

บทที่ 3

ผลการทดลอง

ผลการวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรสำหรับขึ้นรูปลิกซ์งานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรวัสดุเกรด JIS: SPCC ที่มีความหนา 1 มม. พอที่จะสรุปผลที่ได้ในขั้นตอนของการทดลองได้ดังต่อไปนี้

- 3.1 ผลของการทดสอบด้วยชนิดรูปร่างของแผ่นตัดเปล่า
- 3.2 ผลของการทดสอบด้วยแรงกดที่ขึ้นงาน
- 3.3 ผลของการทดสอบด้วยชนิดสารหล่อลื่น
- 3.4 ผลของการทดสอบด้วยชนิดของครอว์บีค

3.1 ผลของการทดสอบด้วยชนิดรูปร่างของแผ่นตัดเปล่า

ก. ปัจจัยควบคุม

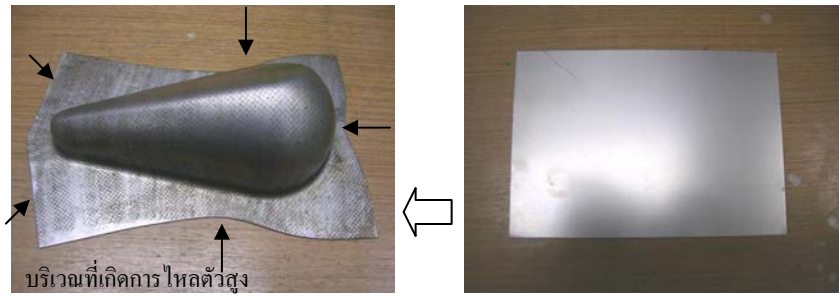
- สารหล่อลื่นแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน PE (Polyethylene)
- แรงกดขึ้นรูป (Punch force) เท่ากับ 104.49 kN (ภาคผนวก)
- แรงกดขึ้นงาน (Blank holding force) เท่ากับ 49.69 kN (ภาคผนวก)
- ระยะกดลึกของ 펀ช์ เท่ากับ 52 มม.

ข. ปัจจัยทดสอบ

- แผ่นตัดเปล่าสีเหลืองพื้นผ้าไม่บากมุม
- แผ่นตัดเปล่าสีเหลืองพื้นผ้าบากมุม
- แผ่นตัดเปล่าจากการคำนวณโดยการประมาณค่า

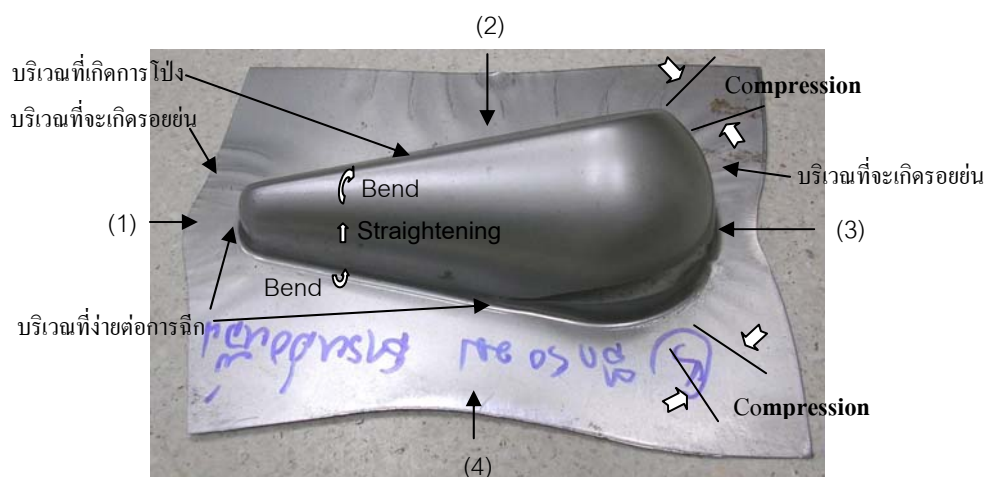
3.1.1 แผ่นตัดเปล่าสีเหลืองพื้นผ้าไม่บากมุม

ขนาด 200x140 มม. โดยใช้เครื่องตัดโลหะแผ่น (Power shear) ซึ่งแผ่นงานจะตัดตามทิศทางของแนวรีดโลหะแผ่นผ่านกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีการรีด ดังแสดงในภาพที่ 3.1

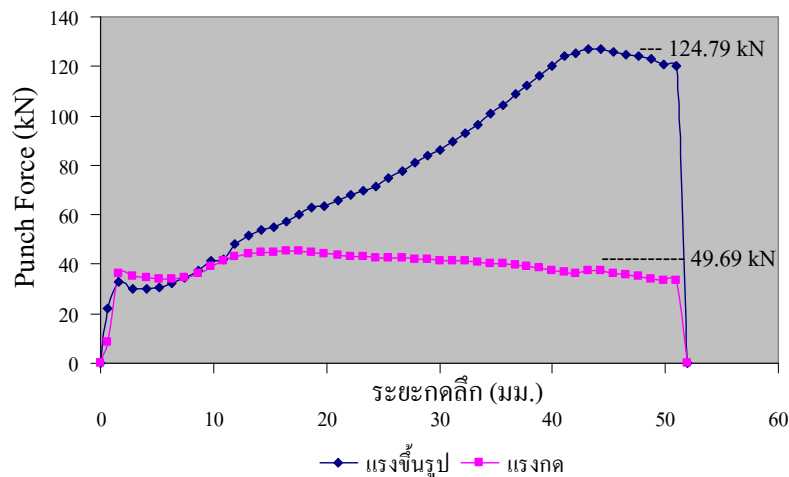


ภาพที่ 3.1 แผ่นตัดเปล่าจากมากมุ่มกับชิ้นงานสำเร็จหลังขึ้นรูปลึก

แผ่นรูปร่างของชิ้นงาน (Blank geometry) มีลักษณะแตกต่างทั้งความสูงและขนาดหน้าตัดของพื้นที่ในการเปลี่ยนรูปบริเวณหน้าตัดพื้นที่ เมื่อการไหลตัวของแผ่นงานไม่สมมาตรกันโดยชิ้นงานจะมีหน้าตัดต่างกันไป ดังแสดงในภาพที่ 3.2 เปรียบเทียบ (2) กับ (4) หน้าตัดของพื้นที่จะมีขนาดที่แตกต่างกัน (2) จะมีความโค้งของรัศมีบนมีเอียงขึ้นบนแตกต่าง (4) จะมีมุมเอียงที่เป็นพื้นราบเอียงมีการดึงเปลี่ยนรูปเมื่อสังเกตการณ์ไหลตัวของแผ่นงานใน (4) นี้ความสามารถในการไหลตัวเข้าสู่ช่องตาย (Die) ดีกว่า (2) ด้วยสาเหตุนี้เองจึงทำให้ชิ้นงานได้รับความเค้นของ (4) มากกว่า (2) และในด้านล่างซ้ายจะเริ่มเกิดเป็นรอยฉีกพิจารณา (3) กับ (1) ในการไหลตัวของแผ่นงานของ (3) จะไหลตัวได้ดีกว่า (1) ซึ่งใน (1) จะเกิดการดึงให้ยึดตามแนวแกนเป็นเส้นตรง (Straightening) อย่างรุนแรงมีแนวโน้มเกิดการฉีกขาดได้สูงกว่า (3) บริเวณมุมของแผ่นงานทั้ง 4 ด้านจะเกิดการกดอัดบีบตัว (Compression) ที่คล้ายกันแต่มีความรุนแรงที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 3.2 ชิ้นงานหลังขึ้นรูปเพื่อวิเคราะห์

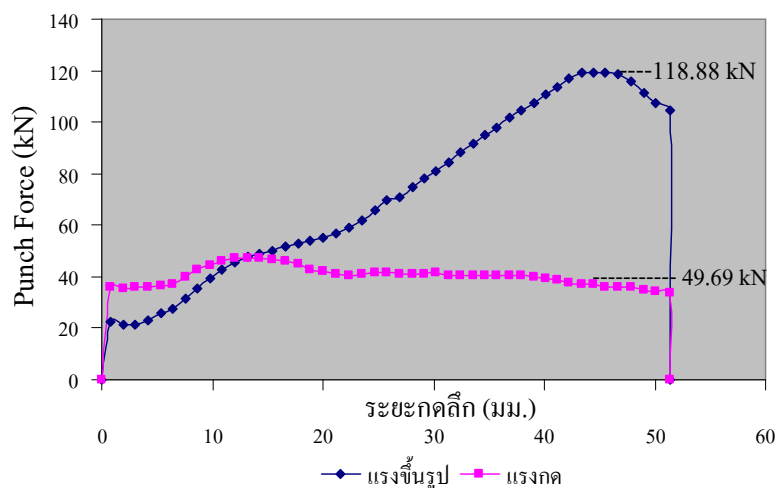


ภาพที่ 3.3 แรงกดขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึกของแผ่นเปล้าสี่เหลี่ยมพื้นผ้า

ภาพที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าการกดที่ระยะลึกเท่ากับ 10 มม. แรงกดขึ้นงานจะสูงกว่าแรงขึ้นรูปหลังจากระยะ 10 มม. แรงกดขึ้นงานเพิ่มสูงขึ้นตามสัดส่วนของแรงขึ้นรูปลึกจะมีความชันมากขึ้นในส่วนหนึ่งเกี่ยวกับแรงกดต่อพื้นที่ของปีกขึ้นงานด้วยจนถึงความลึกประมาณ 45 มม. และแรงใช้ขึ้นรูปสูงสุดที่ระดับ 124.79 kN ความลึกสูงสุดพื้นที่จะถอยกลับไปยังจุดเริ่มต้นอีกครั้ง

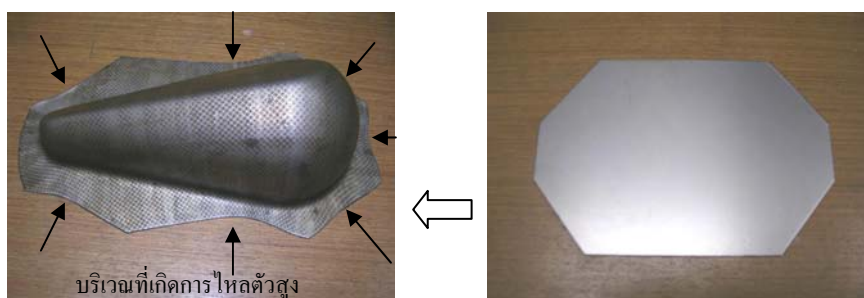
3.1.2 แผ่นตัดเปล้าสี่เหลี่ยมพื้นผ้าบากมุม

แผ่นขนาด 200x140 มม. บากมุมทุกด้านมีขนาด 35 มม. ตัดด้วยเครื่องตัดโลหะแผ่นซึ่งแผ่นงานจะตัดตามทิศทางของแนวรีดของกระบวนการผลิตเหมือนกันทุกชิ้นงานทดสอบ



ภาพที่ 3.4 แรงกดขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึกของแผ่นเปล้าสี่เหลี่ยมบากมุม

การดึงโลหะเข้าสู่ช่องคายด้วยสาเหตุของพื้นที่ของการกดที่มีความแตกต่าง และปริมาณของแรงกด ในแผ่นตัดเปล่า (Blank) บากมุ่ม ขณะขึ้นรูปลึก ดังแสดงในภาพที่ 3.4 ก่อนพunch (Punch) กดขึ้นงานต้องอาศัยแผ่นกดขึ้นงาน (Blank holder) ที่ระดับความลึก 10 มม. แรงของการกดขึ้นงานสูงกว่าแรงที่ใช้ขึ้นรูป ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเริ่มมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ขนาดแรงกดขึ้นงานได้จากการประมาณค่าเท่ากับ 49.69 kN จะรักษาระดับคงที่ไปถึงความลึกที่ต้องการแล้วจะเริ่มลดลง ซึ่งในแรงของการขึ้นรูปจะแตกต่างกัน โดยแรงขึ้นรูปจะสูงขึ้นเรื่อยโดยเป็นส่วนกับระยะลึกไปจนถึงจุดที่ลึกที่สุด และในช่วงที่ความลึกประมาณ 40 มม. จะใช้แรงสูงสุดที่ระดับ 118.88 kN



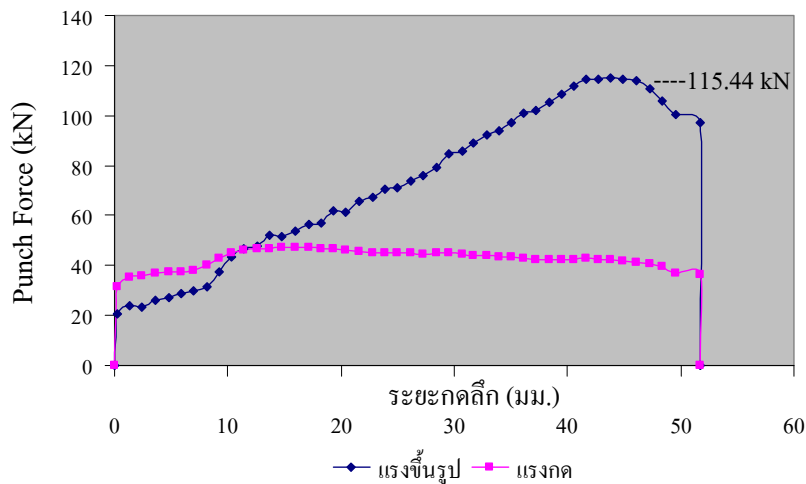
ภาพที่ 3.5 แผ่นตัดเปล่าบากบากมุ่มกับขึ้นงานสำเร็จหลังขึ้นรูปลึก

