

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
2-3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรม โนโวเทล เชียงใหม่

การศึกษาแรงที่กระทำต่อด้านข้างของแม่พิมพ์ตัดโดยใช้ FEM

Investigation of Side Force Acting on the Side Surface of Shearing Tools by Means of FEM

พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์*, มาซาฮิโกะ จิน** และ มาซาโอะ มุระคาว่า**

*ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กรุงเทพมหานคร 10140

โทร (02) 470-9117, โทรสาร (02) 470-9111, E-mail : iponatip@cc.kmutt.ac.th

**ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ Nippon Institute of Technology

Saitama Prefecture, JAPAN

โทร (+81) 480-33-7614, โทรสาร (+81) 480-33-7614, E-mail : jin@nit.ac.jp, mura@nit.ac.jp

Pongpan Kaewtatip*, Masahiko Jin** and Masao Murakawa**

*Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

Bangkok 10140, Thailand

Tel : (+66) 2-470-9117, Fax : (+66) 2-470-9111, E-mail : iponatip@cc.kmutt.ac.th

** Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Nippon Institute of Technology

4-1 Gakuenndai, Miyashiro-machi, Minamisaitama-gun, Saitama 345-8501, Japan

Tel : (+81) 480-33-7614, Fax : (+81) 480-33-7614

บทคัดย่อ

แรงที่กระทำต่อด้านข้างของพินซ์-ตายของแม่พิมพ์ตัดในกระบวนการตัดโลหะนั้นมีผลต่อความแม่นยำของชิ้นงานและอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ดังนั้นการวิเคราะห์หาค่าแรงดังกล่าวนี้จึงมีความสำคัญอย่างมาก อย่างไรก็ตามในการทำการวัดแรงนี้จากการทดลองนั้น ต้องใช้เครื่องมือวัดที่สามารถแยกวัดเฉพาะแรงที่กระทำต่อด้านข้างของพินซ์โดยไม่รวมเอาแรงที่ใช้ในการตัด (Shearing Force) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งต้องอาศัยเครื่องมือเฉพาะที่ค่อนข้างซับซ้อนและยากต่อการนำมาใช้ในงานตัดทั่วๆไปได้ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ลองนำโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ที่ชื่อ DEFORM2D มาช่วยในการวิเคราะห์หาแรงดังกล่าว ในงานวิจัยโดยใช้ชิ้นงานที่ทำมาจากวัสดุสามชนิดคือ เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กผสมคาร์บอนและแผ่นอลูมิเนียมที่มีความหนาเท่ากับ 4 และ 7 mm มาทำการตัดจริงและทำ

Simulation โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM2D พบว่าแรงที่ใช้ในการตัดและสภาพหน้าตัดของชิ้นงานที่ได้จากการทำ Simulation และที่ได้จากการทดลองจริงนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก และเมื่อลองนำผลของการทำ Simulation ไปเทียบกับผลการทดลองที่เคยมีมาก่อนแล้ว [1] ปรากฏว่า ผลของแรงที่กระทำต่อด้านข้างของพินซ์ที่ได้จากการคำนวณและผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นมีแนวโน้มที่คล้ายกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า FEM สามารถนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อที่จะคำนวณหาแรงที่กระทำต่อด้านข้างของพินซ์-ตายของแม่พิมพ์ตัดได้อย่างแม่นยำ

Abstract

The side force acting on the side surface of a shearing or blanking tool has a strong effect on the precision of the blanked product and the lifetime of the

tool of the process. The investigation of the side force, therefore, is very important for the design of shearing and blanking tools. However, the measurement of the force experimentally is complicated. In order to solve the problem, the authors, therefore, try to investigate the side force by using a commercial Finite Element code; DEFORM2D to simulate the blanking processes. From the results of using stainless steel, medium carbon steel and aluminum as workpiece materials in the experiment and the simulation by using FEM, it is found that the blanking forces calculated by FEM are similar to those from the experiment. Further, the side forces acting on the tool calculated by FEM are also similar to those reported in the preceding research [1]. This leads to the conclusion that FEM can be used to predict the side force acting on blanking tools accurately.

