

การศึกษาอิทธิพลของรูปทรงดรอปีตในงานลากขึ้นรูปชิ้นงานไม่สมมาตร โดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

A Study of the Effect of Drawbead Shapes in Non-Symmetry Deep Drawing Process by Using Finite Element-Simulation

ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง¹, ขวาลิต อินปัญญา², และศิริชัย ท่อสกุล^{3*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กรุงเทพมหานคร 10120

^{2,3} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

E-mail: sirichai.to@en.rmutt.ac.th^{3*}

Teerayut Karnchanaseangthong¹, Chwalit Inpunyo², and Sirichai Torsakul^{3*}

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology

Krungthep, Bangkok 10120

^{2,3} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology

Thanyaburi, Phatumthani 12110

E-mail: sirichai.to@en.rmutt.ac.th^{3*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการไหลตัวของโลหะแผ่นในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานไม่สมมาตร โดยการใช้ดรอปีตที่มีรูปร่างที่ต่างกัน และทำการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การศึกษานี้ใช้ดรอปีตที่มีรูปร่าง ครึ่งวงกลม, ตัววี และ สี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาเหล็กเกรดเย็นเกรด SPCD ทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขแรงกดขึ้นงาน(blank holder force) 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงที่ใช้ขึ้นรูป ผลการทดลองพบว่ารูปทรงของดรอปีต มีผลกระทบต่อการไหลตัวของโลหะแผ่น ที่ดรอปีตหน้าตัดครึ่งวงกลม ทำให้ชิ้นงานไม่เกิดการฉีกขาดและรอยย่นลดลง การจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดลองจริง (Experiment) แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการขึ้นรูปโลหะแผ่น ที่มีแนวโน้มของผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน ผลการเปลี่ยนรูปร่างหลังการขึ้นรูปจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สอดคล้องกับรูปร่างจริง ซึ่งการประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถทำนายและหาแนวทางการแก้ไขรูปทรงของดรอปีตในการลากขึ้นรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก ดรอปีต, การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์, การขึ้นรูปโลหะแผ่น

Abstract

This research aims to study the flow of steel sheet in unsymmetrical shape forming process. The process begins with using different shape of drawbead and then simulates finite element method. The shape of drawbeads are semicircle, v shape, and irregular quadrilateral. The materials used in this study is SPCD cold rolled steel testing under blank holder force condition of 50 percent of shape forming pressure. The test result shows that the shape of drawbead and pressure effects the flow of steel sheet. The sheet flows better under semicircle shaped drawbead. This keeps the sheet from being torn apart and reduces wrinkle. Finite Element Simulation shows a coherent result in the behavior of shape forming for steel sheet. The result of shape

transformation from Finite Element Simulation is coherent to the original shape. The adaptation of Finite Element can effectively predict and provide a way for changing drawbead shape in sheet metal forming process.

Keywords: Drawbead, Finite element-simulation, Sheet metal forming

1. บทนำ

กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่ใช้กันอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม จะมีกระบวนการหรือวิธีในการขึ้นรูปหลายวิธีด้วยกัน การดึงขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย บางครั้งในการดึงขึ้นรูปนั้น วัสดุจะถูกจับยึดระหว่างตาย (Die) และแรงกดขึ้นงาน (Blank holder Force) และจะถูกกดขึ้นรูปด้วยพunch (Punch) วัสดุที่ถูกกดจะเปลี่ยนไปตามรูปร่างของพunch ภายใต้สภาวะที่มีผลกระทบต่อการขึ้นรูปต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความเร็วในการขึ้นรูป คุณสมบัติด้านแอนไอโซทรอปี และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความเสียดทานและแรงกดขึ้นงาน แต่อย่างไรก็ตามแผ่นกดขึ้นงานมิได้มีผิวสัมผัสกันตลอดทั้งวัสดุขึ้นงาน จึงเป็นการยากที่จะควบคุมการขึ้นรูปลึกจากแผ่นกดขึ้นงานได้แต่เพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะขึ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรเนื่องจากมีอัตราการไหลตัวของวัสดุที่ไม่เท่ากัน [1] เพื่อให้การไหลตัวของวัสดุดีขึ้น จึงมีการนำเอาดรอพเบิดมาช่วยในการทำงาน

