มุมตัดเริ่มต้น (องศา)

α_f = มุมตัดหลังการสปริงกลับ (องศา)

R_i = รัศมีก่อนตัดชิ้นงาน (มม.)

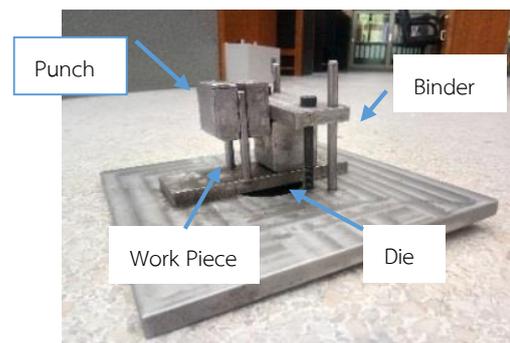
R_f = รัศมีหลังตัดชิ้นงาน (มม.)

t = ความหนาชิ้นงานตัด (มม.)

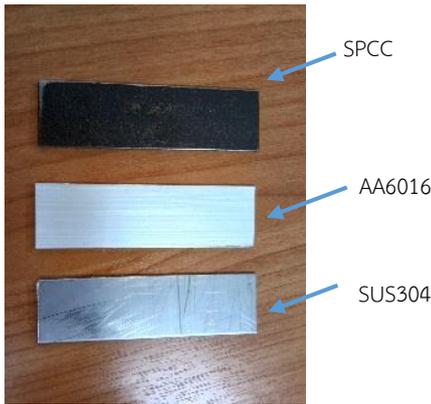
พันธ์ ดาย จำนวนเอลิเมนต์ 2,400 และ 2,250 Quad Elements ตามลำดับ และแผ่นกุดจำนวน 900 Quad Elements ชิ้นงานเป็นวัสดุแข็งเกร็ง (Rigid Body) สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างคูผิวสัมผัส เหล็กกล้าไร้สนิม 0.133 เหล็กโครงสร้าง 0.125 และอะลูมิเนียม 0.2 ใช้แผ่นกุดชิ้นงาน (Binder Force) 20 kN พันซ์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 200 mm/s หลังจากนั้นส่งไฟล์ข้อมูลเป็นนามสกุล *.IGES ไปยังโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ LS Dyna เพื่อวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์และเก็บข้อมูลการทดลอง การสปริงกลับประเมินจากสัมประสิทธิ์หรือคาดเดากการสปริงกลับ (Coefficient Spring Back: k_s) ดังสมการ (2) รูปที่ 4

2.2 การทดลองจริง

ในการทดลองจริง ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 5-8



รูปที่ 5 ชุดแม่พิมพ์ไวบิงตาย



รูปที่ 6 วัสดุทดสอบ SPCC AA6016 และ SUS304



รูปที่ 7 เครื่องทดสอบระบบไฮดรอลิกส์



รูปที่ 8 ติดตั้งชุดทดสอบ



รูปที่ 9 วัดมุมชิ้นงานด้วยเครื่อง CMM

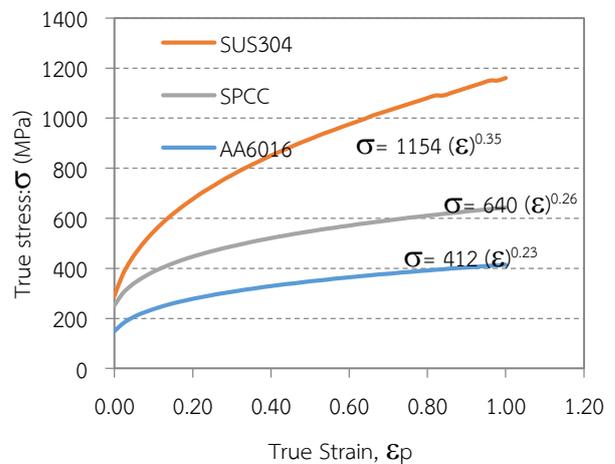
2.2.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

