



การศึกษาอิทธิพลแหวนจิกในกระบวนการตัดไฟน์แบลงค์กึ่ง โดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

พิสิษฐ์ ศรีน้อย^{1*} และ ศิริชัย ต่อสกุล²

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการตัดแบบไฟน์แบลงค์กึ่งของอะลูมิเนียมเกรด A11100-0 ความหนา 2 มิลลิเมตร จากแม่พิมพ์ 2 ชนิด คือ แบบแหวนจิกเดี่ยวและแบบแหวนจิกคู่ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง พบว่าความสูงของครีปที่เกิดจากการตัดเฉือน ด้วยกระบวนการไฟน์แบลงค์กึ่งแบบแหวนจิกเดี่ยว มีความแตกต่างกันเท่ากับ 9.68%

และในกระบวนการไฟน์แบลงค์กึ่งแบบแหวนจิกคู่มีความแตกต่างกันเท่ากับ 7.27% ในขณะที่การไหลตัวของเนื้อโลหะ และการกระจายตัวของความเค้นเฉือนของกระบวนการแหวนจิกคู่ เกิดขึ้นมากกว่าการตัดเฉือนด้วยแหวนจิกเดี่ยว

คำสำคัญ: ไฟน์แบลงค์กึ่ง แหวนจิก การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

¹ อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตกาฬสินธุ์
² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-1701-6136 อีเมล: Phisit01@hotmail.com



The Effect of V-ring Indenter Geometry in Fine-blanking Process by Using Finite Element-Simulation

Phisit Srinoi^{1*} and Sirichai Torsakul²

Abstract

This research is to study the shearing behavior of A11100-0 Grade Aluminum with the thickness of 2 mm from fine-blanking die, associated with single v-ring indenter and double v-ring indenter. The results obtained from the finite element-simulation to be compared with the actual experiment revealed that the height of burr caused by single v-ring indenter

fine-blanking had a discrepancy of 9.68% and 7.27% for the double v-ring indenter fine-blanking. Material flow and distribution of shear stress in double v-ring indenter type was more than those occurred in the v-ring indenter type.

Keywords: Fine-blanking, V-ring Indenter, Finite Element-Simulation

¹ Lecturer, Department of Mechanical Technology, Faculty of Agro-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Isan Kalasin Campus.

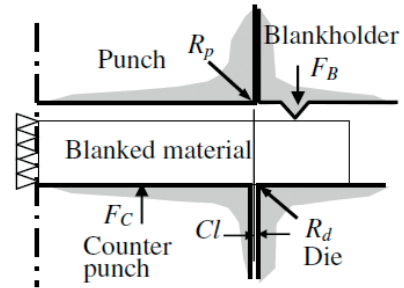
² Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi.

* Corresponding Author, Tel. 08-1701-6136, E-mail: Phisit01@hotmail.com

1. บทนำ

โดยทั่วไปแล้วกระบวนการตัดเฉือนโลหะ ด้วยแม่พิมพ์ ไฟน์แบลนดิ่งแบบใช้แหวนจิก เป็นเทคโนโลยีที่ออกแบบมาเพื่อ ปรับปรุงคุณภาพของผิวชิ้นงานหลังจากการตัดเฉือน ซึ่งแหวนจิกจะทำหน้าที่บังคับชิ้นงานไม่ให้เคลื่อนที่ ในทิศทางแนวอน ให้กำเนิดความเค้นอัดและช่วยลดความเค้นดึง [1],[2]

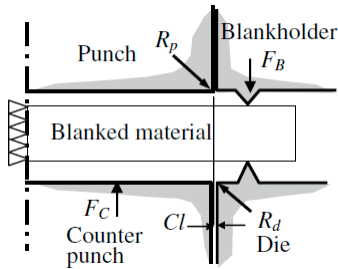
หนึ่งในปี 2010 Djavanroodi และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์กระบวนการไฟน์แบลนดิ่ง ด้วยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยศึกษาการบีบขึ้นรูปวัสดุอะลูมิเนียม AISI 1045 ความหนา 4.5 มิลลิเมตร ผลการจำลองพบว่า ตัวแปรที่สำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของส่วนที่เป็นผิวเรียบตรง (Burnish Zone) คือความสูงของแหวนจิก แรงกดพื้นซ์และแรงเหยียบชิ้นงาน และสภาวะของแรงดันของระบบเครื่องบีบ ในปี 2548 Suthep และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาวิจัยกระบวนการไฟน์แบลนดิ่งแบบไร้แหวนจิก โดยทำการศึกษาดังมุลลาดเอียงปลายพื้นซ์และรัศมีคมตัดพื้นซ์ พบว่าจากการทดลองมุลลาดเอียงปลายพื้นซ์ 20° ถึง 45° เมื่อเพิ่มมุลลาดเอียงปลายพื้นซ์มีผลทำให้ค่าแรงตัดเฉือนลดลง โดยมุลลาดเอียงของพื้นซ์ที่เหมาะสมที่สุด คือมุม $30^\circ \pm 2^\circ$ ความลึกมุลลาดเอียงปลายพื้นซ์ 0.5 มิลลิเมตร และรัศมีคมตัดพื้นซ์ 0.2 มิลลิเมตรในปี 2007 และ 2009 SutasnT [5],[6] ทำการศึกษาวิจัย การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของกลไกแหวนจิก ในกระบวนการไฟน์แบลนดิ่ง 4 ชนิด พบว่าการบีบตัดโดยใช้แหวนจิกชิ้นงาน สามารถเพิ่มความเค้นกดอัดในชิ้นงานก่อนการตัด และแหวนจิกยังเป็นสาเหตุของการหมุนของการไหลของวัสดุ ที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความเค้นกดอัดไฮดรอสแตติก โดยที่การใช้แหวนจิกคู่ให้ผลของความเค้นกดอัดไฮดรอสแตติก ได้สูงกว่าการใช้แหวนจิกเดี่ยว ส่งผลทำให้เกิดพื้นผิวแรงเฉือนที่สูงกว่า ในปี 2011 Adamus และคณะ [7] ทำการศึกษาวิจัยถึงการจำลองพฤติกรรมของกระบวนการไฟน์แบลนดิ่งกับแผ่นไทเทเนียม เกรด AW-1070A ทำการศึกษาระยะช่องว่างระหว่างตายกับพื้นซ์ และตำแหน่งของแหวนจิก



