

กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นแบบลูกโซ่ด้วยเครื่องมือแบบสัมผัสเป็นจุด

Single Point Incremental Forming Process

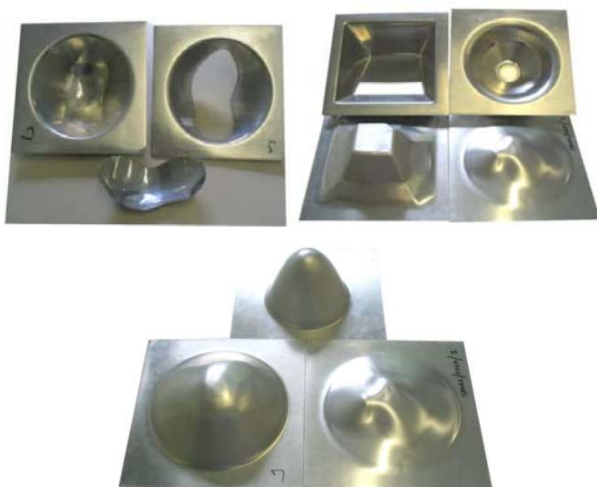
กิตติภฏ รัตนจันทร์

1. บทนำ

กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นแบบลูกโซ่ด้วยเครื่องมือแบบสัมผัสเป็นจุดเป็นกรรมวิธีขึ้นรูปโลหะแผ่นที่พัฒนาขึ้นมาใหม่จากกระบวนการปั่นรีด (Spinning) และกระบวนการตียำ (Hammering) ซึ่งสามารถใช้ขึ้นรูปโลหะแผ่นที่มีรูปทรงไม่สมมาตรรอบแกนได้ [1-2] (รูปที่ 1 และ 2)



รูปที่ 1 ชิ้นงานรูปทรงไม่สมมาตรที่ผลิตจากกระบวนการ SPIF

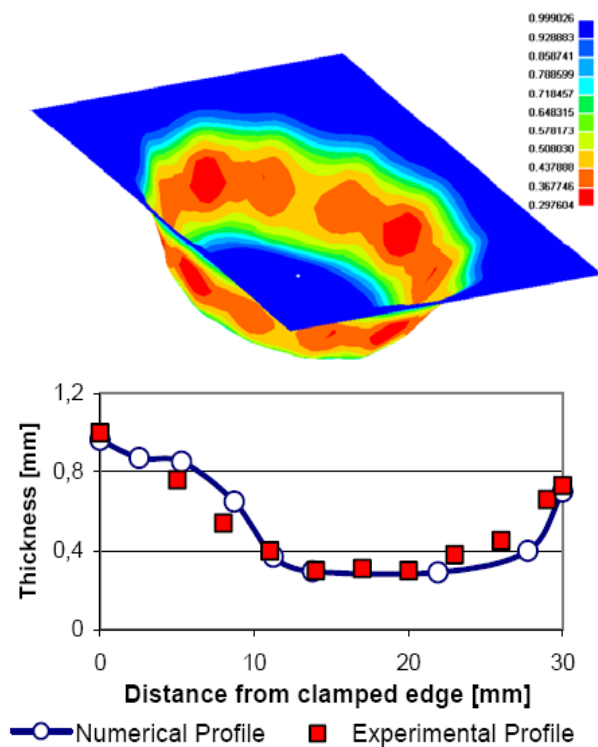


รูปที่ 2 ตัวอย่างชิ้นงานที่ผลิตจากกระบวนการ SPIF

กระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้เป็นการทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวรเฉพาะตำแหน่งบนแผ่นโลหะโดยใช้เครื่องมือทรงกระบอกที่มีปลายเป็นรัศมีโค้งหมุนรอบแกนและเคลื่อนที่กดลงบนชิ้นงานโลหะแผ่นที่ถูกยึดตรึงให้แน่นอยู่ในชุดจับยึดไปตามเส้นทางที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม (CAD, CAM) และใช้เครื่องกัด CNC แบบ 3 แกนเป็นเครื่องมือกลที่ใช้ในการขึ้นรูป [2] (รูปที่ 3) บริเวณที่เกิดการขึ้นรูปนั้นเป็นพื้นที่เล็กๆ ระหว่างจุดสัมผัสระหว่างเครื่องมือกับผิวชิ้นงานทำให้เกิดความเค้นกดปริมาณมาก (แต่ใช้แรงในการกดน้อย) เป็นผลให้สามารถทำการขึ้นรูปได้ด้วยอัตราการใช้รูปถาวรที่มากกว่ากระบวนการดึงยืดแบบทั่วๆ ไป [3] (พิจารณารูปที่ 4)

