

การวิเคราะห์หาแรงในการไฟน์แบลنگก์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Force Analysis of Fine Blanking Process by Finite Element Method

สุรวุฒิ ยะนิล* ซาญ ถนัดงาน* และ ศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของระยะและความสูงของแหวนจิกที่มีผลกับแรงตัดในกระบวนการตัดเฉือนแบบไฟน์แบลنگก์ โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียม AA1100-O และแผ่นเหล็ก SAE4130 เป็นวัสดุชิ้นงาน ซึ่งมีความหนา 4 และ 5.19 mm โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 และ 113 mm กำหนดระยะของแหวนจิกเท่ากับ 2.5, 2.8, 3.0 และ 3.5 mm และความสูงของแหวนจิกเท่ากับ 0.4, 0.8 และ 1.2 mm การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ได้มีการพัฒนา สำหรับกระบวนการตัดเฉือนแบบไฟน์แบลنگก์ โดยวิเคราะห์เป็นแบบสมมาตรรอบแกน โดยมีสมมติฐานว่า พันธ์ ดาย แหวนจิก และ เคาน์เตอร์พันธ์ เป็นวัตถุแข็งเกร็ง ขณะที่แผ่นชิ้นงานมีสมบัติแบบไอโซโทรปิก และภายใต้การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ไม่คำนึงถึงผลเนื่องจากความร้อน ในการวิเคราะห์นี้จะไม่พิจารณาถึงสารหล่อลื่นจากการจำลองพบว่าค่าแรงตัดที่ได้มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทดลองประมาณ 11% ซึ่งค่าผิดพลาดในระดับนี้ในอุตสาหกรรมสามารถยอมรับได้เพราะเมื่อคิดเป็นค่าความปลอดภัยแล้วมีค่าเพียง 1.11 ดังนั้นแบบจำลองของการไฟน์แบลنگก์นี้สามารถนำไปประยุกต์กับวัสดุอะลูมิเนียมแผ่น AA1100-O ได้และสามารถใช้วิเคราะห์ถึงผลกระทบของระยะและความสูงของแหวนจิกที่มีผลต่อแรงตัดได้

จากการศึกษาแรงตัดในการไฟน์แบลنگก์ พบว่าเมื่อเปลี่ยนระยะและความสูงของแหวนจิกค่าแรงตัดที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

Abstract

This research aims at studying effects of change

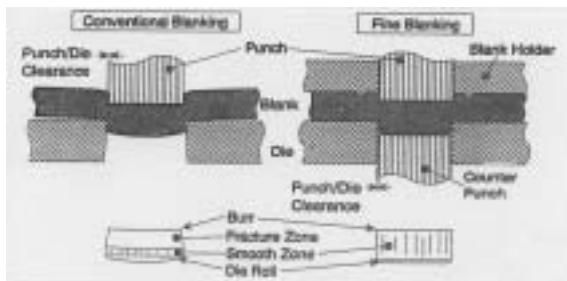
in distance and height of Vee-ring on cutting force in fine blanking processes. Blank sheets considered in this work are Aluminum AA1100-O and steel SAE4130 sheets with 4 and 5.19 mm thickness respectively. Diameters of the blank sheets considered here are 16 and 113 mm. Four Vee-ring distances, which are 2.5, 2.8, 3.0 and 3.5 mm. have been investigated. Three different heights of the Vee-ring, which are 0.4, 0.8 and 1.2 mm. have also been investigated. A finite element model has been developed for the fine blanking process. Axisymmetric analysis has been used. Punch, die, Vee-ring and counter punch have been assumed to be rigid while the blank sheets have been assumed to be isotropic and undergo plastic deformation. The effect of heat has been ignored. The analyses have considered only the conditions where there is no lubricant from the analyses, it has been found that the cutting forces obtained from the simulation are 11% higher than that obtained from the experiments. This figure is an acceptable error in industries as it is equivalent to only 1.11 safety factor. This model can, therefore, be used to simulate the fine blanking process of aluminum sheet AA1100-O. In addition the model can be used to investigate the effects of the distance and height of the Vee-ring on the cutting force. It is found from the study that change of Vee-ring position causes slight change in the cutting force.

* ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

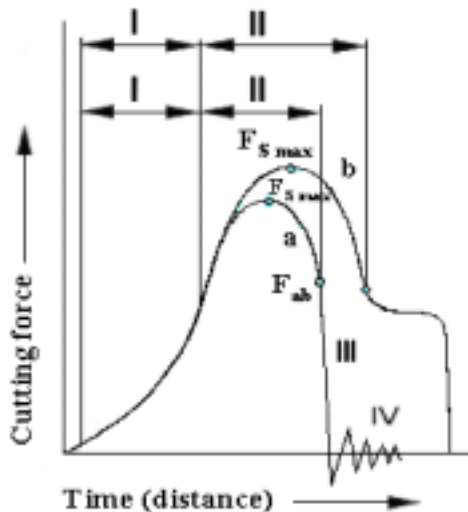
** ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. บทนำ

การตัดเฉือนอย่างง่ายและการตัดเฉือนที่มีผิวรอยเรียบเป็นกรรมวิธีการผลิตที่คล้ายกันการไฟน์แบลลงก์มีพารามิเตอร์ของกรรมวิธีที่แตกต่างกับการการตัดเฉือนอย่างง่ายจึงทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพเนื่องจากการไฟแบลลงก์สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความเที่ยงตรงสูง และลดขั้นตอนในการผลิตที่ทำให้ชิ้นงานโค้งเพราะเกิดจากโมเมนต์ตัดในระหว่างการตัดเฉือน ชิ้นงานตัดมีคุณภาพดีมาก จึงมีการใช้การไฟน์แบลลงก์ในอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ลักษณะเด่นที่สำคัญของการไฟน์แบลลงก์ก็คือ สามารถตัดชิ้นงานให้มีผิวรอยเรียบและไม่มีการแตกซึ่งแตกต่างจากการตัดเฉือนอย่างง่ายให้ผิว

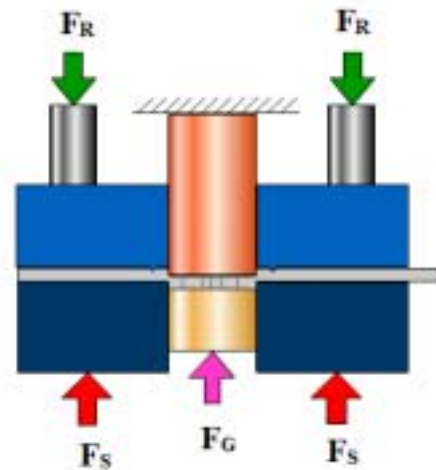


รูปที่ 1 เปรียบเทียบลักษณะการตัดเฉือนแบบไฟน์แบลลงก์และแบบอย่างง่าย



- I Elastic phase
- II Cutting phase
- III Break-through phase (stamping)
- IV Oscillation phase (stamping)
- $F_{s \max}$ Maximum cutting force
- F_{ab} Cutting force at break-through

รูปที่ 2 แสดงเส้นแนวแรงของกรรมวิธีการตัดเฉือน



รูปที่ 3 แสดงส่วนประกอบและลักษณะแรงของแม่พิมพ์ไฟน์แบลลงก์

รอยตัดเรียบเพียงหนึ่งในสามของความหนา ส่วนที่เหลือเป็นรอยแตก และส่วนประกอบของแม่พิมพ์ไฟน์แบลลงก์ซึ่งแตกต่างจากการตัดเฉือนอย่างง่ายดังรูปที่ 1 [1]

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นแรงกับเวลา หรือระยะทางการตัดเฉือนอย่างง่ายกับการไฟน์แบลลงก์ เส้นแนวแรง a คือ การตัดเฉือนอย่างง่ายและเส้นแนวแรง b คือ การตัดเฉือนแบบไฟน์แบลลงก์

