



อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราความเครียด โดยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุด

Influence of the Parameters on Strain Rate by Single Incremental Forming Process

คงชัย เพ็งจันทร์^{1*} ศิริชัย ต่อสกุล²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยครินคринกรวิโรฒ

อำเภอองรักษ์ จังหวัดนครนายก รหัสไปรษณีย์ 26120

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

E-mail: thongchai@swu.ac.th*

Thongchai pangjundee* Sirichai Torsakul

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

Ongkharak, Nakhonnayok 26120

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

Thanyaburi, Phatumthani 12110

*

E-mail: chaiswu@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ ผลการวิจัยการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผล ต่ออัตราความเครียดโดยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัส เป็นจุด โดยจะทำการขึ้นรูปแผ่นโลหะทองเหลือง ที่มีส่วนผสม Cu เท่ากับ 61.34 เปอร์เซ็นต์ และ Zn เท่ากับ 38.4 เปอร์เซ็นต์ ความ หนา 0.6 มิลลิเมตร ให้มีรูปทรงเป้ามิดหัวตัดสูง 20 มิลลิเมตร ด้วย หมุนในการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน คือ หมุน 30,40 และหมุน 50 องศา และ ด้วยปัจจัยการทำงานที่ถูกกำหนดไว้คือ ความเร็วรอบ 200 รอบต่อ นาที และความเร็วเดิน 100,200 และ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และ ระยะการกดในแต่ละรอบ เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรโดยวัสดุที่ใช้เป็น อุปกรณ์ที่ใช้ในการกดขึ้นรูปจะเป็นโลหะสำหรับใช้ในการผลิต แม่พิมพ์ตามมาตรฐาน JIS เกared SKD 11 และทำการขึ้นรูปให้ ปลายมีรูปทรงกลมขนาด 10 มิลลิเมตร เพื่อทำการกดลงบนพื้นผิว แผ่นทองเหลือง พนว่ามุนในการขึ้นรูปที่ก่อให้เกิดอัตรา ความเครียด น้อยที่สุดในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่อง โดยการสัมผัสเป็นจุดคือ การขึ้นรูปที่หมุน 50 องศา ด้วยตัวแปร ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการ หมุน 200 รอบต่อนาที โดยก่อให้เกิดอัตราความเครียด ที่ 20.39 เปอร์เซ็นต์

คำหลัก กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุด, อัตรา ความเครียด, แผ่นทองเหลือง, หมุนในการขึ้นรูป

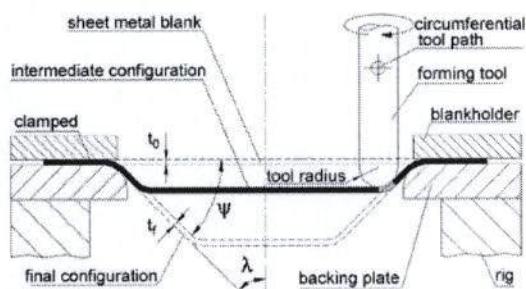
1. บทนำ

การวิจัยขึ้นรูปโลหะแผ่นในปัจจุบันยังเป็นกระบวนการที่มี ความยุ่งยากซับซ้อนในการผลิต ซึ่งในการที่จะผลิตให้ได้ซึ่งการ