รูปที่ 1 การตัดเฉือนด้วยกระบวนการไฟน์แบลนดิ่งแบบแหวนจิกเดี่ยว [5]

พบว่าตำแหน่งของแหวนกดมีผลต่อการกระจายตัวของความเค้น และความเครียดที่ขอบตัดของชิ้นงานเนื่องมาจากอิทธิพลของแหวนกด ที่มีต่อการไหลตัวของเนื้อโลหะ ในปี 1998 และ 2002 Chen และคณะ [8],[9] ทำการศึกษาดังการเปลี่ยนแปลงของเนื้อโลหะ ในบริเวณที่เกิดการตัดเฉือนด้วยกระบวนการไฟน์แบลนดิ่ง เหล็กแผ่น SS400 ความหนา 5 มิลลิเมตร ด้วยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าระยะช่องว่างระหว่างพื้นซ์กับตาย มีผลต่อการไหลตัวและความเสียหายของวัสดุในบริเวณของการตัดเฉือน (Shearing Zone) ในขณะเดียวกัน การเกิดความเค้นสถิต (Hydrostatic Stress) ที่บริเวณการตัดเฉือนมีความสำคัญ ต่อการวิเคราะห์คุณภาพของพื้นผิวของชิ้นงานที่ถูกตัดเฉือน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งการทดลอง การตัดโดยใช้แหวนจิก และการศึกษาพฤติกรรมการตัดโดยใช้การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ จะเห็นได้ว่าแหวนจิกเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญ ในกระบวนการไฟน์แบลนดิ่งเป็นอย่างมาก เนื่องจากการออกแบบแหวนจิกจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของชิ้นงาน ความเร็วในการไหลตัวของวัสดุ และความเค้นที่เกิดขึ้นในระหว่างการตัดเฉือน สำหรับการศึกษาวิจัยฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาดังพฤติกรรมการตัดวัสดุอะลูมิเนียม A11100-0 ความหนา 2 มิลลิเมตร ในกระบวนการไฟน์แบลนดิ่ง ด้วยการไร้แหวนจิกแบบเดี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 1 และแหวนจิกแบบคู่ดังแสดงในรูปที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองจริง



รูปที่ 2 การตัดเฉือนด้วยกระบวนการไฟน์แบลนคิงแบบแหวนจิกคู่ [5]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

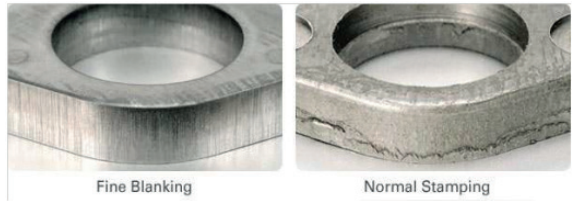
2.1 กระบวนการไฟน์แบลนคิง

ไฟน์แบลนคิง (Fine Blanking) คือกระบวนการขึ้นรูปโลหะ ที่นำเอาเทคโนโลยีของกระบวนการขึ้นรูปโลหะและงานรีดเย็นมารวมไว้ในกระบวนการเดียวกันเป็นกระบวนการที่สามารถลดขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนลง และทำให้ขอบงานมีความเรียบโดยไม่ต้องลบครีบบคม ชิ้นงานไม่เกิดการโค้งงอ นอกจากนี้ยังให้ปริมาณการผลิตสูงด้วย ความแตกต่างระหว่างขั้นแรกและขั้นสุดท้ายที่ผลิตมีน้อยมากและงานที่ได้นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมากกับงานตัดเฉือนแบบธรรมดาที่จะเกิดรอยตัดเฉือนประมาณ 1/3 ของความหนาชิ้นงานเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3 [4]

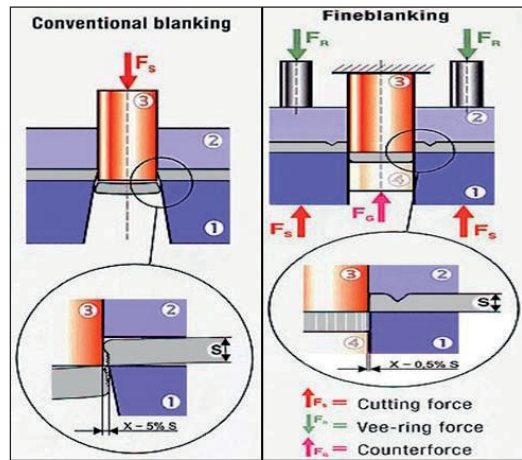
ในกระบวนการไฟน์แบลนคิง แรงที่ใช้ในการตัดเฉือนนั้นจะมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 แรงดังนี้คือ แรงตัดเฉือนที่มาจากฟันซ์ (Cutting Force; F_s) แรงกดเหยียบที่มาจากแหวนจิก (Vee-ring Force; F_R) บนไกด์เพลต (Guide Plate) และแรงที่บังคับชิ้นงาน (Counterforce; F_C) ที่มาจากอีเจคเตอร์ (Ejecter) ซึ่งแตกต่างไปจากการบีมตัดเฉือนแบบธรรมดาที่มีเพียงแรงตัดเฉือนจากฟันซ์เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4 แสดงถึงส่วนประกอบของแม่พิมพ์ทั้งแบบไม่ใช้แหวนจิกและแบบใช้แหวนจิก ส่วนที่ 1 คือดาบ ส่วนที่ 2 คือตัวเหยียบชิ้นงาน และส่วนที่ 3 คือฟันซ์ [10]

- แรงตัดเฉือน (Cutting Force; F_s) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 [11]

$$F_s = C \times s \times \tau_B \quad (1)$$



รูปที่ 3 ชิ้นงานจากไฟน์แบลนคิงกับชิ้นงานตัดเฉือนแบบธรรมดา [4]



รูปที่ 4 ความแตกต่างของการตัดเฉือนแบบธรรมดากับการตัดเฉือนแบบไฟน์แบลนคิง [10]

เมื่อ F_s คือ แรงตัดเฉือน (N) C คือความยาวรอบรูปของชิ้นงาน (mm) τ_B คือความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน (N/mm^2) และ s คือความหนาของชิ้นงาน (mm)