ในส่วนเส้นแนวแรงของกรรมวิธีการตัดเฉือนอย่างง่ายประกอบด้วย 4 ส่วน

ส่วนที่ 1 แสดงถึงพื้นที่สัมผัสกับชิ้นงานเรียกว่าเกิดการเสียรูปแบบอีลาสติก

ส่วนที่ 2 แสดงถึงการเริ่มต้นกระบวนการตัดและทำให้แรงตัดสูงมากจนมีค่ามากที่สุด

ส่วนที่ 3 เกิดการฉีกในระยะเวลาเริ่มต้นจากนั้นชิ้นงานเริ่มฉีกขาดออกจากกัน ก่อนที่จะเสร็จสิ้นกระบวนการตัดเฉือน จากนั้นแรงทั้งหมดที่กระทำจากการกดตัดชิ้นงานจะลดลงทำให้เกิดการฉีก

ในกรณีของกรรมวิธีไฟน์แบลลงก์ ส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 จะเหมือนกับการตัดอย่างง่าย อย่างไรก็ตามจะไม่มีส่วนที่ 3, 4 หรือการฉีกเนื่องจากเหตุผล 4 ข้อดังต่อไปนี้

1. โครงสร้างของเครื่องมือ
2. มีแรง 3 อย่างในขณะทำงานคือ ดังรูปที่ 3
 - 2.1. แรงแรงกดจิก (FR)
 - 2.2. แรงดันอ็อกเตอร์ (FG)
 - 2.3. แรงตัดเฉือน (FS)
3. การกระทำของแหวนจิก (V-ring)

4. มีค่าความเผื่อระหว่าง ฟังก์ชันและตายน้อยมาก ประมาณ 0.5% ของความหนาชิ้นงาน

2. ทฤษฎี

เครื่องจักรสำหรับการไฟน์แบลنگก์เป็นแบบสาม จังหวะ (Triple Action) แรกกดจิกและแรงต้านได้จากแรง ดันไฮดรอลิก แรงตัด F_s ขึ้นอยู่กับความยาวรอยตัดด้าน นอกและด้านในของชิ้นงาน ความหนาและความต้านแรง ของวัสดุชิ้นงาน แรงตัดคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ [1]

$$F_s = L \cdot t \cdot S_{us} \cdot f_1 \quad (1)$$

2.1 สมการการทำให้แข็งด้วยความเครียด

พฤติกรรมการทำให้แข็งด้วยความเครียด โลหะ เหล็ก ส่วนมากที่ไม่ได้ผ่านการแปรรูปเย็น (Cold Worked) ก่อนทำการทดสอบการดึง (นั่นคือผ่านการอบ อ่อนอย่างสมบูรณ์) สามารถอธิบายพฤติกรรมตั้งแต่เริ่ม ต้นครากจนถึงไหลดสูงสุดได้ด้วยสมการในรูป

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (2)$$

2.2 หลักการในการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ปัญหาการเปลี่ยนรูปของโลหะด้วย วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ อาจแบ่งได้ 6 ขั้นตอนคือ

2.2.1 การแบ่งแบบจำลองชิ้นงานออกเป็นชิ้นส่วน ย่อย หรือออกเป็นเอลิเมนต์การแบ่งแบบจำลองชิ้นงาน ออกเป็นเอลิเมนต์ให้สอดคล้องกับลักษณะของปัญหาซึ่ง อาจจะใช้ขนาด และชนิดของเอลิเมนต์ใดขึ้นอยู่กับ ดุลยพินิจของผู้วิเคราะห์ แต่ที่สำคัญก็คือการเลือกใช้ ขนาด และชนิดของเอลิเมนต์ จะต้องตอบสนองตอบ พฤติกรรมที่แท้จริง หรือใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของ ปัญหาต่างๆ อย่างไรก็ตามนิยมแบ่งเป็นเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม มากกว่าเอลิเมนต์สามเหลี่ยม

2.2.2 การเลือกแบบจำลองการโดยทั่วไปมักเลือก แบบจำลองการกระจัดในลักษณะสมการฟังก์ชัน หรือพอลิ นอมิเยล เพราะสามารถจะเลือกจำนวนเทอมของพอลิ นอมิเยล ให้สอดคล้องกับลักษณะการเปลี่ยนรูปของแบบ จำลองชิ้นงานได้ดีกว่า

2.2.3 การหาสทิฟเนสเมทริกซ์ของเอลิเมนต์อาจหา ได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันคือ ใช้หลักการแปรเปลี่ยน (Variational Principle) ทั้งนี้จะอาศัยฟังก์ชันกระจัดการ

