

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

ผลการวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของครอว์ปิดในการขึ้นรูปลิกซ์งานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรต่อคุณภาพของชิ้นงาน วัสดุเกรด JIS G3141: SPCC ความหนา 1 มม. ใช้ครอว์ปิดสามชนิด คือครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยม (Three angle draw bead) ครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลม (Half-round draw bead) และครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียง (Trapeziform draw bead) ที่ความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. ได้ผลการทดสอบพอที่จะสรุปได้ข้างต้นดังต่อไปนี้

4.1 ผลของการทดสอบด้วยชนิดของครอว์ปิด

ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร (Non-symmetrical) ความต้องการแรงกดในแต่ละพื้นที่ย่อมไม่เท่ากัน ซึ่งในการควบคุมนั้นเป็นไปได้ยาก จึงต้องมีการนำครอว์ปิดเข้ามาช่วยในการขึ้นรูป เพื่อให้เกิดแรงกดตามความต้องการในแต่ละพื้นที่ของรูปทรงแบบนี้ โดยใช้ครอว์ปิดสามชนิด คือครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยม ครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลม และครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียง

4.1.1 ปัจจัยควบคุม

- 1) แผ่นตัดเปล่าจากการคำนวณโดยการประมาณค่า
- 2) สารหล่อลื่นแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน 0.1 มม.
- 3) ระยะกดลึกของฟันซ์เท่ากับ 52 มม.

4.1.2 ปัจจัยทดสอบ

- 1) ชนิดสามเหลี่ยมเอียงตามด้านที่ขึ้นรูป ที่ปลายมีรัศมี 1 มม. มีความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม.
- 2) ชนิดครึ่งวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.0 มม. ที่มีระดับความสูงเช่นเดียวกัน
- 3) ชนิดรูปสามเหลี่ยมหรือตัววีที่ปลายมีรัศมี 1 มม. ที่มีระดับความสูงเช่นเดียวกัน



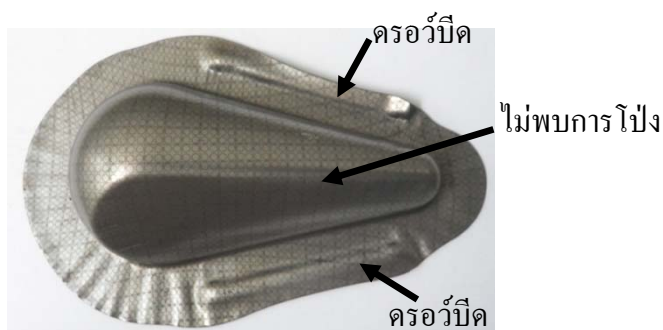
ภาพที่ 4.1 จุดบกพร่องชิ้นงานหลังการขึ้นรูปของครอว์ปิด

ขณะทดสอบขึ้นรูปชิ้นงานความสูงของครอว์ปิดมีผลกระทบต่อการขึ้นรูป คือ จะเกิดการฉีกขาดบริเวณสันด้านบน เนื่องจากความหนาของชิ้นงานลดลงจึงเกิดการฉีกขาดได้ง่าย และเมื่อลดแรงกดลงชิ้นงานจะเกิดรอยย่นตรงบริเวณรัศมีมุมโค้ง เพราะเป็นบริเวณที่เกิดความเค้นอัดในแนวเส้นรอบวงมาก ทำให้การไหลตัวช้าลงจึงเกิดรอยย่นขึ้นดังภาพที่ 4.1

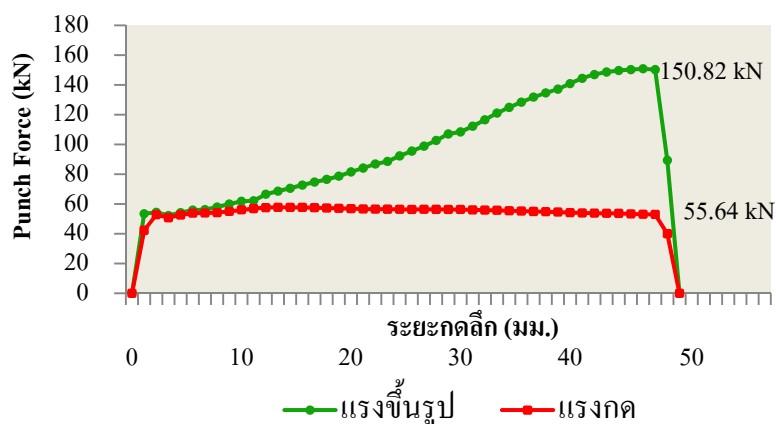
เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานให้ประสบความสำเร็จจึงทดลองปรับแรงกดและติดตั้งแม่พิมพ์ให้ตรงศูนย์ และทดสอบที่แรงกดเพื่อให้เหมาะสมตามชนิดและความสูงของครอว์ปิด โดยทำการทดสอบที่สภาวะละ 5 ชิ้น เพื่อบันทึกข้อมูลได้ผลการทดสอบดังนี้

4.1.3 ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยม

1) ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยม ความสูง 3 มม.



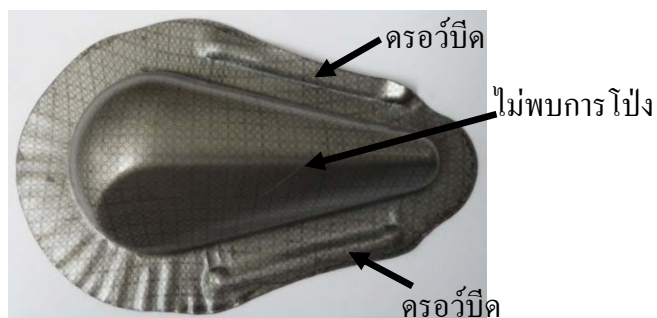
ภาพที่ 4.2 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 3 มม.



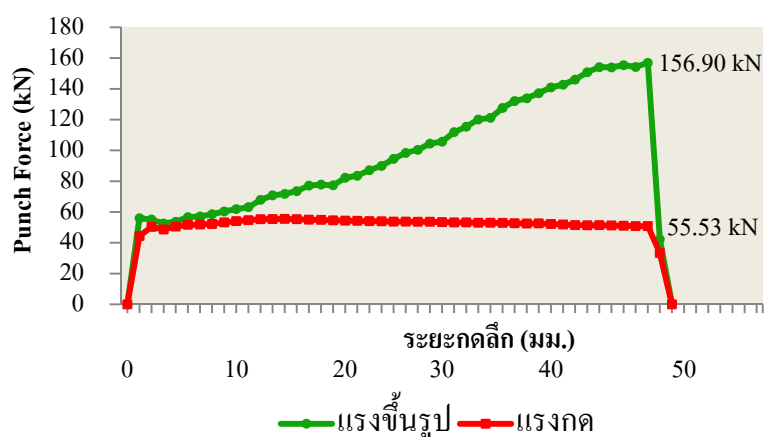
ภาพที่ 4.3 แรงขึ้นรูปกับแรงกดขึ้นงานของดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมที่มีความสูง 3 มม.

จากภาพที่ 4.2 ชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงาน โดยรอบ ไม่พบการโป่ง การฉีกขาด และรอยยับบนชิ้นงาน ทำการทดสอบดรอว์บีค ชนิดสามเหลี่ยมที่มีความสูง 3 มม. จะได้แรงกดขึ้นรูปลึกชิ้นงานเท่ากับ 55.64 kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานอยู่ที่ 150.82 kNและระยะความลึก 49 มม. ดังภาพที่ 4.3

2) ดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยม ความสูง 4 มม.



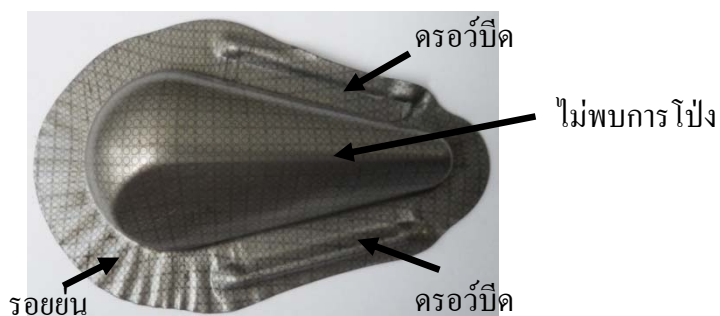
ภาพที่ 4.4 ชิ้นงานที่ใช้ดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมที่มีความสูง 4 มม.



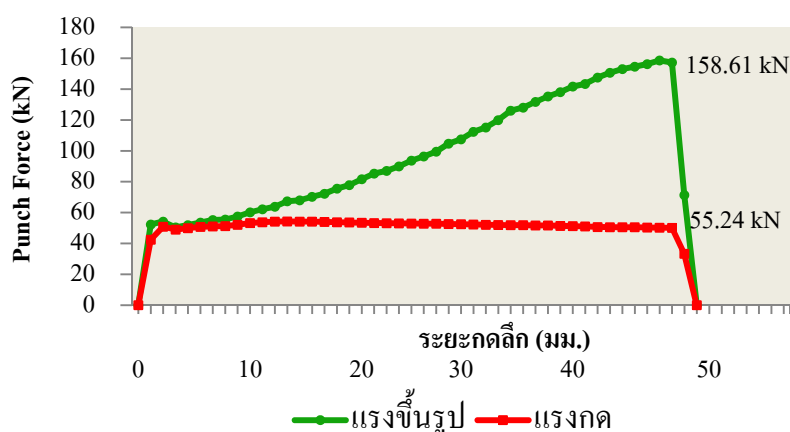
ภาพที่ 4.5 แรงขึ้นรูปกับแรงกดขึ้นงานของครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 4 มม.

จากภาพที่ 4.4 ชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบไม่พบการโป่ง การฉีกขาดและรอยยับบนชิ้นงาน ทำการทดสอบครอว์ปิด ชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 4 มม. พบว่าแรงกดขึ้นงานปรับเพิ่มสูงขึ้น จะได้แรงกดขึ้นรูปลึกชิ้นงานเท่ากับ 55.53 kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานอยู่ที่ 156.90 kNและระยะความลึก 48 มม. ดังภาพที่ 4.5

3) ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยม ความสูง 5 มม.



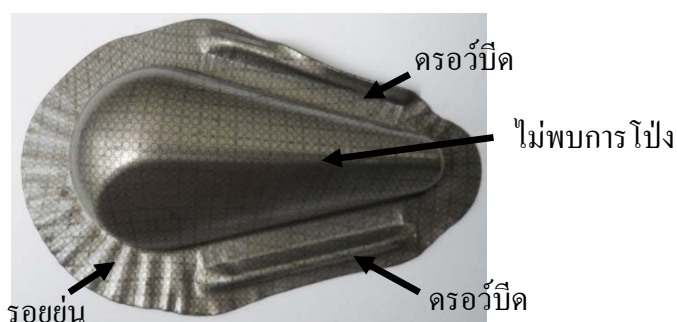
ภาพที่ 4.6 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 5 มม.