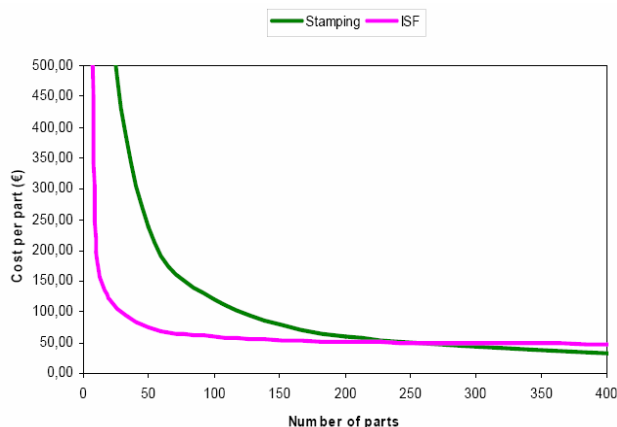


รูปที่ 3 เครื่องมือกลและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ SPIF



รูปที่ 4 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนผนังชิ้นงานจากกระบวนการ SPIF

กระบวนการนี้มีความยืดหยุ่นสูงสามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างชิ้นงานได้ง่าย มีค่าใช้จ่ายต่ำ เหมาะสำหรับการใช้ในการผลิตชิ้นงานโลหะแผ่นดัดแบบ หรือเป็นรุ่นเล็ก ๆ มากกว่าที่จะใช้ในการผลิตเป็นจำนวนมาก [1] (พิจารณารูปที่ 5 และตารางที่ 1)



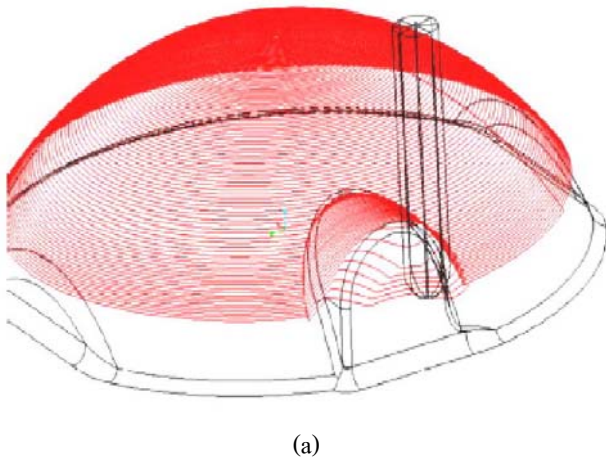
รูปที่ 5 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในผลิตรหว่างกระบวนการ SPIF และการขึ้นรูปที่ใช้แม่พิมพ์เป็นเครื่องมือ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในผลิตรหว่างกระบวนการ SPIF และการขึ้นรูปที่ใช้แม่พิมพ์เป็นเครื่องมือ

จำนวนผลิต	SPIF	Conventional
	ราคาต่อชิ้น \$	ราคาต่อชิ้น \$
1	1576	11811
10	198	1182
20	121	592
50	75	238
100	60	119
200	52	60
500	48	25
1000	46	13

