

การศึกษาการสึกหรอแบบขัดสีบริเวณคมตัดพunch A Study of Abrasive Wear of Punch Cutting Edge

เสาวลักษณ์ ทองกลั่น*, ชานู ถนอดงาน**, ศิริศักดิ์ หามชูวงศ์***

*ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

99 ม.9 ถ.พิษณุโลก-นครสวรรค์ ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

โทร 0-55261061 ต่อ 4225 โทรสาร 0-55261062 Email: saowalakt@nu.ac.th

**ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถ.พิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทร 0-29132500-24 ต่อ 8212 โทรสาร 0-25870029 Email: chn@kmitnb.ac.th

***ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถ.พิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทร 0-29132500-24 ต่อ 8531 โทรสาร 0-25870026 Email: shw@kmitnb.ac.th

Saowalak Tongklin*, Charn Thanadngarn**, Sirisak Harnchoowong***

*Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

99 M.9 Phitsanulok-Nakonsawan Rd, T.Thapo A.Mueng, Phitsanulok 65000 Thailand

Tel: 0-55261061 Ext. 4225 Fax: 0-55261062 Email: saowalakt@nu.ac.th

**Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok

1518 Pibulsongkram Rd, Bangsue Bangkok 10800 Thailand

Tel: 0-29132500-24 Ext. 8212 Fax: 0-25870029 Email: chn@kmitnb.ac.th

***Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok

1518 Pibulsongkram Rd, Bangsue Bangkok 10800 Thailand

Tel: 0-29132500-24 Ext. 8531 Fax: 0-25870026 Email: shw@kmitnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการสึกหรอแบบขัดสีบริเวณคมตัดพunch โดยศึกษาพื้นที่ที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกันคือ SKD11 และ SKH51 ตัดเจาะเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2, 4, 8 และ 16 mm ช่องว่างระหว่างพunchกับตายเท่ากับ 5% ของความหนาชิ้นงาน โดยใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 เป็นวัสดุชิ้นงานสำหรับตัดเจาะหนา 0.5 และ 1.0 mm เพื่อที่จะศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เหล่านี้ต่อการสึกหรอของพunch แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับกระบวนการตัดได้ถูกสร้างขึ้น การวิเคราะห์เป็นแบบสมมาตรรอบแกน และพฤติกรรมของวัสดุชิ้นงานเป็นแบบยืดหยุ่น-พลาสติก ไม่คำนึงถึงผลเนื่องจากความร้อน และไม่มีการหล่อลื่นจากการจำลองการตัดพบว่าค่าแรงตัดมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 8.05% เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง ซึ่งเป็นการยืนยันว่าแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระบวนการตัดที่สร้างขึ้นนั้นถูกต้อง แรงในแนวระดับรวมที่กระทำโดยรอบพunchซึ่งเป็นสาเหตุให้พunch

เกิดการสึกหรอแบบขัดสีขึ้นหาได้จากผลการคำนวณของการจำลองการตัด ทฤษฎีของ Archard ได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณการสึกหรอของพunch

จากการวิจัยพบว่า การสึกหรอแบบขัดสีของพunchจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพunchใหญ่ขึ้น และเมื่อชิ้นงานมีความหนามากขึ้น นอกจากนี้เมื่อใช้วัสดุที่ทำพunchเป็น SKH51 ซึ่งมีความแข็งมากกว่า SKD11 ส่งผลให้พunchมีการสึกหรอแบบขัดสีลดลง

Abstract

The objective of this research is to study parameters which have influence on abrasive wear of punch cutting edge. Two different punch materials, SKD11 and SKH51 were considered. Punch diameters were set to be 2, 4, 8 and 16 mm. The clearance between a die and a punch was defined to be 5% of thickness of workpiece. The blank was made of stainless steel,

SUS304, with 0.5 and 1.0 mm thickness. An axisymmetric finite element model was developed to simulate the blanking process and was used to study the effects of these parameters on abrasive wear. The workpiece was assumed to undergo elastic-plastic during the blanking process. The contribution from heat was ignored. The process assumed no lubrication. The finite element model was validated by comparing the calculated punch forces with those obtained from the experiments. They are in good agreement with average error of only 8.05%. The amount of abrasive wear were calculated using Archard theory together with the total horizontal forces acting on the punch which were obtained from the simulations.