เพื่อความเชื่อมั่นผลไฟไนเอลิเมนต์ผู้วิจัยได้ทำการทดลองจริงโดยตัดชิ้นงานสำเร็จ จากตัวแปรรัดมีดตาย 3 มิลลิเมตร ระยะช่องว่างแม่พิมพ์ 1.25 มิลลิเมตร โดยใช้ขนาดชิ้นงานกว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 70 มิลลิเมตรหนา 1 มิลลิเมตร หลังจากนั้น กัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกส์เพื่อวัดมุมตัดด้วยเครื่องวัด CMM ดังรูปที่ 9

3. ผลการวิเคราะห์ไฟไนเอลิเมนต์

3.1 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นจริงกับความเครียดจริง

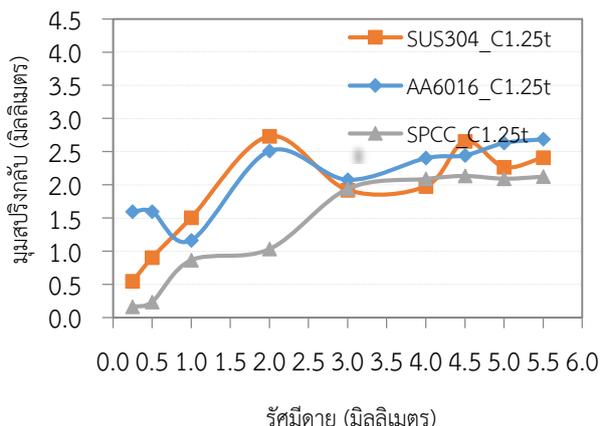
รูปที่ 10 แสดงอิทธิพลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นจริง กับความเครียดจริงของวัสดุต่างชนิดพบว่าวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 จะให้พฤติกรรมการไหลตัวในช่วงการเปลี่ยนรูปถาวรเรียกว่า Flow Curve [4,15]สูงกว่าวัสดุเหล็กโครงสร้างเกรด SPCC เท่ากับ 60.32% และอะลูมิเนียมเกรด AA6016เท่ากับ 38.17% ตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 มีความสามารถ เปลี่ยนรูปพลาสติกอย่างถาวรง่ายกว่าวัสดุอื่นเมื่อพิจารณาความสามารถด้านทานการบางลงพบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 สามารถด้านทานการบางลงจากกระบวนการขึ้นรูปได้ดีกว่าวัสดุเหล็กโครงสร้างเกรด SPCC และอะลูมิเนียมเกรด AA6016 ตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่ภายใต้เส้นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นจริง กับความเครียดจริง เรียกว่า ความเหนียวดึง (Tensile Toughness) หรือ มอดูลัสเหนียวดึง เป็นความสามารถของวัสดุในการดูดซับพลังงานได้สูงสุดก่อนขึ้นทดสอบขาด [14-15] สูงกว่าวัสดุทั้งสองประเภท โดยข้อมูลของวัสดุได้จากซอฟต์แวร์โปรแกรม Ls - Dyna



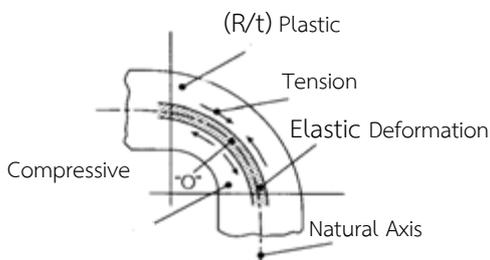
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นจริง และความเครียดจริง