สมมูลของแรง และหลักการของพลังงานศักย์ต่ำสุดผลที่ ได้รับก็คือ สมการความสัมพันธ์ระหว่างสทิฟเนส แรงภาย นอก และการกระจัดจะเขียนในรูป

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (3)$$

สทิฟเนสเมทริกซ์ของแต่ละเอลิเมนต์จะขึ้นอยู่กับฟังก์ชัน การกระจัด ชนิดของเอลิเมนต์ สมบัติของวัสดุ และลักษณะ ของปัญหา และสำหรับปัญหาที่มีความสมมาตรรอบแกน สทิฟเนสเมทริกซ์ จะเขียนดังนี้ [3]

$$[K] = 2\pi \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T(\xi, \eta) [D]^{ep} [B](\xi, \eta) r(\xi, \eta) |J| d\xi d\eta \quad (4)$$

2.2.4 การรวมค่าเมทริกซ์ความยืดหยุ่น (Global Stiffness Matrix) เนื่องจากแบบจำลองจะประกอบด้วย เอลิเมนต์ต่างๆ ต้องรวมเอลิเมนต์เป็นระบบเดียวกัน

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (5)$$

เนื่องจาก $[K]$ เป็นเมทริกซ์สมมาตร จึงไม่สามารถแก้ สมการได้โดยตรงจึงจำเป็นต้องระบุเงื่อนไขขอบเพื่อขจัด หรือปรับเมทริกซ์ $[K]$

2.2.5 การหาผลเฉลยหรือการหาคำการขจัด โดยใช้ หลักการทั่วๆ ไปของเมทริกซ์เราสามารถจะหาคำการกระจัด รวมของสมการได้

$$\{U\} = [K]^{-1} \{F\} \quad (6)$$

แต่ถ้าสมการเป็นสมการที่ไม่เชิงเส้นอาจจะต้องใช้วิธีการ อื่นหรือเทคนิคอื่นช่วยเพื่อหาคำการกระจัดดังกล่าว

2.2.6 การหาความเค้นและความเครียดของแต่ละ เอลิเมนต์ จากขั้นตอนที่ 5 เราสามารถแทนค่าการกระจัด รวมลงในสมการสมมูลของแต่ละเอลิเมนต์ เพื่อหาคำ การกระจัดของแต่ละเอลิเมนต์ และนำไปสู่การหาความเครียด และความเค้นได้ตามต้องการ เนื่องจากความเครียดหาได้ จากสมการ

$$\{\varepsilon\} = [B]\{u\} \quad (7)$$

และ

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} = [D][B]\{u\} \quad (8)$$

2.3 ความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียด

Prandtl [2] และ Reuss [2] ได้เสนอสมการเพื่อใช้วิเคราะห์ปัญหาในเทอมของความเครียดรวม คือ จะพิจารณาทั้งความเครียดในช่วงยืดหยุ่นและความเครียดในช่วงพลาสติกด้วย แทนด้วย $d\epsilon_{ij}^e$ และ ความเครียดส่วนย่อยรวม แทนด้วย $d\epsilon_{ij}^p$ ดังนั้นตามที่ Prandtl และ Reuss เสนอ ซึ่งเขียนในเทอมของเทนเซอร์ได้ดังนี้

$$d\epsilon'_{ij} = d\epsilon_{ij}^e + d\epsilon_{ij}^p \quad (9)$$

จะได้ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนรูปโลหะในช่วง Elastic-plastic

$$d\sigma = ([D^e] - [D^p])d\epsilon \quad (10)$$

และ

$$[D^e] = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ \nu & 1 & & & & Sym \\ 1-\nu & \nu & & & & \\ \nu & \nu & 1 & & & \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} & & \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$[D^p] = \frac{2G}{S} \begin{bmatrix} \sigma_r'^2 & & & & & \\ \sigma_r'\sigma_\theta' & \sigma_\theta'^2 & & & & Sym \\ \sigma_r'\sigma_z' & \sigma_\theta'\sigma_z' & \sigma_z'^2 & & & \\ \sigma_r'\tau_{rz} & \sigma_\theta'\tau_{rz} & \sigma_z'\tau_{rz} & \tau_{rz}^2 & & \end{bmatrix} \quad (12)$$