แปรรูปโลหะแผ่นให้มีขนาดดูรูปร่างให้เป็นไปตามที่ต้องการนั้น กระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูป จะประกอบไปด้วยขั้นตอนในการ ทำงานในหลายส่วน เช่น ขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอน การ ผลิตแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป ซึ่ง แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปโลหะ แผ่นนั้นมีความซับซ้อนในการผลิต และมีราคาสูง และในการขึ้นรูป ด้วยแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่นนั้นยังต้องใช้เครื่องจักรที่ใช้กำลังใน การทำงานสูงในการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วย อีกทั้งต้องการวิธีการ ขึ้นรูปโลหะด้วยแม่พิมพ์ขึ้นรูปแบบเดิมนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อน ทำให้การผลิตเพื่อการขึ้นรูปโลหะแผ่นให้เป็นไปตามแบบหรือ ผลิตภัณฑ์ เพื่อให้คุณค่าในการผลิต จึงจะต้องทำการผลิตเป็น จำนวนมากเพื่อให้ราคากลิตภัณฑ์ต่อหน่วย มีราคาลดลง ซึ่งทำให้ ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของผลิตภัณฑ์ เป็นไปได้ อย่างล้าช้า ซึ่งขัดต่อความต้องการของ ผู้บริโภคในปัจจุบันซึ่งมี ความต้องการ ความหลากหลายในรูปแบบ ของผลิตภัณฑ์ เป็น อย่างมาก ดังนั้นจากปัญหาที่เกิดขึ้น จึงมีการนำเสนอแนวคิดใหม่ ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยไม่มีการใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูป[1] โดย ในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบใหม่นั้น จะมีการใช้กำลังใน การขึ้นรูปแผ่นโลหะน้อยกว่ากระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นแบบเดิม เป็นอย่างมาก และอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป ก็มีขั้นตอนการผลิตที่ มีซับซ้อนน้อยลง[2] นั้นก็คือกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการ สัมผัสเป็นจุด กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็น จุดเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบใหม่ที่มีความสามารถในการ ขึ้นรูปโลหะแผ่นได้อย่างรวดเร็ว และ มีความซับซ้อนใน กระบวนการผลิตน้อยกว่าแบบเดิมมาก[3] โดยองค์ประกอบหลัก ของ กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุด จะ ประกอบไปด้วย แผ่นโลหะที่ใช้ในการขึ้นรูป, อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้น



รูป, อุปกรณ์จับยึดแผ่นโลหะ และมีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้ คือ มีการใช้อุปกรณ์ขันรูป รูปทรงกระบอกที่มีปลายเป็นรัศมีโค้ง และหมุนด้วยความเร็วรอบที่กำหนดโดยทำการเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางการทำงานที่ถูกกำหนดด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต [6] แล้วทำการกดลงบนพื้นผิวแผ่นขึ้นแรงโน้มถ่วงที่ถูกจับยึดทำให้เกิดการเสียรูปอย่างการเฉพาะจุดบนแผ่นโลหะดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการทำงานของกระบวนการขันรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด [1]

โดยในการวัดค่าเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของชิ้นงาน จะกระทำโดยการวิเคราะห์กริดวงกลมที่ทำการกัดกรดเกลือไว้ที่ระบบห่ำอย่างส่วนเชื่อมอ มีขนาดวงกลมเท่ากันที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร [4] โดยหลังจากการขันรูป กริดวงกลมบนแผ่นทองเหลืองจะเปลี่ยนรูปเป็นวงรี และจึงทำการวัดขนาดของวงรีที่เปลี่ยนไปตามแนวแกน X และแนวแกน Y เพื่อหาความเครียดหลักและความเครียดรองที่เกิดขึ้นโดยความเครียดทั้งสองนี้จะถูกพิสูจน์แนวภาพขึ้นจากการขันรูป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

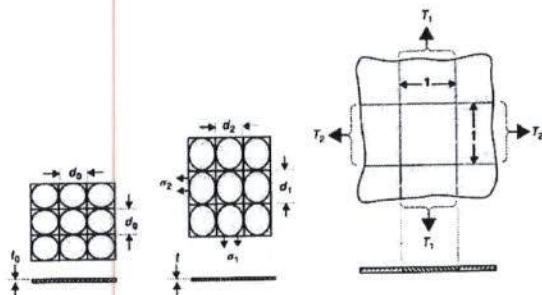
ตารางที่ 1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกลของแผ่นทองเหลือง

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (% wt)					
Cu	Zn	Cl	Mg	P	Al
61.34	38.4	0.07	0.04	0.03	0.02
คุณสมบัติทางกล					
Tensile strength (N/mm ²)	yield strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Maximum tensile load (kN)	Thickness (mm)	
415.48	199.15	31.60	3.274	0.63	

อัตราความเครียดที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปของโลหะแผ่นในระหว่างความเด่น

ในขณะที่มีการเปลี่ยนรูปบนระนาบความเด่น(Plane stress) [7] ของวัสดุ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีสัดส่วนการเปลี่ยนรูปในภาพประกอบ 2 ลักษณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนรูปที่ความหนา t_0 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d_0 หรือตารางขนาด d_0 แสดงในรูป