3.2 ผลของอิทธิพลวัสดุที่มีผลต่อการสปริงกลับ

รูปที่ 11 แสดงอิทธิพลความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีคายกับมุมสปริงกลับ ของวัสดุต่างชนิดกัน พบว่ารัศมีคายเพิ่มขึ้น มุมสปริงกลับเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน เนื่องจากพลังงานการยืดตัว (Elastic Energy) ที่ตกค้างอยู่พยายามทำให้วัสดุกลับคืนสภาพเดิม [10,14] ดังรูปที่ 12 ดังนั้นจึงทำให้มีแรงสปริงในแผ่นโลหะ เมื่อพิจารณาวัสดุต่างชนิด แยกพิจารณาเป็น 2 ช่วงดังนี้ ช่วงที่ 1 รัศมีคายตั้งแต่ 0 ถึง 2.0 มิลลิเมตร พบว่าการสปริงกลับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ช่วงที่ 2 รัศมีคายตั้งแต่ 2.0 ถึง 5.5 มิลลิเมตร พบว่ามุมสปริงกลับของวัสดุใกล้เคียงกัน แต่วัสดุอะลูมิเนียมเกรด AA6016 จะให้มุมสปริงกลับมากกว่าวัสดุเหล็กโครงสร้างเกรด SPCC เท่ากับ 8.5% และ เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304 เท่ากับ 49.31% ตามลำดับเนื่องจากวัสดุที่มีค่าความแข็งแรงจุดคราก (Yield Strength) ต่ำเป็นผลทำให้คุณสมบัติการเปลี่ยนรูปจากแบบยืดหยุ่น ไปเป็นพลาสติกอย่างถาวร ในช่วงความเค้นดึงและความเค้นอัดได้น้อย ดังรูปที่ 10



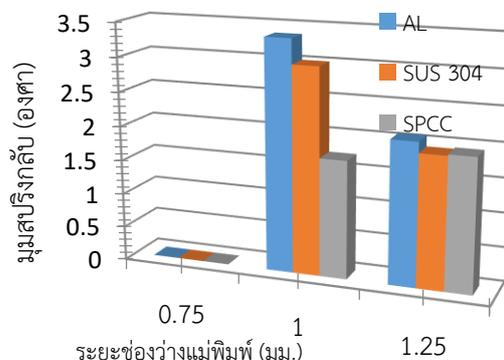
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสปริงกลับ กับรัศมีคายของวัสดุที่แตกต่างกัน



รูปที่ 12 พฤติกรรมการสปริงกลับ [17]

3.3 ผลของอิทธิพลช่องว่างแม่พิมพ์ที่มีผลต่อการสปริงกลับ

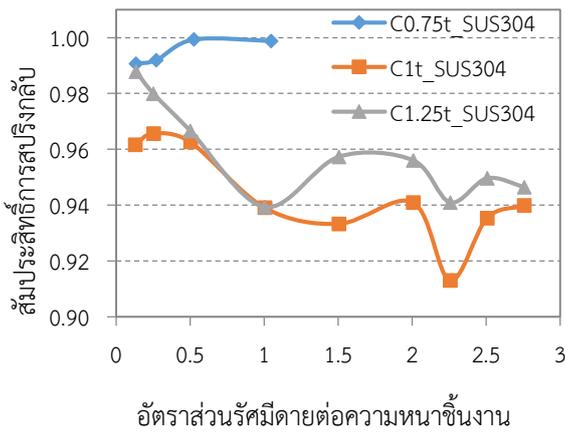
รูปที่ 13 แสดงอิทธิพลช่องว่างแม่พิมพ์ ที่มีผลต่อการสปริงกลับ ของวัสดุต่างชนิดกันพบว่าช่องว่างแม่พิมพ์มีอิทธิพลต่อการสปริงกลับ ซึ่งชิ้นงานทั้งสามชนิดมีแนวโน้มเดียวกัน หมายถึงช่องว่างแม่พิมพ์จาก 0.75 ไปยัง 1 มิลลิเมตร การสปริงกลับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นลดลงเมื่อช่องว่างแม่พิมพ์เพิ่มขึ้น (จาก 1 ไปยัง 1.25 มิลลิเมตร) เนื่องจากช่องว่างแม่พิมพ์แคบชิ้นงานจะถูกพันลากลากผ่านตายในลักษณะการรีด (Ironing) ส่งผลให้ชิ้นงานหุบเข้า [4-6] หรือเรียกว่า Spring – Go ทำให้ความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบนผิวชิ้นงาน จนกระทั่งถึงช่องว่างแม่พิมพ์ 1 มิลลิเมตร การสปริงกลับลดลง เพราะแผ่นชิ้นงานมีเพียงบางส่วนถูกรีด แต่พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นการดัดขึ้นรูป [14] จึงทำให้ความเค้นน้อยกว่าช่องว่างแคบ



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสปริงกลับ กับระยะช่องว่างแม่พิมพ์