2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การขึ้นรูปโลหะแผ่นแบบลูกโซ่ด้วยเครื่องมือแบบสัมผัสเป็นจุดทำให้เกิดการเสียรูปเฉพาะตำแหน่งไปตามการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ [4-5] (รูปที่ 6) ซึ่งทำให้มีความสามารถในการขึ้นรูปสูงกว่า [6] (พิจารณารูปที่ 7) และใช้พลังงานในการขึ้นรูปต่ำกว่ากระบวนการขึ้นรูปอื่นๆ [7] ซึ่ง K. Mori และคณะ ได้ใช้ genetic algorithm ในการวิเคราะห์หาลำดับขั้นในการตีขึ้นรูปกระบวนการขึ้นรูปแบบลูกโซ่ (IF) เพื่อให้มีการกระจายตัวของรูปพรรณตามที่ต้องการโดยไม่ต้องทำการลองผิดลองถูก [8] และ Sergey F. Golovashchenko และ Al Krause ได้เสนอว่ากระบวนการ SPIF สามารถเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6111-T4 ซึ่งได้ทดสอบโดยการทดสอบแรงดึงแบบไม่ต่อเนื่องเพื่อจำลองพฤติกรรมของอะลูมิเนียมในขณะทำการขึ้นรูป และวิเคราะห์ผลจากตัวแปรต่างๆ เช่น กรรมวิธีการชุบแข็งที่มีต่อสมบัติทางกลของอะลูมิเนียม นอกจากนี้ยังใช้วิธีการทดสอบการขึ้นรูปโดมในการวิเคราะห์พฤติกรรมของอะลูมิเนียมภายใต้ความเค้นในสองทิศทางที่มีความซับซ้อนมากขึ้นด้วย [9]



(a)



(b)

รูปที่ 6 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการขึ้นรูปด้วย

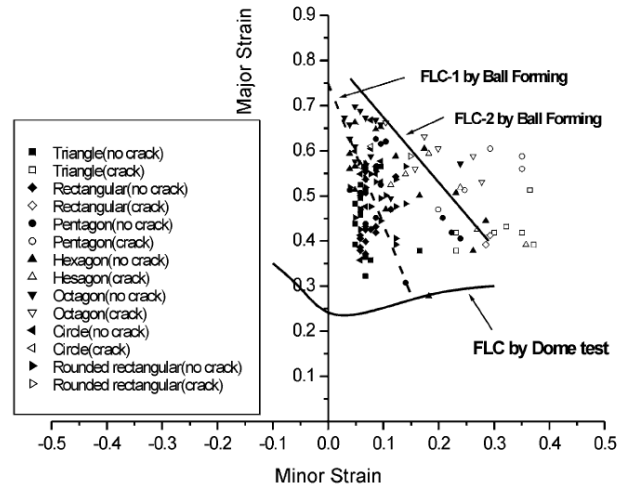
กระบวนการ SPIF

(a) เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจาก CAM

(b) การเคลื่อนที่ที่ขึ้นรูปจริง

จากการทดสอบแรงดึงแบบลูกโซ่ของ Sergey F. Golovashchenko และผลการทดลองของ M.B. Silva และคณะ สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบเพื่อหาค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในระหว่างการขึ้นรูปแต่ละช่วงสามารถคำนวณได้ดังนี้ [10]

$$\varepsilon_i = \frac{(l_i - l_{i+1})}{l_{i+1}} = \frac{[l_i - l_{i-2} \times (1 + \varepsilon_{i-1})]}{[l_{i-2} \times (1 + \varepsilon_{i-1})]} \quad (1)$$



รูปที่ 7 แผนภูมิขีดจำกัดการขึ้นรูประหว่างกระบวนการ SPIF

และการทดสอบการขึ้นรูปโดม

$$l_i = l_{i-2} \times (1 + \varepsilon_{i-1}) \times (1 + \varepsilon_i) \quad (2)$$

$$l_i = l_0 \times (1 + \varepsilon_i) \times (1 + \varepsilon_{i-1}) \times (1 + \varepsilon_{i-2}) \times \dots (1 + \varepsilon_{i-m}) \times \dots (1 + \varepsilon_2) \times (1 + \varepsilon_1) \quad (3)$$

เมื่อ l_i, l_{i-1}, l_{i-2} หมายถึงความยาวที่เพิ่มขึ้นจากความยาวตั้งต้น l_0 หลังจากผ่านการขึ้นรูปในช่วงที่ $i, i-1, i-2$ ตามลำดับ