ดังนั้นในระหว่างการเปลี่ยนรูปวงกลมจะเปลี่ยนไปเป็นวงรี แทนของ Major คือ d_1 และแทนของ Minor คือ d_2 ถ้าปรับตารางสี่เหลี่ยมให้เข้ากับทิศทางหลักของกริดวงกลม จะกลายเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังรูป ส่วนความหนา คือ t ตามที่กรณีแสดงดังรูปที่ 2 ความเด่นที่ทำให้เปลี่ยนรูปคือ σ_1 และ σ_2



รูปที่ 2 ลักษณะตารางวงกลมกริดบนโลหะแผ่น

อัตราความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขันรูป

อัตราความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขันรูป [4] เกิดจากการคำนวณหาอัตราส่วนของรูปร่างวงกลมกริดที่เปลี่ยนตามแนวแกน ได้จากสูตรดังต่อไปนี้

อัตราความเครียดหลัก (Major strain)

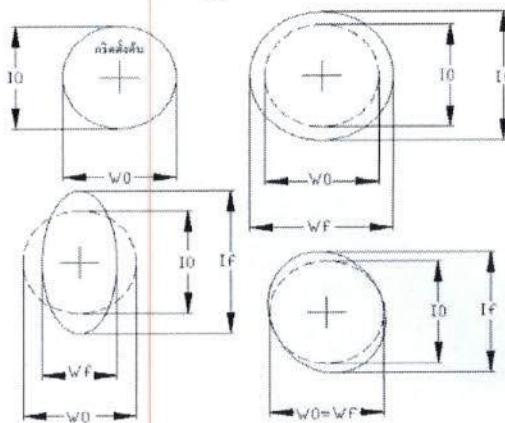
$$\frac{(I_f - I_0)}{I_f} \times 100 \quad (1)$$

If

อัตราความเครียดรอง (Minor strain)

$$\frac{(W_f - W_0)}{W_f} \times 100 \quad (2)$$

Wf



รูปที่ 3 การวัดอัตราความเครียดและอัตราความเครียดรอง

โดย

I_0 = ความยาวแกนหลักเดิม

I_f = ความยาวแกนหลักที่เปลี่ยนไป

W_0 = ความยาวแกนรองเดิม

W_f = ความยาวแกนรองที่เปลี่ยนไป



3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

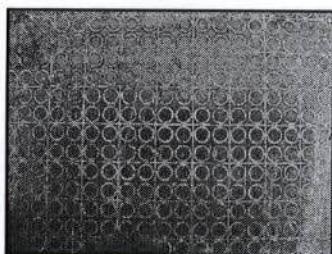
การดำเนินการทดลองการขึ้นรูปด้วย กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุด จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังตารางที่ 2 และอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นต้องใช้สำหรับงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับที่	รายละเอียด
1	เครื่องกัดแนวตั้ง CNC Milling Arrow 500
2	หูลสำหรับกดขึ้นรูปปั๊บยูปทรงกลม ขนาด Ø 10 มิลลิเมตร
3	กล้องขยายความละเอียดสูง
4	สารหล่อสีน้ำ ประเภทเจลีน เกรด SG 306
5	อุปกรณ์สำหรับจัดแต่งห้องเหลือง
6	เครื่องบันทึกภาพที่ประกอบด้วยกล้องถูกตั้งแต่ต้นและสายดิน
7	แผ่นอลูมิเนียมกว้างกลม

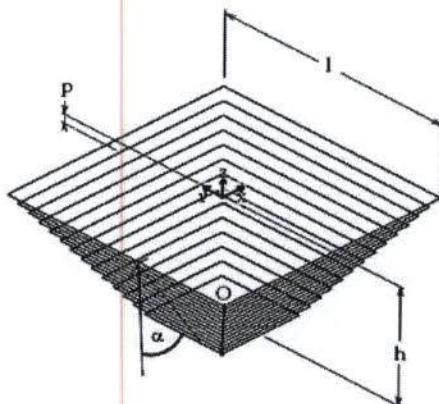
3.2 วิธีการทดลอง

- ในการทดลองจะทำการตีกริตรวงกลมโดยใช้การกรดเกลือกัดด้วยไฟฟ้าเป็นการซูบเคลือบผิวสุดท้ายให้เกิด ลายวงกลมขนาด 2.5 มิลลิเมตร[4] ดังรูปที่ 4 เพื่อทำการวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวหลังจากที่ขึ้นรูปได้ผ่านการขึ้นรูป