2.4 ความเสียหายแบบเหนียว (Ductile Fracture)

กระบวนการตัดเฉือนโลหะ โดยทั่วไปเป็นการเสียหายแบบเหนียวซึ่งความเสียหายแบบเหนียวมี 3 ขั้นตอน

2.4.1 Nucleation จะเกิดขึ้นใกล้กับช่วงที่ 2 ของการเปลี่ยนรูป เกิดจากความเค้นและความเครียดจุดรวม

2.4.2 Growth เกิดภายใต้การเปลี่ยนรูปถาวร

2.4.3 Coalescence ความเครียดสมมูลที่เกิดขึ้นจะเป็นความเครียดสมมูลขณะที่เกิดความเสียหายและเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกร้าแบบเหนียว (Ductile Crack)

2.5 เกณฑ์ของความเสียหาย (Fracture Criterion)

ในกรรมวิธีการตัดเฉือนแบบไฟน์แบลนก์ จะมีเรื่องของความเสียหาย (Fracture) เนื่องจากขอบตัดของชิ้นงานจะประกอบไปด้วย Die Roll Sheared Surface ในการนำเอา FEM เข้ามาวิเคราะห์กระบวนการตัดเฉือนจำเป็นต้องพิจารณาถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ขอบตัดด้วยเป็นที่ทราบกันว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ขอบตัดของกระบวนการตัดเฉือนนี้เป็นความเสียหายแบบเหนียว (Ductile Fracture) ในการวิจัยนี้ใช้ Modified Cockroft & Latham Criterion มาทำนายความเสียหายของวัสดุจะเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$\int_0^{\bar{\epsilon}_f} \left(\frac{\sigma^*}{\bar{\sigma}} \right) d\bar{\epsilon} = C \quad (13)$$

3. การสร้างแบบจำลอง

3.1 กำหนดชนิดสมบัติและขนาดของวัสดุที่นำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 การทดลองสมบัติของวัสดุชิ้นงาน อะลูมิเนียม AA1100-O

ตัวแปร	ค่า
Tensile Strength (MPa)	89.3
Shear Strength (MPa)	51.55
n	0.25
K	99.3

ตารางที่ 2 การทดลองคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงาน SAE 4130

ตัวแปร	ค่า
Tensile Strength (MPa)	900
Shear Strength (MPa)	519.61
n	0.1
K	447

3.2 วิเคราะห์ลักษณะแรงต่างๆ ในกระบวนการไฟน์แบลนก์

3.3 สร้างแบบจำลองและกำหนดลักษณะแรงที่มากระทำบนชิ้นงานของการไฟน์แบลนก์ ดังรูปที่ 4

3.4 วิเคราะห์หาแรงตัดที่เปลี่ยนแปลงในการตัดเฉือน

ของวัสดุจากการจำลองกระบวนการตัดโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.5 เปรียบเทียบแรงตัดที่ได้จากการทดลองจริงและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

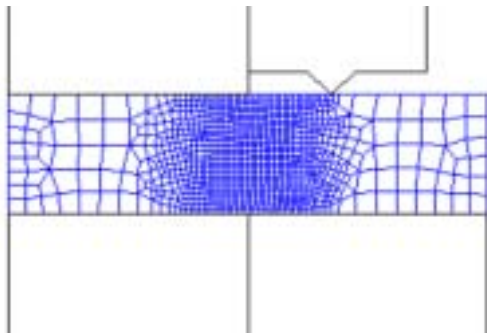
3.6 วิเคราะห์หาค่าแรงตัด ที่เปลี่ยนแปลงระยะและความสูงของแหวนจิกโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.7 สรุปผล