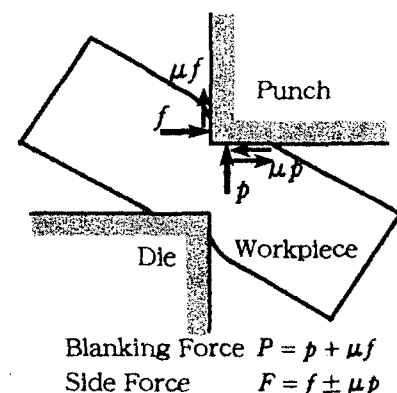
1. บทนำ

แรงที่กระทำต่อด้านข้างของพunchและตายของแม่พิมพ์ตัดในกระบวนการตัดโลหะแบบไม่เสียเศษนั้น มีผลอย่างมากต่อความแม่นยำ (Precision) ซึ่งจะบ่งบอกถึงคุณภาพของชิ้นงาน และอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ยกตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือในการทำการตัดเหล็กแผ่นบางที่ใช้เป็นเฟรมของแผ่น IC (IC lead frame) เนื่องจากในปัจจุบันจำนวนขาของ IC มีจำนวนมากเมื่อเทียบกับขนาดของตัวมัน ดังนั้นความกว้างของขา และช่องว่างระหว่างขาของ IC จะมีขนาดเล็กมาก พunchที่ใช้ในการตัดช่องว่างระหว่างขาของ IC ก็จะมีขนาดเล็กมากเช่นกัน ซึ่งในบางกรณีความกว้างของพunchจะมีขนาดเท่ากับหรือน้อยกว่าความหนาของชิ้นงานที่จะถูกตัด ซึ่งส่งผลให้การตัดของพunchเนื่องจากแรงที่กระทำต่อด้านข้างมีผลอย่างมากต่อความแม่นยำของชิ้นงานและอายุการใช้งานของพunchดังกล่าว ดังนั้นการวิเคราะห์หาแรงที่กระทำต่อด้านข้างของพunchและตายจึงมีความสำคัญอย่างมาก การหาค่าแรงดังกล่าวด้วยการวัดจากการทดลองนั้นได้มีผู้กระทำการบ้างแล้ว (เช่นงานวิจัยของ Maeda[1] และงานวิจัยของ Takahashi[2]) แต่อย่างไรก็ตามในงานดังกล่าวต้องการเครื่องมือที่มีความซับซ้อนมากเนื่องจากต้องวัดแรงที่กระทำต่อด้านข้างจริงๆ โดยไม่รวมเอาแรงที่ใช้ในการตัด (Blanking or Shearing force) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย นอกจากนี้เครื่องมือดังกล่าวยังไม่สามารถใช้ได้กับแม่พิมพ์ธรรมดาทั่วไปได้ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาที่ทางคณะผู้จัดทำจึงได้นำเอาโปรแกรมไฟ

ไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ที่ชื่อ DEFORM2D เข้ามาทำ Simulation ของกระบวนการตัด และทำการวิเคราะห์ว่า FEM สามารถใช้ในการคำนวณหาแรงที่กระทำต่อด้านข้างของพunchและตายได้หรือไม่โดยเปรียบเทียบผลของการทำ Simulation กับการทดลองจริงที่ได้ทำขึ้นเองและที่ได้มีผู้ได้ทำไว้แล้ว[1] สาเหตุของการเลือกใช้โปรแกรม DEFORM2D เข้ามาใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้เนื่องจากโปรแกรมดังกล่าวมีข้อดีคือมีฟังก์ชันที่เรียกว่า Automatic Adaptive Remeshing ซึ่งจะทำให้การ Remeshing เอลิเมนต์โดยอัตโนมัติเมื่อเอลิเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปมาก (Distortion) จึงทำให้สามารถวิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากๆ เช่น การตีขึ้นรูป (Forging) และการตัดแบบไม่เสียเศษ (Blanking and Shearing) ได้โดยมีความคลาดเคลื่อนน้อย นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ถึงความเสียหายแบบเหนียว (Ductile Fracture) ของชิ้นงานได้อีกด้วย

2. การวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อพunchและตาย

เมื่อพunchและตายของแม่พิมพ์ตัดกันเข้าไปในเนื้อชิ้นงาน จะเกิดแรงกระทำต่อพunchและตายขึ้น ถ้าลองพิจารณาแรงที่กระทำต่อพunchจะสามารถเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 1 นั่นคือจะประกอบไปด้วยแรงที่ชิ้นงานกระทำต่อด้านล่างของพunch p , แรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานกับพunchที่กระทำต่อด้านล่างของพunch μp , แรงที่ชิ้นงานกระทำต่อด้านข้างของพunch f , และแรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานกับพunchที่กระทำต่อด้านข้างของพunch μf ดังนั้นถ้ารวมแรงทั้งหมดที่กระทำต่อด้านล่างของพunchเข้าด้วยกัน จะได้ว่าแรงนี้ก็คือแรงตัด (Shearing Force, P) นั่นเอง ซึ่ง $P = p + \mu p$ ในทำนองเดียวกันถ้ารวมแรงทั้งหมดที่กระทำต่อด้านข้างของพunch (Side Force F) ก็จะได้ $F = f \pm \mu p$ ส่วนแรงที่กระทำต่อตายก็สามารถวิเคราะห์ได้ในทำนองเดียวกัน นั่นคือจะประกอบไปด้วยแรง