- แรงกดเหยียบที่มาจากแหวนจิก (Vee-ring Force; F_R) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 [11]

$$F_R = 4 \times L \times h \times R_m \quad (2)$$

เมื่อ F_R คือแรงกดเหยียบจากแหวนจิก (N) L คือความยาวรอบรูปของชิ้นงาน (mm) h คือความสูงของแหวนจิก (mm) และ R_m คือความเค้นแรงดึงของวัสดุ (N/mm^2)

- แรงที่บังคับชิ้นงาน (Counterforce; F_C) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 [11]

$$F_G = A_s + q_G \quad (3)$$

เมื่อ F_G คือแรงบังคับขี้นงาน (N) A_s คือพื้นที่หน้าตัดของตัวอ็เจคเตอร์ (mm²) q_G คือแรงดันบังคับเฉพาะสำหรับงานที่มีขนาดใหญ่หงานจะใช้ค่า 70 N/mm² และงานที่เล็กบางจะใช้ค่า 20 N/mm² [11]

2.2 วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

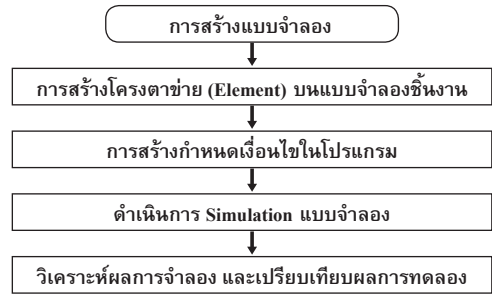
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ และเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์อย่างกว้างขวาง ซึ่งสามารถวิเคราะห์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของแข็งได้ เช่น วิเคราะห์การเปลี่ยนรูปร่าง และความเค้นของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล โครงสร้างเครื่องบิน ตัวอาคาร สะพานและโครงสร้างอื่นๆ ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น จะอยู่ในสภาพยืดหยุ่น (Elastic) หรือในสภาพยึดตัว (Plastic) [12]

การสร้างสมการเอลิเมนต์ (Element Equations) สมการเอลิเมนต์ จะอยู่ในรูปแบบดังสมการที่ 4 [13]

$$[K]_e \{\phi\}_e = \{F\}_e \quad (4)$$

ขั้นตอนโดย K คือเมทริกซ์ความแข็งเกร็ง (Stiffness Matrix) ϕ คือเวกเตอร์ของตัวไม่รู้ค่า ในที่นี้คือระยะขจัด (Displacement) และ F คือเวกเตอร์ของแรงผลลัพธ์จากการคูณของสมการเมทริกซ์ดรรชนีล่าง e แสดงถึงเอลิเมนต์ต่างๆ เนื่องจาก $[K]$ เป็นเมทริกซ์สมมาตรจึงไม่สามารถแก้สมการได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องระบุเงื่อนไขขอบเขตเพื่อขจัดหรือปรับเมทริกซ์ $[K]$ สททิพเนสมเมทริกซ์ของแต่ละเอลิเมนต์จะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันการกระจัด ชนิดของเอลิเมนต์ สมบัติของวัสดุ และลักษณะของปัญหา [14]

การหาผลเฉลยหรือการหาการขจัด $\{\phi\}$ โดยใช้หลักการต่างๆ ไปของเมทริกซ์เราสามารถจะหาการกระจัดรวมของสมการได้ ตามสมการที่ 5 [14]



รูปที่ 5 ขั้นตอนการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

$$\{\phi\} = [K]^{-1} \{F\} \quad (5)$$

การหาความเค้น และความเครียดของแต่ละเอลิเมนต์ เราสามารถแทนค่าการขจัดรวมลงในสมการสมมูลของแต่ละเอลิเมนต์ เพื่อหาการขจัดของแต่ละเอลิเมนต์ และนำไปสู่การหาความเครียดและความเค้นได้ตามต้องการ เนื่องจากความเครียดหาได้จากสมการที่ 6 และ 7 [14]

$$\{\varepsilon\} = [B] \{\phi\} \quad (6)$$

$$\{\sigma\} = [D] \{\varepsilon\} = [D][B] \{\phi\} \quad (7)$$

โดยที่ $\{\varepsilon\}$ คือเวกเตอร์ความเครียด $\{\sigma\}$ เวกเตอร์ความเค้น $[D]$ คือเมทริกซ์ความเค้น $[B]$ เมทริกซ์ความเครียด

วิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างหรือภายใต้สภาวะต่างๆ ของโหลด มีขั้นตอนต่างๆ ไปคล้ายกันดังแสดงในรูปที่ 5 [13]

2.3 สมการการทำให้แข็งด้วยความเครียด

พฤติกรรมการทำให้แข็งด้วยความเครียด โลหะเหนียวส่วนมากที่ไม่ได้ผ่านการแปรรูปเย็น (Cold Worked) ก่อนทำการทดสอบการดึง (นั่นคือผ่านการอบอ่อนอย่างสมบูรณ์) สามารถอธิบายพฤติกรรมตั้งแต่เริ่มต้นครากจนถึงโหลดสูงสุดได้ด้วยสมการที่ 8 [14]

$$\sigma = K \varepsilon^n \quad (8)$$

เมื่อ σ คือค่าความเค้นจริง ϵ คือความเครียดจริง และ K คือค่าสัมประสิทธิ์ความต้านการดึง (Strength Coefficient) n คือเลขชี้กำลังการทำให้แข็งด้วยความเครียด โดยค่า n จะแสดงถึงความชันของเส้นโค้งความเค้นจริง และความเครียดจริงเมื่อมีการพล็อตบนค่าลอการิทึม เป็นการกำหนดโดยขึ้นอยู่กับความเค้นไหล (Flow Stress) บริเวณจุดครากบนระดับความเครียด

2.4 ความเสียหายแบบเหนียว (Ductile Fracture)

กระบวนการตัดเฉือนโลหะ โดยทั่วไปเป็นการเสียหายแบบเหนียว ซึ่งความเสียหายแบบเหนียวมี 3 ขั้นตอน คือ [14]