ดรอพเบิดจะถูกใช้ในการควบคุมการไหลของวัสดุเพื่อป้องกันมิให้เกิดรอยย่นหรือให้เกิดรอยย่นน้อยที่สุด โดยดรอพเบิดจะถูกติดอยู่ที่แผ่นกดขึ้นงาน ขณะที่มีการขึ้นรูปลึกวัสดุจะไหลผ่านดรอพเบิด ภายในดรอพเบิดวัสดุจะเกิดการดัดให้ไหลไปในทิศทางหนึ่งและถูกดัดกลับมาในทิศทางตรงกันข้ามก่อนที่จะไหลดัดกลับไปยังทิศทางเดิมจึงทำให้มีการชะลอการไหลของวัสดุไม่ให้ไหลเร็วเกินไป [2,3] อันเป็นสาเหตุของการเกิดรอยย่น ก่อนไหลเข้าช่องตาย

ได้มีการวิจัยมากมายที่ทำการศึกษากาธิพลของดรอพเบิด Meiders, et al [4] ได้ศึกษาการนำดรอพเบิดมาใช้กับการขึ้นรูปโลหะโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ตัวแปรที่สำคัญประกอบด้วย แรงในการควบคุมการไหลตัวของโลหะ (Drawbead Restraining Force) การเปลี่ยนแปลงความหนาแบบพลาสติก, และแรงยกดรอพเบิด

(Drawbead Lift Force) ได้มีการจำลองดรอพเบิดแบบสองมิติ และการทดลองจริงค่าความแตกต่างทางคณิตศาสตร์ทั้งสองค่าจะเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงความหนาแบบพลาสติกได้ M.Samuel [5] ได้ศึกษาอิทธิพลรูปทรงของดรอพเบิดในการขึ้นรูปโลหะ ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการสร้างแบบจำลองของดรอพเบิดเปรียบเทียบกับรูปทรงของดรอพเบิดระหว่างร่องเบิดที่เป็นแบบครึ่งวงกลมกับร่องเบิดที่เป็นแบบสี่เหลี่ยมและวิเคราะห์ความแตกต่างของการไหลตัวของวัสดุในการใช้ร่องเบิดทั้งสองชนิดเปรียบเทียบกับ การทดลอง บุญส่ง จงกลณี [1] ได้ศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์ที่จะใช้ในการลากขึ้นรูปลึกขึ้นงานที่มีลักษณะไม่สมมาตร เพื่อใช้ในการทดสอบอิทธิพลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการขึ้นรูป 4 ตัวแปร รูปร่างแผ่นเปล่า (Blank geometry) ขนาดแรงกดขึ้นงาน (BHF) ชนิดของสารหล่อลื่น (Lubricant type) และรูปร่างดรอพเบิด (Drawbead Geometry)

ดรอพเบิดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในงานอุตสาหกรรม การขึ้นรูปโลหะแผ่นมีหลายรูปทรง เช่น ดรอพเบิดแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า (Trapeziform Drawbead), ดรอพเบิดแบบหน้าตัดครึ่งวงกลม (Half-Round Drawbead) ดรอพเบิดแบบหน้าตัดรูปตัววี (V-Shaped Drawbead) เพื่อเป็นข้อมูลในการนำดรอพเบิดไปใช้งาน ต้องมีการทำนายประสิทธิภาพของดรอพเบิดโดยการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบจากดรอพเบิดในการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยคอมพิวเตอร์ [6] ควรเลือกใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element) เพื่อให้ได้ผลวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำ แต่อย่างไรก็ตามถ้าต้องการผลวิเคราะห์ที่มีความละเอียดแม่นยำมากขึ้นจะต้องใช้จำนวนการแบ่งชิ้นงาน (Element) เป็นจำนวนมากโดยเฉพาะตรงบริเวณรัศมีดรอพเบิดมีขนาดเล็ก ทำให้ต้องใช้เวลามากและเครื่องคอมพิวเตอร์ต้องมีประสิทธิภาพสูงยิ่งมีจำนวนชิ้นงานที่มีความละเอียดมากเท่าใด ย่อมหมายถึงว่าต้องใช้เวลาและประสิทธิภาพของเครื่องมากเท่านั้น ด้วยเหตุ