เมื่อสังเกตจากการไหลตัวของโลหะหลังการขึ้นรูป ดังแสดงในภาพที่ 3.5 ซึ่งแผ่นขึ้นงานก่อนและหลังการขึ้นรูปในการดึงเพื่อให้โลหะแผ่นไหลเข้าสู่ช่องคาย ตามทิศทางของลูกศรการไหลที่สามารถไหลตัวได้สะดวกมากขึ้น และในบางส่วนของปีกในบางพื้นที่เกิดรอยย่น (Wrinkle) เนื่องจากความสัมพันธ์ของแรงกดกับพื้นที่ของการกดจะมีผลต่อการไหลตัวของโลหะแผ่นไปตามแนวลูกศรซึ่งมีการขึ้นรูปโดยการดึงให้ยืดและไหลตัวได้สะดวก ซึ่งจะมีความแตกต่างกันในพื้นที่ในแต่ละด้านที่ไม่สมดุลกัน และมีการทดสอบด้วยเปรียบเทียบความเครียดเทียบเท่าในจุดของการตรวจสอบที่กำหนด

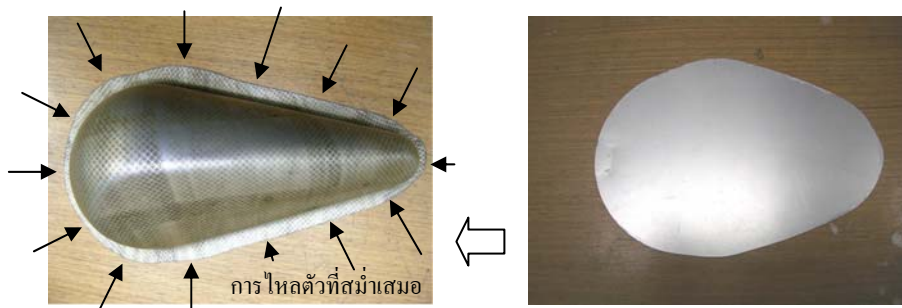
3.1.3 แผ่นตัดเปล่าจากการคำนวณโดยการประมาณค่า

ซึ่งแผ่นงานจะตัดตามทิศทางของแนวรีดในกระบวนการผลิตและตัดแผ่นงานด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ (ภาคผนวก ค) จำนวน 5 แผ่นต่อสภาวะ

จากภาพที่ 3.6 พบว่าการขึ้นรูปของการเริ่มต้นยังเหมือนชนิดของแผ่นตัดเปล่าที่ผ่านมาทั้ง 2 แบบเมื่อวัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปด้วยแรงกดพunch (Punch) กดขึ้นงานจนเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรแรงของการขึ้นรูป (Drawing force) จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามสัดส่วนของระยะกดลึกจนถึงจุดความลึกที่ 45 มม. ซึ่งเป็นจุดที่แรงของการขึ้นรูปสูงสุดที่ระดับ 115.44 kN และการไหลตัวของแผ่นขึ้นงาน (Blank) ดังแสดงในภาพที่ 3.7 เป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ



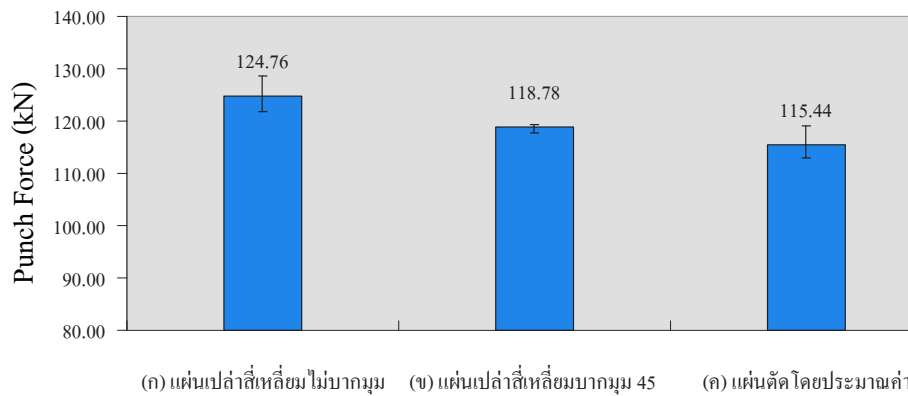
ภาพที่ 3.6 แรงกดขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึกของแผ่นเปล่าตามการประมาณค่า



ภาพที่ 3.7 แผ่นตัดเปล่าโดยประมาณค่ากับขึ้นงานสำเร็จหลังขึ้นรูปลึก

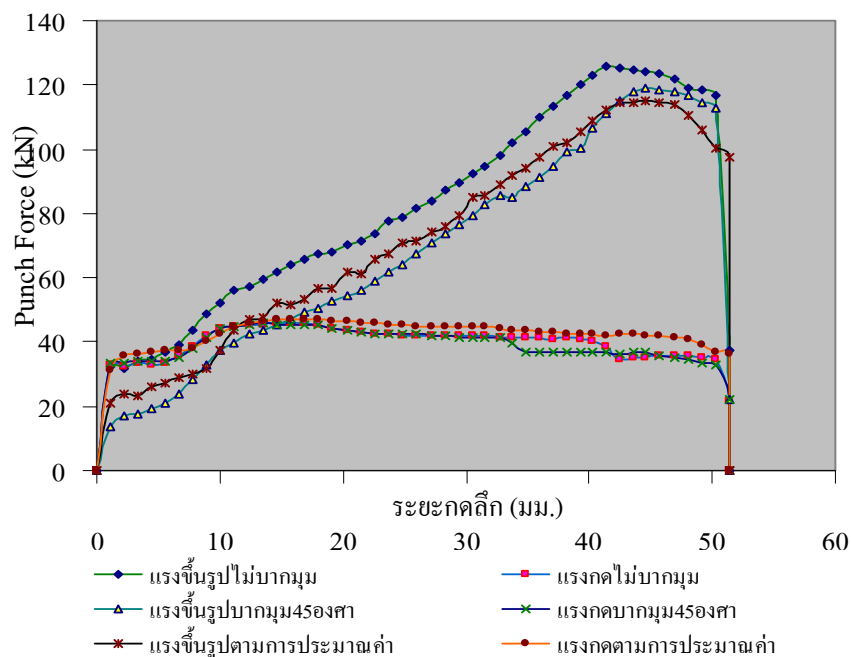
3.1.4 แรงเปรียบเทียบตามชนิดของแผ่นตัวเปล่า

ชิ้นงานที่ทำการทดสอบตัวแปรในแต่ละรอบของการทดสอบใช้จำนวนชิ้นงาน 5 ชิ้นในการทดสอบและได้ผลของแรงในการขึ้นรูป เมื่อทำการบันทึกผลได้ค่าต่างๆดังกราฟแสดงแรงกด ในภาพที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบแรงขึ้นรูปตามชนิดรูปร่างของชิ้นงาน ของแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าไม่บากมุมใช้แรงขึ้นรูปที่ระดับ 124.76 kN ของแผ่นชิ้นงานสี่เหลี่ยมผืนผ้าบากมุมใช้แรงขึ้นรูปที่ระดับ 118.78 kN และแผ่นงานคำนวณโดยการประมาณค่าแรงที่ใช้ขึ้นรูปอยู่ที่ระดับ 115.44 kN ซึ่งเป็นแรงของการขึ้นรูปต่ำที่สุดของชนิดของแผ่นชิ้นงาน (Blank geometry) โดยแผ่นตัดเปล่าได้จากการประมาณค่าซึ่งสามารถลดความบกพร่องของการขึ้นรูปทั้งแรงใช้เพื่อการขึ้นรูปลึกจะต่ำกว่าอีกสองแบบ



ภาพที่ 3.8 การเปรียบเทียบแรงขึ้นรูปตามชนิดรูปร่างชิ้นงาน

หลังจากได้ทำการทดลองป้อนขึ้นรูปต่อหนึ่งสภาวะโดยปัญหาหลักที่เกิดจากขึ้นรูปโลหะแผ่น ได้แก่ การแตกฉีกขาด การโป่ง (Buckling) การย่น (Wrinkling) การเสียรูป โลหะหย่อน และเกิดรอยขีดผิวเสีย เมื่อขึ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วจะไม่พบความเสียหายของปัญหาดังกล่าวในทุกระดับของตัวแปรทดสอบจึงทำการเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานสำเร็จ



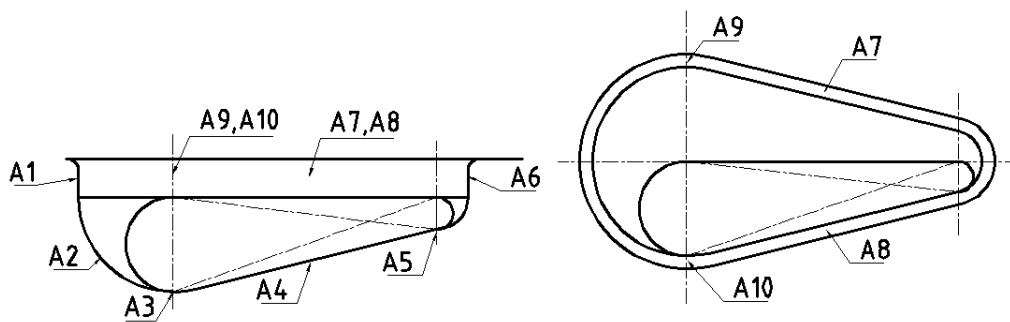
ภาพที่ 3.9 แรงกดขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึก

จากภาพที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ของแรงกดของแผ่นกดขึ้นงาน (Blank holder) จากการคำนวณโดยการประมาณค่าได้เท่ากับ 49.69 kN จะเห็นได้ว่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปในแผ่นงานสี่เหลี่ยมผืนผ้าชนิดไม่บากมุม จะใช้แรงในการขึ้นรูปสูงที่สุดเท่ากับ 124.79 kN แต่เมื่อพิจารณาเทียบ

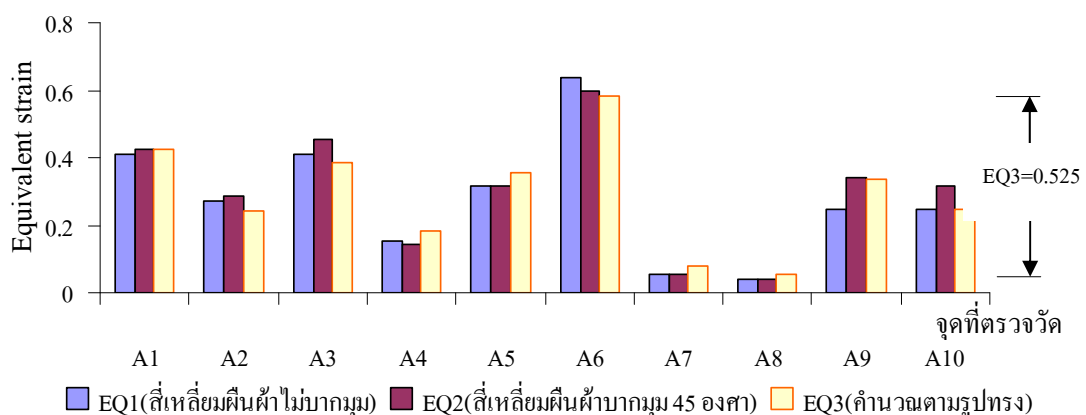
กับค่าที่คำนวณได้เท่ากับ 104.84 kN มีค่าความแตกต่างมากเนื่องจากรูปทรงของการขึ้นรูปกับรูปร่างของแผ่นตัดเปล่า ซึ่งการเปลี่ยนรูปบริเวณหน้าตัดพื้นที่ที่ไม่สมมาตรส่งผลทำให้การไหลตัวของแผ่นงานเข้าสู่ช่องคายเป็นไปได้ง่ายลำบากจะต้องใช้แรงในการขึ้นรูปสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้แผ่นงานเกิดการบิดตามขอบรัศมีของคานและตามจุดวิกฤตต่างๆเป็นไปได้อย่างสูงด้วยสาเหตุของความเค้นดึงในแนวแกนการยึดตัววัสดุมากกว่าขีดความสามารถของวัสดุ

3.1.5 ค่าความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ตามชนิดแผ่นตัดเปล่า

การเปรียบเทียบความรุนแรงของความเครียดโดยการปรับใช้จากสมการความเทียบเท่า (Equivalent strain) ผลการวัดความเครียด (Strain) จะวัดขนาดของการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในภาพที่ 3.10 ขนาดตามแนวแกนหลักและแกนรองของกริดทั้ง 10 จุด นำผลที่ได้จากการวัดคำนวณหาความเครียดจริงสูงสุด ϵ_1 ดังสมการที่ (2.27) ความเครียดจริงต่ำสุด ϵ_2 ดังสมการที่ (2.28) และความเครียดจริงในแนวความหนาตามแนวแกนวัด ϵ_3 ดังสมการที่ (2.29) ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain ($\bar{\epsilon}$)) ดังสมการที่ (2.30) [4]



ภาพที่ 3.10 บริเวณจุดที่ตรวจสอบวัดความเครียด



ภาพที่ 3.11 จุดที่ตรวจวัดกับความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ของชนิดแผ่นตัดเปล่า

ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ดังแสดงในรูปที่ 4.11 จุดของการเทียบจาก A1 ถึง A10 จะมีความรุนแรงที่แตกต่างกันเป็นไปตามเงื่อนไขของการขึ้นรูปลึกขึ้นงาน บริเวณจุด A6 ที่วิกฤตจะมีความรุนแรงของความเครียดสูงที่สุดความรุนแรงของ EQ1 EQ2 และ EQ3 จะมีความรุนแรงของความเครียดลดลงตามลำดับ โดยชนิดของแผ่นตัดเปล่าได้จากการประมาณค่าตามรูปทรง จะมีความรุนแรงที่ต่ำกว่าอีก 2 แบบ มีค่าเท่ากับ 0.581 (ณ จุด วิกฤติ A6) ในพื้นที่ของจุด A1 และ A3 จะมีความรุนแรงเทียบเท่าของความเครียดมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยพื้นที่จุด A2 A9 และ A10 ในระดับความรุนแรงจะลดลงอีก โดยภาพรวมแล้วชนิดแผ่นตัดเปล่าจากการประมาณค่าจะมีการกระจายของความเครียดจึงต่ำกว่าทุกแบบ และค่าของพื้นที่ต่ำที่สุดของจุด A7 และ A8 เป็นการเปลี่ยนแปลงของวัสดุมีค่าที่ต่ำมาก จะทำให้ชิ้นงานเกิดการโป่งที่สันด้านบน แสดงว่าวัสดุมีการไหลตัวที่สูงเกินไปซึ่งมากกว่าพื้นที่อื่น

จากการทดสอบการขึ้นรูปเลือกศึกษาชนิดของแผ่นตัดเปล่า (Blank geometry) พบว่าชนิดคำนวณตามรูปร่างของการขึ้นรูปเกิดการไหลตัวของแผ่นชิ้นงานเข้าสู่ช่องตายได้ดีกว่าอีก 2 แบบ และยังพบอีกว่าแรงที่ใช้ในการกดชิ้นงานไม่เหมาะสมกับการขึ้นรูปจึงทำให้เกิดความเค้น (Stress) สูงเกินความสามารถในการเปลี่ยนรูปของวัสดุ ด้วยความจำกัดของแรงกดและพื้นที่ของการกดจะมีผลต่อการไหลตัวของแผ่นโลหะเข้าสู่ช่องตาย (die) และพอที่จะสรุปได้ดังนี้

EQ1 (สี่เหลี่ยมผืนผ้าไม่บากมุม) แรงใช้เพื่อขึ้นรูปลึกสูงสุดที่ระดับ 124.79 kN และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรงสูงสุด A6 ของพื้นที่วิกฤติ (Equivalent strain เท่ากับ 0.635)

EQ2 (สี่เหลี่ยมผืนผ้าบากมุม) แรงใช้เพื่อขึ้นรูปลึกสูงสุดที่ระดับ 118.88 kN และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรงปานกลาง A6 ของพื้นที่วิกฤติ (Equivalent strain เท่ากับ 0.599)

EQ3 (คำนวณตามรูปร่างโดยการประมาณค่า) แรงใช้เพื่อขึ้นรูปลึกสูงสุดที่ระดับ 115.44 kN และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรงต่ำ A6 สุดของพื้นที่วิกฤติ (Equivalent strain เท่ากับ 0.581) และความแตกต่างพื้นที่ A6 – A8 เท่ากับ 0.525

3.2 ผลของการทดสอบด้วยแรงกดที่ขึ้นงาน

ในการทดลองสิ่งที่เกี่ยวข้องที่มีอิทธิพลต่อการขึ้นรูปลึกโดยพื้นที่ของชิ้นงานที่อยู่ภายใต้การกดของ Blank holder นั้นมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ส่วนที่ถูกกดโดยพunch (Punch) พื้นที่ของโลหะที่จะไหลตัวก็จะมีมากขึ้นเท่านั้น ในขณะเดียวกันแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปก็สูงตามไปด้วย

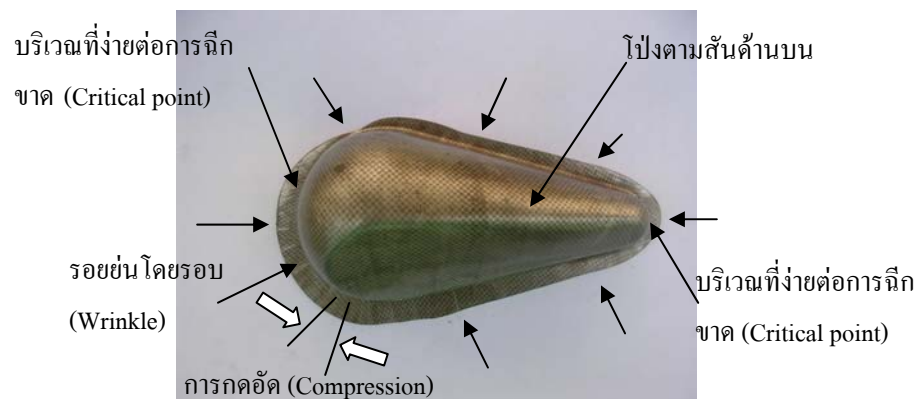
ก. ปัจจัยควบคุม

- แผ่นตัดเปล่าจากการคำนวณโดยการประมาณค่า
- สารหล่อลื่นแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน PE (Polyethylene)
- แรงกดขึ้นรูป (Punch force) เท่ากับ 104.49 kN
- ระยะกดลึกของพunch เท่ากับ 52 มม.

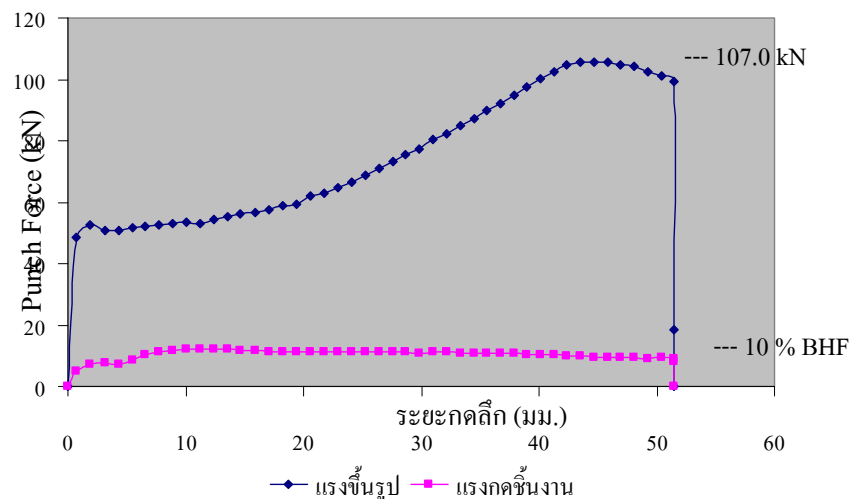
ข. ปัจจัยทดสอบ

- 10 % ของแรงกดขึ้นรูป เท่ากับ 10.48 kN
- 30 % ของแรงกดขึ้นรูป เท่ากับ 31.45 kN
- 50 % ของแรงกดขึ้นรูป เท่ากับ 52.42 kN
- 70 % ของแรงกดขึ้นรูป เท่ากับ 73.39 kN

3.2.1 แรงกดขึ้นงาน 10%



ภาพที่ 3.12 ชิ้นงานสำเร็จด้วยแรงกด 10%

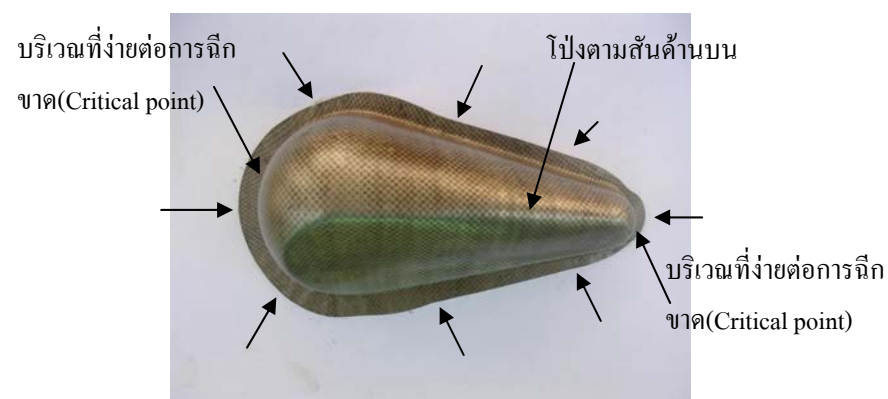


ภาพที่ 3.13 แรงกดขึ้นงานกับแรงขึ้นรูป 10% ต่อระยะกดลึก

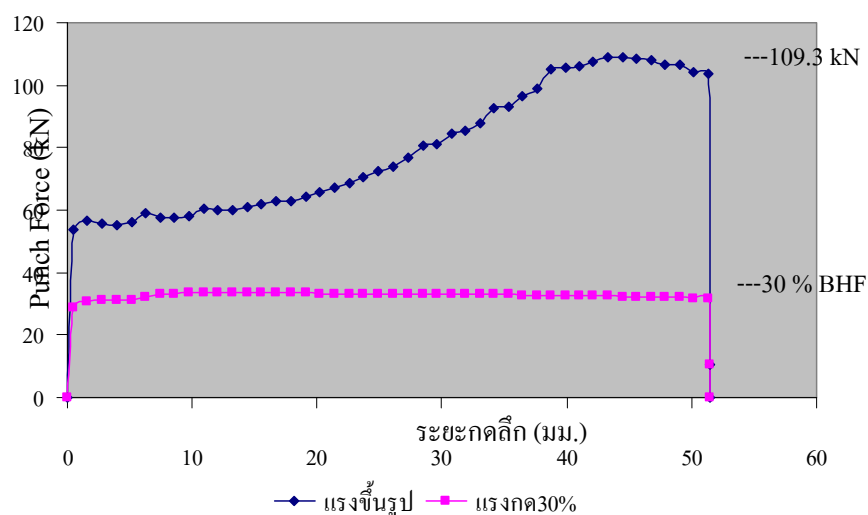
จากภาพที่ 3.12 ชิ้นงานสำเร็จหลังจากขึ้นรูปลึกใช้แรงกดของแผ่นกด (Blank holder) 10 % พบว่าขนาดของแรงกดที่มีขนาดไม่เพียงพอจะส่งผลทำให้เกิดรอยยับตามผนังชิ้นงานและ

บริเวณปีกด้านบนจะมีความรุนแรง เนื่องจากแผ่นงานเกิดการไหลตัวภายใต้แรงกดที่ต่ำทำให้เกิดการกดอัด (Compression) ตามปีกโดยรอบเมื่อเกิดการย่น (Wrinkle) ของแผ่นโลหะจะทำให้ด้านบนของปีกมีความหนาเพิ่มขึ้น จะทำให้โลหะไม่สามารถไหลตัวได้ อย่างไรก็ตามการที่ได้ชิ้นงานสำเร็จที่สมบูรณ์จะต้องมีการทดลองปริมาณของแรงกดขึ้นงานที่เหมาะสม ดังแสดงในภาพที่ 3.13 จะเห็นว่าความแตกต่างของแรงกดกับแรงของการขึ้นรูปที่ระดับ 107.0 kN ถ้าใช้แรงกดที่ต่ำแรงของการขึ้นรูปจะลดต่ำลงตามไปด้วย

3.2.2 แรงกดขึ้นงาน 30%



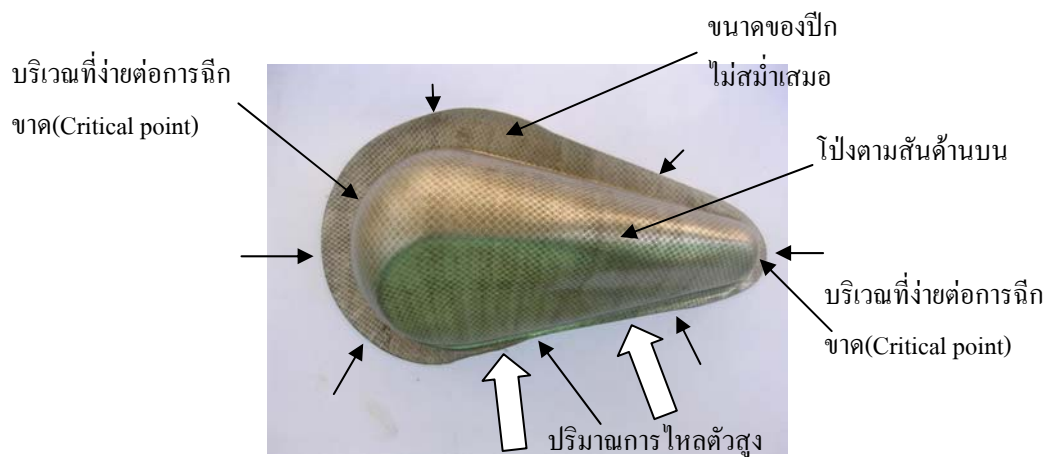
ภาพที่ 3.14 ชิ้นงานสำเร็จด้วยแรงกด 30%



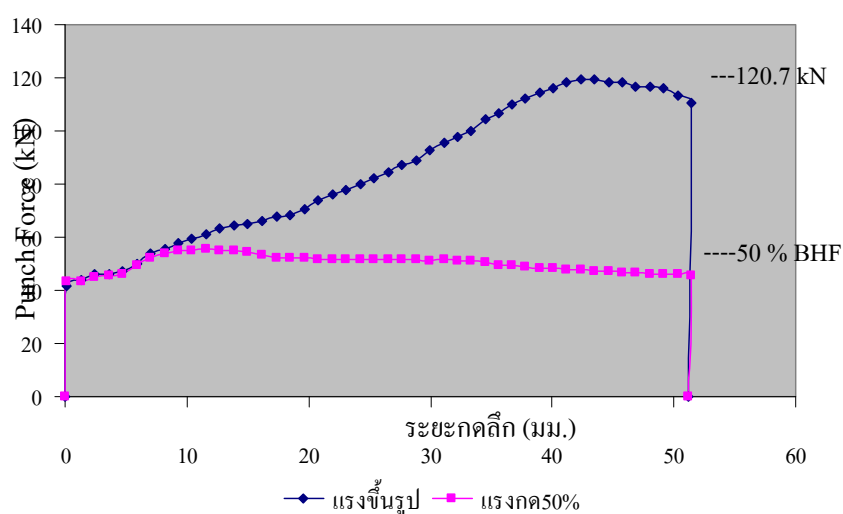
ภาพที่ 3.15 แรงกดขึ้นงานกับแรงขึ้นรูป 30% ต่อระยะกดลึก

การไหลตัวของโลหะเข้าสู่ช่องตาย (Die) เพื่อให้เกิดความสมดุลของปริมาณโลหะ โดยรอบชิ้นงานที่มีความสม่ำเสมอ ดังแสดงในภาพที่ 3.14 ชิ้นงานด้วยแรงกด 30% ของแรงที่ใช้ขึ้นรูป ไม่พบการเกิดรอยร่นตามผนังกับปีกและการแตกหักของชิ้นงานแต่อย่างใดจึงได้ชิ้นงานสำเร็จที่ดีที่สุด เนื่องด้วยพื้นที่ของการกดชิ้นงานมีจำกัดการไหลตัวของพื้นที่ที่เป็นเส้นตรงสามารถไหลตัวได้สูงจึงทำให้เกิดการโป่งตามแนวเส้นตรง และยังพบอีกว่าใช้ปริมาณแรงกดที่ 30% ดังแสดงในรูปที่ 4.15 แรงกดที่ใช้จะมีความราบเรียบเริ่มตั้งแต่ Punch กดชิ้นงานไปจนถึงระยะความลึกที่ 52 มม. โดยใช้แรงของการขึ้นรูปสูงสุดที่ระดับ 109.3 kN ในช่วงของความลึกประมาณ 45 มม.

