การศึกษาและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยการวิเคราะห์ไฟไนเอลิเมนต์

Study and Development of Part Forming Process in Stainless Steel AISI 304 by Using FEA

กิตติ สมัครไทย[1]* ศิริชัย ต่อสกุล[2]

[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

E-mail: kitti.sainoi@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนฝาซีลทำจากเหล็กกล้าไร้เสนิม AISI 304 หนา 2 มิลลิเมตรโดยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม Dyna Form 5.5 เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง เพื่อทำการวิเคราะห์ความเครียด ความหนา พฤติกรรมการฉีกขาดของชิ้นงาน ผลการวิจัยพบว่าการออกแบบรัศมีของพันช์ 2 มิลลิเมตร และรัศมีของดาย 3 มิลลิเมตร ให้ผลการทดลองด้านการไหลตัวของแผ่นชิ้นงานดีที่สุด โดยปราศจากการฉีกขาด มีความหนาลดลงเฉลี่ย 0.112 มิลลิเมตร และมีความหนาแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 3.44 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ตำแหน่งวิกฤตของชิ้นงานมีค่าความเครียดหลักและค่าความเครียดรองลดลงซึ่งเกิดจากรัศมีของดายมีขนาดโต ทำให้ลดการยืดตัวของแผ่นชิ้นงาน ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ กับผลการทดลองมีความสอดคล้องกันอย่างดี

คำหลัก ไฟไนต์เอลิเมนต์ , ความเครียด

1. บทนำ

การขึ้นรูปโลหะแผ่นให้ได้ชิ้นงานออกมามีคุณภาพขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน อาทิเช่น รูปร่างของแม่พิมพ์ ความเร็วของแม่พิมพ์ แรงในการจับยึดชิ้นงาน เป็นต้น [1] ในทางปฏิบัติการกำหนดปัจจัยดังกล่าวให้ได้ค่าที่เหมาะสมอาจต้องเสียระยะเวลาสำหรับการทดลอง ซึ่งปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมได้มีการนำโปรแกรมคำนวณบนเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการจำลองกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น เพื่อหลีกเลี่ยงการสร้างแม่พิมพ์ที่ไม่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ [2] งานวิจัยครั้งนี้เป็นการแก้ไขปัญหาการขึ้นรูปชิ้นส่วนของฝาซีล วัสดุเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304หนา 2 มม.ด้วยวิธีการจำลองการขึ้นรูปด้วยโปรแกรม Dyna Form 5.5 เปรียบเทียบกับการทดลองขึ้นรูปจริง การประยุกต์ใช้แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และปรับค่าค่าพารามิเตอร์ของพันช์และดายในการจำลองการขึ้นรูป ศึกษาพฤติกรรมของชิ้นงานเช่น การฉีกขาด ความเครียด ความหนา เพื่อนำค่าที่มีความเหมาะสมสำหรับการออกแบบแม่พิมพ์ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 ทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

พฤติกรรมของแผ่นโลหะที่เกิดขึ้นในกระบวนการลากขึ้นรูปในช่วงการเปลี่ยนรูปถาวร สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดและคุณสมบัติของวัสดุเป็นแบบแอนไอโซทรอปี(Anisotropy)[3]

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (1)$$

$$r = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t} \quad (2)$$

ซึ่งนำชิ้นทดสอบตัดตามแนวทิศทางการรีด (r_0, r_{45}, r_{90}) จำนวนอย่างละ 5 ชิ้นทดสอบ แล้วทดสอบการดึงตามแนวแกนเพื่อทดสอบหาสมบัติเลขชี้กำลังการทำให้แข็งด้วยความเครียด (Strain-hardening exponent, n – values) และสัมประสิทธิ์ความต้านแรง (Strength coefficient, K) ตามสมการที่ (1) และอัตราส่วนความเครียดพลาสติก r (Anisotropy) ตามสมการที่ (2) แสดงในตารางที่ 1