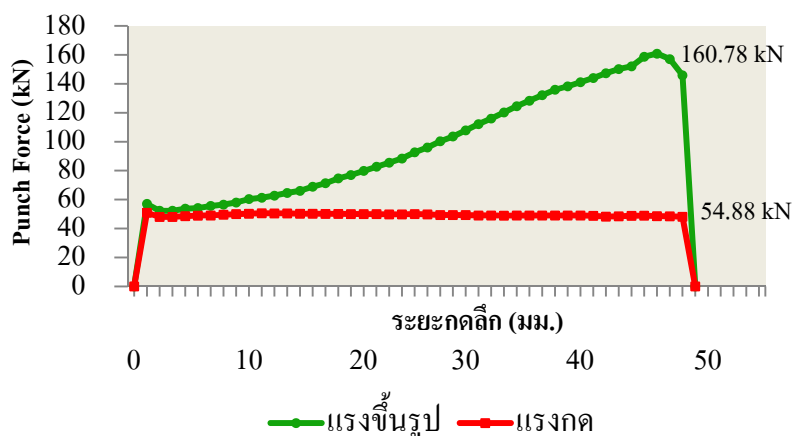
ภาพที่ 4.7 แรงขึ้นรูปกับแรงกดขึ้นงานของดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 5 มม.

จากภาพที่ 4.6 จากการทดสอบ พบว่าชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง และการฉีกขาด แต่เกิดรอยยับบริเวณปีกโดยรอบของชิ้นงาน ทำการทดสอบดรอร์ปิด ชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 5 มม. พบว่าแรงกดขึ้นงานปรับเพิ่มสูงเพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูปดรอร์ปิดก่อน จะได้แรงกดขึ้นรูปลึกชิ้นงานเท่ากับ 55.24 kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานอยู่ที่ 158.61 kNและระยะความลึก 48 มม. ดังภาพที่ 4.7

4) ดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยม ความสูง 6 มม.



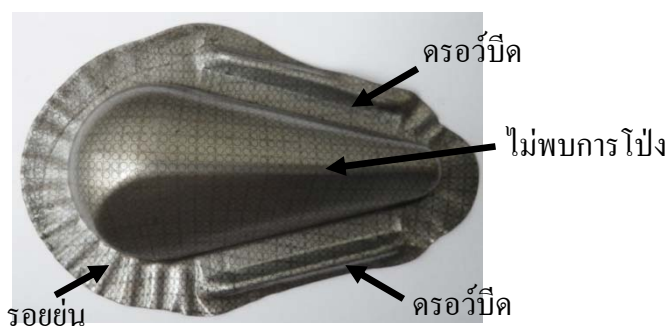
ภาพที่ 4.8 ชิ้นงานที่ใช้ดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 6 มม.



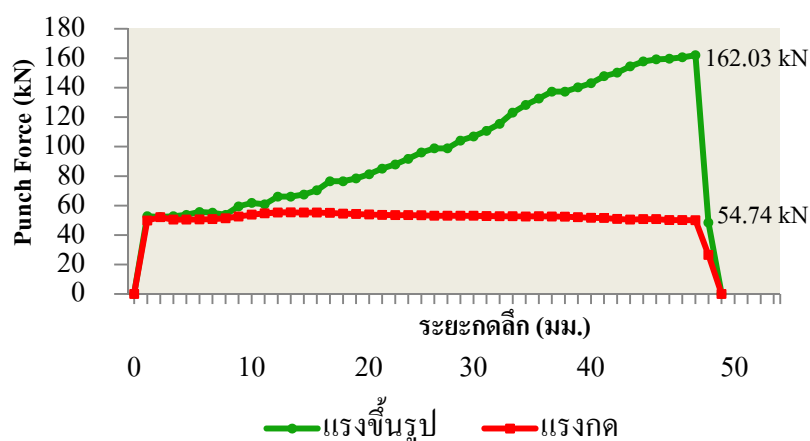
ภาพที่ 4.9 แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 6 มม.

จากภาพที่ 4.8 จากการทดสอบ พบว่าชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง และการฉีกขาด แต่เกิดรอยขนบริเวณปีกโดยรอบของชิ้นงาน ทำการทดสอบครอว์ปิด ชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 6 มม. พบว่าแรงกดชิ้นงานปรับเพิ่มสูงเพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูปครอว์ปิดก่อน จะได้แรงกดขึ้นรูปเล็กชิ้นงานเท่ากับ 54.88kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเล็กชิ้นงานอยู่ที่ 160.78 kNและระยะความลึก 49 มม. ดังภาพที่ 4.9

5) ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยม ความสูง 7 มม.



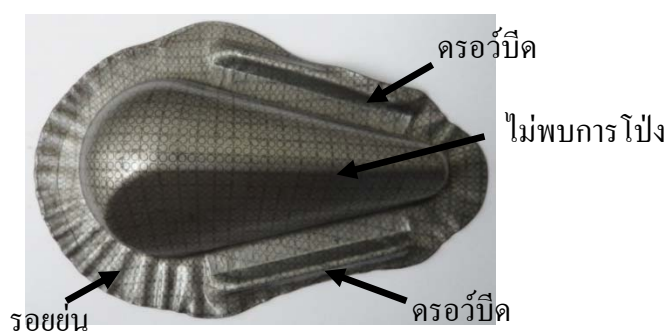
ภาพที่ 4.10 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 7 มม.



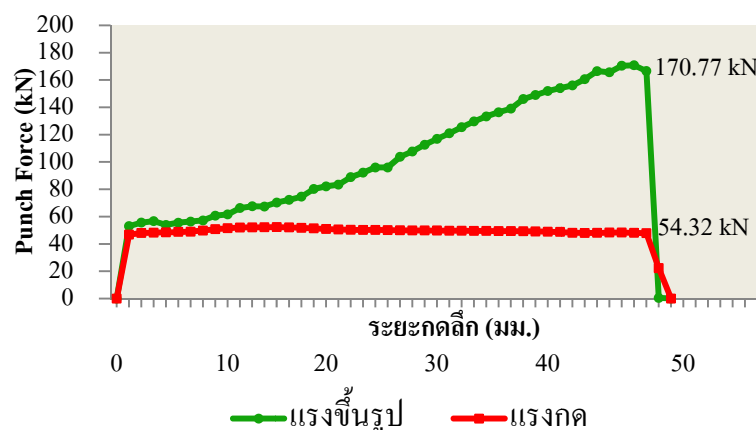
ภาพที่ 4.11 แรงขึ้นรูปกับแรงกดขึ้นงานของครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 7 มม.

จากภาพที่ 4.10 จากการทดสอบ พบว่าชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง และการฉีกขาด แต่เกิดรอยย่นบริเวณปีกไปจนถึงผนังโดยรอบของชิ้นงาน โดยรอยย่นที่พบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำการทดสอบครอว์บีค ชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 7 มม. พบว่าแรงกดขึ้นงานปรับเพิ่มสูงเพื่อให้เพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูปครอว์บีคก่อน จะได้แรงกดขึ้นรูปลึกชิ้นงานเท่ากับ 54.74kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานอยู่ที่ 162.03 kNและระยะความลึก 49 มม. ดังภาพที่ 4.11

6) ครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยม ความสูง 8 มม.



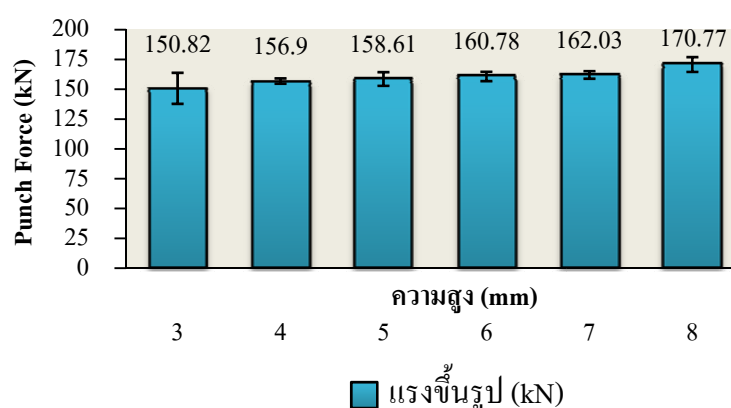
ภาพที่ 4.12 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 8 มม.



ภาพที่ 4.13 แรงขึ้นรูปกับแรงกดขึ้นงานของครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 8 มม.

จากภาพที่ 4.12 จากการทดสอบ พบว่าชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง และการฉีกขาด แต่เกิดรอยย่นบริเวณปีกไปจนถึงผนังโดยรอบของชิ้นงานโดยรอบ ย่นที่พบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำการทดสอบครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 8 มม. พบว่าแรงกดขึ้นงานปรับเพิ่มสูงเพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูปครอว์บีคก่อน จะได้แรงกดขึ้นรูปเล็ก ชิ้นงานเท่ากับ 54.32kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเล็กชิ้นงานอยู่ที่ 170.77 kNและระยะความลึก 49 มม. ดังภาพที่ 4.13

7) แรงขึ้นรูปขึ้นงานของครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยม

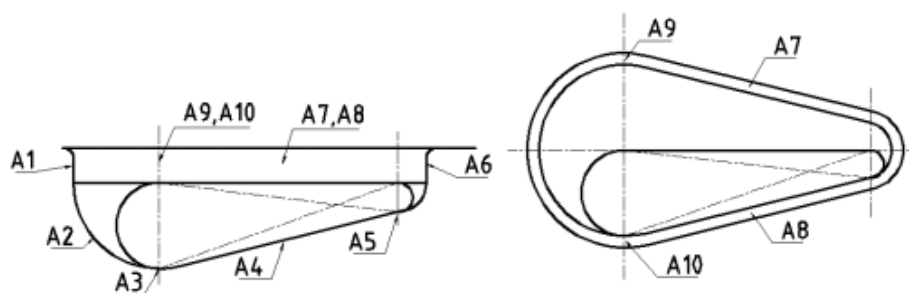


ภาพที่ 4.14 แรงขึ้นรูปขึ้นงานของครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยม

จากภาพที่ 4.14 แสดงกราฟการเปรียบเทียบของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปของครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมที่ระดับความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อครอว์ปิดมีความสูงเพิ่มขึ้น แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

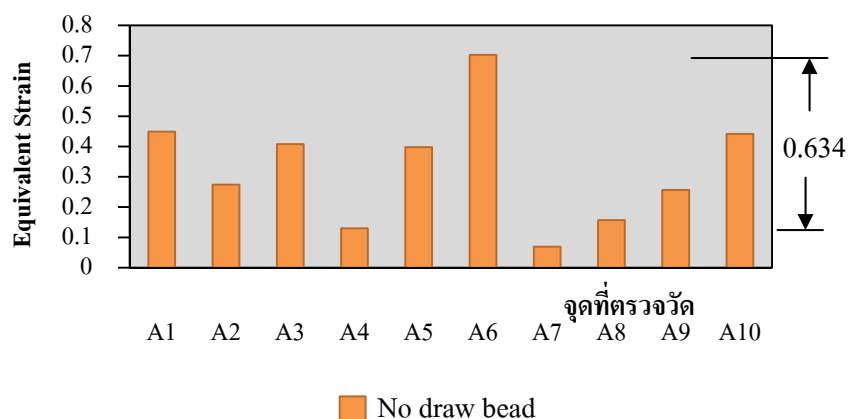
8) ค่าความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ของครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยม

ความรุนแรงของความเครียด โดยการปรับใช้จากสมการความเครียดเทียบเท่าขนาดตามแนวแกนหลักและแนวแกนรองของกริดทั้ง 10 จุด นำผลที่ได้จากการวัดคำนวณหาความเครียดจริงสูงสุด ϵ_1 ดังสมการที่ (2.15) ความเครียดจริงต่ำสุด ϵ_2 ดังสมการที่ (2.16) และความเครียดจริงในความหนาตามแนวแกนวัด ϵ_3 ดังสมการที่ (2.17) ความเครียดเทียบเท่า $\bar{\epsilon}$ ดังสมการที่ 2.18 ซึ่งจุดตรวจวัดที่ตรวจสอบความเครียด ดังภาพที่ 4.15