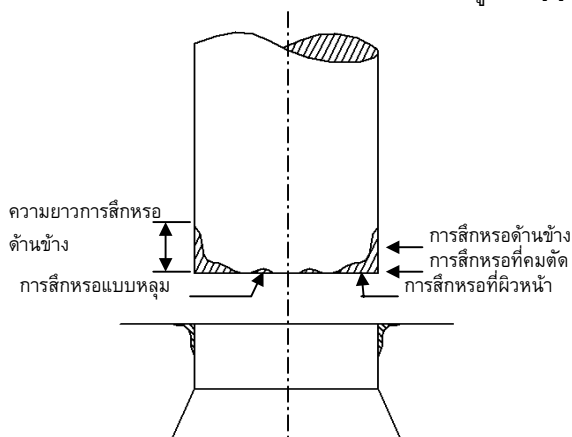
The research show that the amount of abrasive wear of punch cutting edge increase with punch diameters and the thickness of workpiece. In addition, the amount of abrasive wear decrease when using SKH51 which has more hardness than SKD11 steel.

1. บทนำ

จากการทำงานของพื้นที่ในแต่ละครั้งพบปัญหาที่สำคัญคือ การเกิดการสึกหรอที่บริเวณคมตัด จากผลการทดลองจริงโดยชินเดช เมธารมณ [1] และวัลลภ ภูมา [2] พบว่าบริเวณคมตัดของพื้นที่จะเกิดการสึกหรอแบบขัดสี การสึกหรอแบบขัดสีที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและขนาดของพื้นที่ และอัตราของการสึกหรอแบบขัดสีขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุชิ้นงานและแม่พิมพ์ที่ใช้ในกระบวนการตัดโลหะ รวมทั้งแรงที่กระทำต่อด้านข้างของพื้นที่ ขนาดของพื้นที่ ความหนาของวัสดุชิ้นงาน และอื่นๆ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ทำให้ผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์และความแม่นยำของชิ้นงาน และจะทำให้เกิดรอยเสี้ยนในชิ้นงานสูงขึ้นด้วย ทำให้คุณภาพของชิ้นงานลดลง ดังนั้นการศึกษพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการสึกหรอแบบขัดสีบริเวณคมตัดของพื้นที่จึงมีความสำคัญอย่างมาก

2. การสึกหรอที่พื้นที่

2.1 การสึกหรอที่เกิดขึ้นบนพื้นที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1 [3]



รูปที่ 1 ลักษณะการสึกหรอของพื้นที่และดาย

2.1.1 การสึกหรอด้านข้าง (Flank Wear) สามารถเห็นได้จากความยาวการสึกหรอด้านข้าง เป็นผลจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่กดพื้นที่ผ่านวัสดุ และขณะดึงพื้นที่กลับผ่านรอยเสี้ยน การสึกหรอด้านข้างพื้นที่นี้เริ่มจากการยึดติดและขัดสี และขนาดของการสึกหรอเพิ่มขึ้นด้วยจำนวนของ สโตรก และจะมีอัตราการสึกหรอสูงเมื่อช่องว่างระหว่างคมตัดน้อยมาก [3]

2.1.2 การสึกหรอที่คมตัด (Edge Wear) ยากที่จะบอกความแตกต่างระหว่างการสึกหรอด้านข้าง มีสาเหตุมาจากวัสดุเคลื่อนที่ในแนวระดับในขณะที่มีแรงกดจากการตัด ซึ่ง Ridha [4] พบว่ารัศมีคมตัดที่สึกหรอจะทำให้ระยะกินลึกของพื้นที่เพิ่มขึ้นเพื่อที่จะทำให้ชิ้นงานแตกเสียหาย และทำให้ความสูงของรอยเสี้ยนสูงขึ้นด้วย

2.1.3 การสึกหรอที่ผิวหน้า (Face Wear) เกิดจากการขัดสีและเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะเชิงเส้นด้วยจำนวนชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น [3]