2.2 การทดลองขึ้นรูปจริง

นำชิ้นงานทดลองตีกริดวงกลมขนาด 2.5 มม. ขึ้นรูปจริงที่รัศมีพันช์ 1 มม. รัศมีดาย 1.5 มม. จำนวน 5 ชิ้น จากนั้นนำชิ้นงานไปวัดการยืดตัวของกริดบนแผ่นชิ้นงานเพื่อหาความเครียดด้วยโปรแกรม Dino Capture แสดงดังรูปที่ 1 วัดความหนาของผนังชิ้นงานชิ้นงานด้วยไมโครดิจิตอลซนิดหัวบอล แสดงดังรูปที่ 2

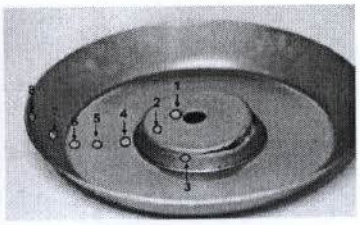
2.3 แบบจำลองวิเคราะห์ทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์การฉีกขาด ความเครียดและความหนาของการจำลองการขึ้นรูป ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Dyna Form 5.5 และ

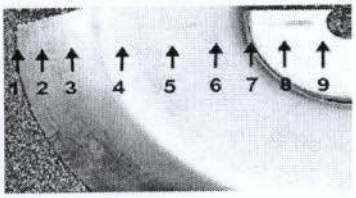
เนื่องจากการขึ้นรูปเป็นแบบสมมาตร จึงใช้หนึ่งในสี่มาสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

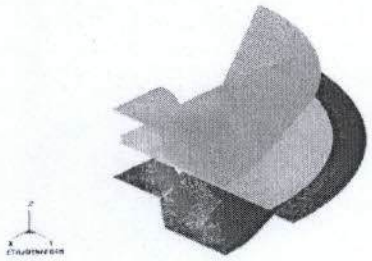
ความหนา	เลขชี้กำลังการทำให้แข็งด้วยความเครียด (n)	สัมประสิทธิ์ความต้านแรง (K)	อัตราส่วนความเครียดพลาสติก (r)			
			r_{0°	r_{45°	r_{90°	$\bar{r}$
2 mm.	0.3528	1154	0.9217	1.1616	0.9870	1.05796



รูปที่ 1 ตำแหน่งการวัดการยืดตัวของกริดวงกลม



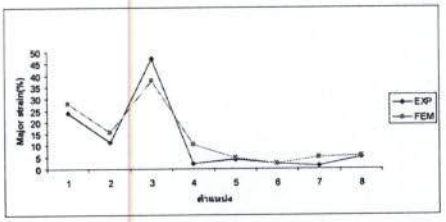
รูปที่ 2 ตำแหน่งวัดความหนา



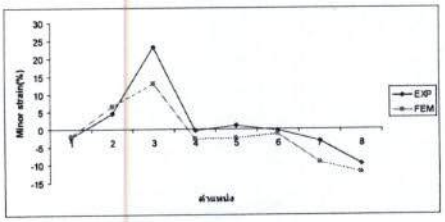
รูปที่ 3 แบบจำลองและกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการขึ้นรูป

3. ผลการทดลอง

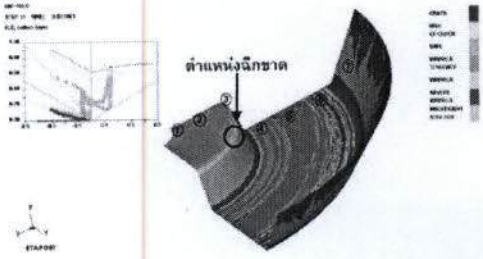
จากการทดลองแสดงผลเปรียบเทียบการจำลองการขึ้นรูปด้วยโปรแกรม Dyna Form 5.5 กับการทดลองขึ้นรูปจริง และการประยุกต์ใช้แผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 จากการทดลอง จากนั้นประยุกต์ปรับค่าค่าพารามิเตอร์ของพันช์และดายในการจำลองการขึ้นรูป ศึกษาพฤติกรรมของชิ้นงานเช่น การฉีกขาด ความเครียด ความหนา



รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่าความเครียดหลัก

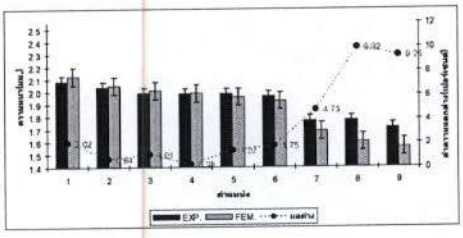


รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าความเครียดรอง



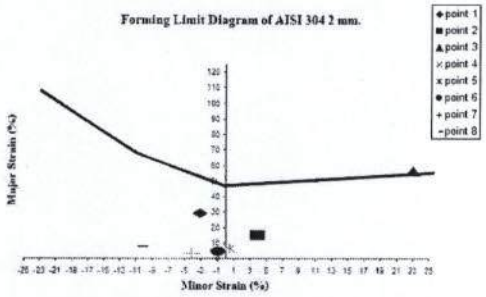
รูปที่ 6 แสดงพฤติกรรมของการขึ้นรูปชิ้นงานจากวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เปรียบเทียบพฤติกรรมการขึ้นรูปชิ้นงาน ระหว่างการทดลองจริงกับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แสดงดังรูปที่ 4,5,6, พบว่าตำแหน่งที่ 3 เกิดการฉีกขาดของชิ้นงานเหมือนกัน มีค่าความเครียดสูงสุด ตำแหน่งที่ 4 ถึง 6 เกิดค่า Compressive Stress บริเวณขอบด้านล่างของชิ้นงานใกล้เคียงกัน เนื่องจากแรงกดระหว่างพันช์-ดาย และความหนามีการเปลี่ยนแปลงน้อย ตำแหน่งที่ 7 ถึง 8 เกิดค่า Compressive Strain ที่เกิดจากการไหลตัวของวัสดุ เกิดรอยย่นซึ่งทำให้มีความหนาที่มากขึ้น



รูปที่ 7 กราฟแสดงเปรียบเทียบความหนา

การวิเคราะห์ค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง การขึ้นรูปชิ้นงานจริง กับการจำลองการขึ้นรูปด้วยระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนต์ มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าความหนาแตกต่างเฉลี่ย 3.44 % แสดงดังรูปที่ 7



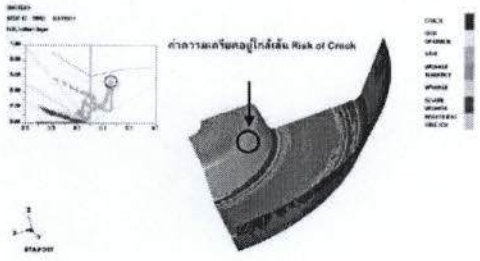
รูปที่ 8 ตำแหน่งความเครียดจากการขึ้นรูปชิ้นส่วนฝาซีล บนแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 2mm.

พบว่าตำแหน่งที่ 1 ถึง 8 ยกเว้น ตำแหน่งที่ 3อยู่ใต้เส้นโค้งขีดจำกัดการขึ้นรูป (FLC) เป็นจุดที่ปลอดภัยไม่พบการฉีกขาด และมีความเครียดในแนวระนาบ (Plain Strain) มีการยืดตัวเฉพาะในแนวแกนหลัก สำหรับบริเวณขอบชิ้นงานจะเกิดรอยย่น (Wrinkles) เนื่องจากมีการยืดออกในแนวแกนหลักและหดตัวในแนวแกนรอง เป็นบริเวณที่อยู่ใต้เส้นสภาวะเฉือนอย่างเดียว ส่วนตำแหน่งที่ 3 อยู่เหนือเส้นขีดจำกัดการขึ้นรูป เป็นจุดที่พบการฉีกขาดของชิ้นส่วนฝาซีล แสดงดังรูปที่ 8

ผลการจำลองการขึ้นรูปด้วย ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ มีความสอดคล้องกับขึ้นรูปจริง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของพันช์-ดาย และวิเคราะห์การขึ้นรูป เพื่อนำค่ารัศมีที่เหมาะสำหรับออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนฝาซีล ดังในตารางที่ 2