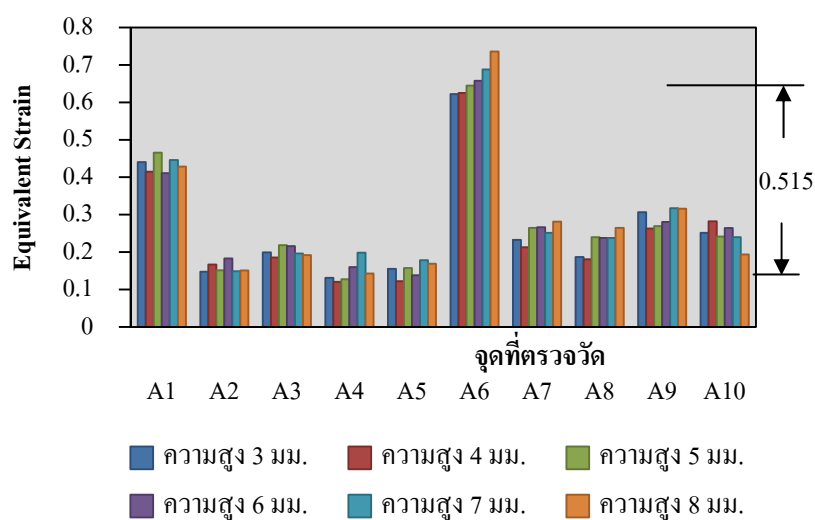


ภาพที่ 4.15 จุดตรวจวัดที่ตรวจสอบความเครียด [3]

ในการทดสอบขึ้นรูปลิกซิงงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรในสถานะที่ไม่ใช้ครอว์ปิด ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.16 ซึ่งผลการทดสอบได้อ้างอิงมาจาก การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการขึ้นรูปลิกซิงงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรต่อสมบัติการขึ้นรูปของเหล็ก SPCC ในโครงการย่อยที่ 1



ภาพที่ 4.16 ความเครียดเทียบเท่าที่ไม่มีครอว์บีด



ภาพที่ 4.17 ความเครียดเทียบเท่าของครอว์บีดชนิดสามเหลี่ยม

ชิ้นงานทดสอบที่ขึ้นรูปโดยใช้ครอว์บีดชนิดสามเหลี่ยมช่วยในการขึ้นรูป ทดสอบค่าความรุนแรงของความเครียด ที่ความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. ดังรูปที่ 4.17 ค่าความเครียดเทียบเท่าและวัดความเปลี่ยนแปลงของความเครียด ณ จุดที่กำหนดไว้ทั้ง 10 จุด พบว่าค่าความเครียดเทียบเท่าในแต่ละจุดมีค่าใกล้เคียงกันในทุก ๆ ขนาดความสูง และในจุด A1-A10 พบว่าในจุด A6 มีค่าความเครียดเทียบเท่าสูงที่สุด ดังนั้นจุด A6 จึงเป็นจุดวิกฤตซึ่งเป็นจุดที่มีโอกาสที่จะเกิดรอยร้าวได้ง่าย จุดที่มีค่าความเครียดเทียบเท่ารองลงมาก็คือจุด A1 A9 A7 A10 A8 A3 A4 A2 A5 ตามลำดับ

จากผลการทดลองค่าความเครียดเทียบเท่าของครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมที่มีความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. ได้ดังนี้

ความสูง 3 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกขึ้นงานเท่ากับ 55.64 kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกขึ้นงานอยู่ที่ 150.82 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.622

ความสูง 4 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกขึ้นงานเท่ากับ 55.53 kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกขึ้นงานอยู่ที่ 156.90 kNและจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.625

ความสูง 5 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกขึ้นงานเท่ากับ 55.24 kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกขึ้นงานอยู่ที่ 158.61 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.645

ความสูง 6 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกขึ้นงานเท่ากับ 54.88kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกขึ้นงานอยู่ที่ 160.78 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.658

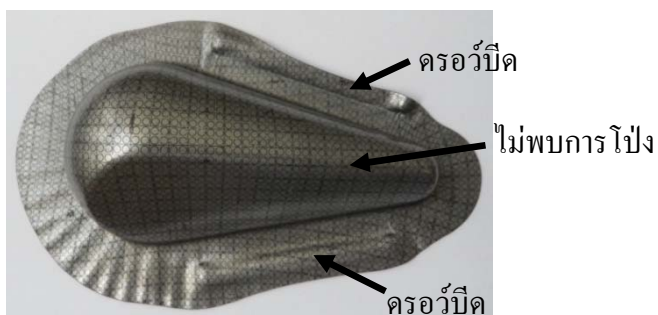
ความสูง 7 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกขึ้นงานเท่ากับ 54.74kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกขึ้นงานอยู่ที่ 162.03 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่าเท่ากับ 0.688

ความสูง 8 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกขึ้นงานเท่ากับ 54.32kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกขึ้นงานอยู่ที่ 170.77 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.736

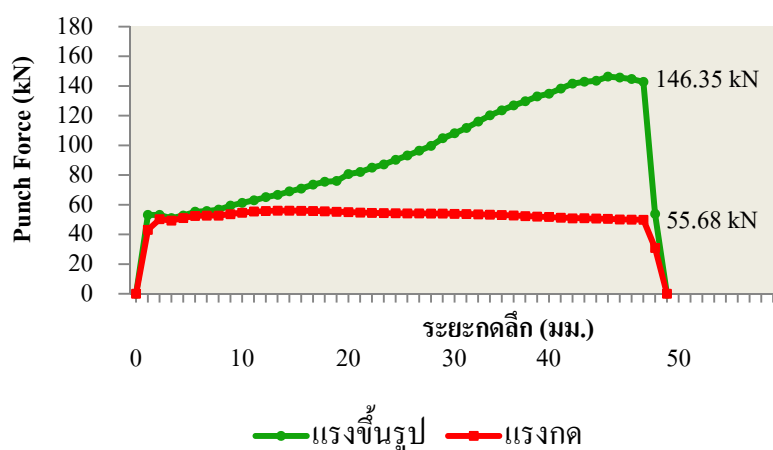
จากผลการทดลองพบว่าระดับความแตกต่างของค่าความเครียดสูงสุดและต่ำสุดของขึ้นงานที่ใช้ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมช่วยในการขึ้นรูปคือ 0.515เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่ใช้ครอว์ปิดระดับความแตกต่างของค่าความเครียดสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 0.634 ซึ่งมีความเครียดรุนแรงมากกว่าที่ใช้ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมช่วยในการขึ้นรูป

4.1.4 ครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลม

1) ครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลม ความสูง 3 มม.



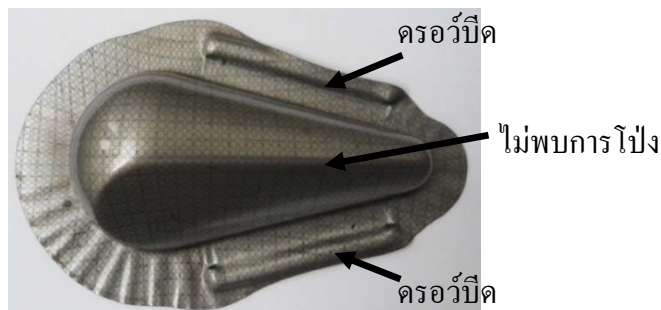
ภาพที่ 4.18 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 3 มม.



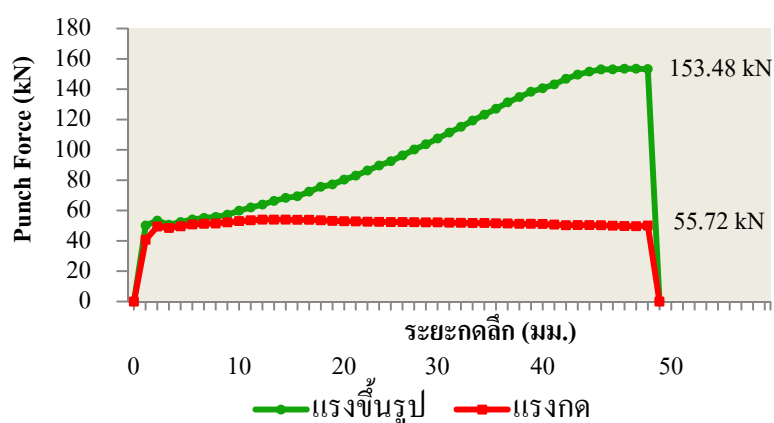
ภาพที่ 4.19 แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 3 มม.

จากภาพที่ 4.18 ชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง การฉีกขาดและรอยยับบนชิ้นงาน ทำการทดสอบครอว์ปิด ชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 3 มม.แรงกดขึ้นรูปลึกชิ้นงานเท่ากับ 55.68kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานอยู่ที่ 146.35 kNและระยะความลึก 49 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4.19

2) ครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลม ความสูง 4 มม.



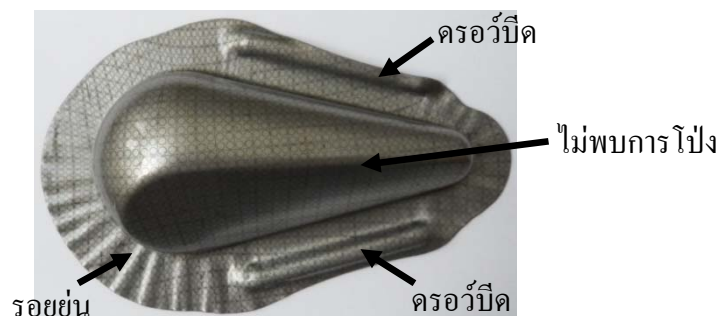
ภาพที่ 4.20 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 4 มม.



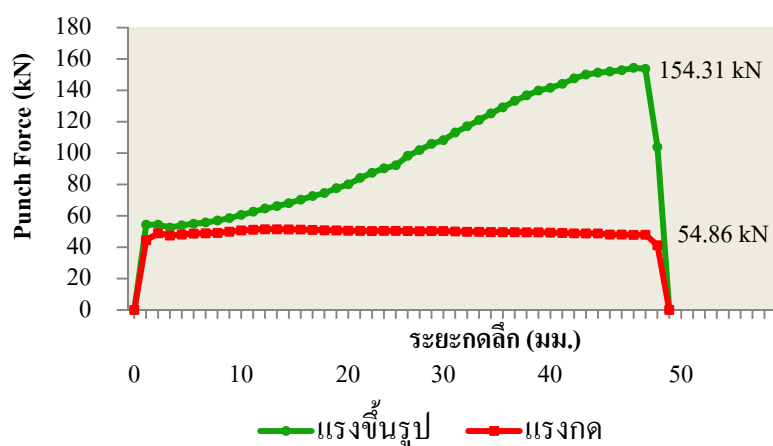
ภาพที่ 4.21 แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 4 มม.

จากภาพที่ 4.20 ชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม้พบการโป่ง การฉีกขาดและรอยย่นบนชิ้นงาน ทำการทดสอบครอว์ปิด ชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 4 มม. พบว่าแรงกดชิ้นงานปรับเพิ่มสูงขึ้น จะได้แรงกดขึ้นรูปลึกลงชิ้นงานเท่ากับ 55.72kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกลงชิ้นงานอยู่ที่ 153.48 kNและระยะความลึก 49 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4.21

3) ครอว์บีคชนิดครึ่งวงกลม ความสูง 5 มม.



