อิทธิพลของแรงกดยึดต่อคุณภาพชิ้นงานในกระบวนการอัดขึ้นรูปโลหะแผ่น

The Influence of Blank Hold Force on Workpiece Quality in Sheet Metal Extrusion Process

พนม สุหา,[1] บพิธ บุปผโชติ[2*] และ อรอุมา ลาสุนนท์[3]

Phanom Suha,[1] Bopit Bubphachot[2*] and On-Uma Lasunon[3]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของแรงกดยึดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยกำหนดชิ้นงานเริ่มต้นในแบบจำลองเป็นเหล็กกล้า (JIS S45C) มีขนาดความหนา 5 มม. ภายใต้แรงกดยึดชิ้นงานมี 3 ระดับคือ ร้อยละ 5 10 และ 20 ของแรงตัด แม่พิมพ์ดายมีขนาด 10 มม. ขนาดรัศมีขอบคมของแม่พิมพ์ 0.1 มม. และบังคับการไหลตัวของเนื้อวัสดุงานตามแนวระนาบขนานผิวหน้าของแม่พิมพ์ดายด้วยวงแหวนกำหนดตำแหน่ง ผลลัพธ์จากการจำลองแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอัตราส่วนการขึ้นรูปที่มีต่อคุณภาพชิ้นงาน กล่าวคืออัตราส่วนการอัดขึ้นรูปมีผลต่อรูปแบบการเคลื่อนไหลตัวของเนื้อวัสดุค่อนข้างมากอันจะนำไปสู่การเกิดความบกพร่องของชิ้นงานในที่สุด อีกทั้งผลของการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ยังช่วยให้ทราบพฤติกรรมของวัสดุภายในกระบวนการ และนำไปสู่การหลีกเลี่ยงการผลิตชิ้นงานที่มีจุดบกพร่องได้ ด้วยการเลือกขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมในการออกแบบแม่พิมพ์จากผลการจำลอง

คำสำคัญ: การอัดรีดขึ้นรูปโลหะแผ่น, อัตราส่วนการอัดขึ้นรูป, วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

This research studies the influence of blanking hold force on the workpiece quality in sheet metal extrusion process by using finite element method (FEM). The simulation model was developed a stock material from steel (JIS S45C) with thickness of 5 mm. It is subjected to 3 levels of blank hold force at 5, 10 and 20% of blanking force with die diameter of 10 mm, die radius of 0.1 mm, and material flow constraints along parallel die surface with guide ring. From the simulation results, it indicated the effect of extrusion ratio on the quality of sheet metal extrusion. Namely, it causes effect to material flow

[1]นิสิตปริญญาโท, [2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หน่วยวิจัยท่อความร้อนและการออกแบบเครื่องมือทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[3]อาจารย์ หน่วยวิจัยวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[1]M.Eng. student, [2]Assistant Professor, Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit (HTDR), Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand

[3]Lecturer Manufacturing Engineering Research Unit, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand

***Corresponding** : Bopit bubphachot Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit (HTDR), Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand. E-mail : bopit.b@msu.ac.th.

pattern. It was leaded to piece part defection failure in final. Furthermore, the FEM simulation results can help to know the behavior of materials in the process and lead to avoiding the condition of defect in the work piece by choosing dimension and geometry optimal for die design within its FEM simulation results.

Keyword: Sheet metal extrusion, extrusion ratio, finite element method

บทนำ

ในปัจจุบันกระบวนการผลิตภัณฑ์โลหะแผ่นมีความแข็งแรงและน้ำหนักเบากำลังเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายสำหรับการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนและต้องการความเที่ยงตรงสูงมักผลิตด้วยกระบวนการตัดละเอียดหรือไฟน์แบลงค์ (Fine blanking) โดยไม่ผ่านกระบวนการอื่นอีกจึงลดค่าใช้จ่ายลง[1-2] การผลิตโลหะแผ่นให้มีลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานนูนสูงขึ้นบางส่วน คือกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet metal extrusion process)[3-4] โดยออกแบบให้แม่พิมพ์พั้นช์ (Punch) มีขนาดที่โตกว่ารูของแม่พิมพ์ดาย (Die) ในลักษณะช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์เป็นลบ[5-7] และชิ้นงานอัดรีดขึ้นรูปโลหะแผ่นควรหลีกเลี่ยงการเกิดขอบโค้งรอบหลุมกด (Die roll) การยุบในส่วนท้ายของหลุมกด (Extrusion sinking) และการเกิดจุดบกพร่องแบบผิวแตก (Skin fracture) ดังรูปแสดงการเกิดจุดบกพร่อง ใน Figure 1