ดาย ขอบคมตัด ดายแลนด์ และผิวด้านข้างทำให้เกิดการตัดเฉือน และจากการเคลื่อนทำให้เกิดการสึกหรอแบบยึดติดที่ปลายและด้านข้างของพื้นที่ เมื่อระยะเลื่อนพื้นที่อยู่ในช่วง 30 –50% ของความหนาชิ้นงานจะทำให้แรงดันเพิ่มมากขึ้น และทำให้เกิดการขัดสีเพิ่มขึ้น เมื่อมีไหลดกระทำการกลับไปมาจะทำให้เกิดการยึดติดและเมื่อเกิดความล้าขึ้นจะทำให้เกิดการสึกหรอแบบหลุม (Crater Wear) ที่ปลายพื้นที่ได้ หลังจากชิ้นงานเริ่มเกิดรอยร้าวแล้วจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างยืดหยุ่น ทำให้เกิดการสึกหรอแบบขัดสีที่บริเวณผิวหน้าปลายพื้นที่ ในระหว่างที่ดึงพื้นที่ขึ้นชิ้นงานจะเกิดการติดตัวกลับ (Elastic Spring Back) ทำให้เกิดแรงดันเพิ่มขึ้นที่พื้นที่และเพิ่มการสึกหรอที่ด้านข้างพื้นที่ด้วย [3]

2.2 ขนาดของการสึกหรอ

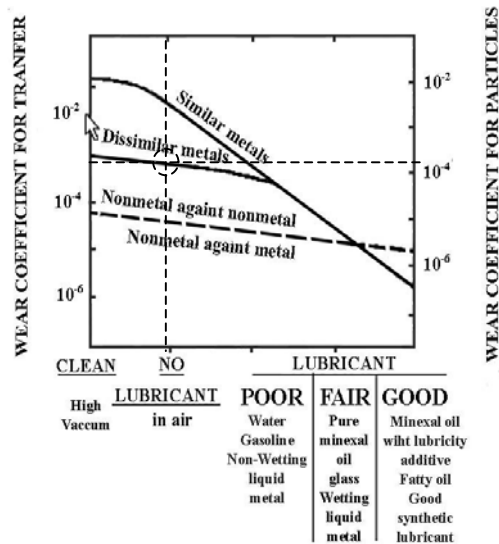
Shivpuri และ Semiatin [5] กล่าวว่า การสึกหรอของดายและแม่พิมพ์เป็นปรากฏการณ์ที่ขึ้นอยู่กับเวลา และขึ้นอยู่กับ 4 องค์ประกอบคือ แม่พิมพ์ ผิวสัมผัส ชิ้นงาน และสภาวะของกระบวนการ ผลจากองค์ประกอบทั้งสี่นี้สามารถจำแนกได้เป็น 6 ความสัมพันธ์ที่ทำให้เกิดการสึกหรอคือ การออกแบบแม่พิมพ์ วัสดุแม่พิมพ์ กระบวนการทางความร้อน การหล่อลื่น ผิวสัมผัส และสภาวะของกระบวนการ

จากสมการของ Archards [4,6] ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการสึกหรอแบบขัดสีเป็นไปตามสมการ

$$V = \frac{KPl}{3H} \quad (1)$$

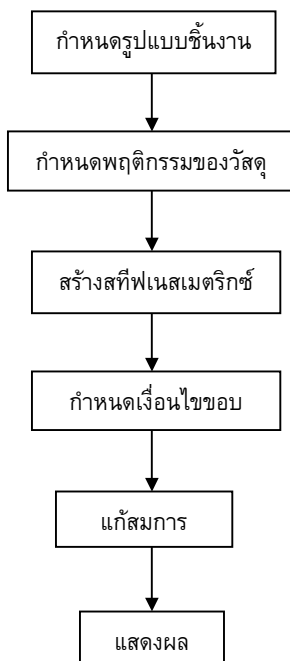
โดยที่ V = ปริมาตรการสึกหรอ, l = ระยะสัมผัสที่พื้นที่เสียดสีกับชิ้นงาน, P = แรงกดตั้งฉากกับพื้นที่ผิวที่เสียดสีกับชิ้นงาน, H = ค่าความแข็งของพื้นที่, K = สัมประสิทธิ์การสึกหรอ

ค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอของ Archard สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 [7] โดยอัตราการสึกหรอจะมีขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและสภาพของการหล่อลื่น ในงานวิจัยนี้ใช้ค่า $K = 1.5 \times 10^{-4}$



