

การวิเคราะห์มุมคมตัดของฟันซี่ในกระบวนการตัดเจาะ

An Analysis of Punch Cutting Edge Angle in Punching Process

ศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ถ.พิบูลสงคราม เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10800

โทร 66(2)9132500-24 ต่อ 8531, โทรสาร 66(2)5870026, E-Mail: shw@kmitnb.ac.th

ชาญ ถนัดงาน

ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ถ.พิบูลสงคราม เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10800

โทร 66(2)9132500-24 ต่อ 8212, โทรสาร 66(2)5870029, E-Mail: chn@kmitnb.ac.th

ศุภรัชชัย วรรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ถ.ประชาชื่น เขตดอนเมือง กรุงเทพฯ 10210

โทร 66(2)5800050-69 ต่อ 587, โทรสาร 66(2)5899606

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการตัดเจาะของฟันซี่ที่มีคมตัด กระบวนการตัดเจาะแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก คมตัดของฟันซี่จะแทรกตัวเข้าไปในเนื้อวัสดุ และขั้นตอนที่สอง แผ่นโลหะจะถูกเฉือนขาด ขนาดของแรงกดที่ใช้ในขั้นตอนแรกจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับระยะลึกของการแทรกตัวของคมตัด ส่วนในขั้นตอนแผ่นโลหะถูกเฉือนขาด ขนาดของแรงกดจะมีค่าคงที่

การวิเคราะห์แรงกดที่ใช้ในกระบวนการตัดเจาะจะใช้ทฤษฎีสถานะเส้นเลื่อนโดยมีข้อสมมติฐานว่าวัสดุแผ่นโลหะเป็นวัสดุ rigid-perfectly plastic สำหรับความเค้นที่เกิดขึ้นในคมตัดของฟันซี่จะวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยพิจารณาเป็นปัญหาสมมาตรรอบแกน

จากผลการคำนวณพบว่ามุมของคมตัดที่ใช้พลังงานในการตัดเจาะต่ำสุด โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่คมตัดของฟันซี่ มีค่าประมาณ 15° สำหรับฟันซี่ที่ทำจากวัสดุเหล็กเครื่องมือรอบสูงและแผ่นทองแดงหนา 2 mm และจากการเปรียบเทียบค่าของแรงกดในทางทฤษฎีกับในทางปฏิบัติ พบว่าค่าผิดพลาดสูงสุดมีค่า 9.70% อยู่ที่มุมคมตัด 45°

Abstract

This paper presents a mathematical model of punching process for punches having cutting edge angles. The punching

process can be divided into 2 stages: indenting and shearing stages. In the first stage, the magnitude of punching force is proportional to the depth of indentation. However, it is constant in the shearing stage.

With the assumption of rigid-perfectly plastic material for sheet metal, the slip-line field theory can then be applied for punching force analysis. Stress in punch cutting edge is analysed by using finite element method.

Numerical results show that the cutting edge angle which requires minimum punching energy without punch failure is about 15° for high speed steel punch and 2-mm thick copper sheet. By comparing the theoretical punching force with the experimental force, the maximum error of 9.70% is shown at the cutting edge angle of 45° .

1. บทนำ

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมเกี่ยวกับการขึ้นรูปโลหะแผ่นส่วนใหญ่จะมีกระบวนการตัดเจาะรวมอยู่ด้วย ฟันซี่ที่ใช้ตัดเจาะโดยทั่วไปจะไม่มีความคมตัด(คือคมตัดมีมุม 90°) ในปี ค.ศ.1979 โอซากิและยาวาฮาชิ[1] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของมุมคมตัดของฟันซี่ โดยในการทดลองได้ใช้แผ่น

อลูมิเนียมที่มีความหนา 2 และ 4 mm และใช้พื้นที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาง 12 และ 20 mm ซึ่งผลจากการทดลองสรุปได้ดังนี้