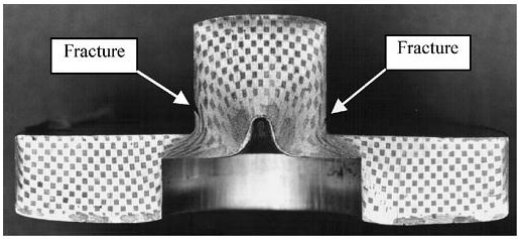


Figure 1 The sheet metal extrusion defects[4]

การอัดรีดขึ้นรูปโลหะแผ่นในกระบวนการไฟน์แบลงค์แบบไร้แหวนจิก มักเกิดปัญหาจุดบกพร่องขอบโค้งรอบหลุมกดอย่างมาก เนื่องจากวัสดุมีความอิสระในการเคลื่อนไหลตัวทางด้านข้างและขนานผิวหน้าแม่พิมพ์ดาย การลดจุดบกพร่องในลักษณะขอบโค้งรอบหลุมกดได้ด้วยการออกแบบชุดแม่พิมพ์ไฟน์แบลงค์ ให้มีการบังคับไม่ให้เนื้อวัสดุเคลื่อนไหลตัวตามแนวขนานกับผิวหน้าแม่พิมพ์ดายด้วยวงแหวนบังคับตำแหน่ง (Guide ring)[7, 8] แต่อาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เมื่อเพิ่มขนาดของหลุมกดหรืออัตราส่วนการอัดขึ้นรูป ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาเพื่อแรงกดยึดชิ้นงานที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานด้วยการวิเคราะห์จากแบบจำลองวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มาช่วยในการศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบแม่พิมพ์

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

การศึกษานี้ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุในกระบวนการขึ้นรูปโลหะด้วยการจำลองตามระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์บนทฤษฎีการเปลี่ยนรูปถาวร โดยวัสดุชิ้นงานอัดรีดขึ้นรูปโลหะแผ่นเป็นเหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS S45C ความหนา 5 มม. ลักษณะรูปร่างชิ้นงานเป็นวงกลมสมมาตรรอบแกน มีสมบัติวัสดุแบบยืดหยุ่น-พลาสติก (Elastic-Plastic) เงื่อนไขปัญหาแบบ 2 มิติ สมมาตรรอบแกน กำหนดให้พั้นช์ ดาย และแผ่นปลดงานกำหนดเป็นแบบวัสดุแข็งเกร็ง (Rigid) ขนาดรัศมีขอบคมของแม่พิมพ์ 0.1 มม. การปรับเปลี่ยนเมชและลบเมชด้วยเทคนิคการรีเมช (Remeshing) ในการจำลองกระบวนการอัดรีดขึ้นรูป ดังแสดงในรูปแสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ใน Figure 3

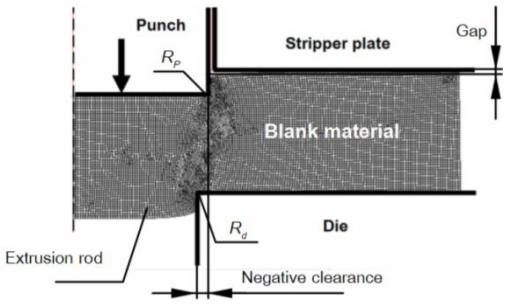


Figure 3 The finite element model

สมบัติทางกลของวัสดุและสมการแทนพฤติกรรมของวัสดุจากการทดสอบการดึง อัตราส่วนของการอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion ration) 4 เท่าตัว เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของขนาดรูดาย 10 มม. ดังรายละเอียดในตารางแสดงเงื่อนไขของแบบจำลองใน Table 1

Table 1 The finite element conditions

Simulation model	Axisymmetric model
Object type	Work piece : elastic-plastic Punch/die : rigid
Flow curve equation	$\bar{\sigma} = 850\bar{\varepsilon}^{0.478} + 385$
Extrusion ratio (R)	4
Punch/die radius	R_p, R_d = 0.10 mm
Counter punch force (F_C)	- Not defined. - For re-action analysis.
Blank holder force (F_B)	5, 10 and 20 of blanking force - For re-action analysis.
Guide ring force (F_R)	- Not defined. - For re-action analysis.
Fracture criterion equation	Oyane (constant α 1, Critical fracture value C 0.157)
Friction coefficient (μ)	Friction contact = 0.12

ผลการศึกษา

แรงกระทำในแม่พิมพ์อัดรีดขึ้นรูปโลหะแผ่น

Figure 4 แสดงอิทธิพลของแรงกดยึดชิ้นงานที่มีผลต่อแรงอัดรีดขึ้นรูปโลหะแผ่น พบว่ามีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน แรงสำหรับการอัดรีดขึ้นรูปโลหะแผ่นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนสิ้นสุดกระบวนการ และขนาดแรงต่างกันตามขนาดพื้นที่ในการรับแรงหรือขนาดของหลุมกด โดยมีค่าแรงสูงสุดที่ 300 350 และ 370 กิโลนิวตันตามแรงกดยึดชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ

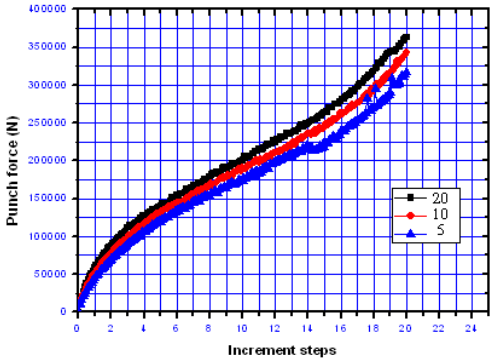
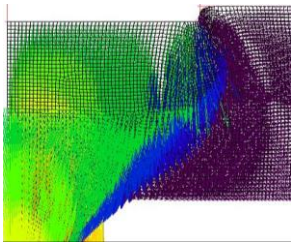
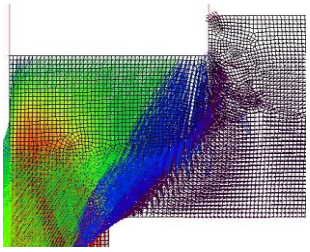


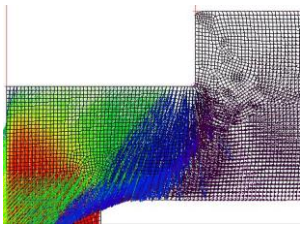
Figure 4 The extrusion force



a) Punch penetration 10%



b) Punch penetration 20%



c) Punch penetration 40%

Figure 5 The material flow behavior in process for blank hold force of 10%

พฤติกรรมการไหลเคลื่อนตัวของเนื้อวัสดุ

เมื่อแม่พิมพ์พันช์เริ่มกดลงในเนื้อวัสดุงานจะส่งผลให้เนื้อวัสดุงานเกิดการเคลื่อนไหลตัวไปตามการทิศทางการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์พันช์ เป็นผลทำให้เกิดขอบโค้งรอบหลุมกด และเมื่อแม่พิมพ์พันช์เคลื่อนที่

แทรกในเนื้อวัสดุงานในระยะหนึ่งจะเกิดการตัดเฉือนเนื้อวัสดุ ขณะเดียวกันนี้เนื้อวัสดุงานส่วนหนึ่งได้เคลื่อนไหลตัวออกด้านข้างขนานตามแนวผิวหน้าของแม่พิมพ์ดายและเคลื่อนไหลตัวย้อนเข้าหาผิวหน้าแบลงโฮลเดอร์ เพื่อเคลื่อนไหลตัวเข้าแทนที่ว่างบริเวณขอบโค้งรอบหลุมกด ดังรูปแสดงพฤติกรรมของวัสดุชิ้นงานภายใต้กระบวนการอัดขึ้นรูปโลหะแผ่นใน Figure 5

ซึ่งการเกิดจุดบกพร่องแบบขอบโค้งรอบหลุมกดจะมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนการอัดขึ้นรูปที่สูงขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กับแรงกระทำที่แบลงโฮลเดอร์และวงแหวนบังคับตำแหน่ง ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น ดังนั้นจุดบกพร่องแบบขอบโค้งรอบหลุมกดจึงไม่ปรากฏในกรณีชุดแม่พิมพ์ที่มีอัตราส่วนการอัดเท่ากับร้อยละ 40 ของระยะกดพันช์ดังแสดงใน Figure 6