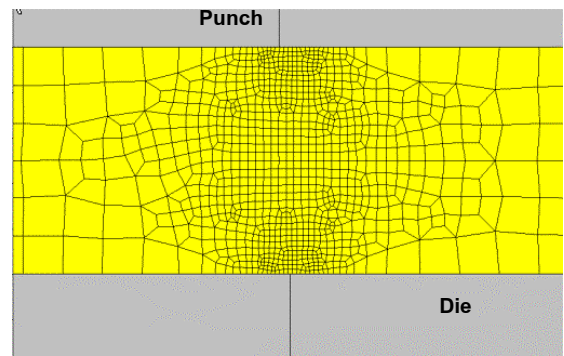
รูปที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอของ Archard

3. ขั้นตอนทั่วไปในการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์การขึ้นรูปโลหะ



รูปที่ 4 ขั้นตอนทั่วไปในการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์การขึ้นรูปโลหะ

3.1 กำหนดรูปแบบชิ้นงาน รวมทั้งพินซ์และดาย โดยการแบ่งชิ้นงานเป็นเอลิเมนต์เล็กๆ และเลือกรูปชนิดของเอลิเมนต์เป็นแบบสี่เหลี่ยม



รูปที่ 5 แสดงการแบ่งส่วนเอลิเมนต์ของแบบจำลองชิ้นงาน

3.2 กำหนดพฤติกรรมของวัสดุ แยกได้เป็น

3.2.1 พินซ์-ดาย มีสมบัติแข็งแรงเกร็ง เพราะเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานแล้ว พินซ์-ดายมีการเปลี่ยนรูปร่างน้อยมาก ซึ่งเห็นได้จากงานวิจัยของ Goijearts [8], Ridha [4], Brokken [9] และพงศ์พันธ์ [10] ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาพินซ์ที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกันคือ SKD11 และ SKH51 ตัดเจาะเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2,4,8 และ 16 mm ซึ่งมีสมบัติดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของพินซ์-ดาย

ตัวแปร	SKD11	SKH51
ความหนาแน่น (ρ) ; kg/m^3	7690	8120
ความแข็ง (HV) [1]	713	916

3.2.2 วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 หนา 0.5 และ 1.0 mm มีสมบัติเป็นยืดหยุ่น-พลาสติก ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีสมบัติทางกลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง

ตัวแปร	ค่า
Young's Modulus (E) ; MPa	193000
อัตราส่วนของบวล์ชอง (V)	0.28
ความเค้นคราก (Y) ; MPa	256.307
Power Law ; MPa	$\bar{\sigma} = 1282.28\bar{\epsilon}^{0.33}$

ก) เงื่อนไขการครากของวัสดุ

การครากของวัสดุเป็นไปตามเงื่อนไขของ Von Mises คือ

$$\frac{3}{2} \sigma'_{ij} \sigma'_{ij} = Y^2 \quad (2)$$

ข) กฎการไหลของวัสดุ

สมการกฎการไหลของวัสดุแบบยืดหยุ่น-พลาสติก คือ

$$d\varepsilon_{ij}' = \frac{1}{2G} d\sigma_{ij}' + \sigma_{ij} d\lambda \quad (3)$$

ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุแบบยืดหยุ่น-พลาสติก สามารถแสดงได้ดังนี้

$$d\sigma = [D] d\varepsilon \quad (4)$$

$$\text{โดยที่} \quad [D] = [D^e] - [D^p] \quad (5)$$

เมื่อพิจารณาเป็นแบบสมมาตรรอบแกน 2 มิติ เมทริกซ์ $[D^e]$ และ $[D^p]$ คือ

$$[D^e] = 2G \begin{bmatrix} \frac{1-\nu}{1-2\nu} & \frac{1-\nu}{1-2\nu} & 0 \\ \frac{1-\nu}{1-2\nu} & \frac{1-\nu}{1-2\nu} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[D^p] = \frac{2G}{S} \begin{bmatrix} \sigma_{11}', \sigma_{11}', & \sigma_{11}', \sigma_{33}', & \sigma_{11}', \sigma_{13}' \\ \sigma_{33}', \sigma_{11}', & \sigma_{33}', \sigma_{33}', & \sigma_{33}', \sigma_{13}' \\ \sigma_{13}', \sigma_{11}', & \sigma_{13}', \sigma_{33}', & \sigma_{13}', \sigma_{13}' \end{bmatrix} \quad (7)$$