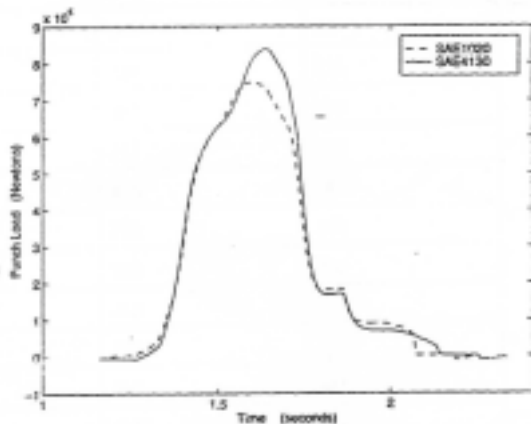
4. ผลลัพธ์เชิงตัวเลข

ค่าของแรงตัด ($F_{S \max}$) ที่ได้จากการทดลองในกระบวนการไฟน์แบลนก์ของวัสดุเหล็ก SAE4130 [1] มีค่าเท่ากับ 860,000 N แสดงดังรูปที่ 5 นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และเปรียบเทียบกับสูตรที่ได้จากสมการที่ 1 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 3 และ 4

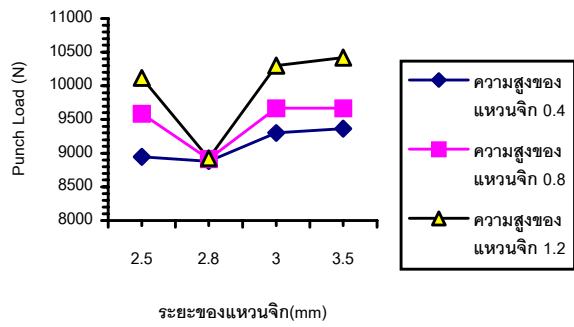
จากผลของแรงตัดที่เปลี่ยนแปลงสามารถแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะและความสูงของแหวนจิก



รูปที่ 4 แสดงลักษณะแบบจำลอง



รูปที่ 5 แสดงผลการทดลองการตัดของวัสดุ SAE4130 และ SAE1020



รูปที่ 6 แสดงแรงตัดที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากเปลี่ยนแปลงระยะและความสูงของแหวนจิก สำหรับวัสดุ AA1100-O

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบแรงตัดที่ได้จากการทดลองกับสูตรแรงตัดที่ใช้ในงานจริงสำหรับ SAE4130 หน้า 5.19 mm

วัสดุ	แรงตัด (N)		เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
	การทดลอง	สูตร	
SAE4130	860,000	862,266.52	0.26%

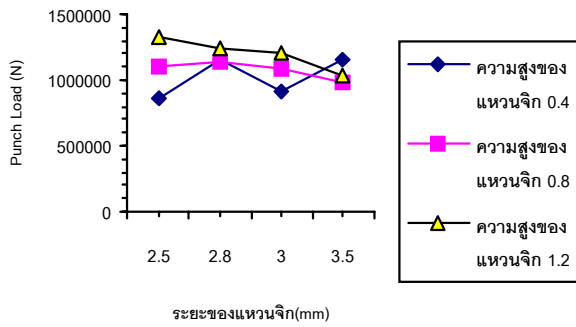
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบแรงตัดที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง SAE4130 หน้า 5.19 mm

วัสดุ	แรงตัด (N)		เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
	การทดลอง	สูตร	
SAE4130	860,000	955,287	11.07%

5. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยในการวิเคราะห์แรงตัดในการไฟน์แบลนก์ พบว่าแรงตัดที่ใช้ในการตัดวัสดุเหล็กแผ่น SAE 4130 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Allen R. Sorgenfrei [1] ค่าแรงตัดที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทดลองประมาณ 11% ซึ่งค่าผิดพลาดในระดับนี้ ในอุตสาหกรรมสามารถยอมรับได้ เพราะเมื่อคิดเป็นค่าความปลอดภัยแล้วมีค่าเพียง 1.11 ดังนั้นแบบจำลองของการไฟน์แบลนก์ที่ได้ นำเสนอมาข้างต้นย่อมสามารถนำไปประยุกต์กับวัสดุอะลูมิเนียมแผ่น AA1100-O ได้



รูปที่ 7 แสดงแรงตัดที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากเปลี่ยนแปลงระยะและความสูงของแหวนจิก สำหรับวัสดุ SAE 4130

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบแรงตัดที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไฟไนต์เอลิเมนต์กับสูตรแรงตัดที่ใช้ในงานจริงสำหรับวัสดุ AA1100-O หนา 4 mm และ SAE4130 หนา 5.19 mm