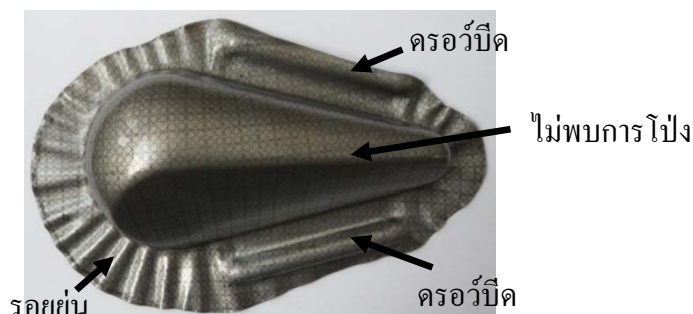
ภาพที่ 4.22 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์บีคชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 5 มม.



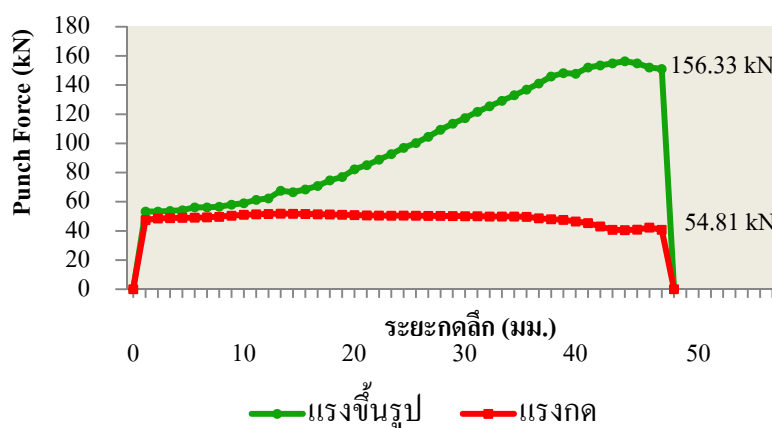
ภาพที่ 4.23 แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์บีคชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 5 มม.

จากรูปที่ 4.22 จากการทดสอบ พบว่าชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง และการฉีกขาด แต่เกิดรอยขึ้นบริเวณปีกโดยรอบของชิ้นงาน ทำการทดสอบครอว์บีค ชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 5 มม. พบว่าแรงกดชิ้นงานปรับเพิ่มสูงเพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูปครอว์บีคก่อน จะได้แรงกดขึ้นรูปเล็กชิ้นงานเท่ากับ 54.86kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเล็กชิ้นงานอยู่ที่ 154.31 kNและระยะความลึก 48 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4.23

4) ครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลม ความสูง 6 มม.



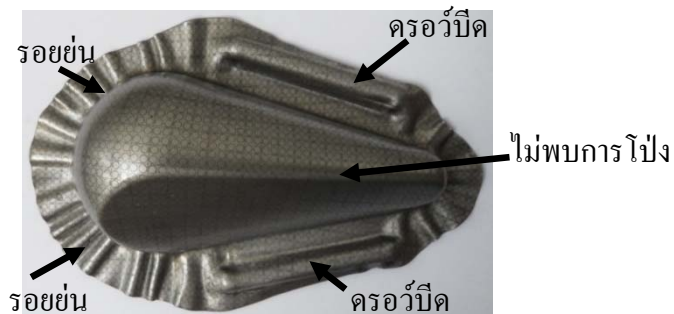
ภาพที่ 4.24 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 6 มม.



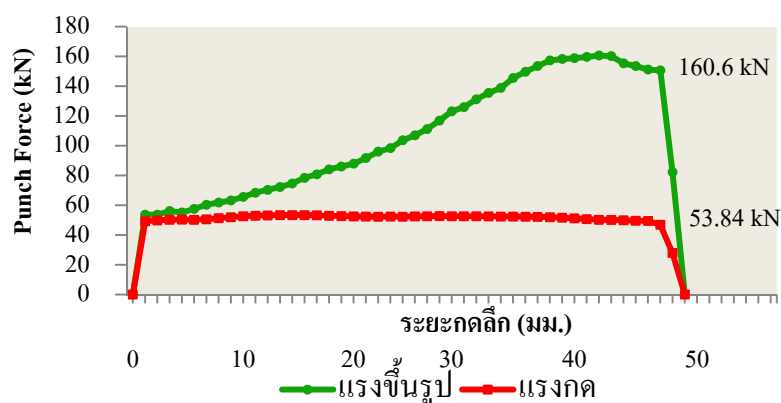
ภาพที่ 4.25 แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 6 มม.

จากภาพที่ 4.24 จากการทดสอบ พบว่าชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง และการฉีกขาด แต่เกิดรอยย่นบริเวณปีกโดยรอบของชิ้นงาน ทำการทดสอบครอว์ปิด ชนิดวงกลมที่มีความสูง 6 มม. พบว่าแรงกดชิ้นงานปรับเพิ่มสูงเพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูปครอว์ปิดก่อน แรงกดขึ้นรูปเล็กชิ้นงานเท่ากับ 54.81 kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเล็กชิ้นงานอยู่ที่ 156.33 kNและระยะความลึก 48 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4.25

5) ครอว์บีตชนิดครึ่งวงกลม ความสูง 7 มม.



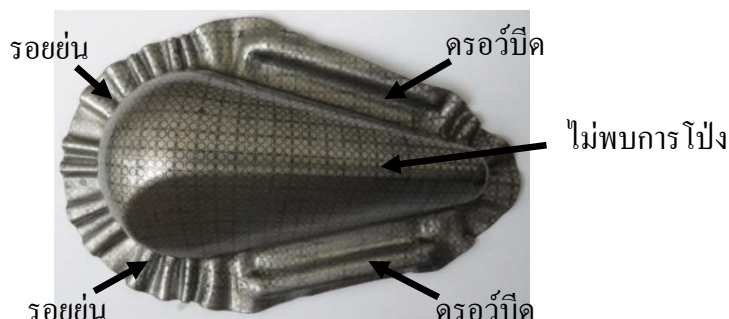
ภาพที่ 4.26 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์บีตชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 7 มม.



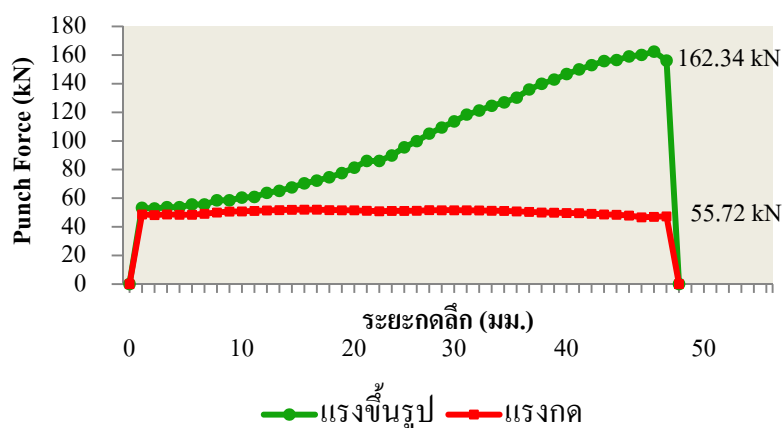
ภาพที่ 4.27 แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์บีตชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 7 มม.

จากภาพที่ 4.26 จากการทดสอบ พบว่าชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง และการฉีกขาด แต่เกิดรอยย่นบริเวณปีกไปจนถึงผนังโดยรอบของชิ้นงานโดยรอยย่นที่พบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำการทดสอบครอว์บีต ชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 7 มม. พบว่าแรงกดชิ้นงานปรับเพิ่มสูงเพื่อให้เพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูปครอว์บีตก่อน จะได้แรงกดขึ้นรูปลึกลงชิ้นงานเท่ากับ 53.84kNแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกลงชิ้นงานอยู่ที่ 160.6 kNและระยะความลึก 49 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4.27

6) ครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลม ความสูง 8 มม.



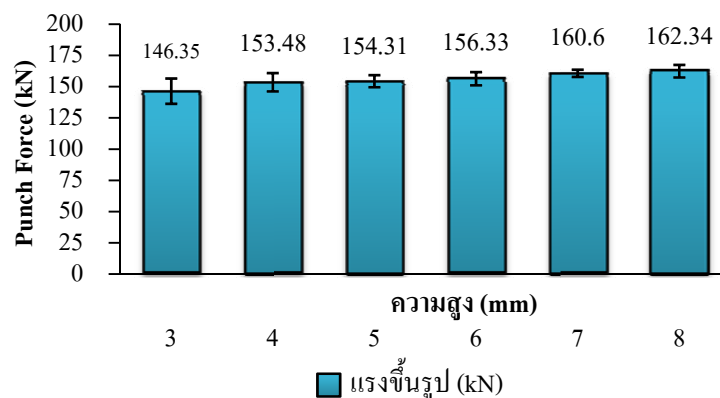
ภาพที่ 4.28 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 8 มม.



ภาพที่ 4.29 แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 8 มม.

จากภาพที่ 4.28 จากการทดสอบ พบว่าชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง และการฉีกขาด แต่เกิดรอยย่นบริเวณปีกไปจนถึงผนังโดยรอบของชิ้นงาน โดยรอยย่นที่พบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำการทดสอบครอว์ปิด ชนิดครึ่งวงกลมที่มีความสูง 8 มม. พบว่าแรงกดชิ้นงานปรับเพิ่มสูงเพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูปครอว์ปิดก่อน จะได้แรงกดขึ้นรูปลึกชิ้นงานเท่ากับ 55.72 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานอยู่ที่ 162.34 kN และระยะความลึก 48 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4.29

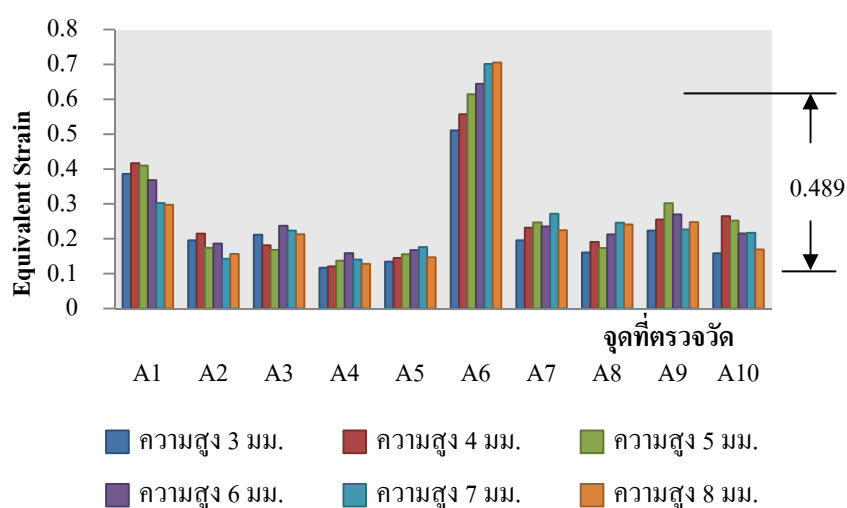
7) แรงขึ้นรูปชิ้นงานของครอว์ปีดชนิดครึ่งวงกลม



ภาพที่ 4.30 แรงขึ้นรูปชิ้นงานของครอว์ปีดชนิดครึ่งวงกลม

จากภาพที่ 4.30 แสดงกราฟการเปรียบเทียบของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปของครอว์ปีดชนิดครึ่งวงกลมที่ระดับความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อครอว์ปีดมีความสูงเพิ่มขึ้น แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