ง) การทำให้แข็งด้วยความเครียด

เมื่อวัสดุอยู่ภายใต้ความเค้นที่มีค่ามากกว่าความเค้นคราก วัสดุจะเริ่มเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร ขณะเดียวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเนื้อวัสดุ มีผลทำให้ค่าของความเค้นครากสูงขึ้นเรียกว่าเกิด “การทำให้แข็งด้วยความเครียด” ซึ่งความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดในช่วงเหนือจุดครากหรือในช่วงการยืดตัวถาวรแทนได้ด้วยสมการ

$$\bar{\sigma} = c \bar{\varepsilon}^n \quad (8)$$

โดยที่ n คือตัวเลขยกกำลังของการทำให้แข็งด้วยความเครียด (Strain Hardening Exponent) และ c คือสัมประสิทธิ์ความต้านแรงของวัสดุชิ้นงาน

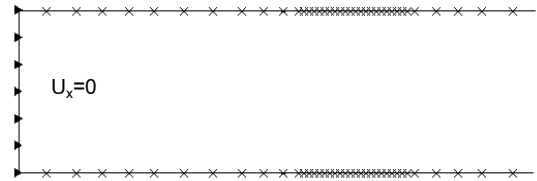
3.3 การสร้างสทึฟเนสเมทริกซ์ (Stiffness Matrix)

สทึฟเนสเมทริกซ์ของแต่ละเอลิเมนต์ จะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันการกระจัด ชนิดของเอลิเมนต์ คุณสมบัติของวัสดุ และลักษณะของปัญหา โดยสมการทั่วไปของสทึฟเนสเมทริกซ์คือ

$$[K] = \int_V [B]^T [D] [B] dV \quad (9)$$

3.4 การกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary Conditions) และกำหนด Contact Conditions ระหว่างพื่นซ์ ชิ้นงาน และตาย การ

วิเคราะห์แบบสมมาตรรอบแกนสองมิติสำหรับการจำลองการตัด กำหนดให้โหนดของชิ้นงานบนแกนสมมาตรไม่สามารถเคลื่อนที่ในทิศตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ตัดของพื่นซ์ แต่สามารถเคลื่อนที่ได้ในทิศเดียวกับการเคลื่อนที่การตัดของพื่นซ์ ดังแสดงในรูปที่ 6 และเมื่อถึงพื่นซ์ขึ้น กำหนดเงื่อนไขขอบดังรูปที่ 7 และพื่นซ์กับชิ้นงาน ตายกับชิ้นงาน สัมผัสกันด้วยสภาวะของความเสียดทานคูลอมบ์ เนื่องจากความเค้นกดตั้งฉากที่ผิวสัมผัสในกระบวนการขึ้นรูปเป็นแบบอัด [11] ซึ่งสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในงานวิจัยนี้ได้กำหนดดังแสดงในตารางที่ 3 ส่วนพื่นซ์กับตายกำหนดให้ไม่มีการสัมผัสกัน



รูปที่ 6 เงื่อนไขขอบของแบบจำลองชิ้นงาน



รูปที่ 7 แสดงเงื่อนไขขอบของชิ้นงานเมื่อถึงพื่นซ์ขึ้น

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคู่ชิ้นงาน

คู่ชิ้นงาน	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน [1]
พื่นซ์-ชิ้นงานแบลงก์	0.32
ตาย-ชิ้นงานแบลงก์	0.32

กำหนดให้พื่นซ์มีทิศเคลื่อนที่ลง โดยมีระยะเคลื่อนที่ผ่านตาย 1.5 mm สำหรับตัดชิ้นงานหนา 0.5 mm และ 3.0 mm สำหรับตัดชิ้นงานหนา 1.0 mm และกำหนดให้พื่นซ์มีความเร็วตัด 40 spm และมีระยะช่วงชัก 127 mm

3.5 การแก้สมการ (Equation Solving)

เนื่องจากชิ้นงานประกอบด้วยเอลิเมนต์ทั้งหมดรวมกันเป็นระบบเดียว ถ้าให้ $[K]$ เป็น สทึฟเนสเมทริกซ์รวม $\{F\}$ เป็นเวกเตอร์ของแรงภายนอกรวม และ $\{U\}$ เป็นเวกเตอร์การกระจัดรวม ดังนั้นสมการสมดุลของระบบรวมคือ

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (10)$$

3.6 การแสดงผล แสดงผลเป็นภาพกราฟฟิกและข้อมูลเชิงตัวเลข

4. ความเสียหายแบบเหนียว (Ductile Fracture)