2.4.1 Nucleation จะเกิดขึ้นใกล้กับช่วงที่ 2 ของการเปลี่ยนรูป เกิดจากความเค้นและความเครียดจุดรวม

2.4.2 Growth เกิดภายใต้การเปลี่ยนรูปถาวร

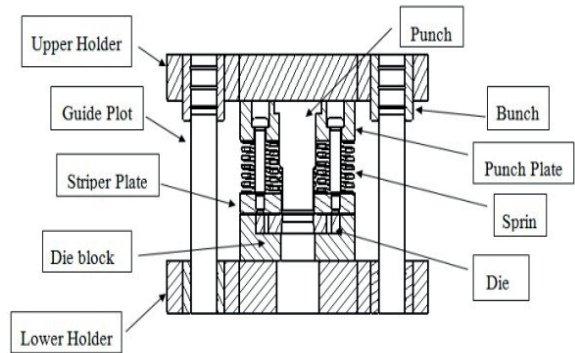
2.4.3 Coalescence ความเครียดสมมูลที่เกิดขึ้นจะเป็นความเครียดสมมูลขณะที่เกิดความเสียหายและเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกร้าแบบเหนียว (Ductile Crack)

3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การทดลองโดยการบีบอัดไฟน์แบลงค์กิ้ง โดยการเปรียบเทียบผิวของชิ้นงาน หลังการบีบอัดระหว่างชิ้นงานจริงที่ได้จากการตัดเฉือน และผลที่ได้จากการจำลองด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยไม่ใช้สารหล่อลื่น ภายใต้สภาวะของการใช้แหวนจิกเดียวกับแหวนจิกคู่ นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบผลของการไหลตัวของเนื้อโลหะและการกระจายความเค้นภายในของชิ้นงานอีกด้วย

3.1 วัสดุที่นำมาทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คืออะลูมิเนียมแผ่นบาง Al 1100-0 หนา 2 มิลลิเมตร โดยมีสมบัติเชิงกลดังที่แสดงในตารางที่ 1 ได้จากการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM B 557M [15] และกำหนดชิ้นงานให้เป็น Rigid Plastic เนื่องมาจากในกระบวนการไฟน์แบลงค์กิ้ง ค่าความเค้นและความเครียดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและเกิดขึ้นสูงที่บริเวณรัศมีตายในระหว่างกระบวนการตัด



รูปที่ 6 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ไฟน์แบลงค์กิ้ง [8]

จึงละการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุในช่วงยืดหยุ่นได้ [16]

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของวัสดุ Al 1100-0 [15]

สมบัติเชิงกล	ค่า
Ultimate Tensile	120.5 MPa
Yield	34.7 MPa
Elongation	36.8%
Elasticity Modulus	70 GPa
Poissons Ratio	0.33
Strength Coefficient (K)	180 Mpa
Harding Experiment (n)	0.20

3.2 ชุดแม่พิมพ์ไฟน์แบลงค์กิ้ง

สำหรับชุดแม่พิมพ์ไฟน์แบลงค์กิ้ง ซึ่งใช้สำหรับทำการทดลอง เปรียบเทียบกับการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ตามตารางที่ 2 แสดงถึงแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลอง [13] และรูปที่ 6 แสดงถึงส่วนประกอบของแม่พิมพ์ไฟน์แบลงค์กิ้ง

ตารางที่ 2 แสดงถึงรายละเอียดของแม่พิมพ์ [13]

สภาวะแม่พิมพ์	ขนาด
เส้นผ่าศูนย์กลางพินซ์	29.98 mm
เส้นผ่าศูนย์กลางตาย	30.0 mm
ความสูงแหวนจิก	0.4 mm
ระยะห่างพินซ์-แหวนจิก	1.4 mm
มุมแหวนจิก	45°
รัศมีแหวนจิก	0.2 mm

3.3 การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการจำลองกระบวนการบีบอัดโลหะด้วยกระบวนการไฟน์แบลนค์กิ้ง ใช้โปรแกรมการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM 2D V8.1 ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยใช้เกณฑ์ความเสียหาย (Fracture Criterion) แบบเหนียวที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุ เป็นแบบ Normalized Cockcroft & Latham โดยงานวิจัยของ Subhakit [16] ทำการศึกษาถึงระยะห่างของแหวนจิกจากขอบตัด ที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานในกระบวนการไฟน์แบลนค์กิ้ง ซึ่งสามารถทำนายความเสียหายของวัสดุได้อย่างแม่นยำ ตามสมการที่ 9 [16]

$$\int_0^{\bar{\epsilon}_f} (\sigma^* / \bar{\sigma}) d\bar{\epsilon} = C \quad (9)$$

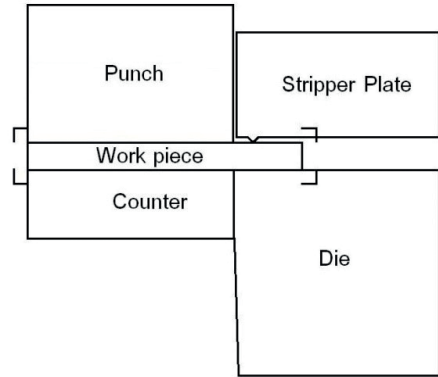
โดยที่ σ^* คือค่าความเค้นหลักสูงสุด σ คือค่าความเค้นสมมูล $\bar{\epsilon}$ คือค่าความเครียดสมมูล $\bar{\epsilon}_f$ คือค่าความเครียดสมมูลขณะเกิดความเสียหาย และ C คือค่าความเสียหายวิกฤต

ในการกำหนดเงื่อนไขของการจำลองระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นไปตามตารางที่ 3 [16] สำหรับค่า K และค่า n ตามสมการ Flow Curve ซึ่งใช้กำหนดสภาวะของการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้มาจากการทดลองแรงดึง แล้วทำการหาค่าโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดจริง [17]

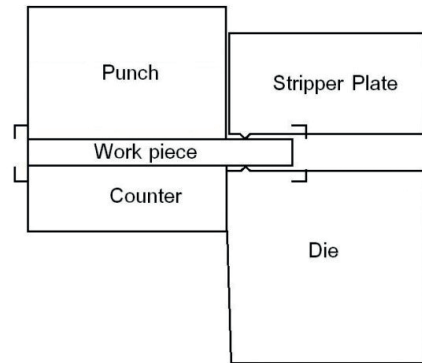
ตารางที่ 3 เงื่อนไขการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ [16]

เงื่อนไข	การกำหนดค่า
Flow Curve	$K\epsilon^n$ MPa
ชนิดของการวิเคราะห์	สมมาตรรอบแกน (Axisymetry)
Critical value (C)	3.3
สัมประสิทธิ์ความเสียหาย	0.1