8) ค่าความเครียดเทียบเท่าของครอว์ปีดชนิดครึ่งวงกลม



ภาพที่ 4.31 ความเครียดเทียบเท่าของครอว์ปีดชนิดครึ่งวงกลม

ชิ้นงานทดสอบที่ขึ้นรูปโดยใช้ดรอว์บีดชนิดครึ่งวงกลมช่วยในการขึ้นรูป ทดสอบค่าความรุนแรงของความเครียด ที่ความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. ดังรูปที่ 4.31 ค่าความเครียดเทียบเท่า และวัดความเปลี่ยนแปลงของความเครียด ณ จุดที่ทำการกำหนดไว้ทั้ง 10 จุด พบว่าค่าความเครียดเทียบเท่าในแต่ละจุดมีค่าใกล้เคียงกันในทุก ๆ ขนาดความสูง และในจุด A1-A10 พบว่า ในจุด A6 มีค่าความเครียดเทียบเท่าสูงที่สุด ดังนั้นจุดที่ A6 จึงเป็นจุดวิกฤตซึ่งเป็นจุดที่มีโอกาสที่จะเกิดรอยร้าวได้ง่าย จุดที่มีค่าความเครียดเทียบเท่ารองลงมาคือจุด A1 A9 A7 A10 A8 A3 A2 A5 A4 ตามลำดับ

จากผลการทดลองค่าความเครียดเทียบเท่าของดรอว์บีดชนิดครึ่งวงกลม ที่มีความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. ได้ดังนี้

ความสูง 3 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกชิ้นงานเท่ากับ 55.68 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกชิ้นงานอยู่ที่ 146.35 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.511

ความสูง 4 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกชิ้นงานเท่ากับ 55.72 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกชิ้นงานอยู่ที่ 153.48 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.557

ความสูง 5 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกชิ้นงานเท่ากับ 54.86 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกชิ้นงานอยู่ที่ 154.31 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.615

ความสูง 6 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกชิ้นงานเท่ากับ 54.81 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกชิ้นงานอยู่ที่ 156.33 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.644

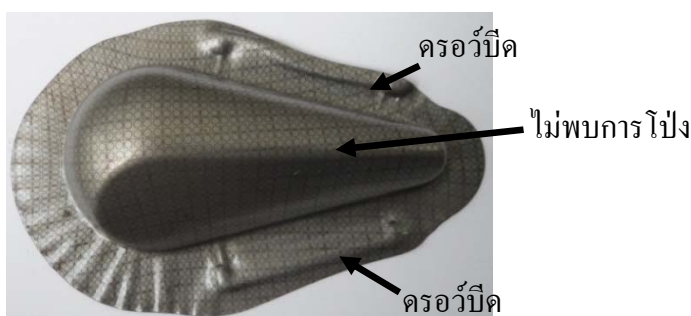
ความสูง 7 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกชิ้นงานเท่ากับ 553.84 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกชิ้นงานอยู่ที่ 160.6 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.702

ความสูง 8 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกชิ้นงานเท่ากับ 55.72 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกชิ้นงานอยู่ที่ 162.34 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.706

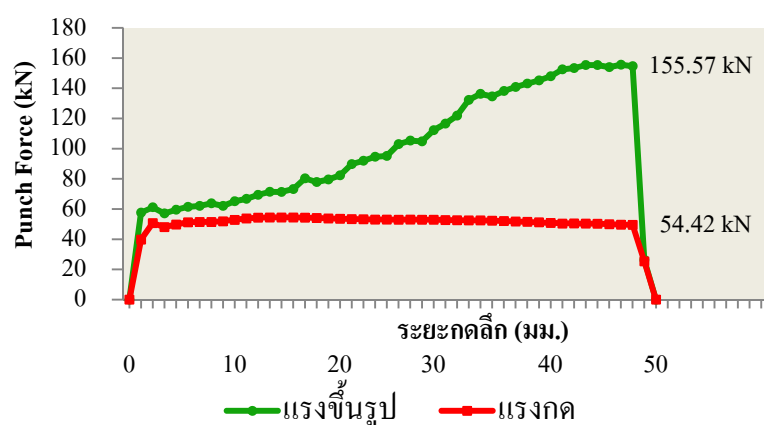
จากผลการทดลองพบว่าระดับความแตกต่างของค่าความเครียดสูงสุดและต่ำสุดของชิ้นงานที่ใช้ดรอว์บีคชนิดครึ่งวงกลมช่วยในการขึ้นรูปคือ 0.489 ระดับความแตกต่างของค่าความเครียดสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 0.634 ซึ่งมีความเครียดรุนแรงมากกว่าที่ใช้ดรอว์บีคชนิดครึ่งวงกลมในการขึ้นรูป

4.1.5 ดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียง

1) ดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียง ความสูง 3 มม.



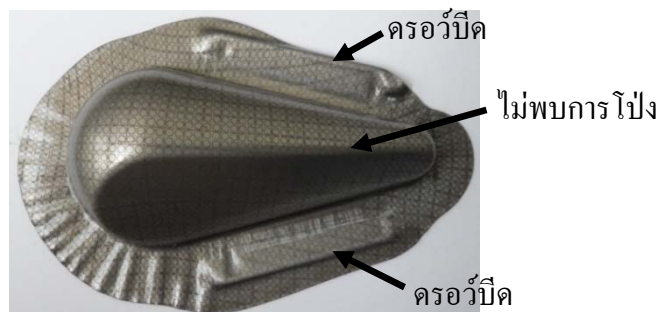
ภาพที่ 4.32 ชิ้นงานที่ใช้ดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 3 มม.



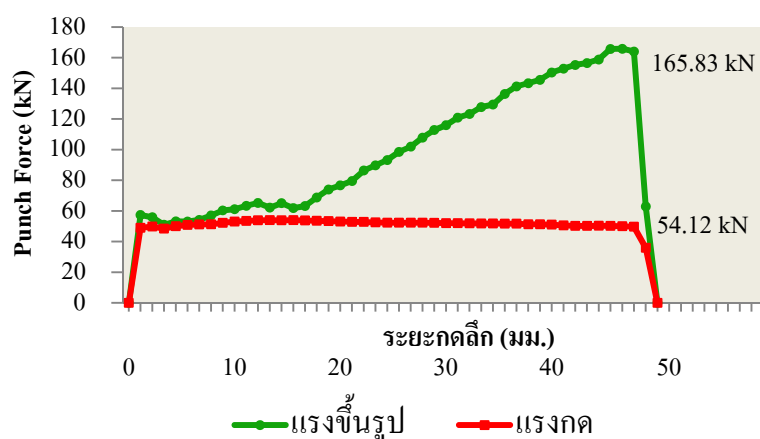
ภาพที่ 4.33 แรงขึ้นรูปกับแรงกดขึ้นงานของดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 3 มม.

จากภาพที่ 4.32 ชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง การฉีกขาดและรอยยับบนชิ้นงาน ทำการทดสอบดรอว์บีค ชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 3 มม. จะได้แรงกดขึ้นรูปลึกชิ้นงานเท่ากับ 54.42 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานอยู่ที่ 155.57 kN และระยะความลึก 48 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4.33

2) ครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียง ความสูง 4 มม.



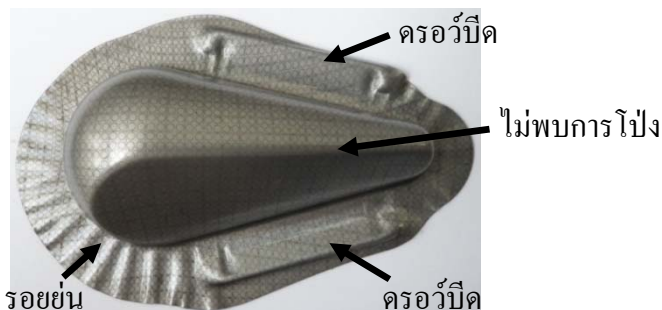
ภาพที่ 4.34 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 4 มม.



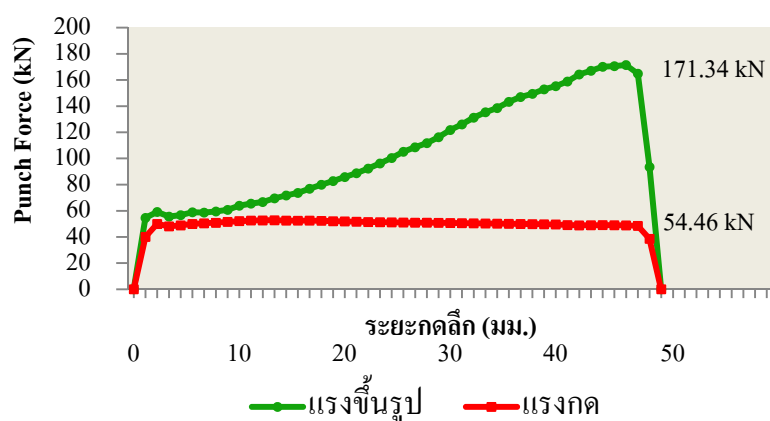
ภาพที่ 4.35 แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 4 มม.

จากภาพที่ 4.34 ชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง การฉีกขาด และรอยยับบนชิ้นงาน ทำการทดสอบครอว์บีค ชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 4 มม. พบว่าแรงกดชิ้นงานปรับเพิ่มสูงขึ้น จะได้แรงกดขึ้นรูปลึกชิ้นงานเท่ากับ 54.12 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานอยู่ที่ 165.83 kN และระยะความลึก 48 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4.35

3) ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียง ความสูง 5 มม.



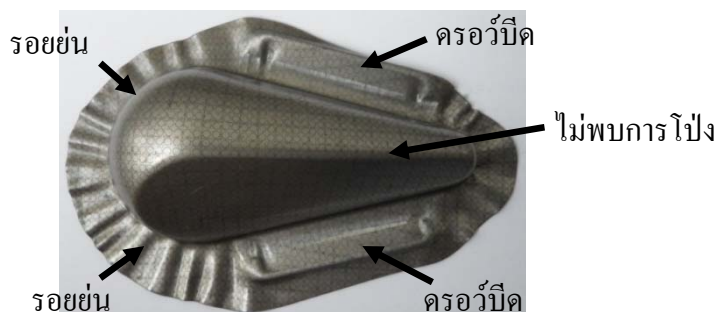
ภาพที่ 4.36 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 5 มม.



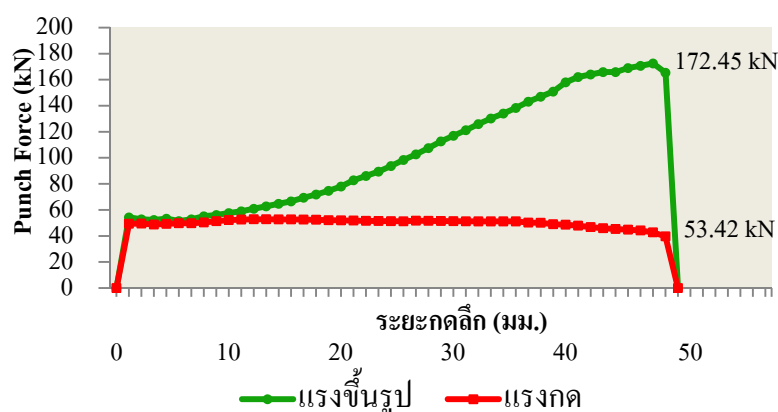
ภาพที่ 4.37 แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 5 มม.