เกณฑ์ของความเสียหาย (Fracture Criterion) สามารถใช้เกณฑ์ของ Cockcroft and Latham [12] ซึ่งสามารถทำนายความเสียหายในกระบวนการขึ้นรูปโลหะได้อย่างแม่นยำ [10,13] เกณฑ์ที่ความเสียหายนี้มีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\int_0^{\bar{\epsilon}_f} (\sigma^* / \bar{\sigma}) d\bar{\epsilon} = C \quad (11)$$

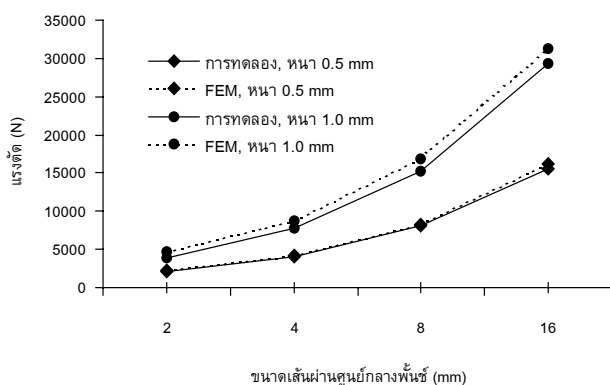
โดยที่ σ^* = ค่าความเค้นหลักสูงสุด (Maximum Principal Stress), $\bar{\epsilon}_f$ = ความเครียดประสิทธิผลขณะที่เกิดความเสียหาย (Fracture Strain), C = ค่าคงตัววัสดุ (Material Constant), $\bar{\sigma}$ = ความเค้นประสิทธิผล (Effective Stress), $\bar{\epsilon}$ = ความเครียดประสิทธิผล (Effective Strain)

โดยหลักการของเกณฑ์ก็คือความเสียหายจะเกิดขึ้นเมื่อความเสียหายหรือค่า C ในสมการ (11) มีค่าเกินขีดจำกัด (Critical Damage Value; C_{cr}) ของวัสดุนั้นๆ เกณฑ์ของ Cockcroft and Latham นั้นสามารถประมาณค่าได้โดย $\bar{\epsilon}_f = C$ ที่บริเวณ Shear band ซึ่งกระบวนการตีดื่อนั้นการเปลี่ยนรูปในช่วง Shear Band นั้น Stress Ratio ($\sigma^* / \bar{\sigma}$) ไม่มีการเปลี่ยนในบริเวณ Shear Band [13]

โดยที่ C_{cr} สำหรับเหล็ก SUS304 ที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้คือ 0.58

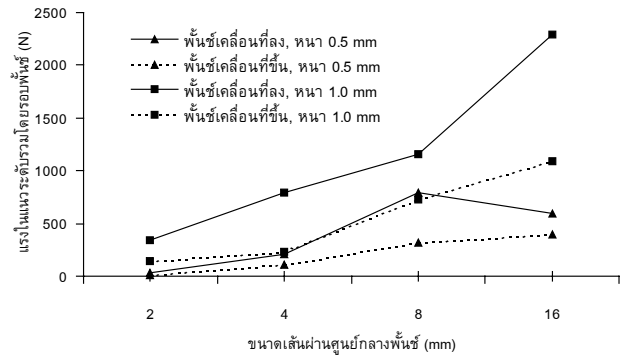
5. ผลและการวิเคราะห์ผล

ค่าแรงตดที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ มีค่าใกล้เคียงกับการทดลอง [1] มากจึงสามารถยืนยันได้ว่าแบบจำลองการตดโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นนั้นสามารถจำลองการตดได้ถูกต้อง และจากผลที่ได้จะเห็นว่าแรงตดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนพจน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตขึ้น หรือเปลี่ยนชิ้นงานมีขนาดหนาขึ้น



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าแรงตดระหว่างการทดลอง [1] และวิธีFEM

จากผลของแรงในแนวระดับรวมที่กระทำโดยรอบพจน์ ดังแสดงในรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อชิ้นงานเกิดความเสียหายแล้วจะเกิดการตดตัวกลับ ทำให้มีแรงกระทำที่ด้านข้างพจน์ ซึ่งแรงนี้มีผลให้เกิดการสึกหรอ



รูปที่ 9 เปรียบเทียบแรงในแนวระดับรวมที่กระทำโดยรอบพจน์

ระยะที่พจน์เคลื่อนที่เสียดสีกับชิ้นงาน หลังจากชิ้นงานขาดจากกันแล้วนั้น สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 และ 5