3.2.3 แรงกดชิ้นงาน 50%



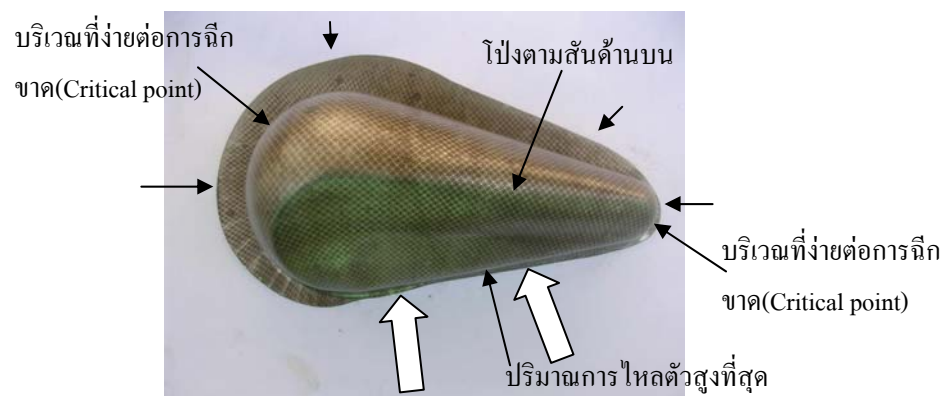
ภาพที่ 3.16 ชิ้นงานสำเร็จด้วยแรงกด 50%



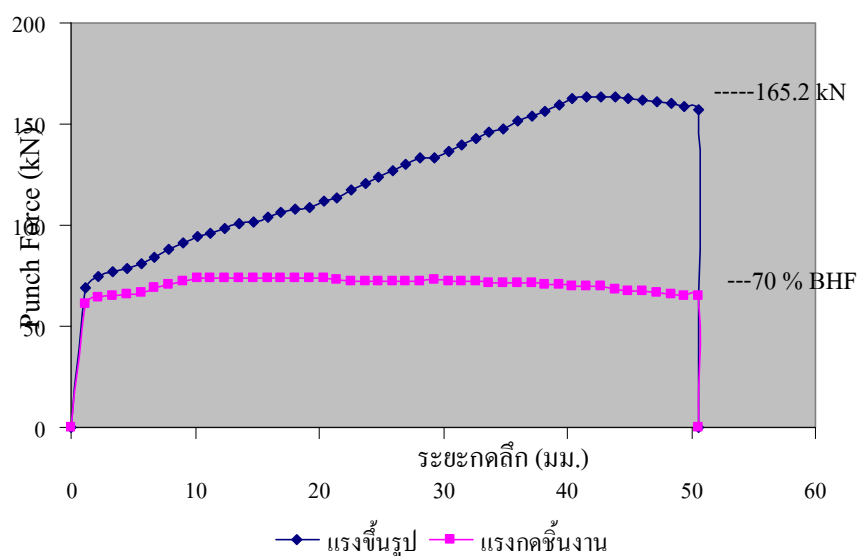
ภาพที่ 3.17 แรงกดชิ้นงานกับแรงขึ้นรูป 50% ต่อระยะกดลึก

จากภาพที่ 3.16 ด้วยแรงกดขึ้นงาน 50% ของแรงขึ้นรูปจากรูปทรงขึ้นงานได้ถูกออกแบบให้การควบคุมการไหลของโลหะที่ต้องการแรงกดที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ด้วยลักษณะของขึ้นงานที่ต้องการแรงกดที่มีความไม่เท่ากันในแต่ละจุดเพื่อให้วัสดุไหลตัวที่สมดุลที่แท้จริงด้วยสาเหตุนี้เมื่อใช้แรงกดขึ้นงาน 50% การไหลตัวจะมีความแตกต่างของปีกด้านบนสามารถไหลตัวได้น้อยกว่าปีกด้านล่างสังเกตได้จากขนาดความกว้างของปีกขึ้นงานจะมีความกว้างไม่เท่ากันในปริมาณแรงกดเพิ่มสูงขึ้นแรงของการขึ้นรูปเพื่อให้ได้ขึ้นงานสำเร็จจะเพิ่มสูงตามไปด้วย ดังแสดงในภาพที่ 3.17 ในระยะเริ่มต้นเมื่อโลหะมีการเปลี่ยนรูปแรงของการขึ้นรูปกับแรงกดมีค่าใกล้เคียงกันไปจนถึงระยะลึก 45 มม. แรงสูงสุดที่ระดับ 120.7 kN และแรงกดต่อระยะลึกจะเกิดความไม่ราบเรียบ

3.2.4 แรงกดขึ้นงาน 70 %



ภาพที่ 3.18 ขึ้นงานสำเร็จด้วยแรงกด 70%

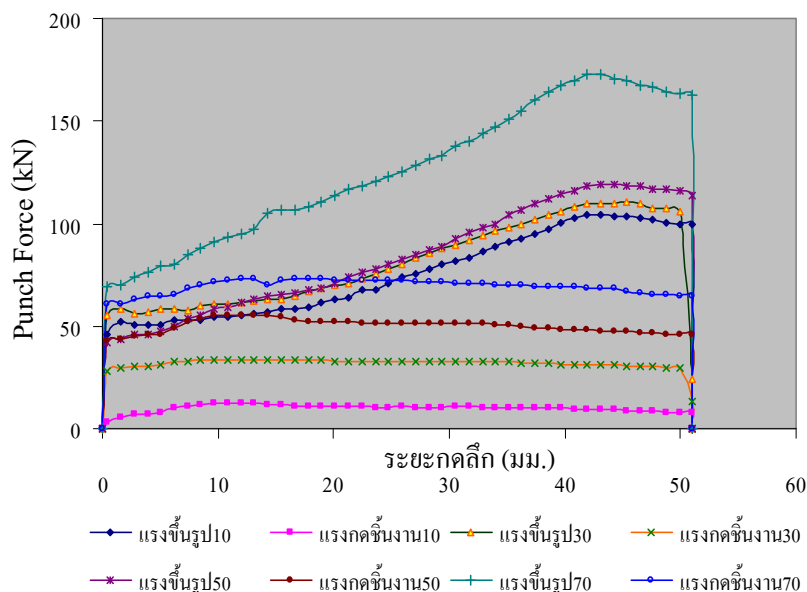


ภาพที่ 3.19 แรงกดขึ้นงานกับแรงขึ้นรูป 70% ต่อระยะกดลึก

ในขณะที่แรงกดของ Blank holder มากเกินไป โลหะไม่สามารถไหลตัวได้ ดังแสดงในภาพที่ 3.18 ชิ้นงานสำเร็จจากการขึ้นรูปลึกภายใต้แรงกด 70% เมื่อแรงกดชิ้นงานที่มีปริมาณสูงจะทำให้การโลหะแผ่นมีความสามารถในการไหลตัวได้น้อย โดยรูปทรงของชิ้นงานบริเวณปีกโดยรอบชิ้นงานซึ่งพฤติกรรมความต้องการแรงกดในแต่ละบริเวณจะไม่เท่ากัน สังเกตจากปีกด้านบนของชิ้นงานมีความกว้างกว่าด้านล่างแสดงว่า ความสามารถในการไหลตัวของชิ้นงานไม่เพียงพอเมื่อเป็นเช่นนี้จึงเป็นการเพิ่มพื้นที่วิกฤติ (Critical area) อีกจนทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักขาด เมื่อสังเกตของด้านล่างชิ้นงานที่มีพื้นที่ลาดเอียงจะทำให้อัตราการไหลตัวสูงเกินไปในชิ้นงานสำเร็จมีพื้นที่สันด้านบนเกิดการโป่งแสดงว่าโลหะแผ่นมีความเค้น (Stress) ที่ต่ำกว่าจุดคราก (Yields point) เมื่อเพิ่มแรงกดชิ้นงานให้สูงขึ้นที่ผิวของโลหะแผ่นจะเกิดความเสียดทาน (Friction) สูงขึ้นด้วย ในการขึ้นรูปจึงมีความพยายามให้สำเร็จจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณของแรงขึ้นรูปที่ระดับ 165.2 kN จะทำให้วัสดุมีความเครียด (Strain) ที่รุนแรงเพิ่มขึ้นอีก

3.2.5 การเปรียบเทียบของแรงกดชิ้นงาน 10%, 30%, 50%, และ 70%

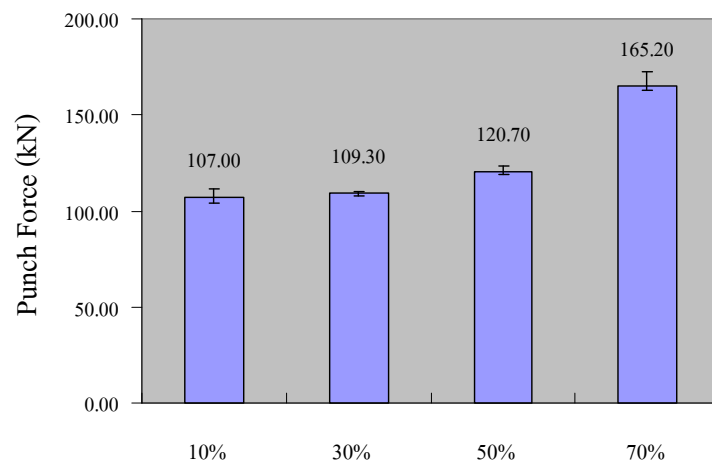
จากภาพที่ 3.20 เป็นการนำแรงกดชิ้นงานกับแรงใช้เพื่อทำการขึ้นรูปลึกชิ้นงาน พบว่าแรงของการขึ้นรูปจะมีขนาดแรงในระดับที่แตกต่างกัน เมื่อใช้แรงกดที่ต่ำแรงของการขึ้นรูปจะลดลงดังแรงที่ 10% มีระดับของแรงที่ต่ำที่สุด เนื่องจากแรงกดที่ต่ำจะลดความเสียดทานผิวชิ้นงานที่สัมผัสกับแผ่นกด (Blank holder) กับตาย (Die) ได้แต่จะทำให้ชิ้นงานเกิดรอยย่น (Wrinkle) บริเวณปีก อย่างไรก็ตามแรงกดชิ้นงานที่ลดลงที่แผ่นงาน (Blank) ณ สภาพปกติแล้วแรงจะต้องคงที่มีความราบเรียบสม่ำเสมอของแรงกดชิ้นงาน



ภาพที่ 3.20 แรงกดชิ้นงานกับแรงขึ้นรูป 10% 30% 50% และ 70% ต่อระยะกดลึก

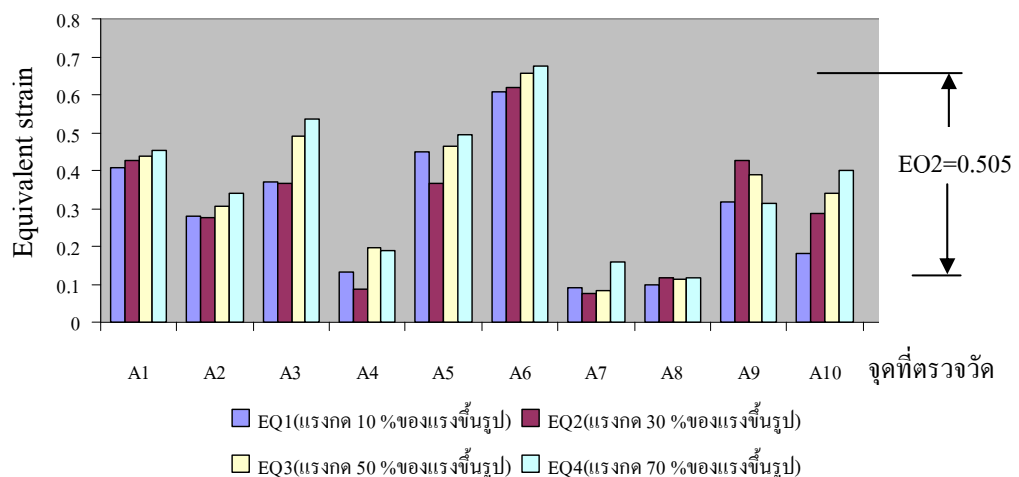
เมื่อใช้แรงกดขึ้นงานขนาด 50% และ 70% ในขณะที่แรงกดสูงเกินไปจะทำให้โลหะแผ่นมีความเค้นที่เพิ่มขึ้น ความสามารถในการไหลตัวจะลดลงจึงเกิดความไม่สม่ำเสมอของแรงกดขึ้นรูปลึก และทำให้ปริมาณแรงกดขึ้นรูปสูงขึ้นเป็นสัดส่วนตามไปด้วย