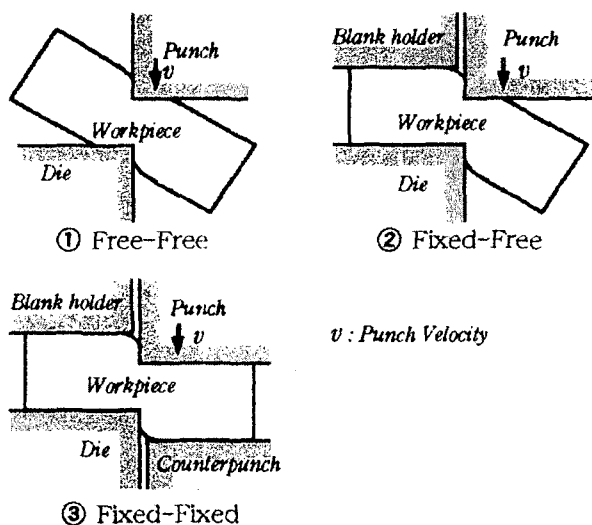
รูปที่ 1 แรงที่กระทำต่อพunchของแม่พิมพ์ตัด

สองชนิดใหญ่ๆคือ แรงดัดและแรงที่กระทำต่อต้านข้างของ ดาย ในงานวิจัยชิ้นนี้จะนำเอา FEM เข้ามาทำ Simulation เพื่อที่จะวิเคราะห์หาแรงที่กระทำต่อต้านข้างของพันธ์หรือ แรง F ข้างต้นนั่นเอง และหลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบ ความถูกต้องหรือความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทำ Simulation โดยการทำการทดลองตัดชิ้นงานจริงและวัดแรง ดัดที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทำ Simulation ข้างต้น นอกจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบแรงที่ กระทำต่อต้านข้างพันธ์ที่ได้จากการทำ Simulation กับค่าที่ ได้จากการทดลองที่ทำโดย Maeda [1] ด้วย

3. วิธีการและเงื่อนไขของ Simulation และการทดลอง

3.1 วิธีการและเงื่อนไขในการทำ Simulation

ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทำ Simulation คือ DEFORM2D เวอร์ชัน 6.0 รูปแบบในการตัดที่จะทำการ วิเคราะห์จะเป็นแบบแคนทิลิเวอร์ (Cantilever) โดยจะแบ่ง การยึดชิ้นงาน (Material Constraints) ออกเป็นสามชนิดคือ ①ปลายทั้งสองด้านเป็นอิสระ (Free-Free) ②ปลายด้านหนึ่ง ถูกยึดไว้ในขณะที่อีกด้านหนึ่งเป็นอิสระ (Fixed-Free) และ ③ปลายทั้งสองด้านถูกยึดไว้ (Fixed-Fixed) เนื่องจากการยึด ชิ้นงานที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อแรงที่กระทำต่อต้านข้างของ พันธุ์ค่อนข้างมาก โมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Analysis Model) ของการยึดชิ้นงานทั้งสามแบบแสดงให้เห็นในรูปที่ 2 เงื่อนไขของการวิเคราะห์แสดงให้เห็นในตารางที่ 1 นั่นคือจะ เป็นการวิเคราะห์แบบ Plane Strain สองมิติ และชิ้นงานถูก กำหนดให้เป็น Rigid plastic body ในขณะที่พันธ์ ดาย Blank holder และ Counter punch ถูกกำหนดให้เป็น Rigid