นี้ในการวิจัยจึงต้องกำหนดรูปร่างดรอปปิดให้มีความเหมาะสมและมีการควบคุมแรงในการกดขึ้นงานให้คงที่ ซึ่งจะมีเฉพาะการเปลี่ยนแปลงการกระจายความเครียด (Strain) และความหนาของชิ้นงานที่เปลี่ยนไป

แนวคิดของงานวิจัยนี้มีความสนใจศึกษาผลกระทบจากดรอปปิดที่มีผลการควบคุมการไหลของโลหะแผ่น โดยวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) เพื่อมุ่งเน้นการประยุกต์รูปร่างของดรอปปิด โดยการทดลองทำการเปรียบเทียบดรอปปิดหน้าตัดรูปตัววี ดรอปปิดหน้าตัดครึ่งวงกลม และดรอปปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ที่มีผลต่อการไหลตัวของโลหะในการลากขึ้นรูปโลหะแผ่นที่มีรูปทรงไม่สมมาตรโดยวิธีการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาผลการวิเคราะห์กับผลการทดลองซึ่งจะสามารถช่วยลดเวลาในการทดลองแม่พิมพ์เพื่อการผลิตจริงต่อไป

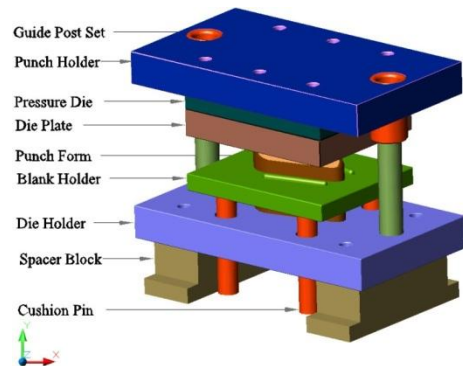
2. การดำเนินงาน

การดำเนินงานแบ่งออกเป็นดังนี้ ส่วนแรกคือการทดลองลากขึ้นรูปขึ้นงานจริง เพื่อวัดความหนาและบริเวณที่เกิดความเสียหาย ส่วนที่สองคือการจำลองการขึ้นรูปด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการทดลองจริงกับการจำลองขึ้นรูปด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.1 เครื่องมือและการทดลอง

2.1.1 แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป

แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปแบบไม่สมมาตรนั้นแสดงรายละเอียดและส่วนประกอบดังรูปที่ 1 ซึ่งมีหลักการทำงานของแผ่นรองแม่พิมพ์ล่าง (Die holder) ใช้จับยึดกับแท่นวางแม่พิมพ์ (table) และยึดแผ่นรองตาย (Pressure die) และแผ่นตาย (Die holder) จะยึดกับชุดบน (Upper shore) มีชุดนำการป้อน (Guide post) เป็นชุดนำเพื่อความเที่ยงตรงในการป้อนขึ้นลง และชุดล่าง (Lower shore) จะประกอบด้วยพินช์ (Punch) แผ่นกดยึด (Blank holder) มีหน้าที่ในการกดยึดชิ้นงานโดยส่งถ่ายแรงจากชุดพินช์ (Cushion pin) ซึ่งสามารถปรับแรงได้และแผ่นพินช์โฮลเดอร์ (Punch holder) จะจับยึดกับแท่นเครื่องป้อน



