

การศึกษาผลการใช้สปริงสตริปปเปอร์ที่มีต่อบริเวณตัดเฉือนโลหะแผ่นโดย ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

A Study of The Result of Using Spring Stripper on Shear Zone by Finite Element Method

มารุต นวกุลศิรินารถ¹, ชานู ถนัดงาน¹, วิชิต บัวแก้ว² และยงยุทธ เนียมทรัพย์³

¹ ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จ.นครนายก 26120

³ บริษัท สามมิตรมอเตอร์ส์แมนูแฟคเจอร์ จำกัด (มหาชน) จ.สมุทรสาคร 74130

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 084-145-4969

E-mail: marut9062@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สปริงสตริปปเปอร์ที่มีต่อบริเวณตัดเฉือนโลหะแผ่นโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงที่มีอยู่แล้วในโรงงาน ชิ้นงานที่นำมาใช้ในการวิจัยเป็นเฟืองโซ่รถจักรยานยนต์ ซึ่งทำจากเหล็กเกรด S20CM ตามมาตรฐาน JIS G4051 หนา 5.65 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $58^{+0.15}_0$ mm มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้ ทำการจำลองการตัดเฉือนรู สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0, 0.10 และ 0.15 เคลียร์แรนซ์การตัด 5, 10, 15 % ของความหนาชิ้นงาน และแปรผันแรงสปริงสตริปปเปอร์ 0, 20, 40, 60 และ 80 kN เพื่อพิจารณาความสูงรอยตัด (Shear zone) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูที่เปลี่ยนแปลง โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM 2D เวอร์ชัน 8.1 แบบจำลองที่ใช้เป็นแบบสมมาตรรอบแกน (Axisymmetry) พฤติกรรมของวัสดุเป็นแบบยืดหยุ่นพลาสติก

จากการวิจัยพบว่า แรงสปริงสตริปปเปอร์และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความสูงรอยตัดเพิ่มขึ้นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง และเมื่อเคลียร์แรนซ์การตัดเพิ่มขึ้นพบว่า ความสูงรอยตัดลดลงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ดังนั้นผลของแรงสปริงสตริปปเปอร์, สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, เคลียร์แรนซ์การตัด มีผลต่อบริเวณตัดเฉือนซึ่งก็คือ ความสูงรอยตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

คำหลัก: ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, การขึ้นรูปโลหะ, การตัดเฉือน, สปริงสตริปปเปอร์, เฟืองโซ่รถจักรยานยนต์

Abstract

The objective of this research is to study of the result of using spring stripper on shear zones by finite element method and compare with experiment results in industrial factory. The workpiece that apply in this research is sprocket of motorcycle uses hot roll steel S20CM according to standard JIS G4051 with sheet thickness of 5.65 mm diameter $58^{+0.15}_0$ mm. The piercing simulation, friction coefficient 0, 0.10 and 0.15, tool clearances of 5, 10 and 15 % of sheet thickness and vary spring stripper force 0, 20, 40, 60

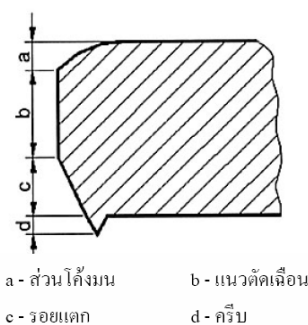
and 80 kN for considering length of shear zones and piercing hole dimension. Simulation is conducted by using a commercial finite element program (DEFORM 2D Version 8.1). The model is considered as axisymmetry problem and the material as elastic-plastic material.

Results of Simulation show that the shear zones and piercing hole dimension accord with those obtained from experiment. Therefore the increasing of spring stripper force and friction coefficient will increase shear zones and decrease piercing hole dimensions and then increasing of tool clearances will decrease shear zones and increase piercing hole dimensions. From the result make to know effect of spring stripper, friction coefficient, clearance affect to cut surface.