สำหรับการกำหนดขอบเขตของการวิเคราะห์ กำหนดเป็นสมการ Flow Curve โดยใช้กฎการยกกำลังตามสมการที่ 8 และแบบการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงในรูปที่ 7 แสดงการจำลองของแม่พิมพ์แหวนจิกเดี่ยว



รูปที่ 7 แบบจำลองแม่พิมพ์แหวนจิกเดี่ยว



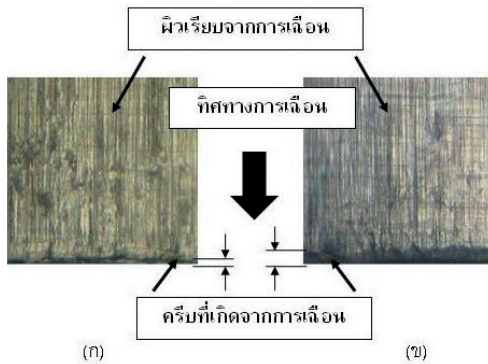
รูปที่ 8 แบบจำลองแม่พิมพ์แหวนจิกคู่

และรูปที่ 8 แสดงการจำลองของแม่พิมพ์แหวนจิกคู่

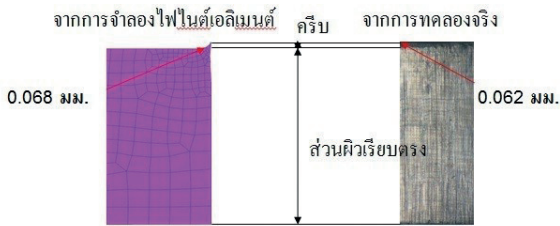
4. ผลการทดลอง

4.1 ผิวนการตัดเฉือน

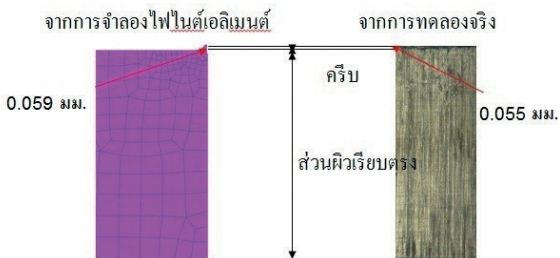
จากรูปที่ 9 แสดงถึงผิวของชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมระหว่างการใช้แหวนจิกเดี่ยวและแหวนจิกคู่ จากการวัดความสูงของครีปที่เกิดขึ้นจากการทดลอง 5 ครั้ง พบว่าการเชื่อมโดยใช้แหวนจิกเดี่ยว ครีปที่เกิดขึ้นมีความสูงโดยเฉลี่ย 0.062 มิลลิเมตร ในขณะที่การใช้แหวนจิกคู่ ครีปที่เกิดขึ้นมีความสูงโดยเฉลี่ย 0.055 มิลลิเมตร ในขณะเดียวกันการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้แหวนจิกเดี่ยว ครีปที่เกิดขึ้นมีความสูง 0.068 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 10 มีความแตกต่างจากชิ้นงานจริงเท่ากับ 9.68% และในรูปที่ 11 การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้แหวนจิกคู่



รูปที่ 9 ผิวชิ้นงานจากการตัดเฉือน (ก) แหวนจิกคู่ (ข) แหวนจิกเดี่ยว

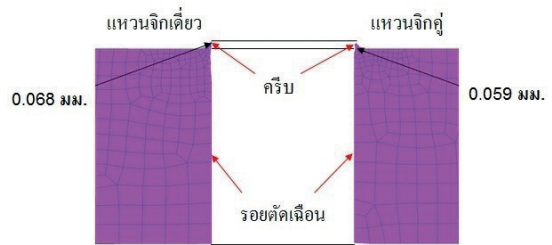


รูปที่ 10 ผิวงานการเนียนที่ได้จากการจำลองระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองจริงแบบแหวนจิกเดี่ยว



รูปที่ 11 ผิวงานการเนียนที่ได้จากการจำลองระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองจริงแบบแหวนจิกคู่

พบว่าครีบกึ่งมีความสูงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.059 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแตกต่างจากชิ้นงานจริงเท่ากับ 7.27% จากผลการทดลองทั้งในสภาวะของแหวนจิกเดี่ยว และแหวนจิกคู่ ความสูงของครีบกึ่งที่เกิดขึ้น จากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ สูงกว่าชิ้นงานซึ่งได้จากการทดลองจริง