และแรงกดขึ้นงานขนาด 30% จะพบความราบเรียบของแรงกดขึ้นงานจากแผ่นงานเริ่มเปลี่ยนรูปร่างยาวไปถึงความลึก 52 มม. จะมีความสม่ำเสมอของแรงกดมากที่สุด แสดงว่าแรงกดขึ้นงานที่ขนาด 30 % มีความเหมาะสมที่สุดและใช้แรงสูงสุดของการขึ้นรูปอยู่ที่ระดับ 109.3 kN และดังแสดงในภาพที่ 3.21 เป็นการเปรียบเทียบขนาดแรงกดขึ้นงานต่อปริมาณของแรงกดขึ้นรูป



ภาพที่ 3.21 แรงกดขึ้นงานต่อแรงขึ้นรูปสูงสุด

3.2.6 ค่าความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ต่อปริมาณแรงกด



รูปที่ 3.22 ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) กับปริมาณของแรงกดขึ้นงาน

จากภาพที่ 3.22 ความเครียดที่เกิดจากลักษณะของแรงกดขึ้นงานที่แตกต่างกันจะสังเกตได้ว่าความเครียดในแนวหลักและในแนวระนาบเกิดการเปลี่ยนรูปที่รุนแรงที่สุด จะแปรผันตามปริมาณของแรงกดขึ้นงาน ดังปริมาณแรงกดที่ 10% มีความรุนแรงความเครียดต่ำที่สุดเมื่อเพิ่มปริมาณของแรงกดเป็น 30% 50% และ 70% ความรุนแรงของความเครียดเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ถ้าสังเกตระหว่างที่จุด A6 แรงกดที่ EQ1 EQ2 EQ3 และ EQ4 ระดับความรุนแรงจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆตามลำดับ ซึ่งความรุนแรงสูงสุดของขึ้นงานสำเร็จ ณ จุด A6 ซึ่งเป็นพื้นที่ของจุดวิกฤติ และจุด A4 A7 และ A8 มีความเครียดที่ต่ำสุด

อิทธิพลจากแรงกดขึ้นงาน (Blank holder force) ที่ 10 30 50 และ 70 %ของแรงขึ้นรูปสามารถอธิบายได้ดังนี้

EQ1 (การขึ้นรูปที่ใช้แรงกด 10%) แรงที่กดขึ้นรูปเล็กสูงสุดกลับเป็นแรงที่ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแรงกดทั้ง 4 ขนาดแต่ขึ้นงานเกิดการย่น (Wrinkle) การโป่งตามสันด้านบนตลอดแนวแรงใช้เพื่อขึ้นรูปเล็กสูงสุดที่ระดับ 107.0 kN และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรง A6 ต่ำสุดของพื้นที่วิกฤติ (Equivalent strain เท่ากับ 0.607)

EQ2 (ในแรงกดขึ้นงานที่ 30%) แรงในการขึ้นรูป 109.3 kN แรงกดมีความราบเรียบสม่ำเสมอ ลักษณะของขึ้นงานไม่เกิดรอยย่นการโป่งตามขอบด้านบน และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรง A6 ของพื้นที่วิกฤติ (Equivalent strain เท่ากับ 0.620) และความแตกต่างพื้นที่ A6 – A8 เท่ากับ 0.505

EQ3 (แรงกดที่ 50%) แรงในการขึ้นรูป 120.7 kN และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรง A6 ของพื้นที่วิกฤติ (Equivalent strain เท่ากับ 0.654)

EQ4 (แรงกดที่ 70%) แรงของการขึ้นรูปสูงเกินไป โดยทั่วไปแรงกดขึ้นงานจะเป็นสัดส่วนกับแรงกดขึ้นรูปเล็ก [6] เกิดจากการไหลตัวของแผ่นงานเป็นไปได้ยากไม่สม่ำเสมอความกว้างปีกด้านบนจะเอียงไปอีกด้าน ดังนั้นแรงกดขึ้นรูปเล็ก 165.2 kN และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรง ณ A6 เป็นพื้นที่วิกฤติ (Equivalent strain เท่ากับ 0.675)

3.3 ผลของการทดสอบด้วยชนิดสารหล่อลื่น

การขึ้นรูปขึ้นงานจะประสบความสำเร็จหรือไม่นั้น ยังมีปัจจัยของสารหล่อลื่นที่สามารถลดความเสียดทาน(Friction) ของขึ้นงาน แผ่นด้าย (Die) และ 펀ช์ (Punch) ไม่ให้สัมผัสกันโดยตรง จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่แตกต่างกัน [3] ได้แก่ แผ่นพลาสติกไฮโพลีเอทิลีนหนา 0.1 มม. เท่ากับ 0.112 น้ำมันสังเคราะห์เท่ากับ 0.130 และน้ำมันมะพร้าวมีค่าเท่ากับ 0.175 ซึ่งเปรียบเทียบกับปริมาณแรงกดขึ้นรูปเล็กขึ้นงานและความรุนแรงของความเครียด

ก. ปัจจัยควบคุม

- แผ่นตัดเปล่าจากการคำนวณโดยการประมาณค่า

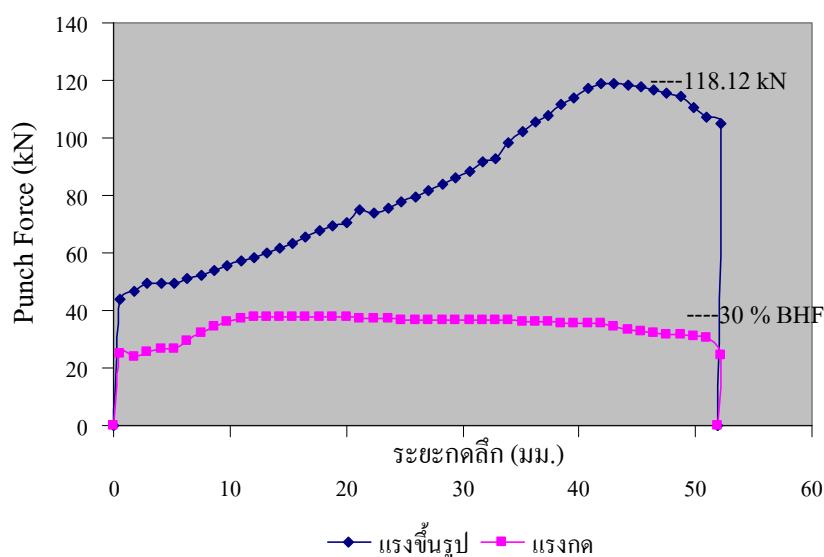
- แรงกดขึ้นงาน 30% เท่ากับ 31.45 kN
- แรงกดขึ้นรูป (Punch force) เท่ากับ 104.49 kN
- ระยะกดลึกของพินซ์ เท่ากับ 52 มม.

ข. ปัจจัยทดสอบ

- น้ำมันมะพร้าว
- น้ำมันสังเคราะห์
- แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน
- ไม่ใช่สารหล่อลื่น

3.3.1 น้ำมันมะพร้าว

จากภาพที่ 3.23 แรงกดขึ้นรูปลึกกับแรงกดขึ้นงานต่อระยะกดลึก ด้วยสมบัติของน้ำมันมะพร้าวเป็นสารหล่อลื่น ซึ่งได้จากธรรมชาติใช้หล่อลื่นโดยตรงไม่ต้องผสมกับน้ำหรือสารละลายชนิดอื่นๆ



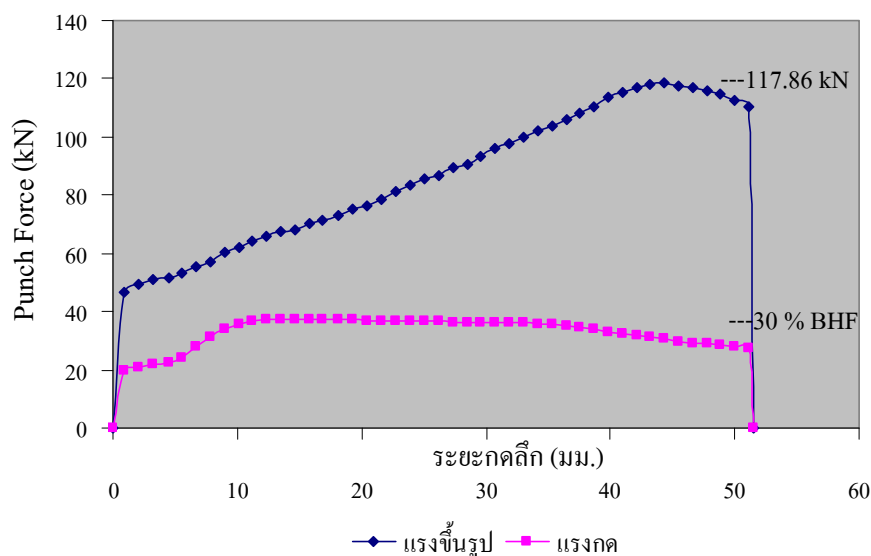
ภาพที่ 3.23 แรงกดต่อระยะลึกของสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันมะพร้าว

- แรงกดขึ้นงานในช่วงระยะกดลึกของพินซ์ (Punch) ที่ 10 มม. โลหะเริ่มเปลี่ยนรูปมีการเลื่อนไถลของแผ่นงานเมื่อมีแรงกดของแผ่น (Blank holder) ด้วยแรงกด 31.45 kN ระดับของแรงกดขึ้นรูปจะเริ่มสูงขึ้น เกิดจากความเสียดทานที่ผิวของชิ้นงานแรงกดจะเริ่มคงที่ราบเรียบไปถึงระยะ กดลึกสุดท้าย
- แรงของการขึ้นรูปขณะที่พินซ์ (Punch) เริ่มกดแผ่นงานผ่านช่องตาย (Die) ถึงความลึก 10 มม. เป็นช่วงแผ่นงานเริ่มเปลี่ยนรูปแรงที่เริ่มสูงขึ้นแปรผันไปตามระยะกดลึก ปรากฏความ

แตกต่างของปริมาณของแรงกดขึ้นรูปลึกขึ้นงานจะมีความชันมาก จากการลดความเสียดทานด้วยน้ำมันมะพร้าวจากระยะลึก 40 มม. ใช้แรงเพื่อการขึ้นรูปสูงสุดที่ระดับ 118.12 kN และในช่วงสุดท้ายแรงกดของพื้นที่จะเริ่มลดลงถึงความลึกที่กำหนด

3.3.2 น้ำมันสังเคราะห์

ภาพที่ 3.24 แรงกดขึ้นงานกับแรงกดขึ้นรูปลึกต่อระยะลึกด้วยสารหล่อลื่นชนิด EP (Extreme pressure Oil) เป็นน้ำมันผสมไขมันทดสอบโดยการทาบนแผ่นงานทดสอบทั้งสองด้าน และไม่ควรทำให้หนาเกินไป เพราะขณะขึ้นรูปวัสดุเกิดการหล่อตัวจากการแทรกตัวของสารหล่อลื่น เป็นสาเหตุของการเกิดรอยยับที่ขึ้นงานหลังการขึ้นรูป



ภาพที่ 3.24 แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานของสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันสังเคราะห์

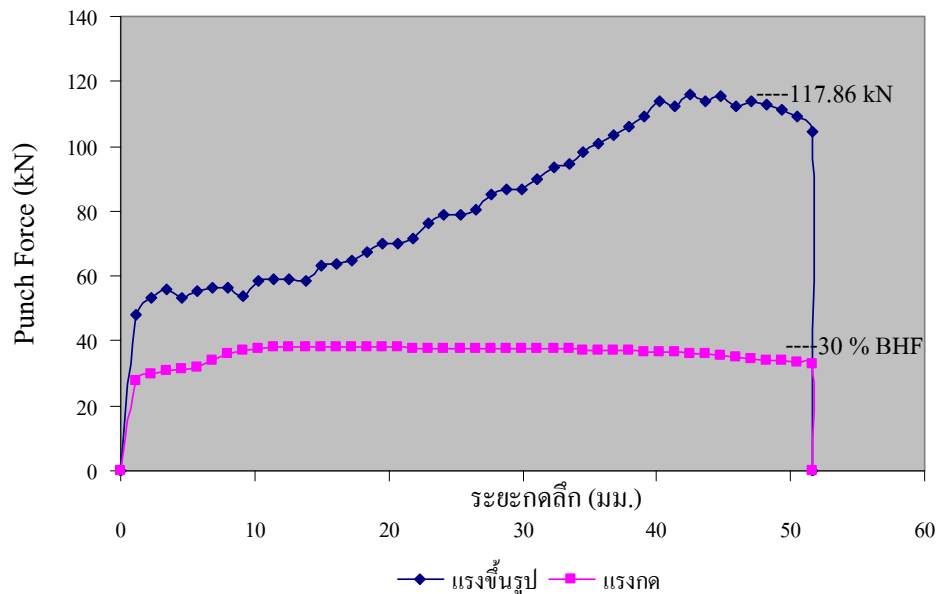
- แรงกดแผ่นงาน (Blank holder force) เมื่อแผ่นตัดเปล่า (Blank) ถูกกดด้วยแผ่นกดขึ้นงาน (Blank holder) ผิวของชิ้นงานที่ไม่ได้สัมผัสกับโลหะโดยตรงมีสารหล่อลื่นที่ได้จากการสังเคราะห์จะมีความเสถียรของสารน้อย จนทำให้ความราบเรียบของแรงกดขึ้นงาน จากเริ่มต้นไปถึงท้ายสุดขึ้นและลดลงจะไม่เกิดความราบเรียบ