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปแบบไม่สมมาตร

2.1.2 ดรอปปิด

รูปทรงของดรอปปิดแบ่งออกเป็น 3 รูปทรง ได้แก่ ดรอปปิดหน้าตัดครึ่งวงกลม (Haft-Round Drawbead), ดรอปปิดหน้าตัดสามเหลี่ยม (V-Shaped Drawbead), ดรอปปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า (Trapeziform Drawbead) แสดงดังรูปที่ 2-4

2.1.3 วัสดุทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (low carbon steel) SPCD ที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบเย็น ส่วนมากจะใช้นิโอดสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ จากการทดสอบหาสมบัติเชิงกล เพื่อหาอัตราส่วนความเครียดถาวร (Anisotropy), เลขชี้กำลังการทำให้แข็งด้วยความเครียด (Strain-Hardening Exponent, n - values), และสัมประสิทธิ์ความต้านแรง (Strength Coefficient, K) ของแผ่นเหล็กรีดเย็น SPCD ที่มีความหนา 1.0 มิลลิเมตร ตามวิธีการของ ASTM E517 vol.01.03.(1993), และ ASTM E 646-91 vol.03.01.(1993) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลแผ่นเหล็กรีดเย็น SPCD

ชนิดของวัสดุ	เลขชี้กำลังการทำให้แข็งด้วยความเครียด (n)	สัมประสิทธิ์ความต้านแรง (K)	อัตราส่วนความเครียดพลาสติก (r)			
			R_0	R_{45}	R_{90}	$\bar{R}$
SPCD	0.14	366	1.301	1.365	1.468	1.378



รูปที่ 2 ดรอปปิดหน้าตัดครึ่งวงกลม
(Haft-Round Drawbead)

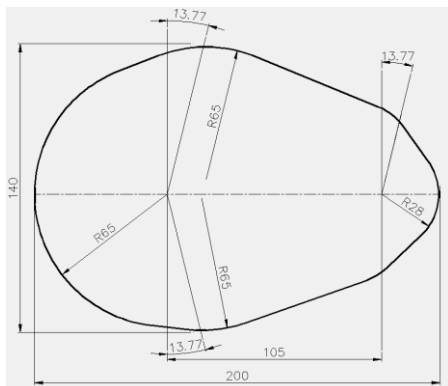


รูปที่ 3 ดรอปปิดหน้าตัดรูปตัววี (V-Shaped Drawbead)



รูปที่ 4 ดรอปปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า
(Trapeziform Drawbead)

การเตรียมแผ่นชิ้นงานโดยการตัดแผ่นงานตามแนวรีดมีขนาด 220 x 160 มิลลิเมตร ประมาณค่าโดยการคำนวณจากสมการพื้นฐานขนาดของแผ่นงาน (Blank size) นำมาประยุกต์กับรูปทรงที่ทำการศึกษาจนได้ขนาด และรูปร่าง โดยขยายขนาดของแผ่นตัดเปล่า (Blank size) ออกอีก 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผ่นตัดเปล่าคำนวณโดยการประมาณค่า

2.1.4 การทดลองลากขึ้นรูป

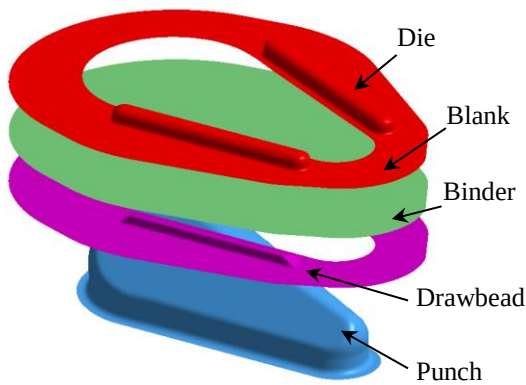
นำแม่พิมพ์ที่ประกอบเสร็จแล้ว ไปติดตั้งบนเครื่องอัด ไฮดรอลิกส์ (Hydraulic press) ขนาด 80 ตัน จับยึดแม่พิมพ์ตัวบนและตัวล่างให้แน่น ดังแสดงในรูปที่ 6 จากนั้นทำการทดลองลากขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรโดยใช้ดรอปปิดที่มีรูปทรงต่างกัน และทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขแรงกดขึ้นงาน (blank holder force) 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงที่ใช้ขึ้นรูป ใช้สารหล่อลื่น DRAW 359H ในการทดลองลากขึ้นรูปทุกตัวแปร