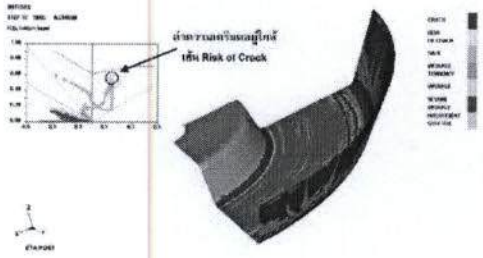
ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของพันช์-ดาย

Punch(mm.)	1.5			2		
Die(mm.)	2	2.5	3	2	2.5	3



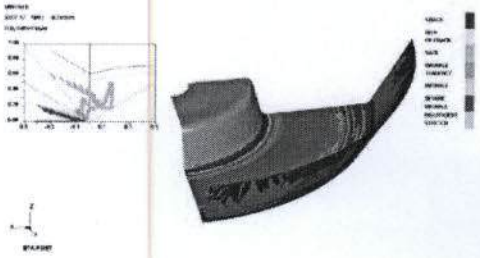
รูปที่ 9 จำลองการขึ้นรูป รัศมีพันช์ 1.5 มม. และรัศมีดาย 2 มม.

พบว่าบริเวณขอบด้านในของชิ้นงาน มีค่าความเครียดอยู่ระหว่างเส้นขีดจำกัดการขึ้นรูป (FLC) มีโอกาสเกิดฉีกขาด (Risk of Cracks) แสดงเป็นสีเหลือง บริเวณขอบชิ้นงานเกิดรอยย่น (Wrinkles) ทำให้มีความหนาเพิ่มขึ้น แสดงดังรูป 9



รูปที่ 10 จำลองการขึ้นรูป ค่ารัศมีพันช์ 2 มม. และรัศมีดาย 2 มม.

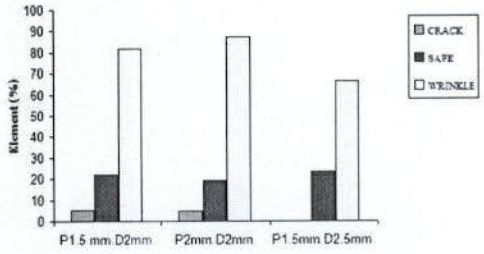
พบว่าบริเวณขอบด้านในของชิ้นงานมีค่าความเครียดอยู่ใกล้เส้นขีดจำกัดการขึ้นรูป (FLC) บริเวณขอบชิ้นงานเกิดรอยย่น (Wrinkles) ทำให้มีความหนาเพิ่มขึ้น แสดงดังรูป 10



รูปที่ 11 จำลองการขึ้นรูป ค่ารัศมีพันช์1.5 มม. และรัศมีดาย 2.5 มม.

พบว่าบริเวณขอบด้านในของชิ้นงานอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย (Safe) มีค่าความเครียดอยู่ใต้เส้นขีดจำกัดการขึ้นรูป (FLC) บริเวณขอบชิ้นงานเกิดรอยย่น (Wrinkles) ทำให้มีความหนาเพิ่มขึ้น แสดงดังรูป 11

จากการจำลองการขึ้นรูป พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการขึ้นรูปคือ รัศมีดาย โดยค่ารัศมีที่ 2 มม.มีโอกาสเสี่ยงต่อการฉีกขาด สำหรับค่ารัศมีดายที่ 2.5 มม. และ 3 มม. สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้อย่างปลอดภัย ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่ารัศมีพันช์เท่ากับ 2 มม. และค่ารัศมีดายเท่ากับ 3 มม. เนื่องผลจำลองขึ้นรูปมีค่าต่ำกว่าขึ้นรูปจริงเล็กน้อยจึงใช้ค่าพารามิเตอร์ที่สูงกว่า ในการออกแบบแม่พิมพ์และทำการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจริง แสดงดังรูปที่ 12 และตามข้อมูลที่ ดังในตารางที่ 3



รูปที่ 12 ผลการจำลองการขึ้นรูปด้วยระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนต์