- แรงกดขึ้นรูปลึกของสารหล่อลื่นชนิดนี้ แรงจะเพิ่มสูงขึ้นโดยเป็นสัดส่วนกับระยะกดลึกไปจนถึงความลึกประมาณ 40 มม. เป็นระยะที่แรงสูงสุดเท่ากับ 117.86 kN และจะเริ่มลดลงทีละน้อยไปจนถึงความลึก 52 มม. แรงจะกลับเริ่มต้นที่ศูนย์

3.3.3 แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน

สารหล่อลื่นชนิดแข็งแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนแรงกดขึ้นรูปลึกกับแรงกดขึ้นงานต่อระยะของการกดลึกด้วยสมบัติของแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนที่มีความยืดหยุ่นสูงสามารถขึ้นรูปได้

ง่าย และป้องกันไม่ให้เกิดการสัมผัสของแผ่นดัดเปล่ากับแผ่นกดขึ้นงาน (Blank holder) และคาย (Die) โดยตรงจะมีความเสถียรมาก และสามารถเลื่อนไหลได้ดีกว่าทุกชนิดของสารหล่อลื่นที่นำมาทดสอบ แต่ขึ้นงานสำเร็จจะเกิดรอยขีดบริเวณผนัง



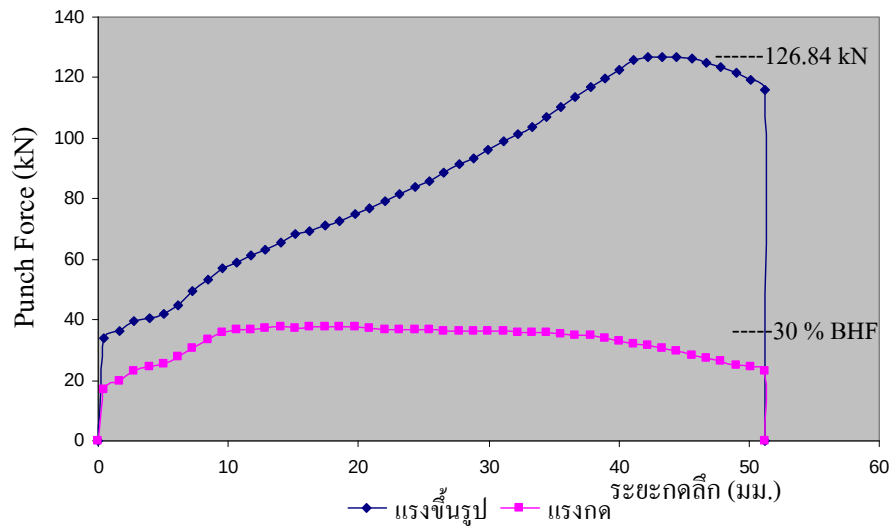
ภาพที่ 3.25 แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานของสารหล่อลื่นชนิดพลาสติกโพลีเอทิลีน

- แรงกดขึ้นงาน (Blank holder force) สัดส่วนเพิ่มของแรงต่อระยะการทางมีความแตกต่างกันไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับสารหล่อลื่นทุกชนิดแล้วแรงใช้กดขึ้นงานจะมีความราบเรียบมาก แสดงว่าการเลื่อนไหลของแผ่นงานเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และในช่วงสุดท้าย จะพบการลดลงของแรงกดขึ้นงานมีระดับที่ลดลงเพียงเล็กน้อย

- แรงกดขึ้นรูปลึก (Deep drawing force) หรือแรงกดพื้นที่ (Punch force) ในช่วงแรก ของระยะลึก พบการเปลี่ยนแปลงของแรงต่อระยะลึกที่เป็นไปตามสัดส่วน มีความชันของแรงที่กดขึ้นรูปลึกตลอดในช่วงที่ระยะลึก 40 มม. เป็นจุดสูงสุดของแรงกดขึ้นรูปที่ระดับ 116.02 kN และในช่วงสุดท้ายระดับแรงกดขึ้นรูปจะลดลงจะได้ขึ้นงานสำเร็จ

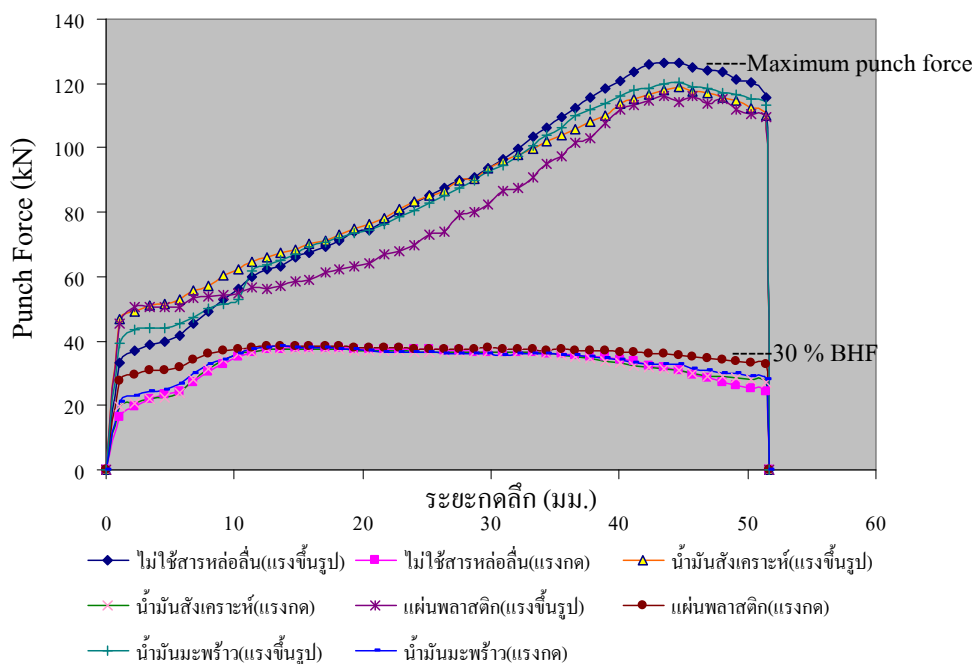
3.3.4 ไม่ใช้สารหล่อลื่น

ทดสอบขึ้นงานโดยไม่ใช้สารหล่อลื่นในครั้งนี้สามารถขึ้นรูปลึกได้สำเร็จ โดยตัวอย่างขึ้นงานถึง 12 ชิ้น จึงจะประสบความสำเร็จของการขึ้นรูปขึ้นงานเท่ากับ 5 ชิ้น ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 41.6 สาเหตุความเสียหายเกิดการฉีกขาดของขึ้นงานทดสอบนั่นเอง แรงกดขึ้นรูปลึกกับแรงกดขึ้นงานต่อระยะทางกดลึก ดังแสดงในภาพที่ 3.26 โดยขึ้นงานมีความเสียดทานสูงความสามารถการเลื่อนไหลเข้าสู่ช่องคาย (Die) คำ ผิวของขึ้นงานที่ได้จะไม่เรียบและทำให้เกิดความเสียหายของชุดแม่พิมพ์ได้



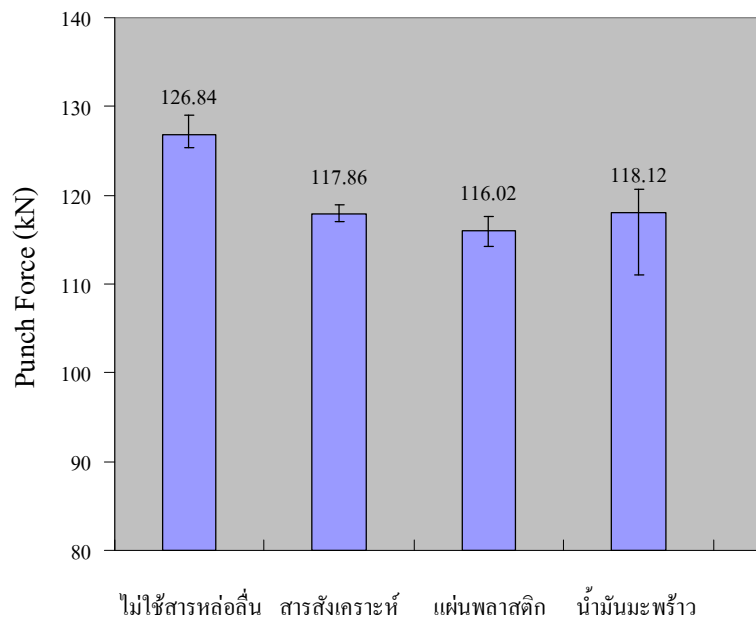
ภาพที่ 3.26 แรงขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานของที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น

- แรงกดขึ้นงาน (Blank holder force) เมื่อแผ่นกดขึ้นงานเลื่อนกดลงบนชิ้นงานด้วยขนาด 30% ของแรงกดขึ้นรูป จะทำให้เกิดการสัมผัสกันของผิวโลหะโดยตรงความเสียดทาน (Friction) สูง ในช่วงที่มีความเปลี่ยนแปลงระดับที่แตกต่างกันของแรงกดขึ้นงานมีระดับขึ้นลงไม่สม่ำเสมอ แสดงว่าความสามารถในการไหลตัวของแผ่นงานเข้าสู่ช่องตาย (Die) ได้ไม่ดีนัก
- แรงกดขึ้นรูป ด้วยความเสียดทานที่สูงจึงทำให้ความสามารถเลื่อนไหลตัวของแผ่นงานลดลง จึงต้องใช้แรงกดขึ้นรูปสูงขึ้นที่ระดับ 126.84 kN ซึ่งมีความสำเร็จของการขึ้นรูปที่ลดลง เพราะจะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวบริเวณจุดวิกฤติของชิ้นงาน



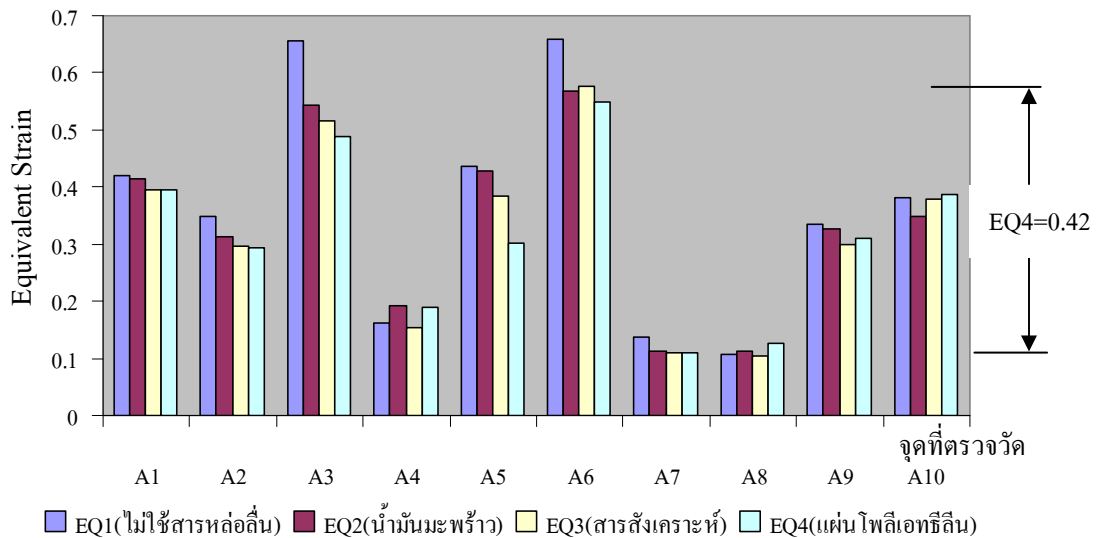
ภาพที่ 3.27 แรงกดขึ้นรูปและแรงกดขึ้นงานกับชนิดของสารหล่อลื่น

ได้ทำการเปรียบเทียบผลของแรงกดขึ้นงานกับแรงกดขึ้นรูปลึก ตามชนิดของสารหล่อลื่นที่ทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 3.27 จะเห็นได้ว่าแผ่นพลาสติกโพลิเอทิลีนมีความราบเรียบของแรงกดขึ้นงานแสดงว่าการไหลตัวของแผ่นงานเข้าสู่ช่องตาย (Die) เป็นไปอย่างราบเรียบจนถึงความลึก 52 มม. และเป็นแรงกดขึ้นรูปลึกที่มีค่าต่ำสุดที่ระดับ 116.02 kN ดังในภาพที่ 3.28 แต่คุณภาพของผิวงานจะดีกว่าสารสังเคราะห์และน้ำมันมะพร้าว