Keywords: Finite Element Method, Metal Forming, Blanking-Shearing, Spring Stripper, Sprocket

1. บทนำ

งานตัดโลหะแผ่นด้วย 펀ช์และดายเป็นกระบวนการที่สำคัญในงานขึ้นรูปโลหะและพบว่ากระบวนการตัดโลหะโดยใช้แม่พิมพ์หรือที่เรียกว่าการตัดเฉือนอย่างง่าย ชิ้นงานจะเกิดความสูงรอยแตกขึ้นที่ขอบตัดเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานมีผิวขรุขระ ขนาดเรียวยาวมีความสูงรอยตัดเกิดขึ้นน้อยทำให้ขนาดชิ้นงานไม่เที่ยงตรงตามแบบที่กำหนด ไม่สามารถนำไปประกอบกับชิ้นส่วนอื่นได้ ความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานลดลง



รูปที่ 1 บริเวณขอบชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือน

การวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของการใช้สปริงสตริปเปอร์ที่มีต่อบริเวณตัดเฉือนโลหะแผ่นโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และเปรียบเทียบผลกับการทดลอง การเปลี่ยนแปลงความสูงรอยตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูบริเวณขอบชิ้นงานเมื่อปรับเปลี่ยนแรงสปริงสตริปเปอร์และผู้วิจัยทำการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อนำผลการทดลองมาเสนอแนวทางในการออกแบบแม่พิมพ์ตัดเพื่อพัฒนา

คุณภาพของผิวงานให้ดีขึ้น การใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์ (เช่น Finite Element Method) เพื่อช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือวิเคราะห์กระบวนการผลิตเพื่อกำหนดแรงสตริปเปอร์ที่เหมาะสมในการออกแบบแม่พิมพ์

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการใช้สปริงสตริปเปอร์ที่มีต่อบริเวณตัดเฉือนโลหะแผ่นโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และเปรียบเทียบผลกับการทดลอง

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

1.2.1 ชิ้นงานที่นำมาใช้ในการวิจัยเป็นเฟืองโซ่รถจักรยานยนต์

1.2.2 วัสดุชิ้นงานสำหรับงานวิจัยคือ เหล็กกรีดร้อน S20CM ตามมาตรฐาน JIS G4051 หนา 5.65 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง $58^{+0.15}_0$ mm ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด 519.26 MPa ขนาดแผ่นเหล็กก่อนการตัดเฉือน (Strip) 146 x 146 x 5.65 mm

1.2.3 การศึกษาเป็นการจำลองการทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM 2D เวอร์ชัน 8.1 แบบจำลองที่ใช้เป็นแบบสมมาตรรอบแกน

1.2.4 พื้นชดายและสปริงสตริปเปอร์เพลทเป็นเหล็ก SKD11 วัสดุแข็งเกร็ง (Rigid Body) และชิ้นงานเป็นแบบยืดหยุ่นพลาสติก

1.2.5 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย

1.2.5.1 ตัวแปรต้น :

- แรงสปริงสตริปเปอร์ 0, 20, 40, 60 และ 80 kN

- เคลือบการตัดคงที่ 10 % ของความหนาชิ้นงาน
สำหรับนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง และ
เคลือบการตัด 5, 10 และ 15 % ของความหนา
ชิ้นงานสำหรับนำไปวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์
เอลิเมนต์

- สัมประสิทธิ์ความเสียหาย (μ) 0.10 สำหรับ
นำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง และสัมประสิทธิ์
ความเสียหาย 0, 0.10 และ 0.15 สำหรับนำไป
วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

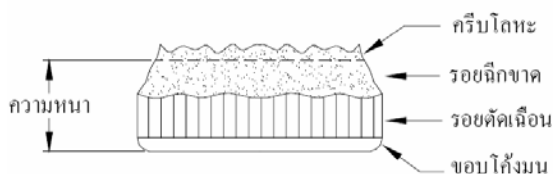
- ความเร็วพั่นซึ่งที่ 208 mm/s เครื่องเพรสแบบ
ข้อเหวี่ยงขนาด 200 ตัน

1.2.5.2 ตัวแปรตาม :

- ความสูงรอยตัดบริเวณตัดเฉือนชิ้นงาน
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูบริเวณตัดเฉือนชิ้นงาน

2. ทฤษฎี

ขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัดด้วยพั่นและตาย เมื่อ
กำหนดให้ช่องว่างระหว่างพั่นกับตายน้อยกว่าความ
หนาของแผ่นชิ้นงาน ซึ่งปกติช่องว่างดังกล่าวจะมีค่า
อยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน
จะพบว่าขอบตัดที่ได้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน
ดังแสดงในภาพที่ 2 [1]



รูปที่ 2 กระบวนการตัดและลักษณะของรอยตัด

การคำนวณหาแรงสปริงสตริปเปอร์ใน
กระบวนการตัดเฉือนด้วยแม่พิมพ์

-การคำนวณหาแรงตัดเฉือน

$$F_p = \tau \times \pi \times d \times t \quad (1)$$

-การคำนวณหาแรงสปริงสตริปเปอร์

$$F_s = (0.05 \sim 0.2) F_p \quad (2)$$

-การคำนวณหาแรงรวมที่ใช้ในการตัดเฉือน

$$F_{tot} = (1.3 \sim 1.5) F_p + (0.05 \sim 0.20) F_p \quad (3)$$

-การคำนวณหาเกณฑ์การเสียหาย

$$\int_0^{\bar{\epsilon}} (\sigma^* / \bar{\sigma}) d\bar{\epsilon} = C \quad (4)$$