- (1) ผิวชั้นงานที่ถูกคมตัดเฉือนจะมีคุณภาพดีเมื่อมุมของคมตัดมีค่าน้อยลง
- (2) รูเจาะจะไม่เกิดความเสียหาย ก็ต่อเมื่อมุมของคมตัดมีค่าน้อยกว่าค่ามุมวิกฤต
- (3) เมื่ออัตราส่วนของ เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ต่อความหนาของแผ่นอลูมิเนียมมีค่ามากขึ้น มุมวิกฤตจะมีค่าน้อยลง

สำหรับบทความนี้ จะศึกษาอิทธิพลของมุมคมตัดที่มีต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการตัดเจาะ ขณะเดียวกันก็จะทำการวิเคราะห์ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในคมตัดของพื้นที่

2. กระบวนการตัดเจาะ

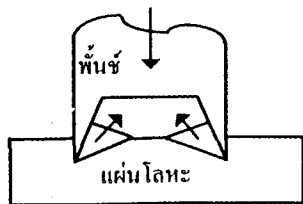
ปัจจุบันในการคำนวณหาขนาดของแรงที่ใช้ตัดเจาะสำหรับพื้นที่ที่ไม่มีคมตัดมีเพียงขั้นตอนเดียวคือ ขั้นตอนการเฉือนขาด แต่สำหรับพื้นที่ที่มีคมตัดแล้ว กระบวนการตัดเจาะจะมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการแทรกตัวลงไปใ้เนื้อวัสดุของคมตัด และขั้นตอนที่แผ่นโลหะถูกเฉือนขาด

ในขั้นตอนแรกของกระบวนการตัดเจาะจะมีข้อสมมติว่า วัสดุแผ่นโลหะมีการยึดตัวแบบยืดหยุ่นน้อยมาก เมื่อคิดเทียบกับการยึดตัวแบบพลาสติก แบบจำลองของวัสดุนี้คือ rigid-perfectly plastic material ข้อสมมติอีกข้อหนึ่งคือลักษณะของปัญหาเป็นแบบ plane strain ระหว่างที่คมตัดแทรกตัวเข้าไปในเนื้อวัสดุ จะมีเนื้อวัสดุไหลขึ้นมาด้านบน ดังรูปที่ 1 บริเวณที่วัสดุมีการไหลนี้ วัสดุจะอยู่ในสภาพพลาสติก ซึ่งมีสถานะความเค้นสอดคล้องกับสมการสมดุล และมีค่าความเค้นเฉือนสูงสุดเท่ากับค่าความเค้นเฉือนคราก k ดังแสดงในสมการ (1) และ (2)

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0 \quad (1.2)$$

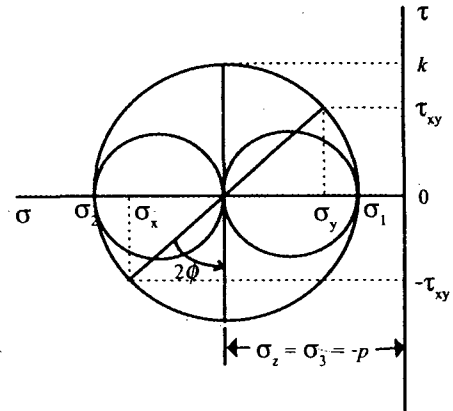
และ
$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} = k \quad (2)$$



รูปที่ 1 การแทรกตัวของคมตัดเข้าไปในเนื้อวัสดุ

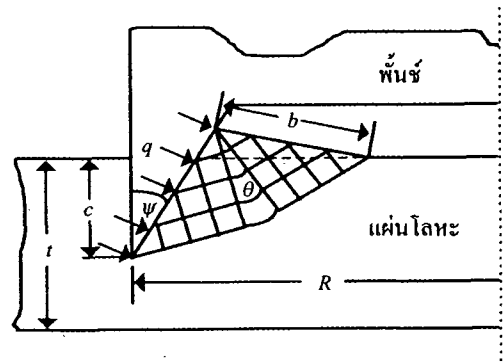
จากทฤษฎีสนามเส้นเลื่อน[3] ทิศทางการไหลของเนื้อวัสดุที่อยู่ในสภาพพลาสติกจะอยู่ในทิศทางเดียวกับ ทิศทางของความเค้นเฉือนสูงสุด