ค่าความเครียดสะสมที่เกิดขึ้นตลอดช่วงการขึ้นรูปในช่วงที่ i หาได้จาก

$$\varepsilon_{1-i} = \frac{(l_i - l_0)}{l_0} = \left(\frac{l_i}{l_0} \right) - 1 \quad (4)$$

แทนค่า l_i จากสมการที่ (3) ลงในสมการที่ (4) จะได้สมการสำหรับค่าความเครียดสะสมดังนี้

$$\varepsilon_{1-i} = (1 + \varepsilon_i) \times (1 + \varepsilon_{i-1}) \times (1 + \varepsilon_{i-2}) \times \dots (1 + \varepsilon_{i-m}) \times \dots (1 + \varepsilon_{i-m}) \times \dots (1 + \varepsilon_2) \times (1 + \varepsilon_1) - 1 \quad (5)$$

สมการที่ (5) สามารถนำมาใช้ได้ดังนี้ โดยสมมติให้ช่วงการขึ้นรูปแบ่งออกเป็น 5 ช่วง ดังนั้น

$$l_5 = l_0 \times (1 + \varepsilon_5) \times (1 + \varepsilon_4) \times (1 + \varepsilon_3) \times (1 + \varepsilon_2) \times (1 + \varepsilon_1) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{1-5} &= \frac{(l_5 - l_0)}{l_0} \\ &= (1 + \varepsilon_5) \times (1 + \varepsilon_4) \times (1 + \varepsilon_3) \times (1 + \varepsilon_2) \times (1 + \varepsilon_1) - 1 \end{aligned} \quad (7)$$

ในทำนองเดียวกันค่าความเค้นความเครียดจริงสะสมในแต่ละช่วงการขึ้นรูป i สามารถคำนวณได้จาก

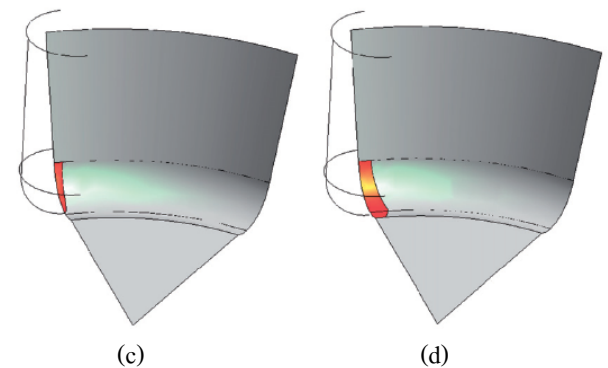
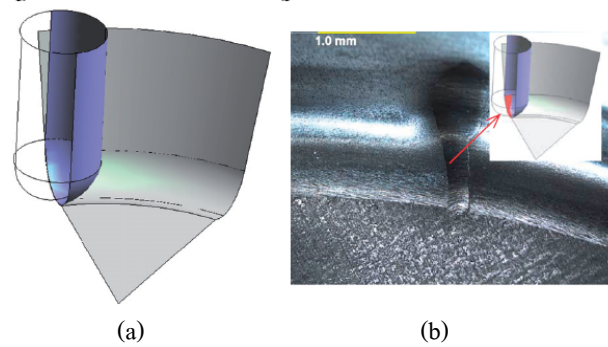
$$e_{1-i} = \ln\left(\frac{l_i}{l_0}\right) \quad (8)$$

$$e_{1-i} = \ln[(1 + \varepsilon_i) \times (1 + \varepsilon_{i-1}) \times (1 + \varepsilon_{i-2}) \times \dots \times (1 + \varepsilon_{i-m}) \times \dots \times (1 + \varepsilon_2) \times (1 + \varepsilon_1)] \quad (9)$$

ในปัจจุบันโปรแกรมการวิเคราะห์ทาง FEM ได้มีความก้าวหน้าไปมาก และได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น เช่น ABAQUS, PAM-Stamp และ/หรือ ANSYS ซึ่งช่วยให้สามารถทำการวิเคราะห์ขึ้นรูปได้สะดวกขึ้น และเที่ยงตรงมากขึ้น [6] (พิจารณารูปที่ 8) เมื่อเครื่องมือเริ่มสัมผัสกับชิ้นงานจะเกิดการเสียรูปเฉพาะที่จุดสัมผัสเท่านั้นและค่าความเค้นจะเพิ่มขึ้นตามการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