ภาพที่ 3.28 แรงกดขึ้นงานต่อแรงขึ้นรูปสูงสุดตามชนิดของสารหล่อลื่น

จุดของการตรวจสอบ ดังภาพที่ 3.12 ได้ข้อมูลของความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) แสดงในตาราง (ภาคผนวก ข) ผลจากการความเครียดเทียบเท่า ดังแสดงในภาพที่ 3.29 พบว่าความเครียดที่มีความรุนแรงสูงสุด A6 และ A3 สารหล่อลื่นชนิด EQ1 จะมีความรุนแรงสูงสุดเมื่อเทียบที่ชนิดของสารหล่อลื่น EQ2 EQ3 และ EQ4 ลดลงตามลำดับ สารหล่อลื่น EQ4 จะมีความรุนแรงของความเครียดต่ำที่สุด เมื่อสังเกตในจุด A5 A9 A10 A1 และ A2 จะมีความรุนแรงของความเครียดลดลงตามลำดับ สารหล่อลื่นชนิด EQ1 EQ2 EQ3 และ EQ4 มีความรุนแรงมากไปน้อยตามลำดับ และในจุด A4 A8 และ A7 มีความเครียดที่ยังต่ำตามลำดับ ณ จุดตรวจสอบนี้ความรุนแรงอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับมีความแตกต่างเล็กน้อย แสดงว่าวัสดุ ณ จุดตรวจสอบไม่เกิดการเปลี่ยนรูปเลยหรือเกิดการเปลี่ยนรูปเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 3.29 ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) กับชนิดสารหล่อลื่น

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบความเครียด ในแต่ละชนิดของสารหล่อลื่น ได้ดังนี้

EQ1 (ไม่ใช้สารหล่อลื่น) ความเสียหายของผิวงานมีค่าเท่ากับผิวโลหะในการขึ้นรูปจึงทำให้วัสดุเสียหายในขณะขึ้นรูปลึก แรงกดขึ้นรูปลึกเท่ากับ 126.84 kN และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรง A6 ของพื้นที่วิกฤติ (Equivalent strain เท่ากับ 0.659)

EQ2 (น้ำมันมะพร้าว) สามารถลดความเสียหายได้คุณภาพของผิวงานที่ดี แรงในการขึ้นรูปลึกเท่ากับ 118.12 kN และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรงของพื้นที่วิกฤติ ณ A6 (Equivalent strain เท่ากับ 0.568)

EQ3 (สารสังเคราะห์ EP (Extreme pressure Oil)) เป็นชนิดที่ใช้ลดความเสียหายของผิวงานได้คุณภาพของผิวงานดี แรงในการขึ้นรูป 117.86 kN และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรงของพื้นที่วิกฤติ A6 (Equivalent strain เท่ากับ 0.576)

EQ4 (แผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน) สามารถควบคุมการไหลตัวเลื่อนไถลของผิวสัมผัสได้ดี ด้วยสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่ต่ำกว่าทุกชนิดที่ทดสอบ ในขณะขึ้นรูปลึกขึ้นงานผิวของตาย (Die) กับแผ่นตัดเปล่า (Blank) และแผ่นกดขึ้นงาน (Blank holder) ที่ไม่ได้มีการสัมผัสกันโดยตรง ด้วยสมบัติที่สามารถยืดหยุ่นทำให้ขึ้นรูปได้ดีมีความสำเร็จ แต่คุณภาพผิวจะไม่ค่อยดีนัก ด้วยสาเหตุขณะพื้นที่กดลงแผ่นตัดเปล่าจะทำให้พลาสติกโพลีเอทิลีนเกิดการห่อตัวในบางพื้นที่ที่เกิดการกดอัด (Compress) และเกิดการบิดงอของพลาสติกก่อนที่จะขึ้นรูปสำเร็จแล้วแทรกตัวเข้าสู่ช่องตาย (Die) ทำให้คุณภาพของผิวขึ้นงานด้อยลง แรงกดขึ้นรูปลึกเท่ากับ 116.2 kN และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรง ณ A6 ของพื้นที่วิกฤติ (Equivalent strain เท่ากับ 0.549) และความแตกต่างพื้นที่ A6 – A8 เท่ากับ 0.424

3.4 ผลของการทดสอบด้วยชนิดของครอว์บีด

ความต้องการของแรงกดขึ้นงานในรูปทรงที่ไม่สมมาตร (Non-symmetrical) ของแต่ละพื้นที่ โดยรอบๆชิ้นงานที่แตกต่างกัน เป็นไปได้ยากในการควบคุมแรงกดขึ้นงาน แต่มีสิ่งที่จะช่วยลดปัญหาได้แก่การใช้ครอว์บีด (Draw bead) เพื่อทำให้เกิดขนาดของแรงกดตรงตามความต้องการในแต่ละพื้นที่ด้วยชิ้นงานรูปทรงแบบนี้ มีสามแบบคือ ไม่ใช้ครอว์บีด (Non draw bead) ครอว์บีดรูปสามเหลี่ยม (Three angle bead) และครอว์บีดแบบโค้งมน (Round bead) ในเมื่อแตกต่างกันของชนิดครอว์บีดแรงกดขึ้นงาน ต้องทำการทดสอบแล้วปรับขนาดของแรงกดที่เหมาะสมในแต่ละชนิด

ก. ปัจจัยควบคุม

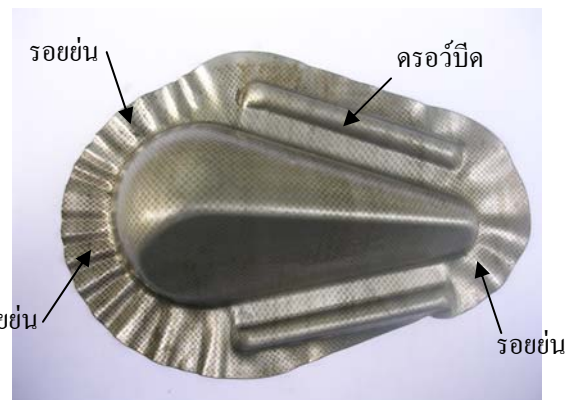
- แผ่นตัดเปล่าจากการคำนวณโดยการประมาณค่าขยาย 10 มม.
- แรงกดขึ้นงาน 30% เท่ากับ 31.45 kN
- แรงกดขึ้นรูปลึก (Punch force) เท่ากับ 104.49 kN
- สารหล่อลื่นแผ่นพลาสติกโพลีเอทรีลีน
- ระยะกดลึกของพินซ์ เท่ากับ 52 มม.

ข. ปัจจัยทดสอบ

- ไม่ใช้ครอว์บีด (Non draw bead)
- ครอว์บีดรูปสามเหลี่ยม (Three Angle Bead)
- ครอว์บีดปรางโค้งมน (Round Bead)



(ก) แรงกดขึ้นงาน 30%ของแรงขึ้นรูป



(ข) แรงกดขึ้นงานต่ำกว่า 30%ของแรงขึ้นรูป

ภาพที่ 3.30 จุดบกพร่องชิ้นงานหลังการขึ้นรูปของครอว์บีดความสูงเท่ากับ 8 มม.

ขณะทดสอบขึ้นรูปชิ้นงาน โดยเริ่มต้นความสูงของครอว์บีดเท่ากับ 8 มม. ดังแสดงในภาพที่ 3.30 ความสูงของครอว์บีดมีผลต่อแรงกดขึ้นงานจะทำให้เกิดการดึงจึงให้เป็นเส้นตรง (Straightening) จะไม่สามารถไหลตัวได้ จึงเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดบริเวณขอบรัศมีของ

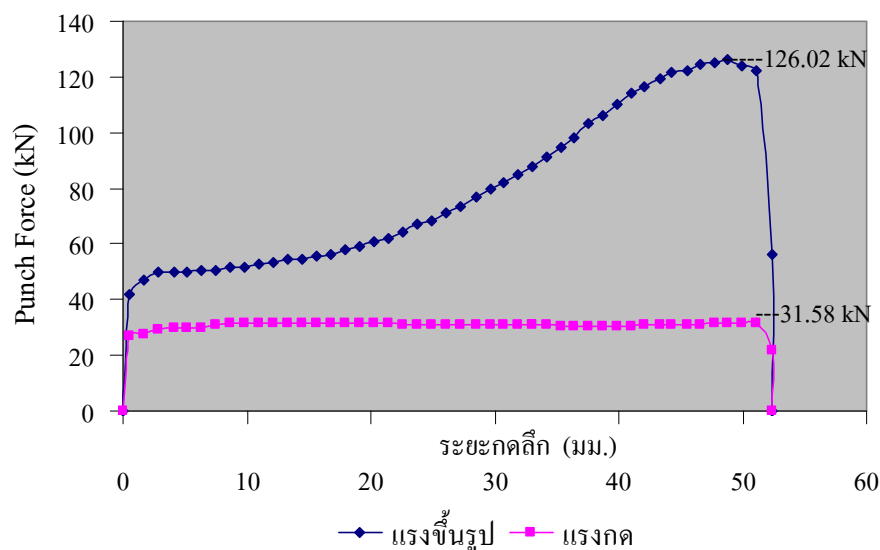
ปิกขึ้นงาน และเกิดการแตกบริเวณสันด้านบนตลอดแนว ดังแสดงในภาพที่ 3.30 (ก) จึงทดลองลดแรงกดขึ้นงาน (Blank holding force) พบว่าขึ้นงานเกิดรอยยับบริเวณปีกไปจนถึงผนังโดยรอบ ดังแสดงในภาพที่ 3.30 (ข)

เมื่อขึ้นรูปขึ้นงานไม่ประสบความสำเร็จจึงลดขนาดความสูงของครอว์บีดลงทีละ 1 มม. จาก 7,6,5, และ 4 มม. ตามลำดับ ปรากฏว่าที่ความสูงของครอว์บีดเท่ากับ 4 มม. จึงประสบผลสำเร็จ และทดสอบที่แรงกดเพื่อความเหมาะสมตามชนิดของครอว์บีด โดยทดสอบขึ้นงานสภาวะละ 5 ชิ้น เพื่อบันทึกข้อมูลได้ดังนี้

3.4.1 ไม่ใช้ครอว์บีด (Non draw bead)



ภาพที่ 3.31 ขึ้นงานสำเร็จที่ไม่ใช้ครอว์บีด

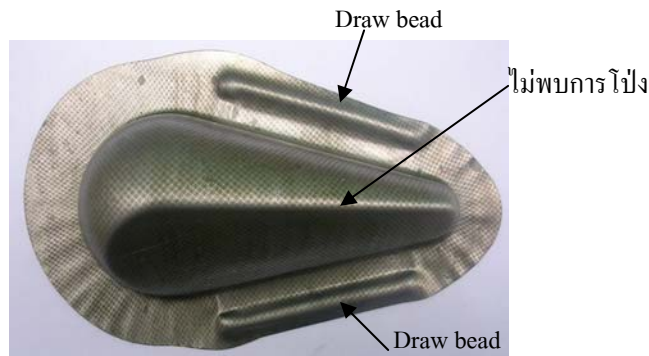


ภาพที่ 3.32 แรงขึ้นรูปเทียบกับแรงกดขึ้นงานของชนิดไม่ใช้ครอว์บีด

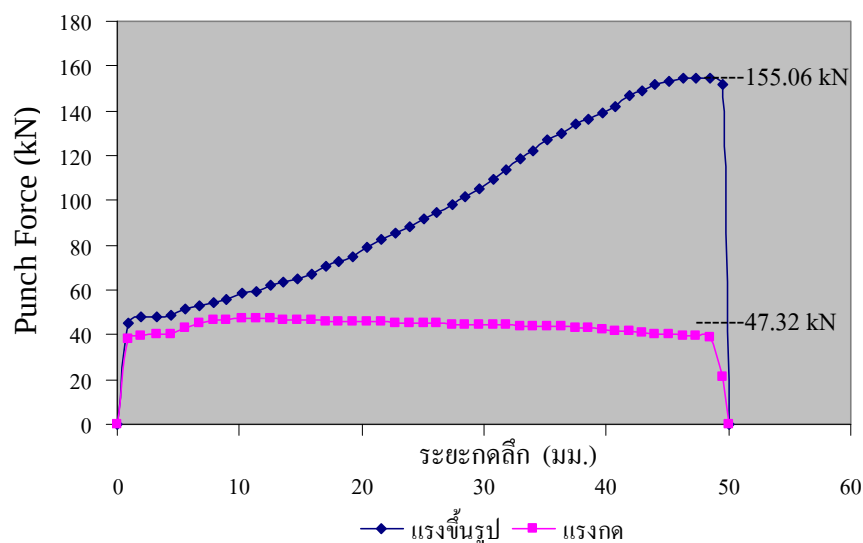
จากภาพที่ 3.31 ขึ้นงานสำเร็จที่ไม่ใช้ครอว์บีด การไหลตัวของขึ้นงานเข้าสู่ช่องตาย (Die) มีความสามารถลดลง ด้วยสาเหตุพื้นที่บริเวณปีกขึ้นงานเพิ่มมากขึ้น บริเวณที่เกิดการไหลตัวสูงทำให้

สันด้านบนยังไปตามแนวอยู่ ใช้แรงกดขึ้นงานเท่ากับ 31.58 kN และแรงสูงสุดของการขึ้นรูปเท่ากับ 126.02 kN ที่ระดับความลึก 48 มม. แล้วจะเริ่มลดลง ดังแสดงในภาพที่ 3.32 โดยระดับของแรงกดขึ้นงานมีความราบเรียบจนถึงความลึกที่ต้องการ

3.4.2 ครอว์บีครูปสามเหลี่ยม (Three angle bead)



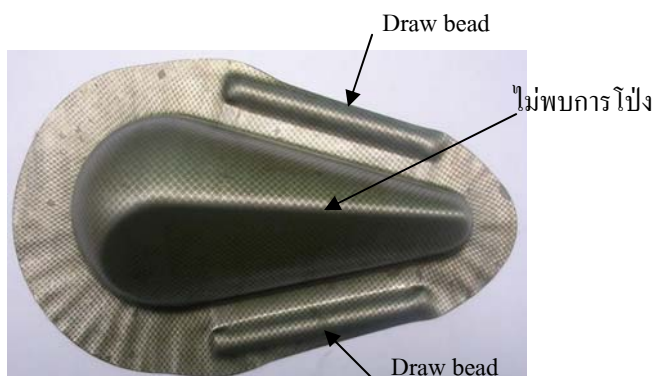
ภาพที่ 3.33 ชิ้นงานใช้ครอว์บีค (Draw bead) รูปสามเหลี่ยม