ตารางที่ 3 แสดงผลการจำลองการขึ้นรูป

Punch(mm.)	Die(mm.)	Crack	Risk of Crack	Safe
1.5	2		/	
	2.5			/
	3			/
2	2		/	
	2.5			/
	3			/

4. สรุป

จากผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบระหว่างการขึ้นรูปชิ้นงานจริงกับการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าสามารถแสดงถึงพฤติกรรมการขึ้นรูปโลหะแผ่น ที่มีแนวโน้มของผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน ดังนั้นจึงสามารถนำผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์จากการจำลองการขึ้นรูป ไปประยุกต์ใช้สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ในการขึ้นรูปโลหะแผ่น สำหรับในส่วนการแก้ไขแม่พิมพ์ พบว่ารัศมีดาย มีอิทธิพลต่อการขึ้นรูปชิ้นงานฝาซีล ของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยที่รัศมีดายขนาดเล็ก การไหลตัวของวัสดุชิ้นงานจะไหลตัวได้ยาก และวัสดุเกิดความเค้นสูงขึ้นบริเวณที่วัสดุไหลผ่านรัศมีดาย จึงทำให้มีการยืดตัวสูง ซึ่งบริเวณจุดวิกฤตพบการฉีกขาดของชิ้นงาน และค่าความเครียดในบริเวณนั้นมีค่าสูงกว่าเส้นขีดจำกัดการขึ้นรูป (FLC) ของวัสดุ และเมื่อปรับรัศมีดาย เป็น 3 มม. ซึ่งได้จากการจำลองการขึ้นรูป ผลสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้สำเร็จ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า รัศมีดายมีผลต่อการขึ้นรูป โดยรัศมีดายที่มีขนาดโตจะช่วยในการไหลตัวของวัสดุได้ดีกว่ารัศมีดายที่มีขนาดเล็ก และการวิเคราะห์ด้วยไฟไนเอลิเมนต์ในการจำลองการขึ้นรูปสามารถนำไปประยุกต์ใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบแม่พิมพ์

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนจากโครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัยทุนสกว.- อุตสาหกรรม (MAG Window I) บริษัทชิวปรีม แมชีนเนอร์รี่ แมนูแฟคเจอริ่ง จำกัด ดร.สุวัฒน์ จีรเธียรนาถ คุณอรรถพล พลาศรัย จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการดำเนินการวิจัยเป็นอย่างดี ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ ในการวิจัยจนประสบความสำเร็จ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ดำรง ไชยธีรานุวัฒศิริ. (2537). การขึ้นรูปโลหะ. กรุงเทพฯ.

[2] Mattiasson, K. 2000. On finite element simulation of steel metal forming process in industry, European Congress on computational methods in applies sciences and engineering, Barcelona, 11-14.

[3] ชัยยศ บูรณะชีพ. 2549. การวิเคราะห์พฤติกรรมการย่นโดยแผนภาพขีดจำกัดการขึ้นรูป. ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย สถานบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ.

[4] คมสันต์ งามขำ. 2549. ขีดจำกัดการขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทไนต์ SUS 304 จากการเปลี่ยนความหนา. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[5] พรชัย คงวัฒนาชัย. 2546. การใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์การขึ้นโลหะแผ่น. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[6] สามารถ แช่มคำ. (2546). การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการขึ้นรูปถาดอลูมิเนียมโดยการวิเคราะห์ไฟไนเอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[7] Chanderkan. 1996. Deep Drawing of Rectangular Pans from Aluminum Alloy 2008-T4. Journal of Material A Processing Technology, 27-34.

[8] Nakamachi, E. 1996. Static-Explicit Plastic Finite Element Simulation and Virtual Manufacturing of Sheet Metal Forming, Engineering Computations, 283-307.

[9] Li-Ping Lei, Sang-Moon Hwang, Beom-Soo Kang. 2000. Finite element analysis and design in Stainless steel sheet forming and its experimental comparison, Journal of Materials Processing Technology.

[10] Takuda, H. 2000. Finite element analysis of limit strains in biaxial stretching of sheet metals allowing for ductile fracture. Department of Energy Science and Technology.