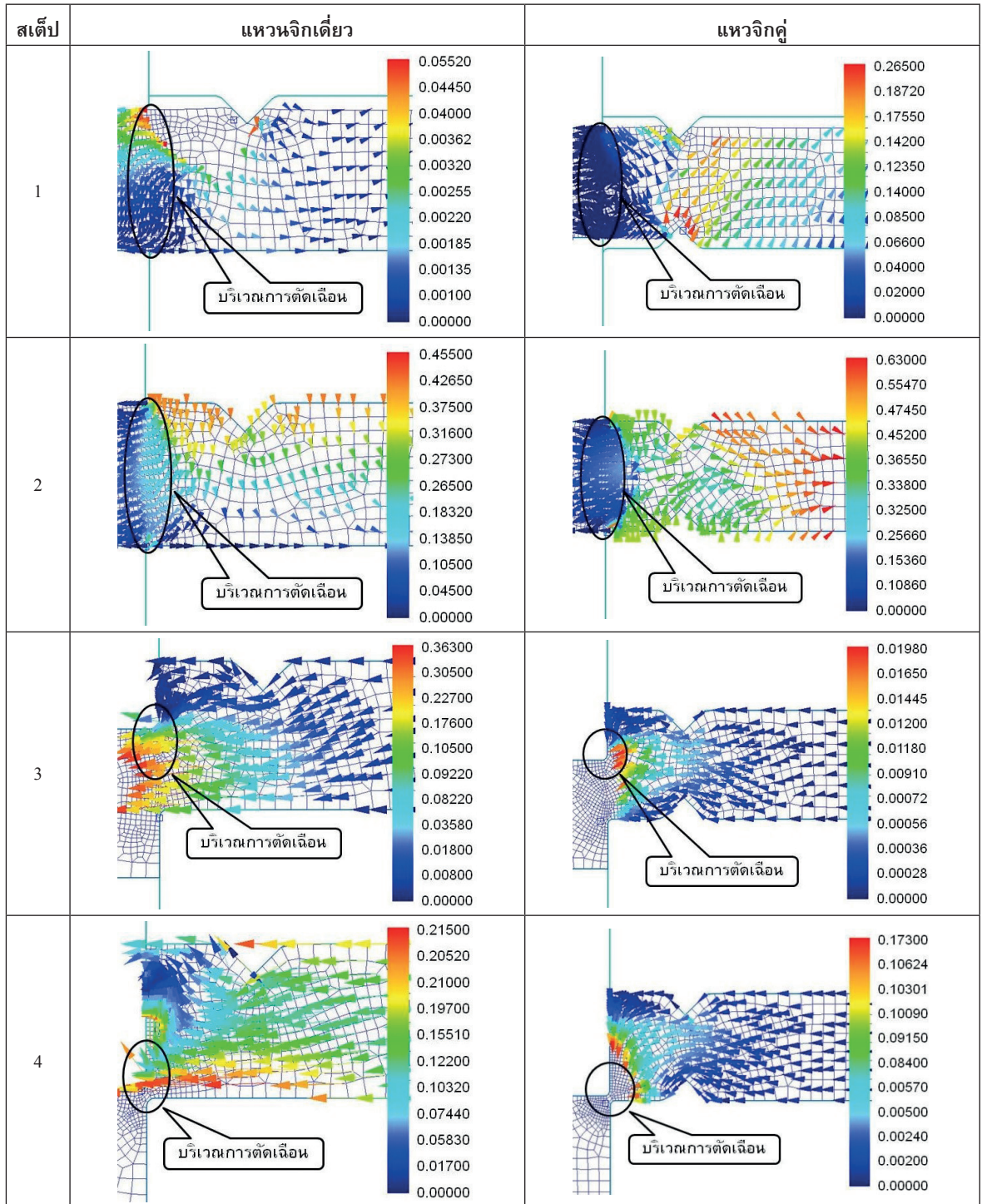


รูปที่ 12 ผิวชิ้นงานจากการจำลองระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ระหว่างแหวนจิกเดี่ยวและแหวนจิกคู่

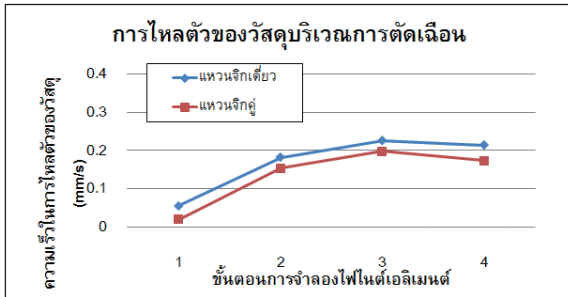
ในรูปที่ 12 แสดงถึงผิวของชิ้นงานซึ่งได้จากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยกระบวนการไฟน์แมลงค์กึ่งแบบแหวนจิกเดี่ยว เปรียบเทียบกับการใช้แหวนจิกคู่ จะเห็นได้ว่าครีบกึ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแบบแหวนจิกเดี่ยว มีความสูงมากกว่ากระบวนการตัดเฉือนด้วยแหวนจิกคู่ อันเนื่องมาจากการตัดเฉือนด้วยแหวนจิกคู่ ในระหว่างกระบวนการตัดเฉือน การไหลตัวของเนื้อโลหะ จากตำแหน่งโดยรอบพื้นที่ เพื่อก่อตัวเป็นครีบกึ่งได้ยากกว่าการตัดเฉือน ด้วยแม่พิมพ์ไฟแบลงค์กึ่งแบบแหวนจิกเดี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutasn [5] ซึ่งทำการศึกษาถึงการวิเคราะห์กระบวนการไฟแบลงค์กึ่งด้วยแหวนกด 4 แบบ พบว่าเมื่อใช้แหวนกดคู่ ทำให้เกิดแรงในการตัดเฉือน และการกระจายความเค้นจากการอัดตัวของเนื้อวัสดุสูงที่สุด

4.2 การไหลของเนื้อวัสดุ

การไหลตัวของเนื้ออะลูมิเนียม ในแต่ละตำแหน่งของกระบวนการไฟแบลงค์กึ่ง แสดงในรูปที่ 13 แสดงถึงการจำลองระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์เมื่อใช้แหวนจิกเดี่ยวและแหวนจิกคู่ โดยพิจารณาตามสเต็ปของการจำลองการตัดเฉือน ซึ่งขั้นตอนที่ 1 คือการจิก 50% หรือ 0.25 มิลลิเมตร ของความสูงแหวนจิก ขั้นตอนที่ 2 คือการจิก 100% หรือ 0.5 มิลลิเมตร ของความสูงแหวนจิก ขั้นตอนที่ 3 คือระยะการตัดเฉือน 1.0 มิลลิเมตร ของความหนาแผ่นอะลูมิเนียม และขั้นตอนที่ 4 คือระยะการตัดเฉือน 2 มิลลิเมตร ของความหนาแผ่นอะลูมิเนียม

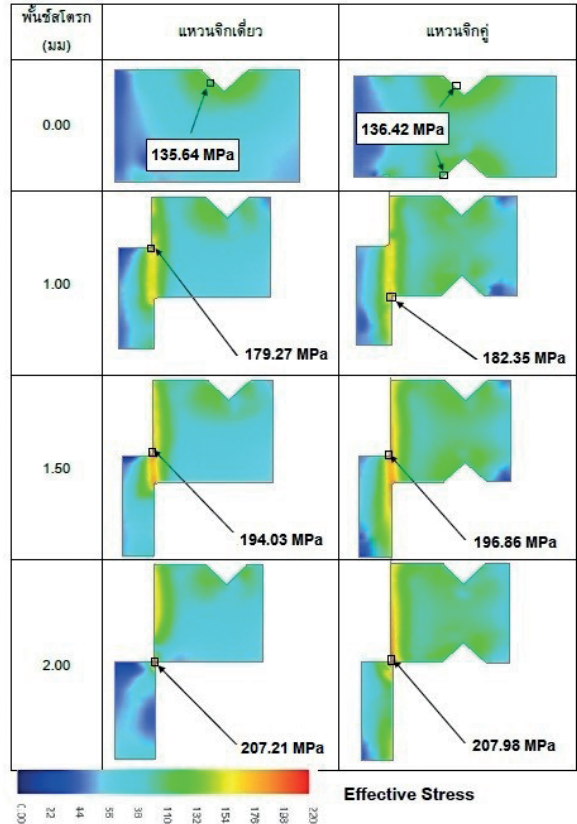


รูปที่ 13 การไหลของเนื้อโลหะของแม่พิมพ์ไฟนเบสลงค์กึ่งแบบแหวนจิกเดี่ยวกับแหวนจิกคู่