รูปที่ 2 แสดงทิศทางของระนาบความเค้นเฉือนสูงสุดเทียบกับ ทิศทางของระนาบความเค้นประยุกต์ในวงกลมโมห์ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าสถานะของความเค้นตั้งฉากกับระนาบความเค้นเฉือนสูงสุดเป็น hydrostatic stress



รูปที่ 2 วงกลมโมห์แสดงสถานะความเค้นในบริเวณที่เนื้อวัสดุอยู่ในสภาพพลาสติก

บริเวณเนื้อวัสดุที่อยู่ในสภาพพลาสติกสามารถเขียนสนามเส้นเลื่อนได้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สนามเส้นเลื่อนในบริเวณเนื้อวัสดุที่อยู่ในสภาพพลาสติก

จากทฤษฎีสนามเส้นเลื่อน ความดันที่กระทำระหว่างคมตัดของพื้นที่กับเนื้อวัสดุ (q) ดังแสดงในรูปที่ 3 หาได้จาก [4] มีค่าเท่ากับ

$$q = 2k(1 + \theta) \quad (3)$$

เมื่อ θ หาได้จากการแก้สมการ

$$\cos(2\psi - \theta) = \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \quad (4)$$

ดังนั้นแรงที่ใช้ในการกดให้คมตัดแทรกตัวเข้าไปในเนื้อวัสดุจะมีค่า

$$F = \int q dA \sin \psi = q\pi[R^2 - (R - b \sin \psi)^2] \quad (5)$$

เมื่อ
$$b = \frac{c}{\cos \psi - \sin(\psi - \theta)}$$

งานที่ใช้ในขั้นตอนแรกของการตัดเจาะ คือ

$$W_1 = \frac{1}{2} Fc = \frac{\pi qc}{2} [R^2 - (R - b \sin \psi)^2] \quad (6)$$

ในขั้นตอนที่ 2 ขณะที่คมตัดของฟันแทรกตัวลึกลงไปในเนื้อวัสดุ ความหนาที่เหลืออยู่ของเนื้อวัสดุก็จะลดลงไปเรื่อยๆ ทำให้ค่าความเค้นเฉือนเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้น ค่าความเค้นเฉือนเฉลี่ยนี้มีค่าเท่ากับ

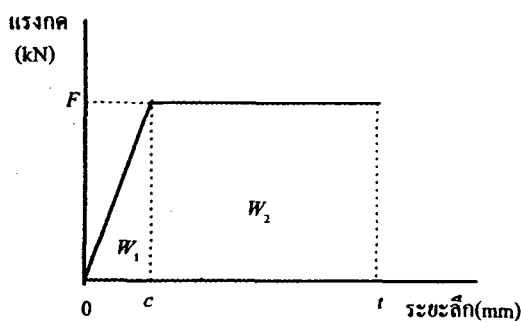
$$\tau = \frac{F}{2\pi R(t-c)} \quad (7)$$

วัสดุจะถูกเฉือนขาดพร้อมกันเมื่อ $\tau = k$ และงานที่ใช้เฉือนวัสดุขาดในขั้นตอนนี้ คือ

$$W_2 = F(t-c) \quad (8)$$

งานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการตัดเจาะ ซึ่งแสดงโดยพื้นที่ใต้กราฟในรูปที่ 4 มีค่าเท่ากับ

$$W = W_1 + W_2 = \pi q \left(t - \frac{c}{2} \right) [R^2 - (R - b \sin \psi)^2] \quad (9)$$