3. แนวโน้มการประยุกต์ใช้งานกระบวนการ SPIF

กระบวนการ SPIF นี้เหมาะสำหรับการผลิตชิ้นงานโลหะแผ่นเพียงชิ้นเดียว หรือเป็นจำนวนไม่มากนักประมาณ 10 - 20 ชิ้น ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ทำต้นแบบจากโลหะแผ่นในอุตสาหกรรม และในปัจจุบันใช้ในการผลิตชิ้นส่วนที่ใช้ในร่างกายคน เช่น บางส่วนของกระดูกเทียม ในกรณีของผู้ป่วยประสบอุบัติเหตุมา [11] (พิจารณารูปที่ 9)



รูปที่ 8 การจำลองการขึ้นรูปแบบ SPIF

- (a) ด้วย FEM
- (b) การขึ้นรูปจริง
- (c) เมื่อเครื่องมือเริ่มสัมผัสกับชิ้นงานจะเกิดการเสียรูปเฉพาะที่จุดสัมผัส
- (d) เมื่อเครื่องมือเคลื่อนลึกเข้าไปในชิ้นงานค่าความเค้นจะเพิ่มขึ้นเฉพาะที่จุดสัมผัสของเครื่องมือเท่านั้น

4. บทสรุป

เนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นแบบลูกโซ่ด้วยเครื่องมือแบบสัมผัสเป็นจุดเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นที่ไม่ต้องใช้แม่พิมพ์ แต่ใช้เครื่องมือกล (CNC Milling) และเครื่องมือที่มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกปลายโค้งแทน ซึ่งจะลดค่าใช้จ่ายในเรื่องของการสร้างแม่พิมพ์ที่มีราคาสูงและใช้เวลาในการผลิตค่อนข้างนานออกไปได้



(a)



(b)

รูปที่ 9 ชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปด้วย SPIF ที่ใช้ในการแพทย์

(a) ภาพแผ่นปะกระดูกโหลก (ด้านหน้า)

(b) ภาพแผ่นปะกระดูกโหลก (ด้านบน)

เอกสารอ้างอิง

- 1 <http://www.fatronic.com>
- 2 <http://www.mech.kuleuven.be/pp/research/spif.en.html>
- 3 G.Ambrogio, L.Filice, F.Gagliardi and F.Micari, Three-dimensional FE simulation of single point incremental forming: Experimental evidences and process design improving. VIII International Conference on Computational Plasticity, Barcelona, 2005
- 4 Elisabetta Ceretti, Claudio Giardini and Aldo Attanasio, Experimental and simulative results in sheet incremental forming on CNC machines. Journal of Materials Processing Technology 152 (2004) 176-184
- 5 G. Ambrogio, L. De Napoli, L. Fillice and M. Muzzupappa, Application of Incremental Forming Process for High customized medical product manufacturing. Journal of Materials Processing Technology 162-163 (2005) 156-162
- 6 Myoung-Sup Shim and Jong-Jin Park, The formability of aluminum sheet in incremental forming. Journal of Materials Processing Technology. 113: 654-658
- 7 C.C. Wong, T.A. Dean and J. Lin, A review of spinning, shear forming and flow forming processes. International Journal of Machine Tools & Manufacture 43 (2003) 1419-1435
- 8 K. Mori, M. Yamamoto, K. Osakada, Determination of hammering sequence in incremental sheet metal forming using a genetic algorithm, Journal of Materials Processing Technology 60 (1996) 463-468
- 9 Sergey F. Golovashchenko, Al Krause, Improvement of formability of 6xxx aluminum alloys using incremental forming technology. Journal of Materials Engineering and Performance. Volume 14(4) August 2005: 503-507
- 10 M.B. Silva, M. Skjoedt, P.A.F. Martins and N. Bay, Revisiting the fundamentals of single point incremental forming by means of membrane analysis. International Journal of Machine Tools & Manufacture (2007) Article in press
- 11 KU Leuven, Belgium