รูปที่ 14 ความเร็วในการไหลของเนื้อวัสดุบริเวณตัดเฉือนจากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 13 ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ความเร็วในการไหลตัวของวัสดุของแหวนจิกคู่เกิดขึ้นสูงกว่า โดยเกิดขึ้นที่บริเวณแหวนจิกกดลงบนวัสดุ โดยแหวนจิกคู่เท่ากับ 0.2650 mm/sec และ 0.6300 mm/sec ในขณะที่แหวนจิกเดี่ยวการไหลตัวของเนื้อวัสดุเท่ากับ 0.0552 mm/sec และ 0.4550 mm/sec ตามลำดับ เนื่องมาจากการจิกเนื้อวัสดุที่มีมากกว่า ในขณะที่พื้นที่ยังไม่ได้มีการตัดเฉือนเนื้อวัสดุ ในรูปที่ 14 แสดงถึงความเร็วในการไหลของเนื้อวัสดุ บริเวณการตัดเฉือน (Shearing Zone) ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ของแหวนจิกเดี่ยวเท่ากับ 0.0552 mm/sec และ 0.1832 mm/sec ในขณะที่แหวนจิกคู่ เท่ากับ 0.0200 mm/sec และ 0.1536 mm/sec ตามลำดับ ส่วนในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ซึ่งเริ่มเข้าสู่การตัดเฉือนเนื้อวัสดุด้วยพื้นที่พบว่าความเร็วในการไหลตัวของเนื้อวัสดุโดยใช้แหวนจิกเดี่ยว มีการไหลตัวของเนื้อวัสดุที่มากกว่าแหวนจิกคู่อย่างชัดเจน ตามที่แสดงในรูปที่ 13 โดยแหวนจิกเดี่ยวมีความเร็วในการไหลเท่ากับ 0.3630 mm/sec และ 0.2350 mm/sec ตามลำดับ ในขณะที่แหวนจิกคู่ความเร็วในการไหลตัวของเนื้อวัสดุในขั้นตอนที่ 3 และ 4 เท่ากับ 0.1980 mm/sec และ 0.1730 mm/sec ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจาก การใช้แหวนจิกคู่ในการกดยึดชิ้นงานนั้น เป็นการขัดขวางการไหลตัวของเนื้อวัสดุ ในตำแหน่งถัดจากบริเวณการตัดเฉือนของชิ้นงาน กระบวนการดังกล่าวส่งผลทำให้เกิดครีบของชิ้นงานลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutasn [5]



รูปที่ 15 การกระจายความเค้นของชิ้นงานในระหว่างการตัดเฉือนจากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

4.3 การกระจายตัวของความเค้นในชิ้นงาน

การวิเคราะห์ผลของการกระจายตัวของความเค้นบนชิ้นงาน แสดงในรูปที่ 15 ซึ่งเป็นผลของการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เปรียบเทียบระหว่างการตัดเฉือนชิ้นงานของไฟนแบลด์คิงด้วยแหวนจิกเดี่ยว และแหวนจิกแบบคู่จากรูปที่ 15 ในตำแหน่งของพิกัด 0 มิลลิเมตรคือแหวนจิกกดชิ้นงานลงจนสุด โดยที่พื้นที่ยังไม่ได้ทำการตัดเฉือนเนื้อวัสดุ การกระจายตัวของความเค้นจะเห็นว่าที่บริเวณแหวนจิกเกิดความเค้นขึ้นสูงมากซึ่งแหวนจิกคู่และแหวนจิกเดี่ยวมีค่าความเค้น 135.64 MPa และ 136.42 MPa จะเห็นว่าแหวนจิกคู่มีค่าความเค้นสูงกว่าแหวนจิกเดี่ยว เนื่องจากแหวนจิกคู่เกิดการอัดตัวของเนื้อวัสดุทั้งด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน ในขณะที่

ความเค้นเฉือน ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณการตัดเฉือน ในระหว่างที่ พันซ์ทำการตัดเฉือนชิ้นงานที่สโตรก 1 มิลลิเมตร 1.5 มิลลิเมตร และ 2.0 มิลลิเมตร การไฟน์แบลนค์กึ่งแบบแหวนจิกคู่ เท่ากับ 182.35 MPa, 196.86 MPa และ 207.98 MPa ซึ่งมีแนวโน้มของการเกิดความเค้นเฉือนที่สูงกว่าแบบแหวนจิกเดี่ยว โดยการตัดเฉือนด้วยแหวนจิกเดี่ยวที่พันซ์สโตรก 1 มิลลิเมตร 1.5 มิลลิเมตร และ 2.0 มิลลิเมตร ความเค้นเฉือนเท่ากับ 179.27 MPa, 194.03 MPa และ 207.21 MPa เป็นผลอันเนื่องมาจากการตัดเฉือนชิ้นงานของพันซ์ ด้วยแหวนจิกคู่ เนื้อโลหะมีการไหลตัวที่ช้ากว่าแหวนจิกเดี่ยว เมื่อทำการพิจารณาจากรูปที่ 13 เปรียบเทียบการไหลตัวของวัสดุ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า แหวนจิกเดี่ยวมีการไหลตัวสูงกว่าแหวนจิกคู่ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 กระบวนการดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Natthasak [2] และ Sutasn [6] กล่าวว่า การกดจิกชิ้นงานของแหวนจิกทำให้เกิดการอัดตัวของเนื้อโลหะ ส่งผลทำให้แรงกดพันซ์ที่กระทำต่อชิ้นงานสูงขึ้น ทำให้ความเค้นเฉือนเพิ่มสูงขึ้นสำหรับที่พันซ์สโตรก 2 มิลลิเมตร ค่าความเค้นของแหวนจิกเดี่ยวและแหวนจิกคู่มีค่าใกล้เคียงกัน เป็นผลเนื่องมาจาก อยู่ในช่วงก่อนสิ้นสุดกระบวนการตัดเฉือน ทั้งแหวนจิกเดี่ยวและแหวนจิกคู่ ไม่มีส่วนของเนื้อวัสดุที่จะไหลตัวได้ ซึ่งเป็นช่วงก่อนที่เนื้อวัสดุจะฉีกขาดออกจากกัน