การเปลี่ยนรูปทรงของวัสดุจะเป็นการเปลี่ยน
รูปแบบพลาสติกโดยสมการที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปโดย
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด
ตามกฎยกกำลัง (Power Law) [2]

$$\bar{\sigma} = K \bar{\epsilon}^n \quad (5)$$

F_p = แรงที่ต้องการใช้ในการตัด [N]

F_s = แรงสตริปเปอร์หรือแรงปลดชิ้นงาน [N]

F_{tot} = แรงรวมที่ใช้ในการตัดเฉือน [N]

τ = ความต้านแรงเฉือนของวัสดุ [N/mm²]

l = ความยาวรอยตัด [mm]

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยตัด [mm]

t = ความหนาของวัสดุชิ้นงาน [mm]

σ^* = ค่าความเค้นหลักสูงสุด

$\bar{\sigma}$ = ความเค้นประสิทธิผล

$\bar{\epsilon}$ = ความเครียดประสิทธิผล

$\bar{\epsilon}_f$ = ความเครียดประสิทธิผลขณะที่เกิดความ
เสียหาย

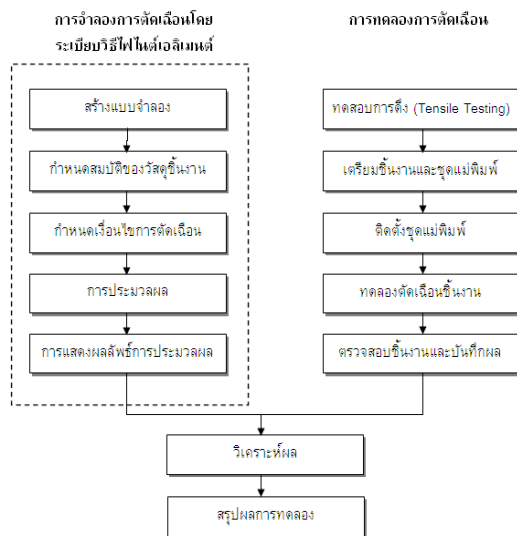
C = ค่าวิกฤตซึ่งเป็นค่าคงที่เฉพาะวัสดุ

K = สัมประสิทธิ์ความต้านแรงของวัสดุ

n = ตัวเลขชี้กำลังการทำให้แข็งด้วย
ความเครียด

3. การดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาผลของ
การใช้สปริงสตริปเปอร์ที่มีต่อบริเวณตัดเฉือนโลหะ
แผ่นโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และเปรียบเทียบ
ผลกับการทดลอง มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย
สามารถแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ



รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1.1 ก่อนการประมวลผล (Pre-Processing)

- 1) การควบคุมกระบวนการจำลอง
 - กำหนดแบบจำลองชนิดอนุกรมกึ่งที่
 - แบบจำลองเป็นแบบสมมาตรรอบแกน
- 2) การสร้างแบบจำลองกระบวนการตัดเฉือนโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์
- 3) กำหนดสมบัติวัสดุชิ้นงาน โดยนำชิ้นงานไปทดสอบการดึงเพื่อหาสมบัติทางกลด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางกล Shimadzu Autograph (Universal Testing Machine)



รูปที่ 4 ขั้นตอนทดสอบการดึง
ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงาน

สมบัติ	S20CM
Young's Modulus (E) ; GPa	210
Poisson's Ratio (U)	0.29
Percentage of Elongation (%)	33.4
Yield Strength ; MPa	358.93
Ultimate Tensile Strength (R _m) ; MPa	519.26
Strength coefficient (K) ; MPa	730.76
Strain-hardening exponent (n)	0.27
Power Law	$\bar{\sigma} = 730.76\bar{\epsilon}^{0.27}$

- 4) การแบ่งส่วนเอลิเมนต์ ชนิดเอลิเมนต์
 - เอลิเมนต์เป็นชนิดสี่เหลี่ยม จำนวน 5,000 เอลิเมนต์

- 5) การกำหนดสัมประสิทธิ์ความเสียหาย (ความเสียหายคูลอมบ์) ระหว่างวัสดุ

3.1.2 การประมวลผล (Processing)