รูปที่ 6 การติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊มไฮดรอลิกส์ 80 ตัน

2.2 การจำลองการลากขึ้นรูป

การจำลองการลากขึ้นรูปโลหะแผ่นที่มีรูปทรงไม่สมมาตรด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) โดยใช้โปรแกรม Dynaform 5.6 ในการวิเคราะห์ ในส่วนของโมเดลแม่พิมพ์ และแผ่นเปล่า สำหรับการจำลอง ดังรูปที่ 7 ถูกสร้างด้วยโปรแกรม CAD (Computer Aided Design) และบันทึกเป็นไฟล์สกุล IGES Files สำหรับการ Import เข้าสู่โปรแกรม Dynaform 5.6 เพื่อสร้างแบบจำลองตาข่าย (Mesh Model) และประมวลผล

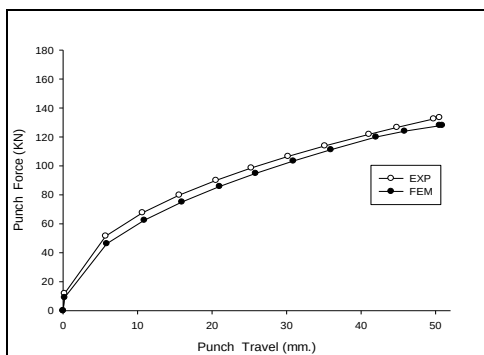


รูปที่ 7 ขั้นตอนการสร้างชิ้นส่วนเครื่องมือและชิ้นงาน

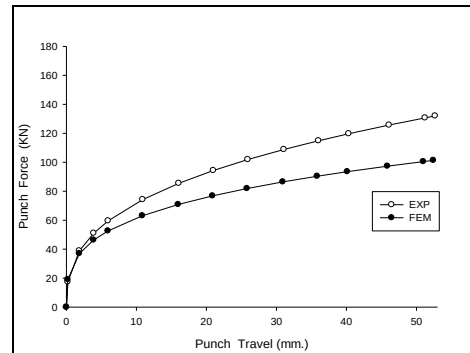
3. ผลการทดลอง

จากการทดลองลากชิ้นรูปขึ้นงานไม่สมมาตร โดยใช้ดรอปปิดที่มีรูปทรงต่างกัน พบว่าแรงที่ใช้ในการลากชิ้นรูปมีความแตกต่างกัน ดังรูปที่ 8 พบว่ารูปทรงของดรอปปิดมีผลต่อแรงลากชิ้นรูป รูปที่ 9 การใช้ดรอปปิดหน้าตัดครึ่งวงกลมใช้แรงในการลากสูงสุดเท่ากับ 133 kN รูปที่ 10 การใช้ดรอปปิดหน้าตัดตัววีใช้แรงในการลากสูงสุดเท่ากับ 138 kN รูปที่ 10 การใช้ดรอปปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าใช้แรงในการลากสูงสุดเท่ากับ 150 kN

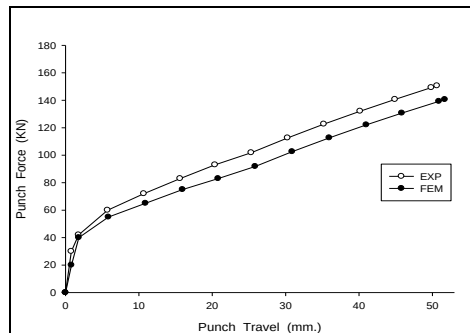
เมื่อเปรียบเทียบแรงลากชิ้นรูปการทดลองจริงกับการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าแรงลากชิ้นรูปจากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ มีค่าต่ำกว่าการขึ้นรูปจริง ถึงแม้ว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของแรงแต่ละช่วงการกดลึงจะใกล้เคียงกัน