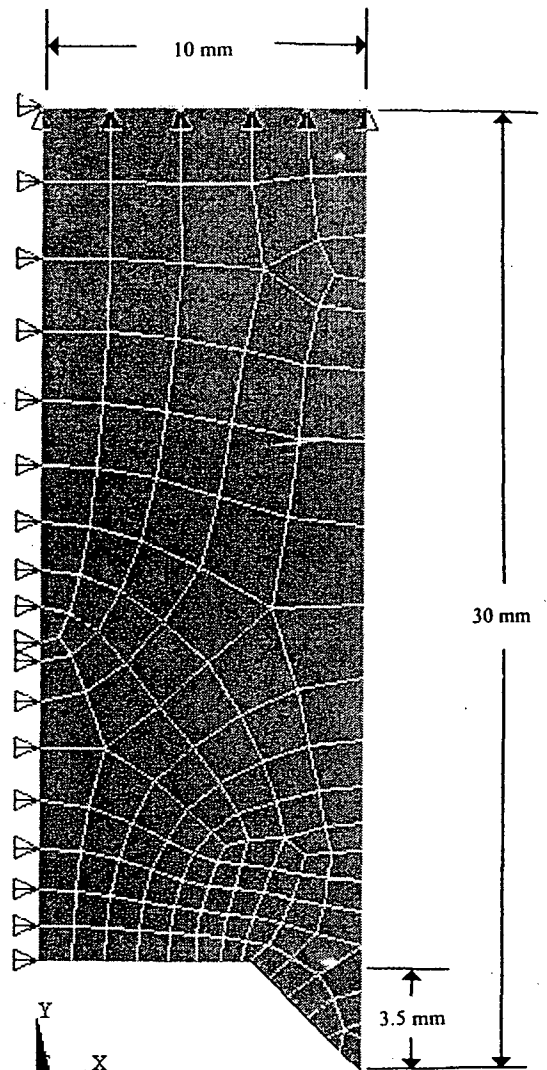
รูปที่ 4 งานที่ใช้ในกระบวนการตัดเจาะ

3. ความเค้นในพื้นผิว

ขณะที่คมตัดแทรกตัวเข้าไปในเนื้อวัสดุ จะเกิดความดัน q กระจายอย่างสม่ำเสมอต่อคมตัด ความเค้นในคมตัดของฟันสามารถหาได้โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และพิจารณาเป็นปัญหาแบบสมมาตรรอบแกน มีขนาดและโมเดลดังรูป 5 และมีความเค้นสูงสุด (von Mises stress) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์เชิงตัวเลข

มุมคมตัด (องศา)	ระยะลึกที่คมตัดแทรกตัวเข้าไปในวัสดุ (mm)	แรงกด (kN)	งานตัดเจาะ (J)	ความเค้นในพื้นผิว (MPa)
15	1.180	9.43	13.30	283
30	0.676	15.24	25.33	347
45	0.374	18.71	33.92	434
60	0.193	20.78	39.55	612
75	0.079	21.95	43.03	840



รูปที่ 5 ขนาดและโมเดลของพื้นผิวสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4. ผลลัพธ์เชิงตัวเลข

ผลลัพธ์เชิงตัวเลขได้มาจากการกำหนดให้พื้นผิว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm และคมตัดที่ใช้มีมุมต่างๆกัน คือ มุม 15, 30, 45, 60 และ 75 องศา ส่วนโลหะแผ่นที่ถูกตัดเจาะเป็นแผ่นทองแดงหนา 2 mm ค่าความเค้นเฉือนครากของวัสดุทองแดงหาได้จากการทดลองตัดเจาะด้วยพื้นผิวที่ไม่มีมุมคมตัด ได้ค่า 183 MPa ผลลัพธ์เชิงทฤษฎีแสดงในตารางที่ 1

5. ผลการทดลอง

ในการทดลองได้ใช้พื้นผิวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ทำจากเหล็กเครื่องมือรอบสูง (SKH 51) มีมุมคมตัด 30, 45, 60 และ 90° ส่วนโลหะแผ่นใช้แผ่นทองแดงหนา 2 mm สารหล่อลื่นขณะตัดเจาะคือ

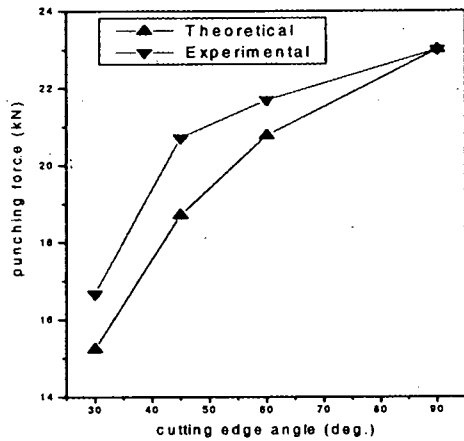
น้ำมันที่มีค่าความหนืดมาตรฐาน SAE 40 ผลจากการทดลองได้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขนาดของแรงที่ใช้ในกระบวนการตัดเจาะ