- ใช้ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขของนิวตันราฟสัน
- เกณฑ์การแตกเหี่ยวแบบ Normalized Cockcroft and Latham

3.1.3 แสดงการประมวลผล (Post-Processing)

หลังจากการประมวลผลของกระบวนการตัดเฉือนเสร็จสิ้นแล้ว ผลที่ได้จากการประมวลผลจะอยู่ในรูปของข้อมูลเชิงตัวเลขภาพกราฟฟิค และกราฟความสัมพันธ์

3.2 การทดลอง

การทดลองกระบวนการตัดเฉือนด้วยแม่พิมพ์ทดลองที่แรงสปริงสตริปเปอร์ 60 kN โดยใช้สปริงมาตรฐาน MISUMI-SWB ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสปริง 50 mm ยาว 75 mm จำนวน 8 ตัว ระยะยุบตัว 12 mm ด้วยเครื่องเพรสแบบข้อเหวี่ยงขนาด 200 ตัน จากนั้นทำการวัดความสูงรอยตัดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ และวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์

3.2.1 การเตรียมสปริงสตริปเปอร์และชุดแม่พิมพ์



รูปที่ 5 สปริงสตริปเปอร์และชุดแม่พิมพ์ตัดเฉือน
จากรูปที่ 5 แสดงสปริงสตริปเปอร์และชุดแม่พิมพ์ตัดเฉือนที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 การวัดความสูงรอยตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณตัดเฉือน



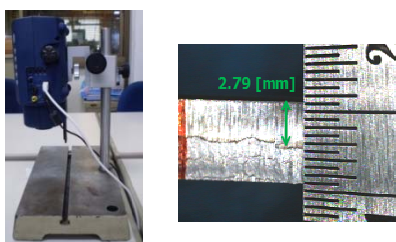
รูปที่ 6 ชิ้นงานทดสอบก่อนการแบ่งส่วน



รูปที่ 7 ชิ้นงานทดสอบหลังแบ่งออกเป็นสี่ส่วน



รูปที่ 8 แต่ละส่วนแบ่งเป็นห้าส่วนย่อย
จากรูปที่ 8 เนื่องจากชิ้นงานที่ได้จากการทดลองมีค่าความสูงรอยตัดที่ไม่เท่ากันตลอดบริเวณขอบชิ้นงาน ผู้วิจัยจึงตัดแบ่งชิ้นงานออกเป็นสี่ส่วนเท่า ๆ กันและแบ่งแต่ละส่วนออกเป็นห้าส่วน เพื่อวัดค่าความสูงรอยตัดเพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยความสูงรอยตัด



รูปที่ 9 การวัดความสูงรอยตัด

จากรูปที่ 9 ทำการวัดความสูงรอยตัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ของ MORITEX รุ่น INF-500D ด้วยกำลังขยาย 20 เท่า



รูปที่ 10 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู
จากรูปที่ 10 ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์

4. ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลการวิจัยเพื่อศึกษาผลของการใช้สปริงสตริปเปอร์ที่มีต่อบริเวณตัดเฉือนโลหะแผ่นเหล็กโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และเปรียบเทียบผลกับการทดลอง แบ่งการวิเคราะห์ผลในการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน

4.1 ผลการเปรียบเทียบความสูงรอยตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเมื่อใช้แรงสปริงสตริปเปอร์ 60 kN สัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.10 เคลย์แรนซ์การตัด 10 % ของความหนาชิ้นงาน
ด้วยการทดลองกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.1.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 ผลของความสูงรอยตัดเฉลี่ยและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูโดยการทดลอง

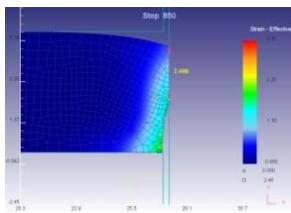
แรงสปริง สตริปเปอร์ (kN)	ความสูง รอยตัดเฉลี่ย (mm)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู (mm)		
	EXP	DWG	EXP	เปอร์เซ็นต์ ความ แตกต่าง
60	2.61	$58^{+0.15}_0$	58.05	0.09

จากตารางที่ 2 พบว่าถ้าใช้แรงสปริงสตริปเปอร์ 60 kN จะได้ความสูงรอยตัดเฉลี่ยเท่ากับ 2.61 mm และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.05 mm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน $58^{+0.15}_0$ mm และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างแบบสั่งงานกับการทดลองเท่ากับ 0.09 %