รูปที่ 8 แรงลากชิ้นรูปโดยใช้ Half-Round Drawbead

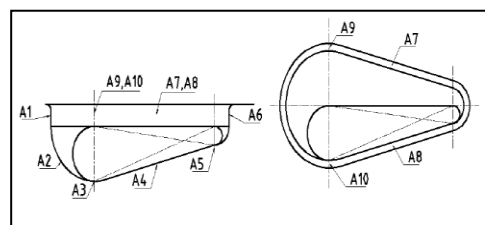


รูปที่ 9 แรงลากชิ้นรูปโดยใช้ V-Shaped Drawbead



รูปที่ 10 แรงลากชิ้นรูปโดยใช้ Trapeziform Drawbead

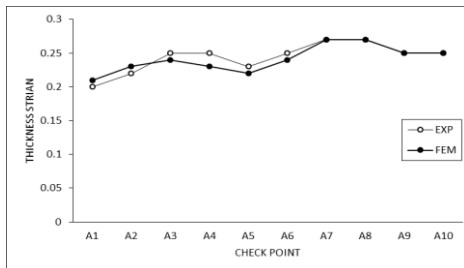
ชิ้นงานหลังการลากชิ้นรูปถูกนำมาวิเคราะห์ความเครียดแนวความหนา ที่เกิดจากการยืดตัวของแผ่นชิ้นงานในแต่ละจุด โดยบริเวณจุดที่ตรวจวัดความหนาบนชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 11



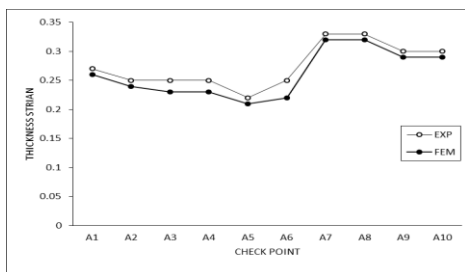
รูปที่ 11 บริเวณจุดที่ตรวจวัดความหนาบนชิ้นงาน

การวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงาน SPCD จากการวัดชิ้นงานทั้ง 10 จุด พบว่าความเครียดแนวความหนา มีความแตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากการไหลตัวของวัสดุที่ไม่เท่ากันเนื่องจากชิ้นงานมีรูปทรงไม่สมมาตร ดังรูปที่ 11 แสดงกราฟความเครียดแนวความหนาของชิ้นงาน

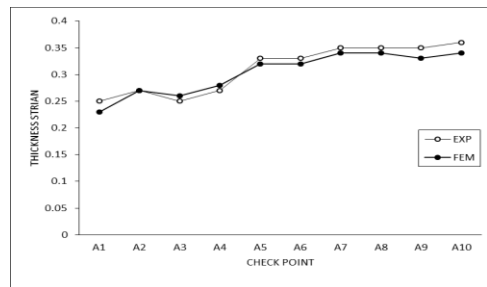
ที่ผ่านการลากขึ้นรูปโดยใช้ดรอปปิด 3 รูปทรง และใช้แรงกดชิ้นงานที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการลากขึ้นรูปด้วยดรอปปิดหน้าตัดครึ่งวงกลมดังรูปที่ 12 มีความเครียดแนวความหนาเฉลี่ยสูงสุดที่จุด A7 และ A8 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 27 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ดรอปปิดหน้าตัดตัววีดังรูปที่ 13 มีความเครียดแนวความหนาเฉลี่ยสูงสุดที่จุด A7 และ A8 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 33 เปอร์เซ็นต์ แต่ชิ้นงานที่ผ่านการลากขึ้นรูปด้วยดรอปปิดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าดังรูปที่ 14 นั้น พบว่ามีความเครียดแนวความหนาเฉลี่ยสูงสุดที่จุด A10 แต่ A7 และ A8 ก็ยังถือว่ามีความสูงเช่นกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการไหลตัวของชิ้นงานที่แตกต่างกันตามรูปทรงของดรอปปิด และจากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ความเครียดแนวความหนาของชิ้นงานมีความใกล้เคียงกันทุกตำแหน่งการวัด เช่นเดียวกับกับรูปร่างของชิ้นงานระหว่างการทดลองลากขึ้นรูปกับการการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีความสอดคล้องกันดังรูปที่ 15