รูปที่ 4. แผ่นห้องเหลืองที่ผ่านการตีกริตรวงกลมโดยการกรดเกลือกัดด้วยไฟฟ้า

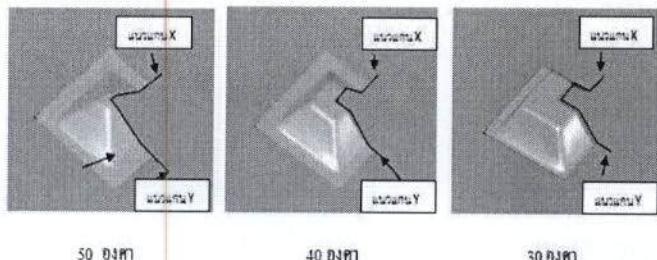
- โดยในการทดลองจะทำการขึ้นรูปโดยมีรูปทรงแบบ ปีรามิดหัวตัดโดยฐาน ของปีรามิดเป็น สี่เหลี่ยมด้านเท่าขนาด 58 x 58 มม โดยในการทดลองจะกำหนดเส้นทางการเดินขึ้นรูปโดยใช้โปรแกรมช่วยในการผลิต ทำการกำหนดเส้นทางการทำงานที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 5 และมีการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้แก่ มุมที่ใช้ในการขึ้นรูป (Angle forming), ความเร็วในการหมุนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป (Speed) , ความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป (Feed) ตามตารางที่ 3



รูปที่ 5 ภาพแสดงมุม,เส้นทางการเดินและค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการขึ้นรูป[3]

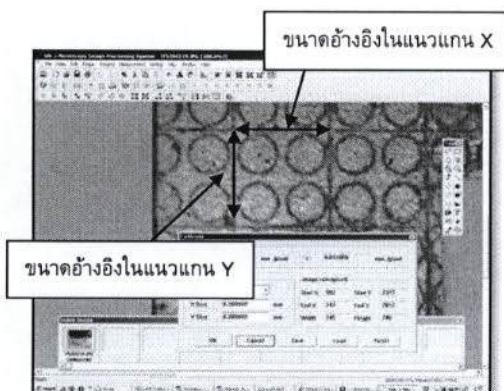
ตารางที่ 3 ตารางแสดงปัจจัยที่ใช้ในการขึ้นรูป

Process parameter	
I (mm) (Width)	58 mm
p(mm) (Depth)	0.5 mm
h(mm) (Height)	20 mm
α (°)	30 , 40 , 50
Feed (mm/min)	100,200,300
Speed (rpm/min)	200



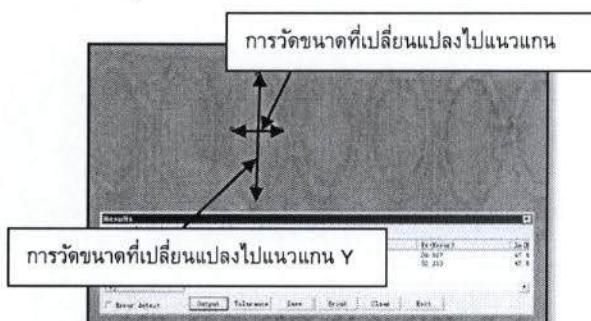
รูปที่ 6 รูปถ่ายขณะการขึ้นรูปที่ มุม 50,40 และ 30 องศา

- หลังจากการขึ้นรูปแล้วจึงใช้กล้องกล้องขยายความละเอียดสูงประกอบร่วมกับคอมพิวเตอร์ ปรับไฟกั๊สตามลักษณะชิ้นทดสอบ ทำการถ่ายภาพขนาดกริดมาตรฐานก่อนทำการขึ้นรูป ที่ระยะไฟกั๊สเดียวกับชิ้นงานทดลอง เพื่อกำหนดให้เป็นขนาด อะลูมิโนในโปรแกรม ดังรูปที่ 7 สำหรับใช้ในการวัดขนาด วงกลมกริดที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 7 รูปการกำหนดขนาดอ้างอิงของกริดมาตรฐาน