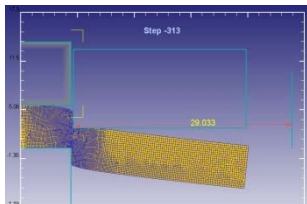
4.1.2 ผลการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ตารางที่ 3 ผลของความสูงรอยตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

แรงสปริง สตริปเปอร์ (kN)	ความสูง รอยตัด (mm)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู (mm)		
	FEM	DWG	FEM	เปอร์เซ็นต์ ความ แตกต่าง
60	2.48	58 ^{+0.15} ₀	58.06	0.11



รูปที่ 11 ความสูงรอยตัด



รูปที่ 12 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู

จากตารางที่ 3 พบว่าถ้าใช้แรงสปริงสตริปเปอร์ 60 kN จะได้ความสูงรอยตัดเท่ากับ 2.48 mm และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.06 mm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน $58^{+0.15}_0$ mm และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างแบบสั่งงานกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เท่ากับ 0.11 %

4.1.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลอง

4.1.3.1 ความสูงรอยตัด

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบความสูงรอยตัดจากการทดลองกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

แรงสปริงสตริปเปอร์ (kN)	ความสูงรอยตัด (mm)		เปอร์เซ็นต์ความ แตกต่าง
	EXP	FEM	
60	2.61	2.48	4.98

จากตารางที่ 4 เปรียบเทียบความสูงรอยตัดระหว่างระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองที่แรงสปริงสตริปเปอร์ 60 kN ความสูงรอยตัดจากการทดลองเท่ากับ 2.61 mm และความสูงรอยตัดจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เท่ากับ 2.48 mm พบว่ามี

ค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง โดยมีค่าความแตกต่าง 4.98 %

4.1.3.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู

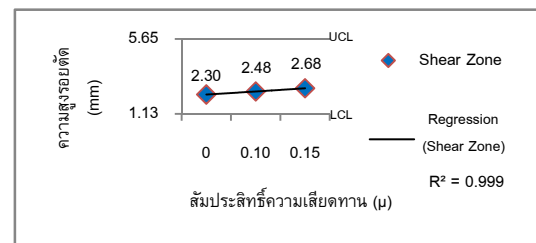
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูจากการทดลองกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

แรงสปริงสตริป เปอร์ (kN)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู (mm)			เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างระหว่าง EXP กับ FEM
	DWG	EXP	FEM	
60	58 ^{+0.15} ₀	58.05	58.06	0.017

จากตารางที่ 5 เปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูจากการทดลองกับค่าจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูจากการทดลองเท่ากับ 58.05 mm และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เท่ากับ 58.06 mm มีค่าความแตกต่างเท่ากับ 0.017 %

4.2 ผลการวิเคราะห์ความสูงรอยตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.2.1 ผลของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มีต่อความสูงรอยตัดเมื่อใช้แรงสปริงสตริปเปอร์ 60 kN

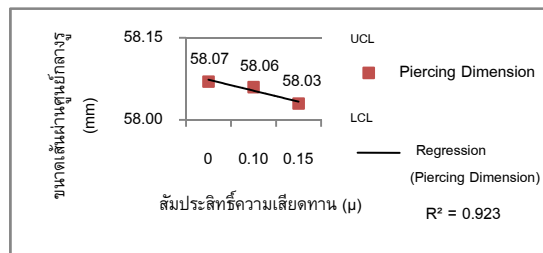


รูปที่ 13 ความสูงรอยตัดที่สัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

จากรูปที่ 13 พบว่าถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0 ได้ความสูงรอยตัดเท่ากับ 2.30 mm ที่สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.10 ได้ความสูงรอยตัดเท่ากับ 2.48 mm และที่สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.15 ได้ความสูงรอยตัดเท่ากับ 2.68 mm ดังนั้นเมื่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสูงรอยตัดเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูง ๆ พื้นที่ผิวของชิ้นงานที่ได้จะเรียบสูงขึ้นและสมบัติทางกลของชิ้นงานที่ได้จะดีขึ้นด้วย เนื่องจากความเค้นกดตั้งฉากที่ผิวสัมผัสสูงขึ้นทำให้ความสูงรอยตัดสูงขึ้น

แต่ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียหายมีค่าสูงจะส่งผลต่อการสึกหรอของพื้นผิวที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยดังกล่าวเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์