จากภาพที่ 4.36 จากการทดสอบ พบว่าชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง และการฉีกขาด แต่เกิดรอยย่นบริเวณปีกโดยรอบของชิ้นงาน ทำการทดสอบครอว์ปิด ชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 5 มม. พบว่าแรงกดชิ้นงานปรับเพิ่มสูงเพื่อให้เพื่อให้เพียงพอ สำหรับการขึ้นรูปครอว์ปิดก่อน จะได้แรงกดขึ้นรูปลึกชิ้นงานเท่ากับ 54.46 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานอยู่ที่ 171.34 kN และระยะความลึก 48 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4.37

4) ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียง ความสูง 6 มม.



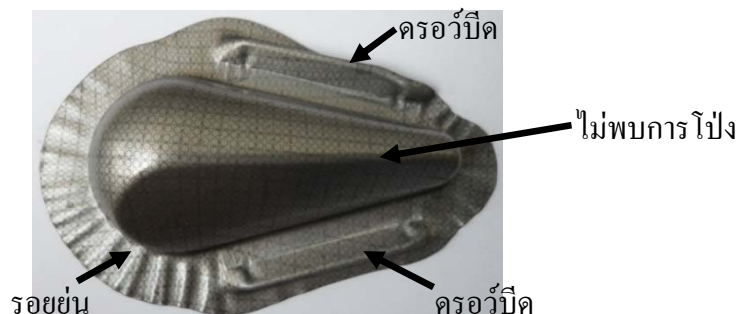
ภาพที่ 4.38 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 6 มม.



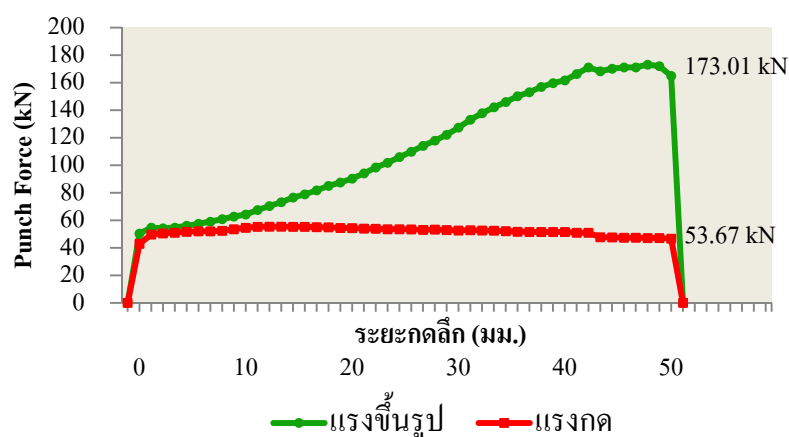
ภาพที่ 4.39 แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 6 มม.

จากภาพที่ 4.38 จากการทดสอบ พบว่าชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง และการฉีกขาด แต่เกิดรอย่นบริเวณปีกโดยรอบของชิ้นงาน ทำการทดสอบครอว์ปิด ชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 6 มม. พบว่าแรงกดชิ้นงานปรับเพิ่มสูงเพื่อให้เพื่อให้เพียงพอ สำหรับการขึ้นรูปครอว์ปิดก่อน จะได้แรงกดขึ้นรูปลึกชิ้นงานเท่ากับ 53.42 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานอยู่ที่ 172.45 kN และระยะความลึก 48 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4.39

5) ครอว์บีตชนิดสามเหลี่ยมเอียง ความสูง 7 มม.



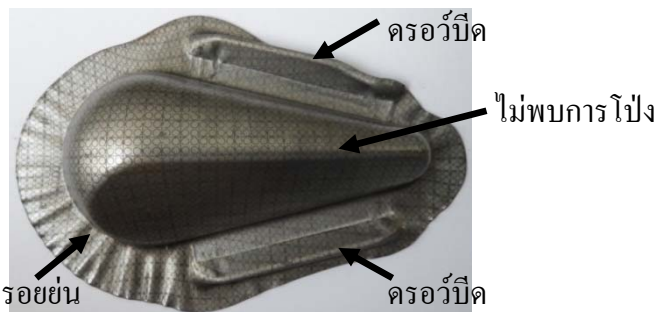
ภาพที่ 4.40 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์บีตชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 7 มม.



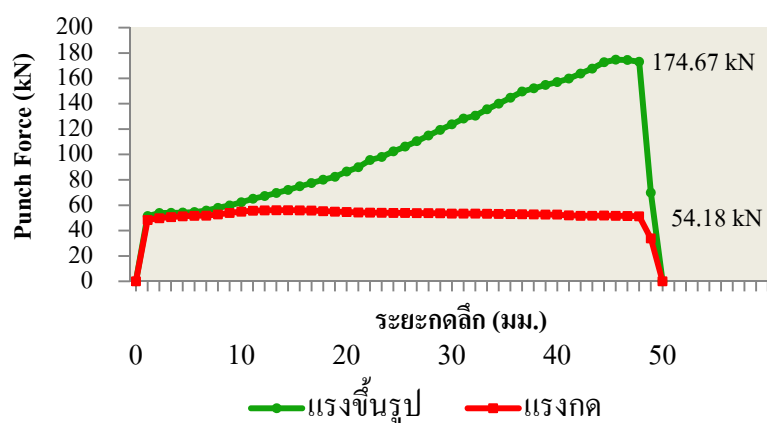
ภาพที่ 4.41 แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์บีตชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 7 มม.

จากรูปที่ 4.40 จากการทดสอบ พบว่าชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง และการฉีกขาด แต่เกิดรอยย่นบริเวณปีกไปจนถึงผนังโดยรอบของชิ้นงาน โดยรอยย่นที่พบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำการทดสอบครอว์บีต ชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 7 มม. พบว่าแรงกดชิ้นงานปรับเพิ่มสูงเพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูปครอว์บีตก่อน จะได้แรงกดขึ้นรูปเล็กชิ้นงานเท่ากับ 53.67 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเล็กชิ้นงานอยู่ที่ 173.01 kN และระยะความลึก 49 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4.41

6) ครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียง ความสูง 8 มม.



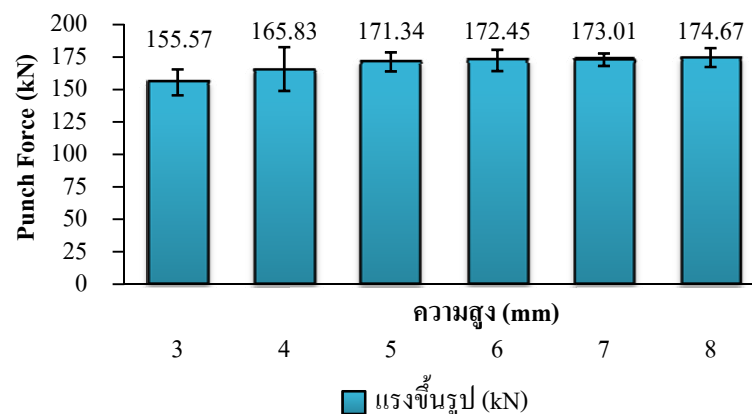
ภาพที่ 4.42 ชิ้นงานที่ใช้ครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 8 มม.



ภาพที่ 4.43 แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 8 มม.

จากภาพที่ 4.42 จากการทดสอบ พบว่าชิ้นงานสำเร็จขยายปีกของชิ้นงานโดยรอบ ไม่พบการโป่ง และการฉีกขาด แต่เกิดรอยย่นบริเวณปีกไปจนถึงผนังโดยรอบของชิ้นงาน โดยรอยย่นที่พบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทำการทดสอบครอว์บีค ชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 8 มม. พบว่า แรงกดชิ้นงานปรับเพิ่มสูงเพื่อให้เพียงพอสำหรับการขึ้นรูปครอว์บีคก่อน จะได้แรงกดขึ้นรูป ลึกชิ้นงานเท่ากับ 54.18 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลึกชิ้นงานอยู่ที่ 174.67 kN และระยะความลึก 48 มม. ดังแสดงในภาพที่ 4.43

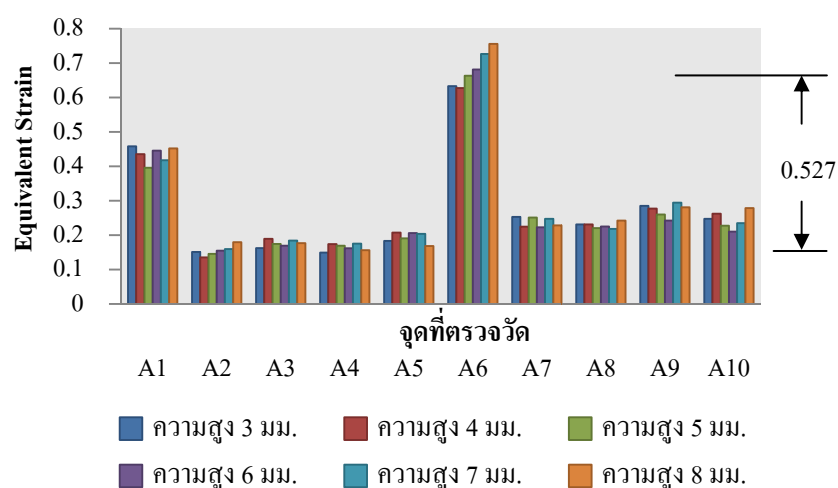
7) แรงขึ้นรูปชิ้นงานของครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียง



ภาพที่ 4.44 แรงขึ้นรูปชิ้นงานของครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียง

จากภาพที่ 4.44 แสดงกราฟการเปรียบเทียบของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปของครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ระดับความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อครอว์บีคมีความสูงเพิ่มขึ้น แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

8) ค่าความเครียดเทียบเท่าของครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียง



ภาพที่ 4.45 ความเครียดเทียบเท่าของครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียง

ชิ้นงานทดสอบที่ขึ้นรูปโดยใช้ดรอว์บีดชนิดสามเหลี่ยมเอียงช่วยในการขึ้นรูป ทดสอบค่าความรุนแรงของความเครียด ที่ความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. ดังรูปที่ 4.45 ค่าความเครียดเทียบเท่าและวัดความเปลี่ยนแปลงของความเครียด ณ จุดที่กำหนดไว้ทั้ง 10 จุด พบว่าค่าความเครียดเทียบเท่าในแต่ละจุดมีค่าใกล้เคียงกันในทุกๆ ขนาดความสูงและในจุด A1-A10 พบว่าในจุด A6 มีค่าความเครียดเทียบเท่าสูงที่สุด ดังนั้นจุดที่ A6 จึงเป็นจุดวิกฤตซึ่งเป็นจุดที่มีโอกาสที่จะเกิดรอยร้าวได้ง่าย จุดที่มีค่าความเครียดเทียบเท่ารองลงมาคือจุด A1 A9 A10 A7 A8 A5 A3 A2 A4 ตามลำดับ

จากผลการทดลองค่าความเครียดเทียบเท่าของดรอว์บีดชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่มีความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. ได้ดังนี้

ความสูง 3 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกชิ้นงานเท่ากับ 54.42 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกชิ้นงานอยู่ที่ 155.57 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.633

ความสูง 4 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกชิ้นงานเท่ากับ 54.12 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกชิ้นงานอยู่ที่ 165.83 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.627

ความสูง 5 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกชิ้นงานเท่ากับ 54.46 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกชิ้นงานอยู่ที่ 171.34 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.663

ความสูง 6 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกชิ้นงานเท่ากับ 53.42 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกชิ้นงานอยู่ที่ 172.45 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.681

ความสูง 7 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกชิ้นงานเท่ากับ 53.67 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกชิ้นงานอยู่ที่ 173.01 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.727