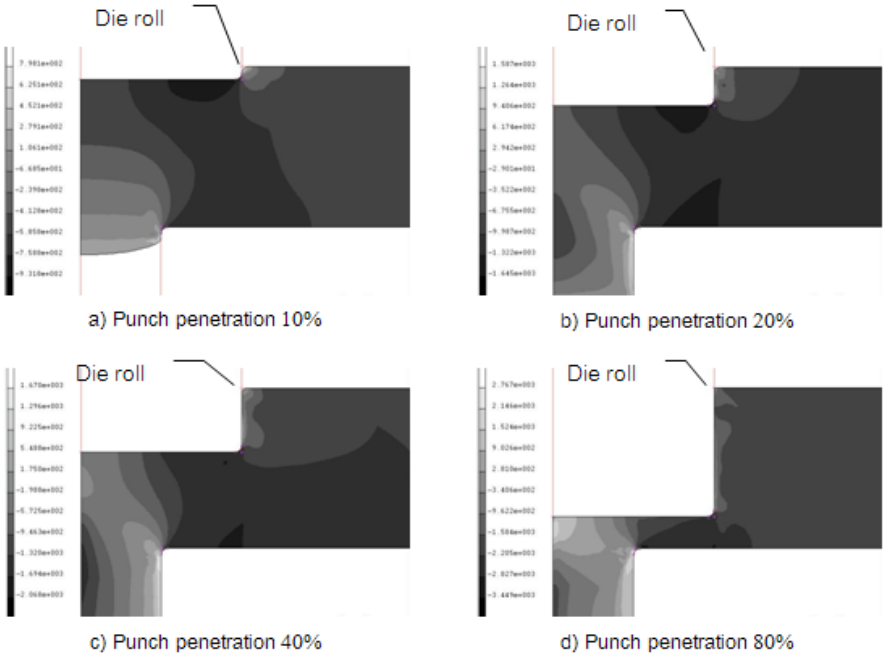


Figure 6 The die roll effect in process for blank hold force of 10%

วิจารณ์และสรุปผล

เมื่อพิจารณาคุณภาพทั่วไปของชิ้นงานอัดรีดขึ้นรูปโลหะแผ่นที่มีแรงกดยึดชิ้นงานที่ระดับต่างๆ พบว่าจุดบกพร่องของการแตกที่ผิวของแท่งชิ้นงานและการยุบตัวที่ส่วนท้ายของชิ้นงานจะมีแนวโน้มลดลงขึ้นตามแรงกดยึดชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น แต่สำหรับจุดบกพร่องแบบขอบโค้งกลับลดลงและหายไปเมื่ออัตราส่วนการอัดรีดที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องอัตราส่วนการอัดรีดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาตรของเนื้อวัสดุที่สามารถเคลื่อนไหลตัวเข้าปากรูแม่พิมพ์ และเคลื่อนไหลตัวขนานไปตามแนวผิวหน้าของแม่พิมพ์ดาย แต่ถูกจำกัดไม่ให้เกิดการขยายตัวออกด้านข้างด้วยแรงกดยึดชิ้นงาน จึงส่งผลให้เนื้อวัสดุงานเคลื่อนไหลตัวย้อนขึ้นสู่ผิวหน้าแผ่นกดแบลงโฮลเดอร์บริเวณมุมที่เกิดขอบโค้ง (Die roll) จึงช่วยลดปัญหาจุดบกพร่องแบบขอบโค้งและรอยแตกของผิวภายในหลุมอัดลดลง

ผลจากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ปรากฏว่าระดับของแรงกดยึดชิ้นงานมีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นหรือการลดลงของจุดบกพร่องได้ ดังนั้น ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์และกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปโลหะแผ่น จึงควรให้ความสำคัญเกี่ยวกับอัตราส่วนการอัดขึ้นรูปดังกล่าว และเพื่อทวนสอบผลการจำลองควรทดลองการอัดรีดขึ้นรูปโลหะแผ่นกับวัสดุงานจริงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่มอบทุนการวิจัยและอำนวยความสะดวกสำหรับเครื่องมือเครื่องจักรในการทดลอง และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้ความอนุเคราะห์ซอฟแวร์สำหรับวิเคราะห์ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. สุทัศน์ ทิพย์ปรักมาศ, มาซาฮิโกะ จิน และมาซาโอะ มูราคาวา. การวิเคราะห์การไหลของเนื้อวัสดุของรอยฉีกขาดในงานตัดไฟน์แบลงค์. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 2550;30(2):293-300.
2. Bopit Bubphachot. Microstructure affecting cutting quality in fine blanking process. American J. of Engineering and Applied Sciences 2009;2(4):665-668.
3. Chen Z.H., Tang C.Y., Chan L.C., and Lee T.C. Simulation of the sheet metal extrusion process by the enhanced assumed strain finite element method. Journal of Materials Processing Technology 1999;91:250-256.
4. Zheng P.F., Chan L.C., and Lee T.C. Numerical analysis of the sheet metal extrusion process. Finite Elements in Analysis and Design 2005;42:189-207.
5. Fan W.F., and Li J.H. An investigation on the damage of AISI-1045 and AISI-1025 steels in fine-blanking with negative clearance. Materials Science and Engineering A 2009;499: 248-251.
6. Kenji Hirota, Hiroki Yanaga, and Katsunori Fukushima. Experimental and numerical study on blanking process with negative clearance. Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering 2009;3(2):247-255.
7. C. Suriyapha, S. Yiemchaiyaphum and B. Bubphachot. Die radius affecting sheet metal extrusion quality for fine blanking process. American J. of Engineering and Applied Sciences 2010;3(2):476-481.
8. Suthep Yiemchaiyaphum, Jin Masahiko, and Sutasn Thipprakmas. Effect of back-up on dull area in fine blanking process. Proceedings of the 3rd Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference: Faculty of Engineering, Khonkaen University, Thailand; 2010. p. 656-661.