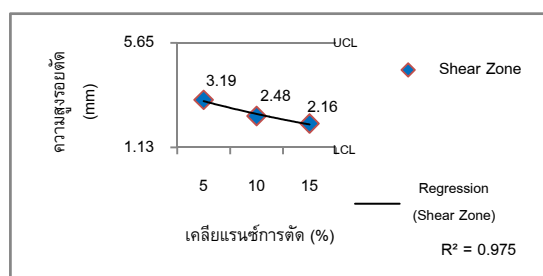
4.2.2 ผลของสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่มีต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเมื่อใช้แรงสปริงสถริปเปอร์ 60 kN



รูปที่ 14 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูที่สัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

จากรูปที่ 14 พบว่าถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0 ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.07 mm ที่สัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.10 ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.06 mm และที่สัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.15 ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.03 mm ดังนั้นเมื่อสัมประสิทธิ์ความเสียหายเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูลดลง

4.2.3 ผลของเคลือบเรซการตัดที่มีต่อความสูงรอยตัดเมื่อใช้แรงสปริงสถริปเปอร์ 60 kN

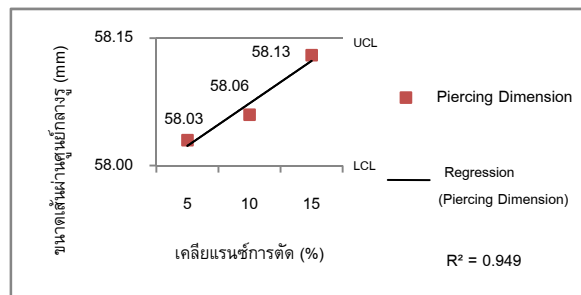


รูปที่ 15 ความสูงรอยตัดที่สัมพันธ์กับเคลือบเรซการตัด

จากรูปที่ 15 พบว่าถ้าเคลือบเรซการตัด 5 % ของความหนาชิ้นงาน ได้ความสูงรอยตัดเท่ากับ 3.19 mm ที่เคลือบเรซการตัด 10 % ของความหนาชิ้นงาน ได้ความสูงรอยตัดเท่ากับ 2.48 mm และที่

เคลือบเรซการตัด 15 % ของความหนาชิ้นงาน ได้ความสูงรอยตัดเท่ากับ 2.16 mm ดังนั้นเมื่อเคลือบเรซการตัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสูงรอยตัดลดลง เมื่อเคลือบเรซการตัดสูงขึ้นจะมีความเค้นดึงมากขึ้น ทำให้มีการแตกร้าเร็วขึ้น ซึ่งตรงตามทฤษฎีการตัดเนื้อโลหะแผ่น [1] ซึ่งทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักขึ้นเร็วกว่าในกรณีที่ใช้เคลือบเรซต่ำ ดังนั้นเมื่อใช้เคลือบเรซการตัดต่ำจะทำให้ได้ค่าความสูงรอยตัดสูงขึ้น

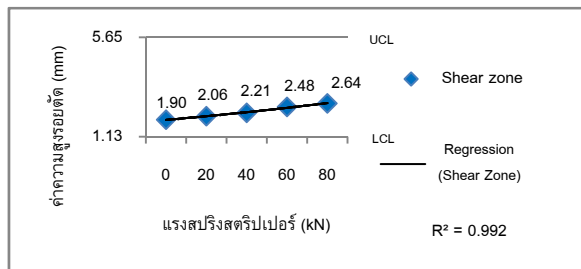
4.2.4 ผลของเคลือบเรซการตัดที่มีต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเมื่อใช้แรงสปริงสถริปเปอร์ 60 kN



รูปที่ 16 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูที่สัมพันธ์กับเคลือบเรซการตัด

จากรูปที่ 16 พบว่าถ้าเคลือบเรซการตัด 5 % ของความหนาชิ้นงาน ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.03 mm ที่เคลือบเรซการตัด 10 % ของความหนาชิ้นงาน ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.06 mm และที่เคลือบเรซการตัด 15 % ของความหนาชิ้นงาน ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.13 mm ดังนั้นเมื่อเคลือบเรซการตัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเพิ่มขึ้น

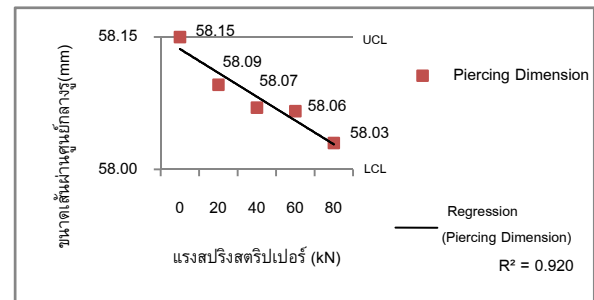
4.2.5 ผลของแรงสปริงสตริปเปอร์ที่มีต่อความสูงรอยตัด