มุมคมตัด(องศา)	แรงที่ใช้ในกระบวนการตัดเจาะ (kN)
30	16.67
45	20.72
60	21.70
90	23.00

6. สรุปและวิจารณ์ผล

ข้อมูลจากผลการทดลองและจากผลลัพธ์เชิงตัวเลขของทฤษฎีการตัดเจาะของพื้นที่ที่มีคมตัด ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6 และ 7 รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแรงที่ใช้ในการตัดเจาะจากผลการทดลองกับแรงที่ใช้ในการตัดเจาะทางทฤษฎี ส่วนรูปที่ 7 แสดงถึงอิทธิพลของมุมคมตัดของพื้นที่ที่มีต่อพลังงานที่ใช้ในการตัดเจาะ และความเค้นในพื้นผิวที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดเจาะ

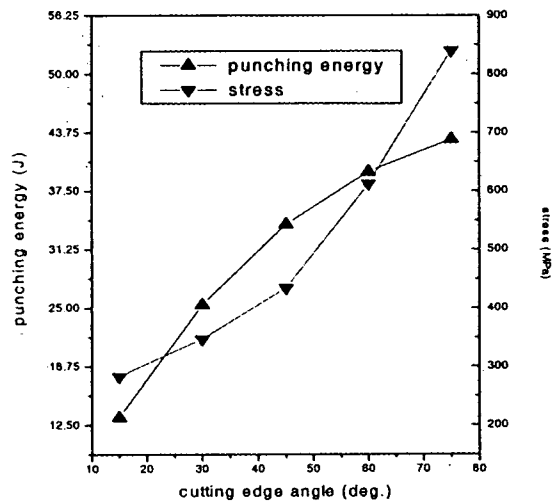


รูปที่ 6 แรงที่ใช้ในการตัดเจาะ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทั้งหมด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- (1) ค่าผิดพลาดสูงสุดระหว่างขนาดของแรงตัดเจาะจากการทดลองกับที่ได้จากทฤษฎี มีค่าสูงสุด 9.70% อยู่ที่มุมคมตัด 45°

- (2) มุมคมตัดที่ยังน้อยยังมีแรงต้านน้อย ทำให้ใช้พลังงานตัดเจาะน้อย นอกจากนี้ ความเค้นในพื้นผิวยังเกิดน้อยตามไปด้วย
- (3) มุมคมตัดที่ยังน้อย คมตัดยังสามารถแทรกตัวได้ลึกมากขึ้น
- (4) สำหรับวัสดุโลหะแผ่นทองแดง มุมคมตัดที่ดีที่สุดอยู่ที่ 15°
- (5) ความเค้นสูงสุดในพื้นผิวเกิดขึ้นที่มุมคมตัด 75° เนื่องจากมุมคมตัดมากจะมีแรงต้านมาก ทำให้เกิดความดันกระทำต่อคมตัดมาก
- (6) แรงตัดเจาะในทางทฤษฎีมีค่าต่ำกว่าจากการทดลองเนื่องจากเราสมมติว่าวัสดุเป็นแบบ rigid-perfectly plastic คือไม่มี work hardening



รูปที่ 7 อิทธิพลของมุมคมตัดที่มีต่อพลังงานตัดเจาะและความเค้นในพื้นผิว

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อ.กัมปนาท สิริเวทิน แห่งภาควิชาเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ช่วยรันโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ตรวจสอบความเค้นในพื้นผิว

คำอธิบายสัญลักษณ์

- b ระยะของเนื้อโลหะส่วนที่ล้น แสดงในรูปที่ 3
- c ความลึกที่คมพื้นผิวแทรกตัวเข้าไปในเนื้อของแผ่นโลหะ
- F แรงที่ใช้กดพื้นที่ในกระบวนการตัดเจาะ
- k ความเค้นเฉือนครากของวัสดุแผ่นโลหะ
- q ความดันระหว่างคมตัดของพื้นที่กับเนื้อวัสดุ