- ใช้กล้อง Microscope ที่มีความละเอียดสูง ประกอบร่วมกับคอมพิวเตอร์ ปรับไฟกัลส์ตามลักษณะรีชีฟทดสอบ โดยให้ขั้นตอนที่ถ่ายภาพ พื้นผิวนอกฝาผนังห้องเหลืองที่จะทำการถ่ายภาพจะต้องได้รับการปรับให้ขนาดกับหน้ากล้อง Microscope โดยให้ระยะไฟกัลส์ที่ทำการถ่ายภาพ กริด นั้นจะต้องเท่ากันในทุกชิ้นผ่านทดลอง หลังจากนั้น เลือก กริดวงกลม ที่เกิดการเปลี่ยนขนาดของวงกลมกริด เป็นวงรีนั่นแต่ละชั้นการทดลองแล้ว นำมาสร้างเส้นอ้างอิงในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอนดังรูปที่ 8 และใช้ทำการวัดขนาดกริดด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม End-2 วัดขนาดกริดในแนวตั้งและแนวนอนที่เปลี่ยนไปแล้วน้ำค่าที่ได้มามากกว่าค่าขนาดจริง ตามสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2



รูปที่ 8 รูปการวัดขนาดกริดในแนวตั้งและแนวนอน

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดลอง

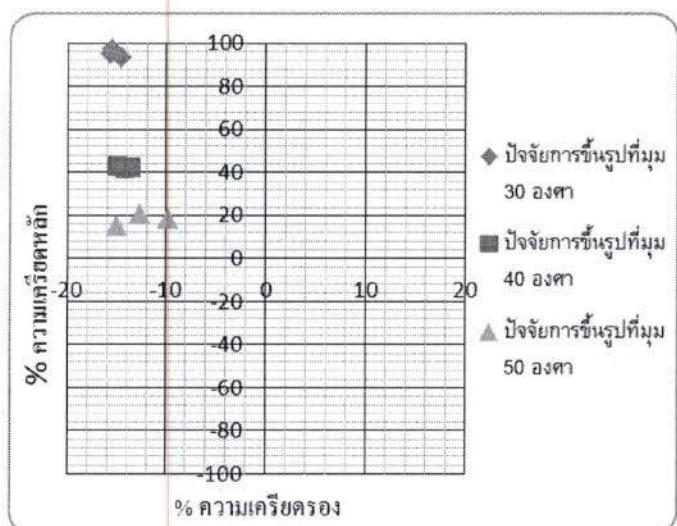
- ผลการวัดค่าอัตราความเครียดหลักและอัตราความเครียดรองที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวนอกฝาผนังห้องเหลืองตามมุมและด้านเปรียบเทียบกับตารางที่ 4

การเขียนรูปที่มุม 30 องศา		
อัตราความเครียด รอง	อัตราความเครียด หลัก	ความเร็วเดิน/ความเร็วอบ
-15.63 %	94.66 %	100/200
-15.43 %	97.07 %	200/200
-14.56 %	93.18 %	300/200

การเขียนรูปที่มุม 40 องศา		
อัตราความเครียด รอง	อัตราความเครียด หลัก	ความเร็วเดิน/ความเร็วอบ
-14.22 %	41.55 %	100/200
-13.61 %	42.51 %	200/200
-15.06 %	42.73 %	300/200

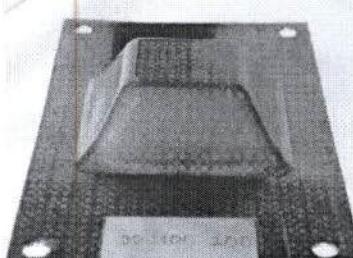
การเขียนรูปที่มุม 50 องศา		
อัตราความเครียด รอง	อัตราความเครียด หลัก	ความเร็วเดิน/ความเร็วอบ
-9.86 %	18.39 %	100/200
-12.66 %	20.39 %	200/200
-15.06 %	15.06 %	300/200

การแสดงผลการวัดอัตราความเครียดในรูปของแผนภูมิขีดจำกัด การเขียนรูป

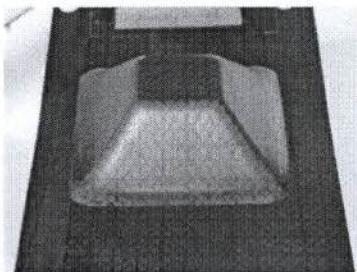


รูปที่ 9 อัตราความเครียดที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการเขียนรูป

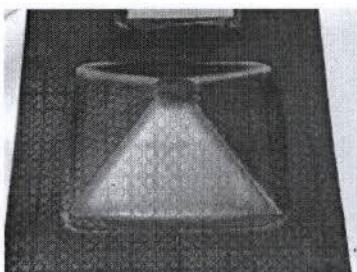
4.1 วิเคราะห์ลักษณะของอัตราความเครียดที่เกิดขึ้นจากการเขียนรูปตามปัจจัยที่กำหนด



รูปที่ 10 ลักษณะการเขียนรูปที่มุม 30 องศา



รูปที่ 11 ลักษณะการขึ้นรูปที่มุม 40 องศา



รูปที่ 12 ลักษณะการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา

จากการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวขั้นงานหลังการขึ้นรูปคือ ปัจจัยมุมที่ใช้ในการขึ้นรูปและความเร็วในการเดินขึ้นรูปปัจจัย เนื่องจากในการทดลองพบว่า อัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวขั้นงานหลังการขึ้นรูปสูงสุดในแต่ละมุม คือการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา ด้วยตัวแปร ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที เท่ากับ 97.07 % ,การขึ้นรูปที่มุม 40 องศาด้วยตัวแปร ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที เท่ากับ 42.73 % และการขึ้นรูปที่มุม 50 องศาด้วยตัวแปร ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที เท่ากับ 20.39 % นั้น จากผลการทดลองทำเห็นได้ว่า เมื่อมุมที่ทำการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นตามลำดับ อัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวขั้นงาน ก็ลดลงอย่างมาก และในส่วนของปัจจัย ความเร็วในการเดินขึ้นรูปที่แตกต่างกันนั้น พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราความเครียดที่เกิดขึ้นจากปัจจัยดังกล่าวมีค่าน้อยมาก ดังนั้นปัจจัยมุมที่หมายกับการขึ้นรูปโดยก่อให้อัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวขั้นงานต่ำสุด คือการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา และ ความเร็วในการเดินขึ้นรูปของอุปกรณ์ที่ความเร็ว 300 มิลลิเมตรต่อนาที

4.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง พบว่าในการขึ้นรูปแผ่นโลหะทองเหลือง ด้วยกรรมวิธี การขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุดนั้น มุมที่ใช้ เป็นปัจจัยที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้ความเครียดบนพื้นผิวของแผ่นโลหะ โดยค่าความเครียดผิวหลักที่เกิดจากการ

ขึ้นรูปด้วยมุมที่กำหนด แสดงให้เห็นได้ว่าจะมีค่าที่สูงขึ้นตามมุมที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ลดลง โดยค่าของความเครียดหลักที่เกิดขึ้นจากการขึ้นรูป จะตกผันกันมุมที่ใช้ในการขึ้นรูป กล่าวคือมุมที่ใช้ในการขึ้นรูปค่า ความเครียดหลักที่เกิดขึ้น บนพื้นผิวจะเพิ่มมากขึ้น ด้วย

กติกกรรมประภาก

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยคริสตินทวิโรด และภาควิชาชีวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] P.A.F.Martin , M.Bay , M Skjoedt , M.B Silva, Theory of singlepoint incremental forming,CRIP Ann. Manufacturing Technology 57 (2008) 247-252
- [2] Kathryn Jackson ,Julian Allwood ,The mechanic of incremental sheet forming, Journal of Materials Processing Technology 209 (2009) II58-II74
- [3] M.Durante, A.Formisano ,A.Langella, F Mimola Capece Minutolo,The influence of tool rotation on incremental forming process
- [4] Amit Mukund Joshi (B.E Mechanical, A.M.I. Prod. E) ,STRAIN STUDIES IN SHEET METAL STAMPINGS
- [5] Leszak, E Patent US3342051A1, Publisheed 1967-01-19 Apparatus and Process for incremental Dieless Forming
- [6] J. Jeswiet,rapid proto-typing with incremental single point forming , CAD/CAM Comput.Grapics 15 (2000) 177-183
- [7] Z. marciniak, J.L.Duncan,SJ.HU. (2002). Mechanics of Sheet Metal Forming. Znd .London: Butterworth-Heinemann