ความสูง 8 มม. แรงกดขึ้นรูปลิกชิ้นงานเท่ากับ 54.18 kN แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปลิกชิ้นงานอยู่ที่ 174.67 kN และจุด A6 เป็นจุดที่มีค่าความเครียดสูงสุด ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่า เท่ากับ 0.756

จากผลการทดลองพบว่าระดับความแตกต่างของค่าความเครียดสูงสุดและต่ำสุดของชิ้นงานที่ใช้ดรอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงช่วยในการขึ้นรูปคือ 0.527 ระดับความแตกต่างของค่าความเครียดสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 0.634 ซึ่งมีความเครียดรุนแรงมากกว่าดรอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียง

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยดรอว์ปิด

ผลการทดสอบด้วยดรอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยม ดรอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลม และดรอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียง ที่ความสูง 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 มม. ผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ วิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของดรอว์ปิดทั้งสามชนิด และวิเคราะห์แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปของดรอว์ปิดทั้งสามชนิด

4.2.1 การวิเคราะห์แรงขึ้นรูปของดรอว์ปิด

การเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปของดรอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยม ดรอว์ปิด ชนิดครึ่งวงกลม และดรอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียง ที่ระดับความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. เมื่อระดับความสูงของดรอว์ปิดเพิ่มขึ้น แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพื่อพิสูจน์ว่าความสูงและชนิดของดรอว์ปิดมีผลต่อแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปหรือไม่จึงได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้วิธี ANOVA- Two way ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB 14 ข้อมูลที่ใช้ทดสอบความแปรปรวน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยแรงขึ้นรูปของดรอว์ปิดทั้งสามชนิด

ชนิด	ความสูงของดรอว์ปิด (มม.)						ผลรวม
	3	4	5	6	7	8	
สามเหลี่ยม (kN)	150.82	156.9	158.1	160.78	162.03	170.77	959.4
ครึ่งวงกลม (kN)	146.5	153.48	154.31	156.33	160.6	162.34	933.56
สามเหลี่ยมเอียง (kN)	155.57	165.8	171.3	172.3	173.01	174.67	1,012.65
Block Totals	452.89	476.18	483.71	489.41	495.64	507.78	2,905.61

สมมติฐานการทดสอบ

1) ชนิดของครอว์บีคมีผลต่อแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปหรือไม่

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

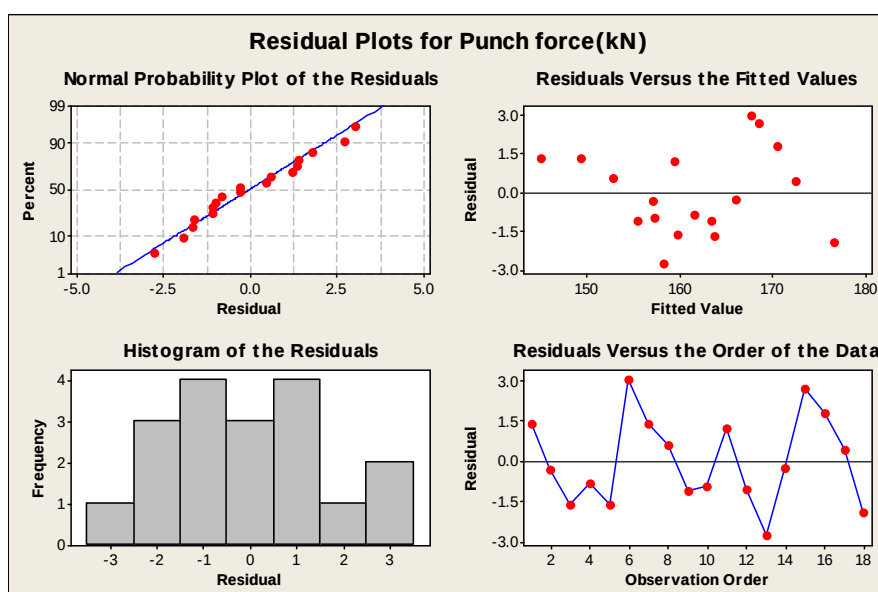
H_1 : อย่างน้อย 1 ค่าแตกต่างกัน

2) ความสูงของครอว์บีคมีผลต่อแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปหรือไม่

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6$$

H_1 : อย่างน้อย 1 ค่าแตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB 14 เพื่อหาว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 4.46



ภาพที่ 4.46 กราฟ Residual plots for punch force (kN)

จากภาพที่ 4.46 กราฟ Residual plots for punch force (kN) เป็นกราฟที่ใช้ในการตรวจสอบสมมติฐานทางสถิติ เพื่อตรวจสอบลักษณะการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่

Normality probability plot การที่จุดบนกราฟเรียงตัวกันเป็นลักษณะเส้นตรง แสดงแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

Histogram of the residuals ฮิสโตแกรมมีรูปร่างสมมาตรและเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

Residuals versus the fitted values ลักษณะของกราฟมีการกระจายแบบสุ่มรอบค่า 0 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

Residuals versus the order บนกราฟจะไม่ปรากฏลักษณะของแนวโน้มหรือรูปแบบใดๆ อย่างชัดเจนแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

สำหรับข้อมูลชนิดของดรอว์บีคและความเครียดเทียบเท่ากัน ในกราฟแบบสี่กราฟในหนึ่งรูป (Four-in-one) ไม่แสดงลักษณะใดๆ ซึ่งขัดแย้งกับลักษณะที่อธิบายไว้ข้างต้น ดังนั้นสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์ Two-way ANOVA นี้ อธิบายเกี่ยวกับข้อมูลได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.2 Two-way ANOVA: Punch force(kN) versus Type draw bead, High(mm)

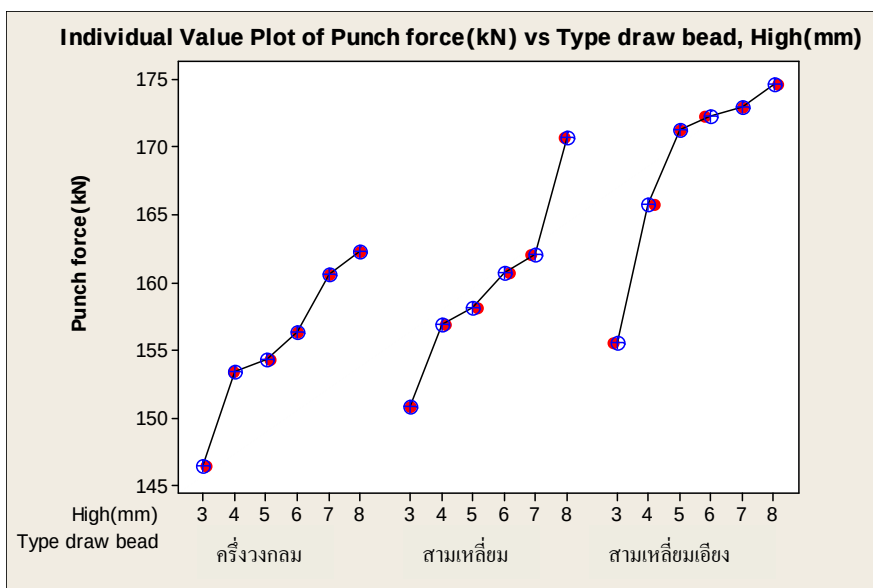
Source	SS	DF	MS	F ₀	P
Type draw bead	542.14	2	271.07	58.30	0.000
High	586.29	5	117.26	25.22	0.000
Error	46.5	10	4.65		
Total	1174.93	17			

$$S = 2.156 \quad R\text{-Sq} = 96.04\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 93.27\%$$

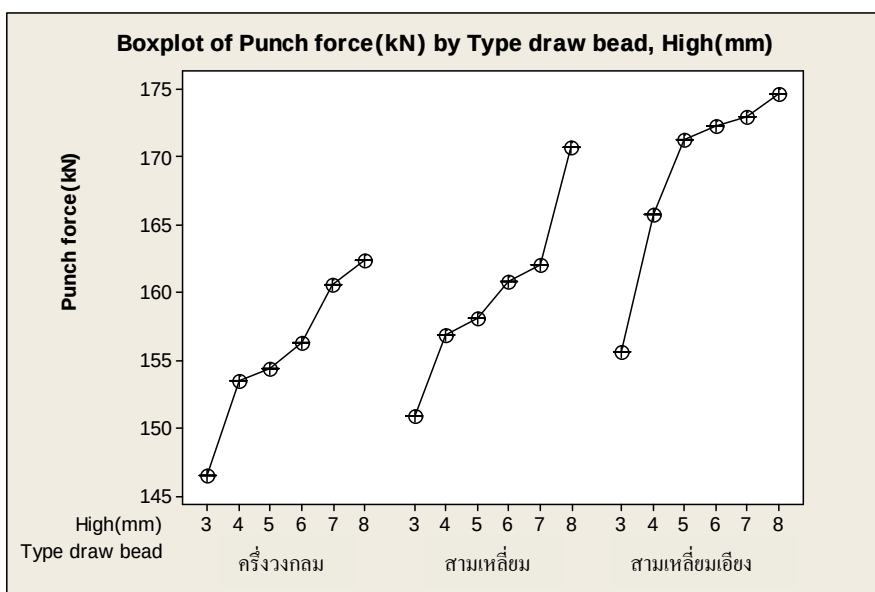
จากสมมติฐาน $F_{0.05, 2, 10} = 4.10$ สรุปได้ว่า $F_0 > 58.30$ ชนิดของดรอว์บีคมีผลต่อแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากสมมติฐาน $F_{0.05, 5, 10} = 3.33$ สรุปได้ว่า $F_0 > 25.22$ ความสูงของดรอว์บีคมีผลต่อแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เพื่อยืนยันว่าสมมติฐานเป็นจริง จึงแสดงกราฟให้เห็นลักษณะแนวโน้มของข้อมูลที่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ดังภาพที่ 4.47 และ 4.48



ภาพที่ 4.47 กราฟ Individual value plot of punch force (kN) by type draw bead, high (mm)



ภาพที่ 4.48 กราฟ Boxplot of punch force (kN) by type draw bead, high (mm)

จากภาพที่ 4.47 และ 4.48 แสดงกราฟ Individual value plot of punch force (kN) by type draw bead, high (mm) และ Boxplot of punch force (kN) by type draw bead, high (mm) จากกราฟจะเห็นลักษณะแนวโน้มคือ เมื่อความสูงของครอว์บีดเพิ่มขึ้นแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยแสดงว่าความสูงของครอว์บีดมีผลต่อแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป ส่วนชนิดของครอว์บีดมีผลต่อแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเช่นกันคือ ครอว์บีดชนิดสามเหลี่ยมเอียงใช้แรงในการขึ้นรูปสูงสุด รองลงมาคือครอว์บีดชนิดสามเหลี่ยม และครอว์บีดชนิดวงกลมใช้แรงในการขึ้นรูปต่ำสุด

4.2.2 การวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าของครอว์บีด

เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นความเครียดเทียบเท่าที่จุดวิกฤต A6 จะมีค่าความเครียดเทียบเท่าเพิ่มมากขึ้น ทำให้ชิ้นงานเริ่มที่จะมีความเสียหาย เพื่อทดสอบว่าความสูงและชนิดของครอว์บีดมีผลต่อค่าความเครียดเทียบเท่าหรือไม่จึงวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยใช้วิธี ANOVA - Two way ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB 14 ข้อมูลที่ใช้ทดสอบความแปรปรวนเป็นค่าความเครียดเทียบเท่าของครอว์บีดทั้งสามชนิดที่จุด A6 ซึ่งเป็นจุดวิกฤตของชิ้นงาน ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าความเครียดเทียบเท่าของครอว์บีดทั้งสามชนิดที่จุด A6