รูปที่ 17 ความสูงรอยตัดที่สัมพันธ์กับแรงสปริงสตริปเปอร์

จากรูปที่ 17 พบว่าถ้าแรงสปริงสตริปเปอร์ 0 kN ได้ความสูงรอยตัดเท่ากับ 1.90 mm ที่แรงสปริงสตริปเปอร์ 20 kN ได้ความสูงรอยตัดเท่ากับ 2.06 mm ที่แรงสปริงสตริปเปอร์ 40 kN ได้ความสูงรอยตัดเท่ากับ 2.21 mm ที่แรงสปริงสตริปเปอร์ 60 kN ได้ความสูงรอยตัดเท่ากับ 2.48 mm และที่แรงสปริงสตริปเปอร์ 80 kN ได้ความสูงรอยตัดเท่ากับ 2.64 mm ดังนั้นเมื่อแรงสปริงสตริปเปอร์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสูงรอยตัดเพิ่มขึ้น เมื่อทำการตัดโดยไม่มีแรงกดแผ่นชิ้นงาน พั่นเริ่มดันกดชิ้นงานลงไปในตายทำให้เนื้อชิ้นงานตรงบริเวณนี้ถูกดึงให้ไหลตามการเคลื่อนที่ของพั่นซึ่งมากกว่ามีแรงปลดชิ้นงานเพราะว่าแผ่นปลดชิ้นงานนอกจากจะมีหน้าที่ปลดชิ้นงานให้หลุดจากพั่นในจังหวะถอยกลับแล้วยังช่วยกดแผ่นชิ้นงานโดยเฉพาะบริเวณรอบขอบตัดในจังหวะที่พั่นกดลงมาตัดชิ้นงานด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างแผ่นปลดชิ้นงานกับผิวชิ้นงานช่วยให้การไหลตัวของเนื้อชิ้นงานเป็นไปได้อย่างเมื่อใช้แรงปลดชิ้นงานมากขึ้นทำให้การไหลตัวของเนื้อชิ้นงานน้อยลงมีผลทำให้ความสูงระยะยุบตัวที่ขอบมีขนาดเล็กลงตามไปด้วยการเกิดความสูงรอยตัดเกิดจากแรงปลดชิ้นงานที่กดลงบนแผ่นชิ้นงานทำให้เกิดความเค้นอัดในเนื้อวัสดุมากขึ้น จึงมีความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น การแตกจึงเกิดขึ้นช้าทำให้ความสูงรอยตัดมีขนาดยาวขึ้น

4.2.6 ผลของแรงสปริงสตริปเปอร์ที่มีต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู



รูปที่ 18 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูที่สัมพันธ์กับแรงสปริงสตริปเปอร์

จากรูปที่ 18 พบว่าถ้าแรงสปริงสตริปเปอร์ 0 kN ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.15 mm ที่แรงสปริงสตริปเปอร์ 20 kN ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.09 mm ที่แรงสปริงสตริปเปอร์ 40 kN ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.07 mm ที่แรงสปริงสตริปเปอร์ 60 kN ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.06 mm และที่แรงสปริงสตริปเปอร์ 80 kN ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 58.03 mm ดังนั้นเมื่อแรงสปริงสตริปเปอร์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูลดลง

5. สรุปและอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยการใช้สปริงสตริปเปอร์ที่มีต่อบริเวณตัดเนื้องานโลหะแผ่นเหล็กโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และเปรียบเทียบผลกับการทดลอง แบ่งการสรุปผลการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ได้ดังนี้

5.1.1 ผลการเปรียบเทียบความสูงรอยตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเมื่อใช้แรงสปริงสตริปเปอร์ 60 kN สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.10 เคลียวแรนซ์การตัด 10 % ของความหนาชิ้นงานด้วยการทดลองกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากผลการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลอง ซึ่งสามารถ

นำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการคาดคะเนการใช้แรงสปริงสตริปเปอร์ที่มีต่อความสูงรอยตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูที่บริเวณตัดเชื่อมโลหะแผ่นได้อย่างแม่นยำ

5.1.2 ผลการวิเคราะห์ความสูงรอยตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

5.1.2.1 สัมประสิทธิ์ความเสียหายที่มีต่อความสูงรอยตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเมื่อใช้แรงสปริงสตริปเปอร์ 60 kN และเคลือบแรนซ์การตัด 10 % ของความหนาชิ้นงาน