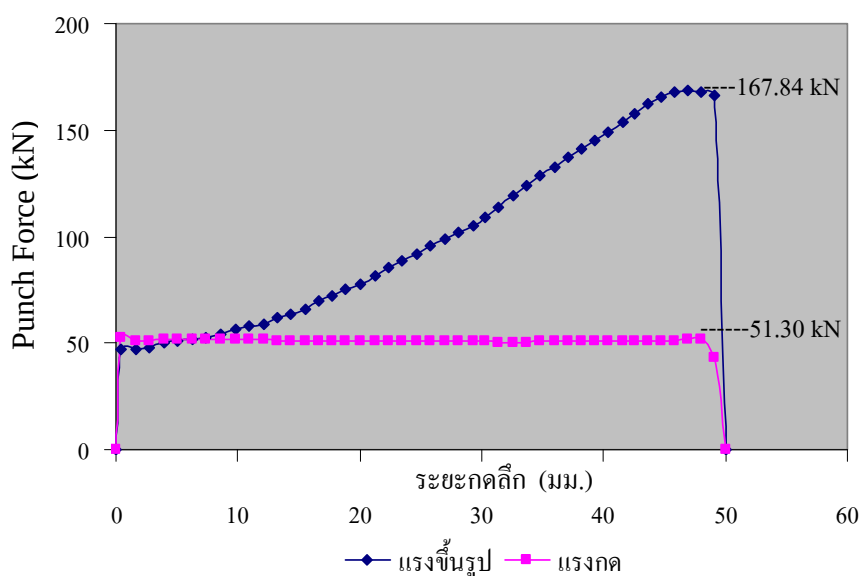
ภาพที่ 3.34 แรงขึ้นรูปเทียบกับแรงกดขึ้นงานของครอว์บีค (Draw bead) รูปสามเหลี่ยม

จากภาพที่ 3.33 ชิ้นงานสำเร็จที่ขยายปิกขึ้นงานโดยรอบทดสอบที่ครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยม พบว่าแรงที่ใช้กดขึ้นงานจะเพิ่มสูงขึ้นที่ระดับ 47.32 kN เพื่อให้เพียงพอสำหรับกดขึ้นรูปที่พื้นที่ของครอว์บีคก่อนที่จะขึ้นรูปลึกขึ้นงาน แรงที่ใช้เพื่อกดขึ้นรูปลึกเพิ่มสูงขึ้นที่ระดับ 155.06 kN ระยะลึก 48 มม. ดังแสดงในภาพที่ 3.34 ครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมจะกดจิกที่แผ่นงาน ทำให้ความสามารถของการเลื่อนไถลที่ผิวของชิ้นงานลดลงในพื้นที่ที่มีครอว์บีค และแรงกดขึ้นงานจะสูงกว่าความต้องการของแผ่นขึ้นงาน (Blank) ณ บริเวณครอว์บีค

3.4.3 ครอว์บีดปรายโค้งมน (Round bead)

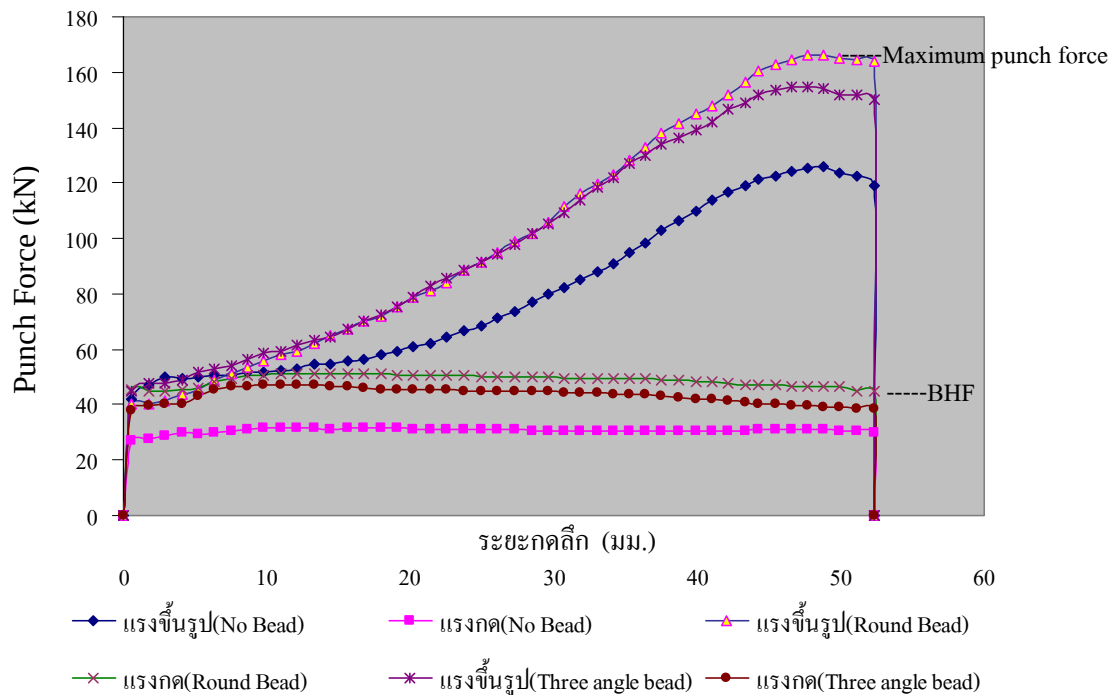


ภาพที่ 3.35 ชิ้นงานใช้ครอว์บีด (Draw bead) รูปปลายมนโค้ง

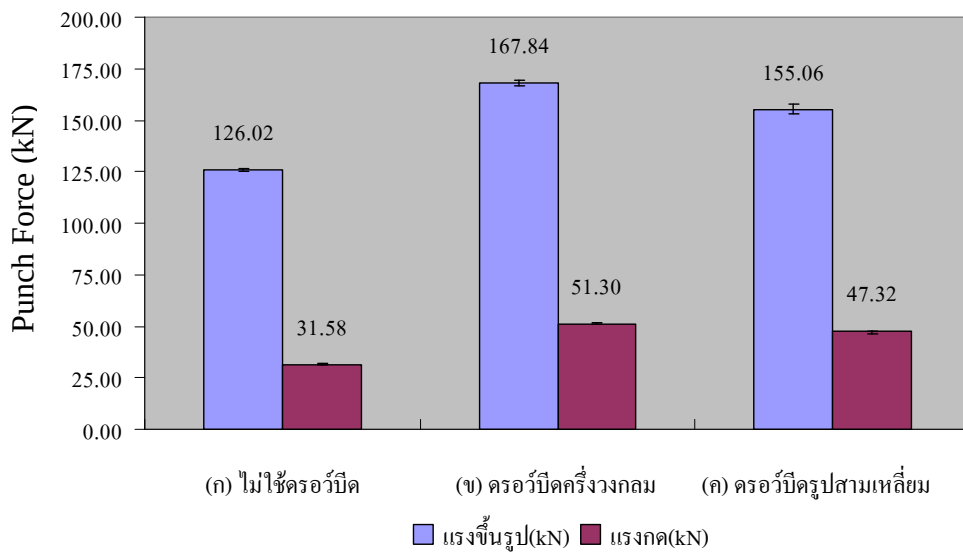


ภาพที่ 3.36 แรงขึ้นรูปลึกกับแรงกดชิ้นงานของครอว์บีด (Draw bead) รูปปรายโค้งมน

จากภาพที่ 3.35 ชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงาน โดยรอบทำการทดสอบครอว์บีดรูปครึ่งวงกลมปลายมนโค้ง พบว่าแรงกดชิ้นงานปรับเพิ่มสูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอสำหรับขึ้นรูปพื้นที่ของครอว์บีดก่อน จะได้แรงกดขึ้นรูปลึกชิ้นงานเท่ากับ 51.3 kN เมื่อแรงกดชิ้นงานสูงขึ้นความสามารถของการไหลตัวของชิ้นงานจะลดลงด้วย จึงทำให้แรงใช้เพื่อขึ้นรูปลึกชิ้นงานสูงขึ้นที่ระดับ 167.84 kN ระยะความลึก 48 มม. ดังแสดงในภาพที่ 3.36

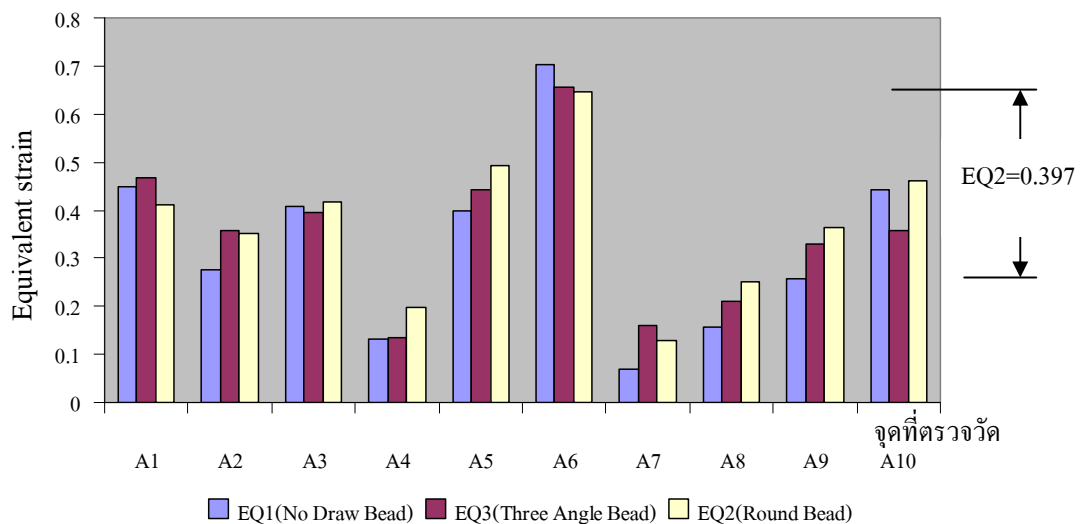


ภาพที่ 3.37 แรงขึ้นรูปกับแรงกดขึ้นงานของดรอว์บีคชนิดต่างๆ



ภาพที่ 3.38 แรงกดขึ้นรูปลึกกับแรงกดขึ้นงานตามชนิดของดรอว์บีค

จากภาพที่ 3.37 และภาพที่ 3.38 แสดงกราฟการเปรียบเทียบของแรงกดขึ้นงานและแรงใช้เพื่อขึ้นรูปลึกในชนิดของดรอว์บีคแบบครึ่งวงกลมมีระดับของแรงกดขึ้นงานสูงสุดที่ระดับ 51.3 kN จะสูงกว่าดรอว์บีคทุกชนิด เมื่อเพิ่มพื้นที่ของปีกขึ้นงานแรงกดและระดับของแรงกดสูงขึ้นไปจะทำให้ปริมาณของแรงใช้เพื่อการขึ้นรูปสูงขึ้นตามไปด้วยที่ระดับ 167.48 kN



ภาพที่ 3.39 ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) กับชนิดของครอว์บีด

ชิ้นงานสำเร็จทดสอบภายใต้สภาวะ ไม่ใช้ครอว์บีด (EQ1) ครอว์บีดรูปครึ่งวงกลม (EQ2) ครอว์บีดรูปสามเหลี่ยม (EQ3) ดังภาพที่ 3.39 ความเครียดเทียบเท่าและวัดความเปลี่ยนแปลงของความเครียด ณ บริเวณตรวจวัด พบว่าระดับความเครียด ณ จุดตรวจวัดมีระดับของความเครียดมีความรุนแรงเพิ่มสูงขึ้นในทุกระดับของจุดวิกฤติที่จุด A6 ระดับความรุนแรงสูงสุด ครอว์บีดชนิด EQ1 EQ3 และ EQ2 จากมากไปน้อยตามลำดับ แต่ผลที่กลับกันที่จุด A1 A2 A3 A4 A5 A7 A8 A9 และจุด A10 ระดับความรุนแรงของความเครียดกลับเป็น EQ2 EQ3 และ EQ1 ที่มีระดับความรุนแรงจากมากไปน้อยตามลำดับ ด้วยสาเหตุจาก EQ2 ใช้แรงกดชิ้นงานที่สูงขึ้นทำให้ความสามารถการไหลตัวของชิ้นงานลดลง เพราะเกิดการขึ้นรูปแบบดึงยืด (Stretching) ที่ผนังของชิ้นงานจะทำความหนาของชิ้นงานลดลงด้วย

จากผลการทดลองความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ในแต่ละชนิดของครอว์บีด ได้ดังนี้

EQ1 (Non draw bead) แรงในการขึ้นรูปลึก 126.02 kN แรงกดชิ้นงานเท่ากับ 31.58 kN และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรง A6 ของพื้นที่วิกฤติ (Equivalent strain เท่ากับ 0.703)

EQ2 (Three angle draw bead) แรงกดขึ้นรูปลึก 155.06 kN แรงกดชิ้นงานเท่ากับ 47.32 kN และปริมาณของความเครียดมีความรุนแรง A6 ของพื้นที่วิกฤติ (Equivalent Strain เท่ากับ 0.656)

EQ3 (Round draw bead) แรงกดขึ้นรูปลึก 167.84 kN แรงกดชิ้นงานเท่ากับ 51.30 kN ปริมาณของความเครียดมีความรุนแรง A6 ของพื้นที่วิกฤติ (Equivalent strain เท่ากับ 0.646) และความแตกต่างพื้นที่ A6 – A8 เท่ากับ 0.397