รูปที่ 2 วิธีการยึดชิ้นงาน

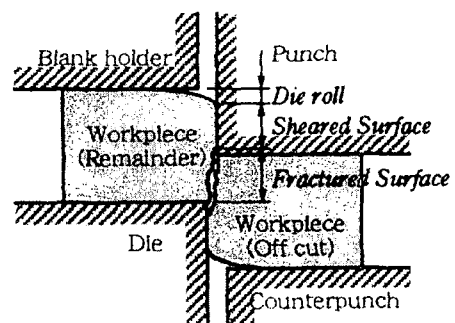
body ชิ้นงานที่ใช้ในการวิเคราะห์ทำมาจากวัสดุสามชนิดคือ เหล็กผสมคาร์บอน (SS400; JIS) เหล็กกล้าไร้สนิม (SUS304; JIS) และอลูมิเนียม (A1100-O; JIS) ซึ่งคุณสมบัติ ทางกล Flow Stress และความหนาของวัสดุแต่ละชนิดแสดง ให้เห็นในตารางที่ 1 เช่นกัน โดยที่คุณสมบัติทางกลและ Flow Stress ของวัสดุดังกล่าวได้มาจากการทำการทดสอบ การดึงของวัสดุนั้นๆ ช่องว่างระหว่างพันธ์กับด้ายหรือเคลีย แร็นซ์ (Tool Clearance) มีค่าเท่ากับ 6.25% และ 10% ของ ความหนาของชิ้นงาน

ตารางที่ 1 เงื่อนไขในการทำ Simulation

Analysis Type	Plane Strain
Workpiece Materials and Mechanical Properties	1. SS400; $t = 4, 7 \text{ mm}$, $\sigma_B = 746.5 \text{ MPa}$, $\psi = 5.0\%$, $\bar{\sigma} = 787 \bar{\epsilon}^{0.238}$ 2. SUS304; $t = 4 \text{ mm}$, $\sigma_B = 726.5 \text{ MPa}$, $\psi = 53.5\%$, $\bar{\sigma} = 1212 \bar{\epsilon}^{0.291}$ 3. A1100-O; $t = 4 \text{ mm}$, $\sigma_B = 127.0 \text{ MPa}$, $\psi = 20.0\%$, $\bar{\sigma} = 143 \bar{\epsilon}^{0.023}$
Tool Clearance	$CL = 6.25\%t, 10.0\%t$
Friction Coefficient	0.1

σ_B ; Tensile Strength, ψ : Percent Elongation

ในกระบวนการตัดวัสดุแบบไม่เสียเศษโดยทั่วไปจะมี เรื่องของความเสียหาย (Fracture) ของชิ้นงานเข้ามาเกี่ยว ข้อง เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จาก การตัดแบบไม่เสียเศษโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย Die Roll, Sheared Surface และ Fractured Surface ดังแสดงให้เห็น ในรูปที่ 3 (ยกเว้นในกรณีของกระบวนการตัดที่เรียกว่าไฟน์-แบลนค์ซึ่งผิวรอยตัดของชิ้นงานจะไม่มี Fractured Surface) ดังนั้นในการนำเอา FEM เข้ามาวิเคราะห์กระบวนการตัด จำ เป็นต้องพิจารณาถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นในขอบตัดด้วย ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นในขอบตัดของ



รูปที่ 3 ขอบตัดของชิ้นงานตัดแบบไม่เสียเศษ

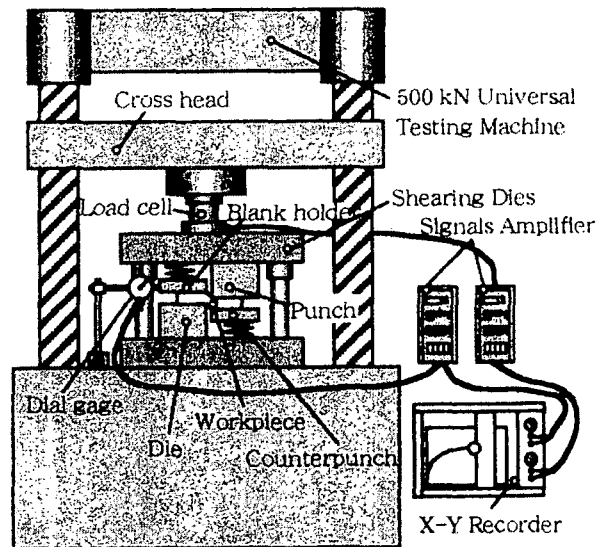
กระบวนการตัดแบบไม่เสียเศษนี้เป็นความเสียหายแบบเหนียว (Ductile Fracture) เหตุผลหนึ่งในการนำเอา DEFORM2D เข้ามาใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้เนื่องจากซอฟต์แวร์ดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ความเสียหายแบบเหนียวที่เกิดขึ้นในวัสดุได้[3] ซึ่งโครเทเรียนของความเสียหาย (Fracture Criterion) ที่เลือกใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้คือ Modified Cockroft & Latham Criterion ซึ่งมีรายงานว่าสามารถทำนายความเสียหายของวัสดุในกระบวนการตัดได้อย่างแม่นยำ[4,5] โครเทเรียนดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นในรูปของสมการดังนี้คือ