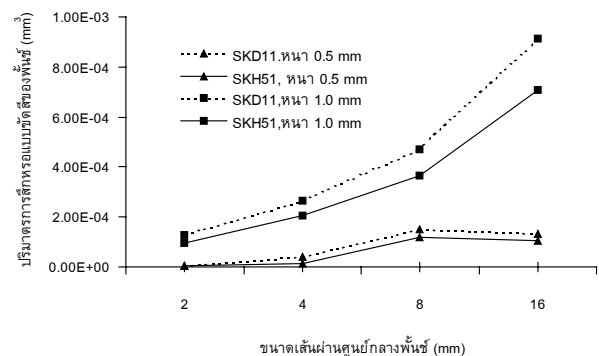
ตารางที่ 4 ระยะที่พจน์เคลื่อนที่เสียดสีกับชิ้นงาน หลังจากชิ้นงานขาดจากกันแล้วสำหรับ SUS304 หนา 0.5 mm

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพจน์ (mm)	ระยะสัมพัทธ์ที่พจน์เสียดสีกับชิ้นงาน(mm)	
	พจน์เคลื่อนที่ลง	ดึงพจน์ขึ้น
2	1.6846	1.927500
4	1.8037	1.952731
8	1.8154	2.207038
16	1.7359	2.304943

ตารางที่ 5 ระยะที่พจน์เคลื่อนที่เสียดสีกับชิ้นงาน หลังจากชิ้นงานขาดจากกันแล้ว สำหรับ SUS304 หนา 1.0 mm

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพจน์ (mm)	ระยะสัมพัทธ์ที่พจน์เสียดสีกับชิ้นงาน (mm)	
	พจน์เคลื่อนที่ลง	ดึงพจน์ขึ้น
2	3.5172	3.900000
4	3.6320	3.790654
8	3.4948	3.615000
16	3.6818	4.205600

เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการสึกหรอครบแล้ว สามารถแทนค่าต่างๆ ลงในสมการ (1) และสามารถหาปริมาณการสึกหรอแบบขดสัได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ปริมาณการสึกหรอแบบขดสัที่บริเวณคมตดของพจน์

ผลการคำนวณที่ได้ข้างต้น ช่วยให้ทราบว่าพื้นที่มีการสึกหรอแบบขัดสีดังนี้

- การสึกหรอแบบขัดสีจะเพิ่มขึ้น เมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพื้นที่ใหญ่ขึ้น
- การสึกหรอแบบขัดสีจะเพิ่มขึ้น เมื่อชิ้นงานมีความหนามากขึ้น
- การสึกหรอแบบขัดสีจะลดลง เมื่อใช้วัสดุที่ใช้ทำพื้นที่มีความแข็งมากขึ้นซึ่งจะเห็นได้จากการวิจัยว่า เมื่อใช้พื้นที่ทำจากเหล็ก SKH51 ซึ่งมีความแข็งมากกว่าเหล็ก SKD11 จะมีการสึกหรอแบบขัดสีลดลง

จากผลการคำนวณตามทฤษฎีของ Archard นั้นผู้วิจัยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอคงที่ตลอดในทุกกระบวนการตัดชิ้นงาน ดังนั้นจึงทำให้ค่าปริมาตรที่ได้อาจจะมีค่าผิดพลาด ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอนั้นจะมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์และสภาวะของกระบวนการนั้นๆ แต่จากผลการวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในการทำนายการสึกหรอแบบขัดสีได้

6. สรุปผลการวิจัย

6.1 จากการวิเคราะห์หาแรงตัดจากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองจริงมากที่สุด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยเฉลี่ย 8.05% ซึ่งการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับงานตัดนี้จะแม่นยำเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพื้นที่ใหญ่ขึ้น เพราะอาจจะเกิดค่าคลาดเคลื่อนจากการคำนวณได้เมื่อใช้พื้นที่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ

6.2 การวิเคราะห์วัสดุแบบยืดหยุ่น-พลาสติกนี้ พบว่าแรงที่กระทำต่อต้านข้างพื้นที่หลังจากชิ้นงานแตกและแยกขาดจากกันแล้ว และในระหว่างดึงพื้นที่ขึ้นยังคงเกิดขึ้นอยู่ เนื่องจากหลังจากที่วัสดุแยกออกจากกันแล้วทำให้ชิ้นงานดัดกลับคืนสู่สภาพยืดหยุ่นอีกครั้ง ทำให้หตุตัวซึ่งการวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุแบบยืดหยุ่น-พลาสติกจึงเหมาะสมที่สุด