วัสดุ	แรงตัด (N)		เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
	การทดลอง	สูตร	
AA1100-O	9,363.03	8,912.69	5.05%
SAE4130	862,266.52	955,287	10.78%

5.1.1 จากผลลัพธ์ในตารางที่ 3 พบว่าค่าของแรงตัดที่ได้จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับสมการ (1) ค่าแรงตัดที่ได้จากสมการ (1) จะผิดพลาดน้อยกว่าที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แต่ข้อเสียของสมการ (1) คือไม่สามารถใช้วิเคราะห์ถึงผลกระทบของระยะและความสูงของแหวนจิกที่มีผลต่อแรงตัดได้

5.1.2 จากผลของแรงตัดเมื่อเปลี่ยนวัสดุเป็นอะลูมิเนียม AA1100-O ในตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าแรงตัดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 8,912.69 N แตกต่างจากการคำนวณตามสมการ (1) เพียง 5.05%

5.1.3 ผลของแรงตัดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะและความสูงของแหวนจิกของวัสดุอะลูมิเนียม AA1100-O พบว่าค่าของแรงตัดมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

5.1.3.1 เมื่อปรับระยะของแหวนจิกห่างจากขอบพื้นซ์เท่ากับ 2.5 mm แรงตัดมีค่าเพิ่มขึ้น

5.1.3.2 เมื่อปรับระยะของแหวนจิกห่างจากขอบพื้นซ์เท่ากับ 3.0 และ 3.5 mm แรงตัดมีค่าเพิ่มขึ้น

5.1.3.3 เมื่อปรับความสูงของแหวนจิกเพิ่มขึ้นที่

ระยะของแหวนจิกเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 mm แรงตัดมีค่าเพิ่มขึ้น

5.1.3.4 ที่ระยะของแหวนจิกเท่ากับ 2.8 mm เมื่อปรับความสูงของแหวนจิกมีผลทำให้ค่าของแรงตัดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

5.1.4 ผลของแรงตัดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะและความสูงของแหวนจิกของวัสดุเหล็ก SAE4130 พบว่าแนวโน้มของแรงตัดมีความแตกต่างกับวัสดุอะลูมิเนียม แต่ที่ระยะของแหวนจิกเท่ากับ 2.8 mm มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแรงตัดคล้ายกัน

5.1.4.1 ค่าของแรงตัดที่ระยะของแหวนจิกเท่ากับ 2.5 mm เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของแรงตัดที่ระยะ 2.8 mm ค่าแรงตัดมีความแตกต่างกัน เมื่อความสูงของแหวนจิกเท่ากับ 0.4 และ 0.8 mm ค่าของแรงตัดมีค่าน้อยลงและที่ความสูงของแหวนจิกเท่ากับ 1.2 mm ค่าของแรงตัดมีค่ามากขึ้น

5.1.4.2 ค่าของแรงตัดที่ระยะของแหวนจิกเท่ากับ 3.0 mm เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของแรงตัดที่ระยะ 2.8 mm ที่ความสูงของแหวนจิกเท่ากับ 0.4, 0.8 และ 1.2 mm ค่าของแรงตัดมีค่าน้อยลง

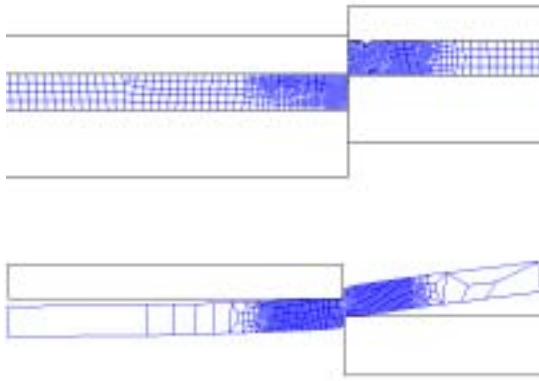
5.1.4.3 ค่าของแรงตัดที่ระยะของแหวนจิกเท่ากับ 3.5 mm เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของแรงตัดที่ระยะ 2.8 และ 3.0 mm ที่ความสูงของแหวนจิกเท่ากับ 0.8 และ 1.2 mm ค่าของแรงตัดมีค่าน้อยกว่า ส่วนที่ความสูงของแหวนจิกเท่ากับ 0.4 mm ค่าของแรงตัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระยะ 3.0 mm