$$\int' (\sigma^*/\bar{\sigma}) d\bar{\epsilon} = C \quad (1)$$

โดยที่ σ^* คือค่าความเค้นหลักสูงสุด (Maximum Principle Stress) $\bar{\sigma}$ คือค่าความเค้นสมมูล (Equivalent Stress) $\bar{\epsilon}$ คือความเครียดสมมูล (Equivalent Strain) และ $\bar{\epsilon}_f$ คือความเครียดสมมูลขณะที่เกิดความเสียหาย โดยหลักการของโครเทเรียนนี้ก็คือความเสียหายจะเกิดขึ้นเมื่อค่าความเสียหายหรือค่า C ในสมการ (1) มีค่าเกินขีดจำกัด (Critical Damage Value; C_{cr}) ของวัสดุนั้นๆ ค่า C_{cr} ของวัสดุสามารถหาได้สองวิธีคือ เปรียบเทียบตำแหน่งที่เริ่มเกิดความเสียหาย (Crack Initiation) ของชิ้นงานในกระบวนการตัดจริงกับตำแหน่งที่เกิดขึ้นในการทำ Simulation และอีกวิธีหนึ่งคือ การทำการทดสอบการดึงหรือการอัดวัสดุแล้วจึงคำนวณหา ค่า C_{cr} จากสมการ (1) [3,6] ค่า C_{cr} สำหรับวัสดุสามชนิดที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้คือ $C_{cr} = 0.45, 0.60$ และ 1.55 สำหรับ SS400, SUS304 และ A1100-O ตามลำดับ

3.2 เงื่อนไขและอุปกรณ์การทดลอง

วัสดุและวิธีการยึดชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองจะเหมือนกับที่ใช้ในการทำ Simulation โดยใช้ FEM ที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงให้เห็นในรูปที่ 4 เครื่องที่ใช้ในการทดลองคือ Universal Testing Machine ขนาด 500 kN แรงที่ใช้ในการตัดจะวัดโดยใช้โหลดเซลล์ส่วนระยะที่แม่พิมพ์บนหรือพUNCHเคลื่อนที่จะวัดโดยใช้ไดอัลเกจ สัญญาณจากโหลดเซลล์และไดอัลเกจจะถูกส่งไปยัง X-Y Recorder เพื่อที่จะเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดและระยะทาง (Load-Stroke Diagram) หลังจากนั้นจะนำกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวและขอบตัดของชิ้นงานที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้ FEM เพื่อที่จะตรวจสอบว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ถูกต้องหรือไม่

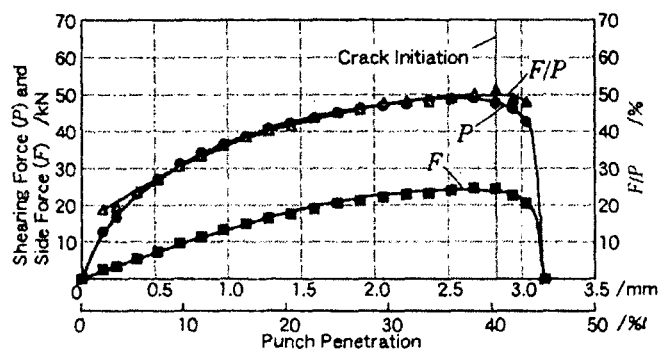


รูปที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

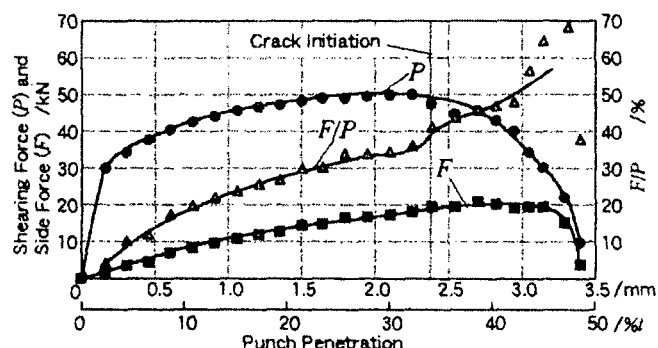
4. ผลและการวิเคราะห์ผล

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อด้านข้างพUNCHกับระยะกินลึกในการตัดแบบแคนทิลเวอร์