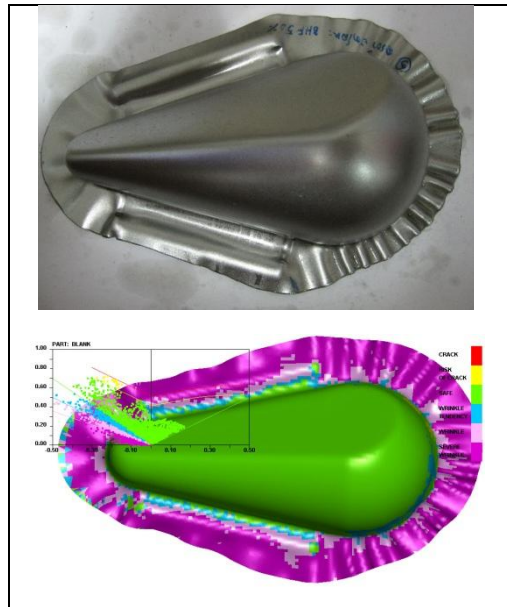
รูปที่ 12 ความเครียดแนวความหนาโดยใช้ Half-Round Drawbead



รูปที่ 13 ความเครียดแนวความหนาโดยใช้ V-Shaped Drawbead



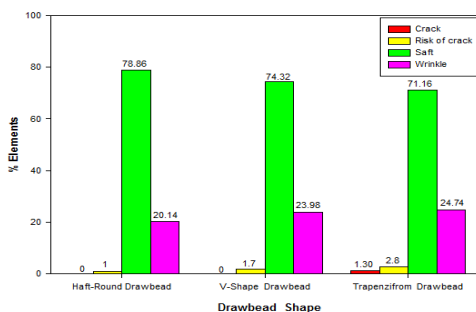
รูปที่ 14 ความเครียดแนวความหนาโดยใช้ Trapeziform Drawbead



รูปที่ 15 เปรียบเทียบร่างของชิ้นงานระหว่างการทดลองลากขึ้นรูปกับการการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ Half-Round Drawbead

ในการใช้ดรอปปิดทั้ง 3 รูปทรงนั้นยังพบว่าชิ้นงานเกิดรอยย่นที่ผนังชิ้นงานและขอบปึกชิ้นงานบ้างเล็กน้อย จากรูปที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละการเกิดรอยย่นกับรูปทรงของดรอปปิด ซึ่งได้จากแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป (Forming Limit Diagram :FLD) พบว่าเมื่อเปลี่ยนรูปทรงของดรอปปิดร้อยละของรอยย่นมีค่าเปลี่ยนไปตามรูปร่างของดรอปปิดที่ต่างกัน ซึ่งดรอปปิดหน้าตัดครึ่งวงกลม เกิดรอยย่นน้อยที่สุด กล่าวคือเมื่อดรอปปิดสัมผัสกับแผ่นชิ้นงานและมีแรงกดชิ้นงานที่เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป เกิดการดรอว์ (Draw) และการดึงยืดขึ้นรูป (Stretching)