เมื่อแปรผันสัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0, 0.10 และ 0.15 สรุปได้ว่าเมื่อสัมประสิทธิ์ความเสียหายเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสูงรอยตัดเพิ่มขึ้นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูลดลง

5.1.2.2 เคลือบแรนซ์การตัดที่มีต่อความสูงรอยตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเมื่อใช้แรงสปริงสตริปเปอร์ 60 kN และสัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.10

เมื่อแปรผันเคลือบแรนซ์การตัด 5, 10 และ 15 % ของความหนาชิ้นงาน สรุปได้ว่าเมื่อเคลือบแรนซ์การตัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสูงรอยตัดลดลงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเพิ่มขึ้น

5.1.2.3 แรงสปริงสตริปเปอร์ที่มีต่อความสูงรอยตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเมื่อใช้สัมประสิทธิ์ความเสียหาย 0.10 และเคลือบแรนซ์การตัด 10 % ของความหนาชิ้นงาน

เมื่อแปรผันแรงสปริงสตริปเปอร์ 0, 20, 40, 60 และ 80 kN สรุปได้ว่าเมื่อแรงสปริงสตริปเปอร์เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสูง รอยตัดเพิ่มขึ้นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูลดลง

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 แรงสปริงสตริปเปอร์ที่มีต่อบริเวณตัดเชื่อม

ความสูงรอยตัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามแรงสปริงสตริปเปอร์ที่เพิ่มขึ้นเพราะมีแรงที่เกิดจากสปริงในการกดยึดชิ้นงาน ซึ่งทำให้ความเค้นดึงที่กระทำตั้งฉากกับระนาบการตัดเชื่อมที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผิวของรอยตัดไม่ขรุขระ เมื่อพิจารณาถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูที่เปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มลดลงตามแรงสปริงสตริปเปอร์ที่เพิ่มขึ้น การเกิดความสูงรอยตัดเกิดจากแรงปลดชิ้นงานที่กดลงบนแผ่นชิ้นงานทำให้เกิดความเค้นอัดในเนื้อวัสดุมากขึ้น จึงมีความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น การแตกจึงเกิดขึ้นช้าทำให้ความสูงรอยตัดมีขนาดเพิ่มขึ้น [3]

5.2.2 สัมประสิทธิ์ความเสียหายที่มีต่อบริเวณตัดเชื่อม

ผลของสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่มีต่อการตัดเชื่อม พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสูง ๆ พื้นที่ผิวของชิ้นงานที่ได้จะเรียบสูงขึ้น เนื่องจากความเค้นกดตั้งฉากที่ผิวสัมผัสสูงขึ้นทำให้ความสูงรอยตัดเพิ่มขึ้นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูลดลง [4]

5.2.3 เคลือบแรนซ์การตัดที่มีต่อบริเวณตัดเชื่อม

เมื่อเคลือบแรนซ์การตัดเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสูงรอยตัดลดลงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเพิ่มขึ้น เนื่องจากเคลือบแรนซ์การตัดเพิ่มขึ้นจะมีความเค้นดึงมากขึ้น ซึ่งทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักขึ้นเร็วกว่าในกรณีที่ใช้เคลือบแรนซ์ต่ำ [5]

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนบางส่วนจากทุน อุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ให้

ความอนุเคราะห์โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM
2D เวอร์ชัน 8.1 เพื่องานวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 บทความจากวารสาร (Journal)

[1] ชาญ ถนัดงาน และคนอื่น ๆ (2538), คู่มือการ
ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ขนาดเล็ก.

กรุงเทพมหานคร: มูลนิธิเพื่อสถาบันพัฒนา
อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ

[2] เดช พุทธเจริญทอง (2541) , การวิเคราะห์
ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ:
สำนักพิมพ์ ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.

[3] G.J.A.Bing,J.wallbank. (2007) "The Effect of
Using a Sprung Stripper in Sheet Metal Cutting."
Warwick Manufacturing Group, University of warwick
Coventry CV48UW United Kingdom, Journal of Materials
Processing Technology. 200, (2008) : 176-184.

[4] สังคม ศรีสมพร. (2546) "อิทธิพลของความดัน
กดยึดชิ้นงานในกระบวนการตัดขึ้นรูปโลหะแผ่นรูปตัวยู."
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรม เครื่องกลแห่ง
ประเทศไทย ครั้งที่ 17, ปราจีนบุรี.

[5] Kwak, R.S.,Kim,Y.J. and Bae,W.B. (2002)
"Finite Element Analysis on The Effect of Die Clearance on
Shear Planes in Fine Blanking." Journal of Materials
Processing Technology. 6281, (2002) : 1-7.