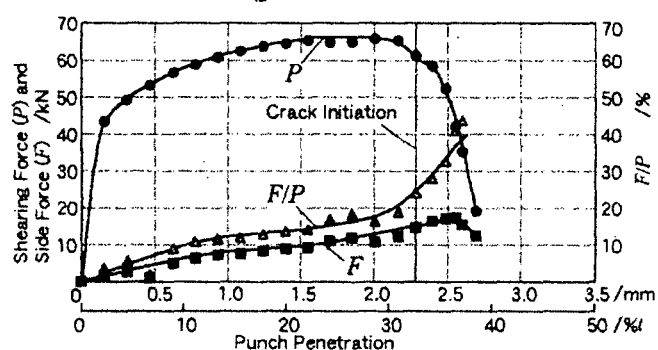
ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกินลึก (Punch Penetration) กับแรงตัด (P) แรงที่กระทำต่อด้านข้างของพUNCH (F) และอัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำต่อด้านข้างของพUNCHต่อแรงตัด (F/P) สำหรับวิธีการยึดชิ้นงานทั้งสามแบบที่ได้จากการทำ Simulation โดยใช้หลักผสมคาร์บอนที่มีความหนาเท่ากับ 7 mm แสดงให้เห็นในรูปที่ 5 เริ่มพิจารณาในช่วงก่อนที่จะเกิดความเสียหายหรือรอยแตก (Crack) ขึ้นในชิ้นงานก่อน เมื่อเปรียบเทียบแรงตัด P สำหรับวิธีการยึดชิ้นงานแต่ละวิธี จะเห็นว่าแรงตัดในการยึดแบบที่ ③Fixed-Fixed จะมีค่ามากที่สุดและจะมากกว่าในวิธีอื่นประมาณ 3/2 เท่า แต่เมื่อเปรียบเทียบแรงที่กระทำต่อด้านข้างของพUNCH F จะเห็นว่า F จะมีค่ามากที่สุดในการยึดแบบที่ ①Free-Free ตามมาด้วยแบบที่ ②Fixed-Free และแบบที่ ③Fixed-Fixed ตามลำดับ นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำต่อด้านข้างของพUNCHต่อแรงตัด F/P แล้วจะพบว่า F/P จะมีค่ามากที่สุดในการยึดแบบที่ ①Free-Free เช่นเดียวกันซึ่งจะมีค่ามากกว่าในการยึดแบบที่ ③Fixed-Fixed ถึงสามเท่า จากผลของการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าแรงที่กระทำต่อด้านข้างของพUNCH F จะมีค่ามากถ้าไม่ยึดปลายทั้งสองของชิ้นงานไว้ในขณะที่ตัด ดังนั้นการเลือกตัดโดยวิธีนี้ต้องคำนึงถึงแรง F ให้มากในขั้นตอนการออกแบบเครื่องมือ ส่วนการยึดชิ้นงานไว้ในขณะที่ตัดจะทำให้แรง F ลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตาม



① Free-Free



② Fixed-Free



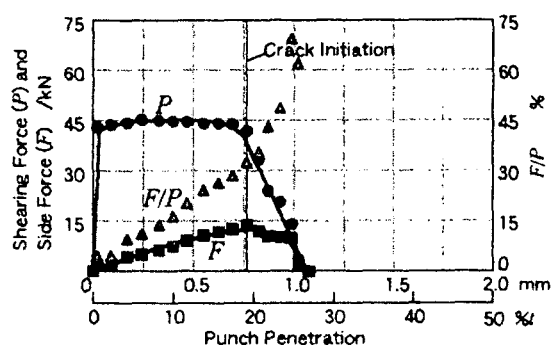
③ Fixed-Fixed

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกั้นลึกลับ P , F และ F/P
(Material : SS400, $t = 7$ mm, $CL = 10\%$)

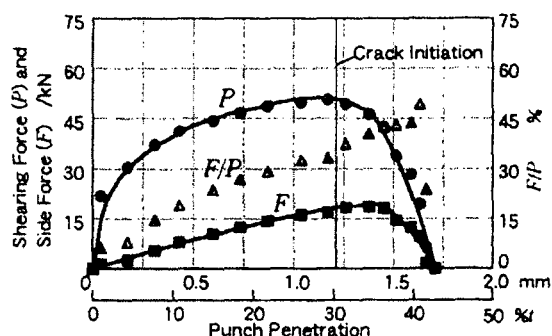
จะมีข้อเสียคือจะทำให้แรงตัด P เพิ่มขึ้นและแม่พิมพ์ซับซ้อนมากขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาในช่วงหลังจากเกิดรอยแตกขึ้นในชิ้นงาน จะเห็นว่าระยะกั้นลึกลับตั้งแต่เริ่มเกิดรอยแตกขึ้นในชิ้นงานจนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกันของวิธีการยึดแบบที่ ②Fixed-Free จะยาวที่สุดตามมาด้วยแบบที่ ①Free-Free และแบบที่ ③Fixed-Fixed ส่วนแนวโน้มของแรง F หลังจากเกิดรอยแตกนั้น จะเห็นได้ว่าความเร็วในการลดลงของแรง F นั้นจะช้ากว่าของแรง P จึงทำให้อัตราส่วน F/P เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วก่อนชิ้นงานจะขาดออกจากกัน ซึ่งแนวโน้มนี้จะเห็นได้ชัดเจนในวิธีการยึดชิ้นงานแบบที่ ②Fixed-Free และแบบที่ ③Fixed-Fixed