3.4 ผลของอิทธิพลสัมประสิทธิ์ที่มีผลต่อการสปริงกลับ

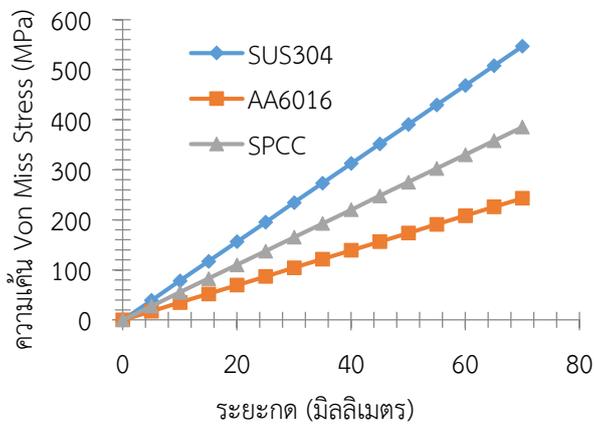
รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรัศมีคายต่อความหนาชิ้นงาน (R/t) กับสัมประสิทธิ์การสปริงกลับของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 ที่ช่องว่างแม่พิมพ์แตกต่างกัน พบว่าอัตราส่วนรัศมีคายต่อความหนาชิ้นงานที่ช่องว่างแม่พิมพ์มากกว่าความหนาชิ้นงานมีผลต่อสัมประสิทธิ์การสปริงกลับใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาอัตราส่วนรัศมีคายต่อความหนาชิ้นงานของช่องว่างแม่พิมพ์น้อยกว่าความหนาชิ้นงาน พบว่าชิ้นงานจะยืดและขาดเนื่องจากระยะช่องว่างแม่พิมพ์แคบแผ่นชิ้นงานถูกรีด (Ironing) จากการเคลื่อนที่ของพันซ์ผ่านไปยังตาย จึงทำให้การสปริงกลับของแผ่นชิ้นงานเป็นการหุบเข้า เรียกว่า Spring Go หมายความว่าช่องว่างแม่พิมพ์ มีผลต่อสัมประสิทธิ์การสปริงกลับคือมุมสปริงกลับชิ้นงานน้อย เมื่อสัมประสิทธิ์การสปริงกลับเพิ่มขึ้น [17]



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสปริงกลับ กับ R/t ของช่องว่างแม่พิมพ์ที่ต่างกัน

3.5 ผลการวิเคราะห์ความเค้น Von Miss Stress จากไฟไนเอลิเมนต์

จากรูปที่ 15 พบว่าวัสดุแต่ละชนิดจะให้ค่าความเค้น Von Miss Stress ไม่เท่ากัน อะลูมิเนียมเกรด AA6016 มีความเค้นน้อยกว่าเหล็กโครงสร้างเกรด SPCC และเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 เท่ากับ 36.82% และ 82.665% ตามลำดับ



รูปที่ 15 ค่าความเค้นของวัสดุที่แตกต่างกัน

3.6 ผลการเปรียบเทียบไฟไนเอลิเมนต์กับการทดลองจริง

ตารางที่ 2 แสดงความแตกต่างระหว่างไฟไนเอลิเมนต์กับการทดลองจริงพบว่า การสปริงกลับของวัสดุแต่ละชนิดมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน คือผลการสปริงกลับทางไฟไนเอลิเมนต์จะให้ค่าน้อยกว่าการทดลองจริง วัสดุอะลูมิเนียมเท่ากับ 3.459% เหล็กโครงสร้างเกรด SPCC เท่ากับ สปริงกลับ 4.742% และ เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 เท่ากับ 5.359%

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบมุมสปริงกลับระหว่างไฟไนเอลิเมนต์กับการทดลองจริง

ชนิดวัสดุ	ไฟไนเอลิเมนต์	การทดลองจริง	ผลต่าง
AA6016	95.164°C	95.838°C	0.674°C
SPCC	94.847°C	95.047°C	0.20 °C
SUS304	94.396°C	94.515°C	0.119°C