5. สรุป

การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์กระบวนการตัดเฉือนชิ้นงานอะลูมิเนียม A1100-0 ด้วยแม่พิมพ์ไฟน์แบลนค์กึ่งแหวนจิกเดี่ยว เปรียบเทียบกับแหวนจิกคู่ สามารถวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมการเฉือนในกระบวนการไฟน์แบลนค์กึ่งได้ และเมื่อเปรียบเทียบผิวชิ้นงานของการตัดเฉือน กับชิ้นงานจริงที่ได้จากการทดลอง พบว่าครีปที่เกิดขึ้นมีความสูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นการศึกษาทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์การเกิดครีปของชิ้นงานที่ได้จาก

การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับชิ้นงานจริง ด้วยแหวนจิกแบบเดี่ยวมีความแตกต่างกัน 9.68% และแบบแหวนจิกคู่แตกต่างกัน 7.27% ทั้งนี้ ความแตกต่างซึ่งเกิดจากการจำลองด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองจริง มีความแตกต่างกันอันเนื่องมาจากการกำหนดขอบเขตสภาวะการตัดเฉือนที่คงที่ แต่การทดลองจริงนั้นมีความแตกต่างกันอยู่บ้างทั้งการตัดเฉือนแต่ละครั้งซึ่งในการทดลองไม่ได้ใช้สารหล่อลื่น และเมื่อเปรียบเทียบความสูงของครีป ที่ได้จากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าการใช้แหวนจิกคู่เกิดครีปที่ชิ้นงานน้อยกว่าการใช้แหวนจิกเดี่ยว โดยแหวนจิกเดี่ยวมีความสูงเท่ากับ 0.068 มิลลิเมตร และแหวนจิกคู่ครีปมีความสูงเท่ากับ 0.059 มิลลิเมตร

2. ความเร็วในการไหลตัว ของเนื้อวัสดุที่บริเวณการตัดเฉือน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้แหวนจิกเดี่ยวกับแหวนจิกคู่ ด้วยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าการใช้แหวนจิกแบบเดี่ยว มีความเร็วการไหลตัว ที่สูงกว่าการใช้แหวนจิกคู่ เนื่องจาก การใช้แหวนจิกคู่จะมีการยึดชิ้นงานที่มากกว่า

3. การกระจายความเค้นภายในเนื้อวัสดุ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้แหวนจิกเดี่ยวกับแหวนจิกคู่ ด้วยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าการใช้แหวนจิกคู่เกิดความเค้นในระหว่างการตัดเฉือนที่สูงกว่าการใช้แหวนจิกเดี่ยว เนื่องมาจากการใช้แหวนจิกคู่ เนื้อวัสดุจะมีการไหลตัวที่น้อยกว่าการใช้แหวนจิกเดี่ยว ซึ่งการไหลตัวช้า จะทำให้เกิดการอัดตัวของเนื้อโลหะที่บริเวณการตัดเฉือน จึงทำให้เกิดความเค้นที่สูงกว่า

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับการสนับสนุนอุปกรณ์ และเครื่องมือการทดสอบ สำหรับงานวิจัยครั้งนี้



เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Maitri and D. Surangsee, "Sheet Metal Forming Process Optimization Using FEM Analysis," *The 21th Conference of the Mechanical Engineering*, Chonburi, pp. 970-975, 17-19 Oct 2007 (in Thai).
- [2] P. Natthasak, L. Komgrit, and S. Bhadpiroon, "Application of Vee-Ring for Quality Increase the workpiece in Blanking Die," *IE Network Conference 2011*, Chonburi, pp. 1062-1066, 20-21 Oct 2011 (in Thai).
- [3] F. Djavanroodi, A. Pirgholi, and E. Derakhshani, "FEM and ANN Analysis in Fine-Blanking Process," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 25, pp. 864-872, 2010.
- [4] Y. Suthep, "A study of Fine Blanking without V-ring," The Thesis Master of Engineering, Production Engineering, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, 2005 (in Thai).
- [5] T. Sutasn, "Finite Element Analysis of V-ring Indenter Mechanism in Fine-blanking Process", *Materials and Design*, Vol. 30, pp. 526-531, 2007.
- [6] T. Sutasn, "Application of Taguchi technique to investigation of geometry and position of V-ring indenter in fine-blanking process," *Materials and Design*, vol. 31, pp. 2496-2500, 2009.
- [7] J. Adamus, P. Lacki, and W. Wieckowski, "Numerical simulation of the fine blanking process of sheet titanium," *Archives of metallurgy and materials*, vol. 56, pp 431-437, 2011.
- [8] Z.H. Chen, C.Y. Tang, T.C. Lee, and L.C. Chan, "A study of strain localization in the fine-blanking process using the large deformation finite element method," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 86, pp 163-167, 1999.
- [9] Z.H. Chen, C.Y. Tang, T.C. Lee, and L.C. Chan, "Numerical simulation of fine-blanking process using a mixed finite element method," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 44, pp. 1309-1333, 2002.
- [10] T. Kunthon, "A Study of the Influence of Lubrications in Fine Blanking by Using Double V-ring," Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 2010 (in Thai).
- [11] H. Tschachtsch, *Metal Forming Practise*, Verlag Berlin Heidelberg Germany, Springer, pp. 243-244, 2006.
- [12] B. Dech, "Finite Element Analysis," King Mongkut's University of Technology Thonburi, 1998 (in Thai).
- [13] K. Maitri, "Numerical analysis of split and wrinkle characteristics in sheet metal forming process," The Thesis Master of Engineering, Production Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2007 (in Thai).
- [14] Y. Surawut, T. Charn, and H. Sirisak, Force Analysis of Fine Blanking Process by Finite Element Method, *The Journal of KMITNB*, vol 13, no.3 pp. 54, 2003 (in Thai).
- [15] American Society for Testing and Materials (ASTM), *ASTM B 557M Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products (Metric)*.
- [16] S. Subhakit, "The study on the influences of distance between Vee-ring and cutting edge on the quality of cutting surfare in fine blanking," The Thesis Master of Engineering, Meter Forming Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2002 (in Thai).
- [17] P. V. R. Ravindra, G. Chandra, and T. A. Janardhan, Studies on the effect of various parameters on springback in cylindrical cup drawing, *IE(I) Journal-PR*, vol. 91, pp. 18-25, September 01, 2010.