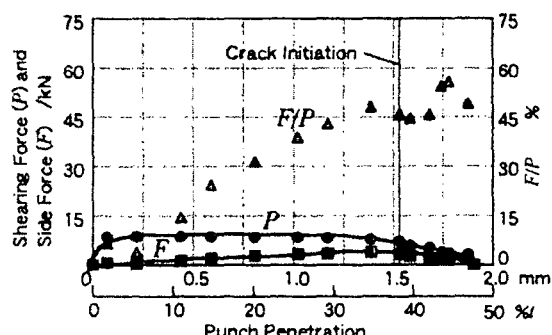
ส่วนผลของการทำ Simulation โดยใช้วัสดุแตกต่างกัน สามชนิดคือเหล็กผสมคาร์บอน (SS400) เหล็กกล้าไร้สนิม (SUS304) และอลูมิเนียม (A1100-O) ที่มีความหนาเท่ากับ 4 mm โดยใช้วิธีการยึดชิ้นงานแบบที่ ②Fixed-Free ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าแรงตัด P มีค่ามากที่สุดสำหรับเหล็กกล้า รองลงมาคือเหล็กผสมคาร์บอนและอลูมิเนียมตามลำดับ และระยะกั้นลึกลับตั้งแต่เริ่มเกิดรอยแตกจนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกันจะยาวที่สุดสำหรับอลูมิเนียม รองลงมาคือเหล็กกล้า และสั้นที่สุดในกรณีของเหล็กผสมคาร์บอน และเมื่อพิจารณาถึงแรงที่กระทำต่อต้านข้างของพินซ์ F พบว่าจะมีแนวโน้มเหมือนกับแรงตัด P คือ F มีค่ามากที่สุดสำหรับเหล็กกล้า รองลงมาคือเหล็กผสมคาร์บอนและอลูมิเนียมตามลำดับ แต่



(a) Medium Carbon Steel; SS400



(b) Stainless Steel; SUS304



(c) Aluminum; A1100-O

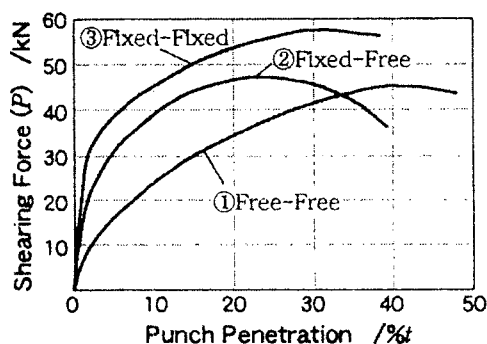
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกั้นลึกลับ P , F และ F/P
สำหรับวัสดุแต่ละชนิด ($t = 4$ mm, $CL = 6.25\%$)

เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วน F/P แล้ว จะพบว่า ไม่มีความแตกต่างมากนักระหว่างวัสดุแต่ละชนิด หรืออาจจะสรุปได้ว่าชนิดของวัสดุมีผลน้อยมากต่ออัตราส่วน F/P

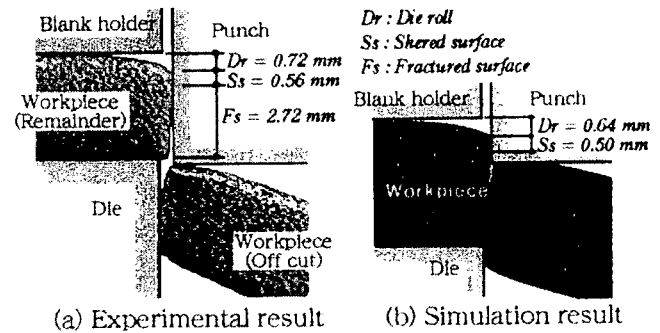
4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของผล Simulation