4. บทสรุป

ผลการจำลองสปริงกลับของวัสดุต่างชนิด ด้วยไฟไนเอลิเมนต์ โดยเปลี่ยนรัศมีตาย และช่องว่างแม่พิมพ์ เพื่อวิเคราะห์มุมและสัมประสิทธิ์การสปริงกลับสรุปได้ดังนี้

1. ตัวแปรรัศมีตายและช่องว่างแม่พิมพ์ มีผลต่อการสปริงกลับ
2. รัศมีตายเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมุมสปริงกลับ
3. สัมประสิทธิ์การสปริงกลับของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 มีอัตราส่วนรัศมีตายต่อความหนาชิ้นงาน (R/t) ที่แตกต่างกัน ทำให้สัมประสิทธิ์การสปริงกลับไม่เท่ากันซึ่งแสดงว่าอัตราส่วนรัศมีตายต่อความหนาชิ้นงานเพิ่มขึ้นในขณะที่สัมประสิทธิ์การสปริงกลับจะลดลง
4. ความแข็งแรงจุดครากมีผลโดยตรงต่อการสปริงกลับ
5. การจำลองไฟไนเอลิเมนต์ใกล้เคียงกับการทดลองจริง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้ความเอื้อเฟื้อโปรแกรมวิเคราะห์สำหรับการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Budcharoentong D. Theory of plasticity and plastic deformation. In: Enhance Media Bangkok center. editor. Bangkok: 2005. p. 150-180. Thai

[2] Buranathiti T, Kositpipat A. Sheet metal forming. J of King Mongkut's University of Technology. 2006; 16(13): 14-18.

- [3] Mohammad AT. Spring back in bending of sheet metal and plates. Experiment 2012 [cited 2012 Aug 5(15)] Available from: <https://www.scribd.com/document/102921763>
- [4] Mikell P. Groover. Fundamentals of modern manufacturing.2007 [cited 2012 Apr 18] 2007 Available from:<https://www.scribd.com/presentation/90022380>.
- [5] Poli C. Design for Manufacturing:a structured approach. In: Elsevier Science, editor.;2001. 23–80.
- [6] Nileema BP, Sudarshana BH.Review of finite element simulatons in sheet metal forming process. J Engineering and technology (IRJET) 2017; p 1-3.
- [7] Ling Y.E, H.P. Lee B.T. Cheok Finite element Analysis of spring back in L- bending of sheet metal. J Mater Proces Tech. 2007; 27(17-18):2893-2901.
- [8] Zafer T. An experimental study on the examination of spring back of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies. J Mater Proces Tech. 2004 May
- [9] Garcia – Romen ML, Ciurana.IJ. Springback determination of sheet metal in an air bending process based on an experimental work. J Mater Proces Tech. 2007;191(5):174-177.145(3): 109-117.
- [10] Zhang DJ, Cui ZS, CHENZhi -Y, RUANXue – YU. An analytical model for prediction sheet springback after V- bending J Zhejiang Univ Sci A. 2007;8(2):237-244.
- [11] Belytschko, T, Lin, JI, Tsai CS. Explicit algorithms for one - point quadrature shell element Computational Methods in applied mechanics and engineering. 1984;42:225-51.
- [12] Kattimani KD, Kakamarim PK, Tavildar RK. Springback analysis of wipe bending process by Ansys. J Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR).2(8): 2349-5162.
- [13] Gawade SD, Nandedkar VM. Spring back in sheet metal bending – A review. J of Mechanical and civil engineering (IOSR-JMCE).2014; p.53-56
- [14] Mohamed FA, Xiaoxing L. Determination of spring back in sheet metal forming. J Univerity of galati fascicle; C. 2009.129-134.
- [15] AlieWube DT, Tafesse GB, Numerical Investigation of spring back on sheet metal Bending process. J of Researches inEngineering: A Mechanical and Mechanics Engineering.16(4): 2249-4596.
- [16] Sutasn TM. Finite element analysis on V-die bending process. 2014 Jun [cited 2014 Aug 23] Available from:<https://www.scribd.com/document/236983574>.
- [17] Ritta B, Khruakham A, Runrukra K. Finite element parameter analysis of spring back in L-Bending of sheet Metal 4st Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2019. May 19: 35–44.