5.2 วิจัยผลการวิจัย

5.2.1 การวิเคราะห์หาแรงตัดโดยการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองจริงโดยมีความแตกต่างประมาณ 11 % การจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะมีความแม่นยำ เมื่อปรับระยะและความสูงของแหวนจิกเท่ากับ 2.5 และ 0.4 mm หรือปรับระยะและความสูงของแหวนจิกเท่ากับ 3.0 และ 0.4 mm ค่าของแรงตัดจะมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองจริงมากยิ่งขึ้น

5.2.2 การวิเคราะห์หาแรงตัดในการไฟน์แมลงก์พบว่าในบริเวณที่เกิดการตัดเฉือน จะเกิดรอยแตกเนื่องจากวัสดุเปลี่ยนรูปไปมาก ๆ ซ้ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการตัดเฉือนอย่างง่ายดังรูปที่ 8

5.2.3 ค่าของแรงตัดในการไฟน์แมลงก์ของวัสดุขึ้น



รูปที่ 8 เปรียบเทียบบริเวณการตัดเฉือนของการไฟน์แบลลงและการตัดเฉือนอย่างง่าย

งานอะลูมิเนียม AA1100-O และเหล็ก SAE 4130 พบว่าที่ระยะของแหวนจิก 2.8 mm เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูงของแหวนจิกจะมีผลทำให้แรงตัดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

5.2.4 ในการหาแรงจากการจำลองการไฟน์แบลลงก็โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถหาแรงตัดเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงระยะและความสูงของแหวนจิกได้ โดยที่การวิเคราะห์ในทางทฤษฎีไม่สามารถคำนวณได้ และช่วยให้ไม่ต้องทำการทดลองจริง ช่วยลดเวลา และลดค่าใช้จ่าย และยังสามารถใช้เป็นแนวทางช่วยในการเลือกขนาดของเครื่องจักรในการตัดเฉือนชิ้นงานได้อีกด้วย

6. รายการสัญลักษณ์

C_{cr}	: ค่าความเสียหายจุดวิกฤต (Critical Damage Value)
$[D]$: เมตริกซ์ความเค้นความเครียด : เมตริกซ์ความเค้นความเครียดช่วงยืดหยุ่น
$[D^p]$: เมตริกซ์ความเค้นความเครียดช่วงพลาสติก
$\{f\}$: เวกเตอร์ของแรงภายนอก

$\{F\}$: เวกเตอร์ของแรงภายนอกรวม
$[k]$: สตีฟเนสเมตริกซ์
$[K]$: สตีฟเนสเมตริกซ์รวม
n	: ตัวเลขยกกำลังของการทำให้แข็งด้วยความเครียด
$\{u\}$: เวกเตอร์การกระจัดของแต่ละจุดต่อ
$\{U\}$: เวกเตอร์การกระจัดรวม
Y	: ความเค้นคราก
$d\varepsilon_{ij}$: ความเครียดส่วนย่อย
$d\varepsilon_{ij}^e$: ความเครียดส่วนย่อยช่วงยืดหยุ่น
v	: อัตราส่วนปัวซอง
$F_{S \max}$: แรงตัดสูงสุด
t	: ความหนาของชิ้นงาน
f_1	: ตัวประกอบมีค่า 0.9
L	: ความยาวรอยตัดด้านในและด้านนอกของชิ้นงาน
Sus	: ความเค้นเฉือนสูงสุดของชิ้นงาน
K	: สัมประสิทธิ์ความแข็งของวัสดุชิ้นงาน

เอกสารอ้างอิง

1. Sorgenfrei, Allen R. "Finite Element Modeling of Fine Blanking Towards Supervisory Control of the Production Process." Ph.D. Dissertation, Faculty of Engineering, Michigan Technological University, 1997.
2. Rowe, G.W., et al. *Finite-Element Plasticity and Metalforming Analysis*. Cambridge University Press, 1991.
3. Peng-fei, Zheng. *Finite Element Analysis of Combined Fine Blanking and Extrusion Process*. Department of Manufacturing Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, 2000.