เมื่อเปรียบเทียบผลของการทำ Simulation ข้างต้นกับผลการทดลองที่ Maeda[1] ทำไว้โดยใช้วัสดุ Mild Steel ที่มีความหนาเท่ากับ 1.6 mm พบว่าแนวโน้มของผลการทำ Simulation และผลการทดลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของอิทธิพลของวิธีการยึดชิ้นงานที่มีต่อแรงตัด P แรงที่กระทำต่อต้านข้างพ้นซ์ F และอัตราส่วนระหว่างแรงทั้งสอง F/P นั้นใกล้เคียงกันมาก นอกจากนี้จากการเปรียบเทียบแรงตัด P ในกรณีที่ใช้เหล็กผสมคาร์บอนที่มีความหนาเท่ากับ 7 mm ระหว่างผลของ Simulation และผลการทดลอง (ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 7) จะเห็นว่าทั้งขนาดของแรงตัดและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะกินลึกเปลี่ยนไปใกล้เคียงกันมาก ซึ่งในกรณีของวัสดุชนิดอื่นที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ก็เช่นเดียวกัน จะพบว่าแรงตัด P สำหรับอลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กผสมคาร์บอนที่มีความหนาเท่ากับ 4 mm ที่ได้จากการทำ Simulation และการทดลองใกล้เคียงกันมากเช่นเดียวกัน

นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากการทำ Simulation และการทำการทดลองพบว่าใกล้เคียงกันมากเช่นเดียวกัน ตัวอย่างของการเปรียบเทียบขอบตัดชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมความหนาเท่ากับ 4 mm ที่ได้จากการตัดโดยวิธีการยึดแบบที่ ②Fixed-Free แสดงให้เห็นในรูปที่ 8 จากผลการเปรียบเทียบต่างๆข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าผลของการทำ Simulation โดยใช้ FEM มีความแม่นยำค่อนข้างสูง



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกินลึกกับแรงตัดที่ได้จากการทดลอง (Material : SS400, $t = 7$ mm, $CL = 10\%t$)



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบขอบตัดของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมที่ได้จากการทำ Simulation และการทดลอง (Material : SUS304, $t = 4$ mm, $CL = 6.25\%t$)

5. บทสรุป

แรงที่กระทำต่อต้านข้างของพ้นซ์และตายในกระบวนการตัดแบบไม่เสียเศษมีผลอย่างมากต่อความแม่นยำของชิ้นงานและอายุการใช้งานของพ้นซ์และตาย จากการวิเคราะห์หาแรงดังกล่าวโดยการทำ Simulation โดยใช้ FEM ในการตัดแบบแคนทิลเวอร์โดยมีวิธีการยึดชิ้นงานแตกต่างกันสามวิธี พบว่าผลที่ได้จากการทำ Simulation และผลการทดลองมีแนวโน้มใกล้เคียงกันมาก ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่า FEM สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าแรงที่กระทำต่อต้านข้างของพ้นซ์และตายโดยมีความถูกต้องอย่างเพียงพอ

6. กิตติกรรมประกาศ

ในส่วนของการทดลองในงานวิจัยชิ้นนี้ได้รับความช่วยเหลือจาก Mr.Satoshi Uchiya และ Mr.Keigo Shinohara นักศึกษาระดับปริญญาตรีภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล Nippon Institute of Technology ประเทศญี่ปุ่น ทางผู้จัดทำจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Maeda, "Measuring of the Side Force acting on Shearing Tools", Journal of the Japan Society for Precision Engineering, Vol.24-11, 1958, pp575-585 (*in Japanese)
- [2] T. Takahashi and T. Aoki, "Study of Side Force acting on Shearing Tools", Proceeding of the 1994 Spring Conference for the Technology of Plasticity, 1994, pp.99-102 (*in Japanese)
- [3] H. Kim, M. Yamanaka and T. Altan, "Prediction and Elimination of Ductile Fracture in Cold Forging Using

- FEM Simulations" Trans. Of NAMRSI/SME, Vol.23, 1995, pp.63-69
- [4] M.G. Cockroft and D.J. Latham, Ductility and Workability of Metals, Journal of institute of Metals, Vol.96, 1968, pp.33-39
- [5] S.H. Jeong, J.J. Kang and S.I. Oh, "A Study on Shearing Mechanism by FEM Simulation", Proceeding of the ICTP, 1997, pp.631-634
- [6] M. Murakawa, P. Kaewtatip, M. Jin and N. Koga, "Determination of Optimum Working Parameters in fine Blanking by Means of a FEM Code", Proceeding of the ICTP, Vol.3, 1999, pp.2207-2212