6.3 เมื่อพื้นที่เคลื่อนที่กลับไปกลับมาหลายครั้งจะทำให้เกิดการสึกหรอแบบขัดสีนี้เพิ่มขึ้นตลอดเวลา เนื่องมาจากแรงที่กระทำต่อต้านข้างพื้นที่ และพบว่าเมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการตัดคือขนาดของพื้นที่ ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำพื้นที่ และความหนาของชิ้นงานจะส่งผลต่อการสึกหรอแบบขัดสีด้วย

6.4 เนื่องจากการวิเคราะห์จากการจำลองการตัดโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถแสดงการจำลองให้เห็นถึงลักษณะของการสึกหรอในแบบต่างๆ ได้ทุกอย่าง จะเห็นเพียงในลักษณะของการสึกหรอแบบขัดสีเท่านั้น

7. รายการสัญลักษณ์

- $[B]$: เมตริกซ์เชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับระยะการเคลื่อนตัว
- $[D]$: เมตริกซ์ความเค้นความเครียด
- $[D^e]$: เมตริกซ์ความเค้นความเครียดช่วงยืดหยุ่น
- $[D^p]$: เมตริกซ์ความเค้นความเครียดช่วงพลาสติก

- $\{F\}$: เวกเตอร์ของแรงภายนอกรวม
- G : โมดูลัสเฉือน
- $[K]$: สทึฟเนสเมตริกซ์รวม
- $\{U\}$: เวกเตอร์การกระจัดรวม
- $d\epsilon_{ij}$: ความเครียดส่วนย่อย
- σ'_{ij} : ความเค้นเบี่ยงเบน
- $d\sigma'_{ij}$: ความเค้นส่วนย่อยเบี่ยงเบน (Deviatoric Stress Increment)
- λ : ตัวคูณลากรองจ์ (Lagrangian Multiplier)

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชินเดช เมธารมณ. "การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์สำหรับตัดแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2540.
- [2] วัลลภ ภูผา. "การศึกษาการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดที่ใช้งานกับแผ่นวัสดุทองเหลือง." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2541.
- [3] Schey, John A. Tribology in Metalworking. The United States of America, 1984.
- [4] Ridha, Hambli. "Blanking tool wear modeling using the finite element method." International Journal of Machine Tools & Manufacture. 41 (2001) : 1815-1829
- [5] Shivpuri, Rajiv and Semiatin, S. Lee. "Friction and Wear of Dies and Die Materials." ASM handbook volume 18. Friction lubrication and wear technology. 621-648. Edited by ASM International Handbook Committee. Ohio : ASM International, 1998.
- [6] Archard, J. F. "Contact and rubbing of flat surfaces." J.Appl.Phys. 24 (1953) : 981-988.
- [7] Wayne State University. Wear. Available from : <http://ttb.eng.wayne.edu/~grimm/ ME518/Lect16Out.html>.
- [8] Goijaerts, A. M. "Prediction of Ductile Fracture in Metal Blanking." Ph.D.Thesis, Faculty of Engineering, Eindhoven University of Technology, 1999.
- [9] Brokken, Dirk. "Numerical modelling of ductile fracture in blanking." Ph.D.Thesis, Faculty of Engineering, Eindhoven University of Technology, 1999.
- [10] พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์, มาชาอีโกะ จิน และ มาชาโอะ มุระคาเวะ. "การศึกษาแรงที่กระทำต่อต้านข้างพื้นที่-ตายของแม่พิมพ์ตัดโดยใช้ FEM." การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14. 250-256. รวบรวมและจัดพิมพ์โดย ภาควิชา

วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.

[11] Kobayashi, Shiro. Metal Forming and the finite-element method. Oxford : Oxford University Press Inc., 1989.

[12] Cockcroft, M. G. and Lattham D. J. "Ductility and the Workability of Metals." Journal of the institute of metals. Vol.96 (1968) : 33-39.

[13] Faura, F., Garcia, A. and Estrems, M. "Finite element analysis of optimum clearance in the blanking process." Journal of Materials Processing Technology. 80-81 (1998) : 121-125.