ที่เพียงพอสำหรับการไหลตัวของวัสดุ เกิดจากปลายโค้งมนของดรอพบีตส่งผลให้ความเค้นอัดรอบแนวแกนลดลง จึงทำให้อายุการใช้งานลดลง ส่วนดรอพบีตหน้าตัดตัววีพบว่าเกิดรอยย่นมากกว่าดรอพบีตหน้าตัดครึ่งวงกลม เนื่องจากดรอพบีตมีรูปทรงปลายแหลมและรัศมีของดรอพบีตน้อยทำให้วัสดุเกิดการดัดมากเกินไป โลหะไหลตัวได้น้อยขึ้นงานเกิดการดึงยึดขึ้นรูปสูง และการดรอพบีตลดลงส่งผลให้ชิ้นงานมีโอกาสยึดขึ้นรูปสูงเกินขีดจำกัดบริเวณขอบชิ้นงานเกิดความเค้นอัดสูงขึ้นส่งผลให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้น ในส่วนของดรอพบีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าเกิดรอยย่นมากที่สุดและมีความเสี่ยงต่อการฉีกขาด รูปทรงของดรอพบีตส่งผลโลหะไหลตัวได้น้อยเนื่องจากมีพื้นที่ตั้งฉากกับแรงกดมากเกินไป ทำให้เกิดความเค้นตึงฉากสูงส่งผลให้เกิดการต้านทานการไหลตัว



รูปที่ 16 แผนภูมิของร้อยละเอลิเมนต์ในแต่ละชนิดของดรอพบีต

4. สรุปผล

จากการทดลองพบว่า รูปทรงของดรอพบีตนั้น มีผลต่อ การเกิดรอยย่นและ การฉีกขาด โดยวัดเป็นจำนวนเอลิเมนต์ที่เกิดขึ้น พบว่ารูปทรงของดรอพบีตมีผลต่อความเครียดแนวความหนา, ฉีกขาด, และรอยย่น ดรอพบีตหน้าตัดครึ่งวงกลม เกิดรอยย่นน้อยที่สุดและไม่เกิดการฉีกขาด ในส่วนของดรอพบีตหน้าตัดรูปตัววีพบว่าเกิดรอยย่นมากกว่าดรอพบีตหน้าตัดครึ่งวงกลม ขณะที่ดรอพบีตด้วยดรอพบีตสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ดังรูปที่ 14 นั้น พบว่ามีความเครียดแนวความหนาเฉลี่ยสูงสุดที่จุด A10 แต่จุดที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่

เท่าเกิดรอยย่นมากที่สุดและมีความเสี่ยงต่อการฉีกขาดมากกว่าดรอพบีตรูปทรงอื่น

การเปรียบเทียบระหว่างการขึ้นรูปชิ้นงานจริงกับการจำลองการลากขึ้นรูปด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าสามารถแสดงถึงพฤติกรรมการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่มีแนวโน้มของผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน ซึ่งสามารถทำนายการเกิดการฉีกขาดได้ และรอยย่น เมื่อพิจารณาแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป (Forming Limit Diagram: FLD) ที่แสดงถึงเอลิเมนต์ที่เกิดการฉีกขาดและรอยย่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) สัญญาหมายเลข 123456789

เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญส่ง จงกลณี, การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรต่อสมบัติการขึ้นรูปของเหล็ก SPCC, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552.
- [2] Schuler GmbH, Metal Forming Handbook, Berlin: Springer-Verlag, 1998.
- [3] Meinders T. Developments in numerical simulations of the real-life deep drawing process. Doctoral Thesis, University of Twente-Enschede; 2000. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]
- [4] Meiders T, Geijselaers HJM, Huétink J. The implementation of an equivalent drawbead model in a finite element code for sheet metal forming. Journal of Material Processing Technology 1998;83(1-3):234-244.
- [5] Samuel M. Influence of drawbead geometry on sheet metal forming, Faculty of Engineering, Department of Production

Engineering and Machine Design, Mansoura
University, 2001.pp.94-103.

- [6] กิตติภักดิ์ รัตนจันทร์ , ผลกระทบจากครอว์บีตในการขึ้นรูปโลหะแผ่น, ปรินญาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย สาขาวิศวกรรมการผลิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543.[
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์
มหาบัณฑิต