ชนิดของ ครอว์บีด	ความสูงของครอว์บีด (มม.)						ผลรวม
	3	4	5	6	7	8	
สามเหลี่ยม	0.622	0.625	0.645	0.658	0.688	0.736	3.974
ครึ่งวงกลม	0.511	0.557	0.615	0.644	0.702	0.706	3.735
สามเหลี่ยม เอียง	0.633	0.627	0.663	0.681	0.727	0.756	4.087
Block Totals	1.766	1.809	1.923	1.983	2.117	2.198	11.796

สมมติฐานการทดสอบ

- 1) ชนิดของครอว์บีดมีผลต่อค่าความเครียดเทียบเท่าหรือไม่

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

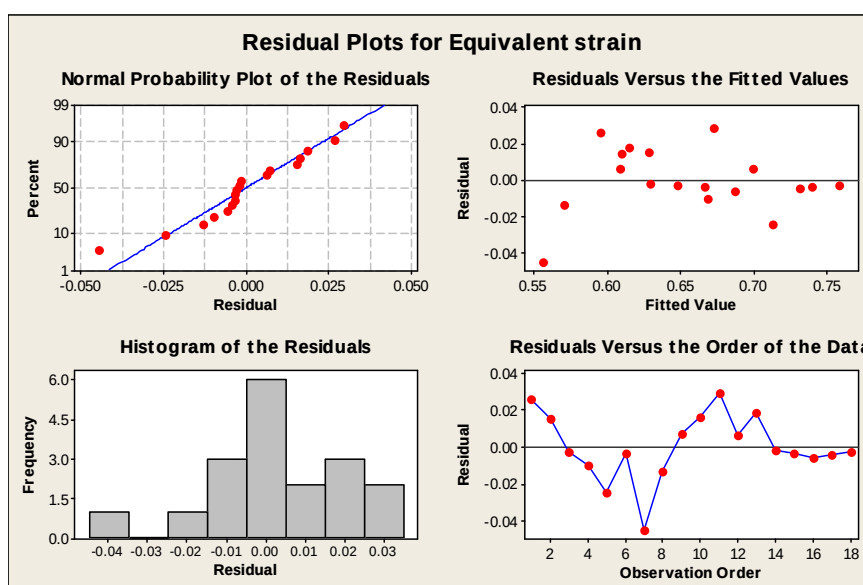
H_1 : อย่างน้อย 1 ค่าแตกต่างกัน

2) ความสูงของครอว์บีคมีผลต่อค่าความเครียดเทียบเท่าหรือไม่

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6$$

H_1 : อย่างน้อย 1 ค่าแตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB 14 เพื่อหาว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 4.49



ภาพที่ 4.49 กราฟ Residual plots for equivalent strain

จากภาพที่ 4.49 กราฟ Residual plots for equivalent strain เป็นกราฟที่ใช้ในการตรวจสอบสมมติฐานทางสถิติ เพื่อตรวจสอบลักษณะการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่

Normality probability plot การที่จุดบนกราฟเรียงตัวกันเป็นลักษณะเส้นตรง แสดงแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

Histogram of the residuals ฮิสโตแกรมมีรูปทรงสมมาตรและเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

Residuals versus the fitted values ลักษณะของกราฟมีการกระจายแบบสุ่มรอบค่า 0 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

Residuals versus the order บนกราฟจะไม่ปรากฏลักษณะของแนวโน้มหรือรูปแบบใดๆ อย่างชัดเจนแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

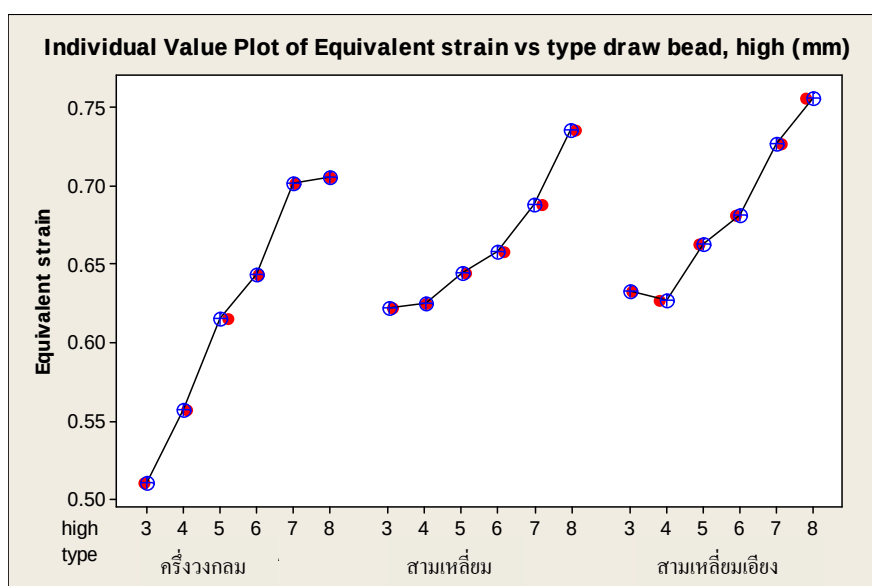
สำหรับข้อมูลชนิดของครอว์ปิดและความเครียดเทียบเท่า นั้น ในกราฟแบบสี่กราฟในหนึ่งรูป (Four-in-one) ไม่แสดงลักษณะใดๆ ซึ่งขัดแย้งกับลักษณะที่อธิบายไว้ข้างต้น ดังนั้นสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์ Two-way ANOVA นี้ อธิบายเกี่ยวกับข้อมูลได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.4 Two-way ANOVA: Equivalentstrain versus type draw bead, high

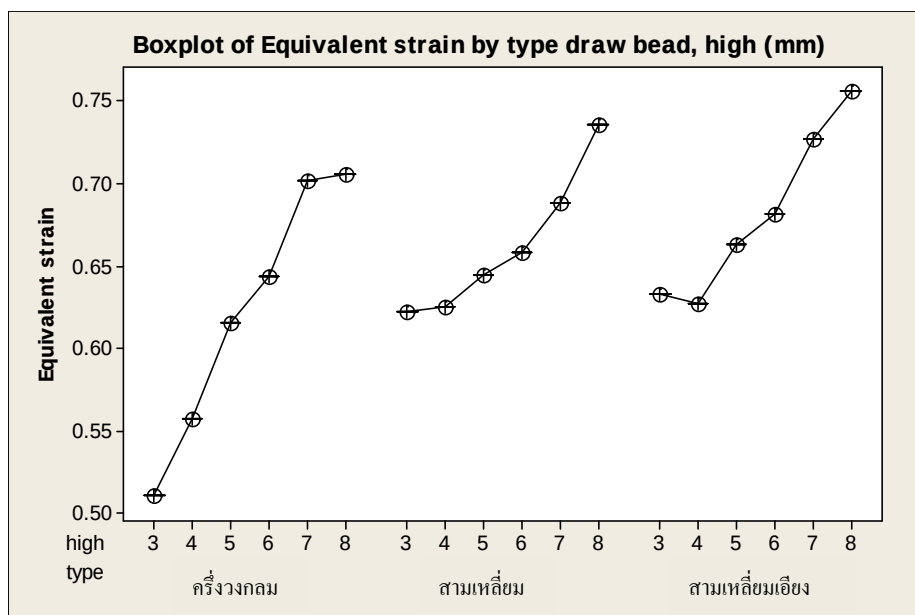
Source	SS	DF	MS	F_0	P
Type	0.0107663	2	0.0053832	9.9	0.004
High	0.047804	5	0.0095608	17.58	0.000
Error	0.0054397	10	0.0005440		
Total	0.06401	17			

จากสมมติฐาน $F_{0.05, 2, 10} = 4.10$ สรุปได้ว่า $F_0 > 4.10$ ชนิดของครอว์ปิดมีผลต่อค่าความเครียดเทียบเท่าที่จุด A6 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากสมมติฐาน $F_{0.05, 5, 10} = 3.33$ สรุปได้ว่า $F_0 > 3.33$ ความสูงของครอว์ปิดมีผลต่อค่าความเครียดเทียบเท่าที่จุด A6 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 4.50 กราฟ Individual value plot of equivalentstrain vstype draw bead, high (mm)

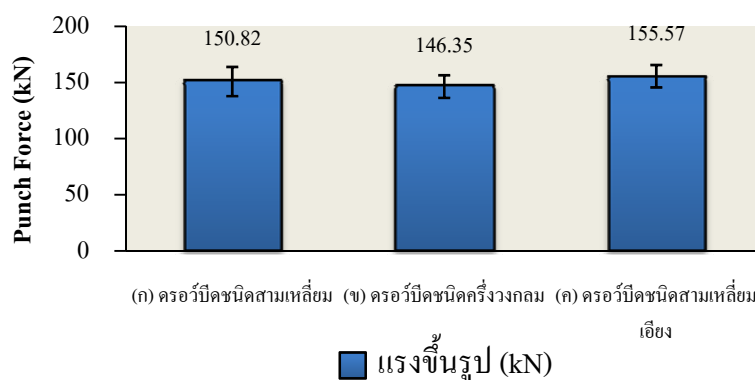


ภาพที่ 4.51 กราฟ Boxplot of equivalentstrain vstype draw bead, high (mm)

จากภาพที่ 4.50 และ 4.51 แสดงกราฟ Individual Value Plot of equivalentstrain vstype draw bead, high (mm) และ Boxplot of equivalentstrain vstype draw bead, high (mm) จากกราฟจะเห็นลักษณะแนวโน้มคือ เมื่อความสูงของดรอว์บีดเพิ่มขึ้นค่าความเครียดเทียบเท่าที่จุด A6 จะสูงขึ้นตามไปด้วยแสดงว่าความสูงของดรอว์บีดมีผลต่อค่าความเครียดเทียบเท่าที่จุด A6 ส่วนชนิดของดรอว์บีดมีผลต่อค่าความเครียดเทียบเท่าที่จุด A6 เช่นกัน คือ ดรอว์บีดชนิดสามเหลี่ยมเอียงมีค่าความเครียดเทียบเท่าที่จุด A6 สูงสุด รองลงมาคือดรอว์บีดชนิดสามเหลี่ยม และดรอว์บีดชนิดวงกลมมีค่าความเครียดเทียบเท่าที่จุด A6 ต่ำสุด

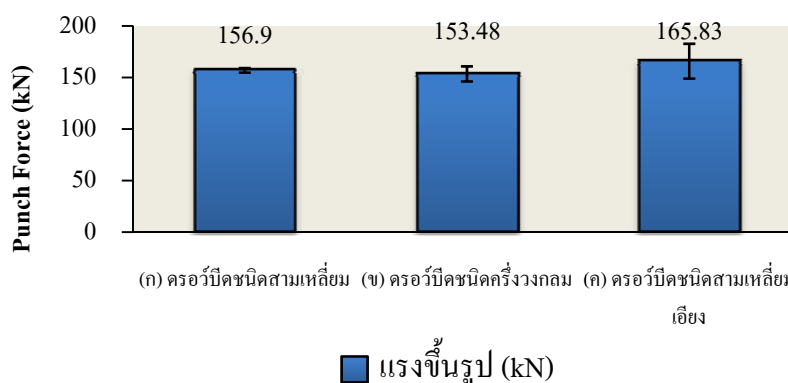
4.2.3 แรงเปรียบเทียบตามความสูงของครอว์บีค

1) แรงขึ้นรูปชิ้นงานเปรียบเทียบตามความสูงของครอว์บีคทั้งสามชนิด



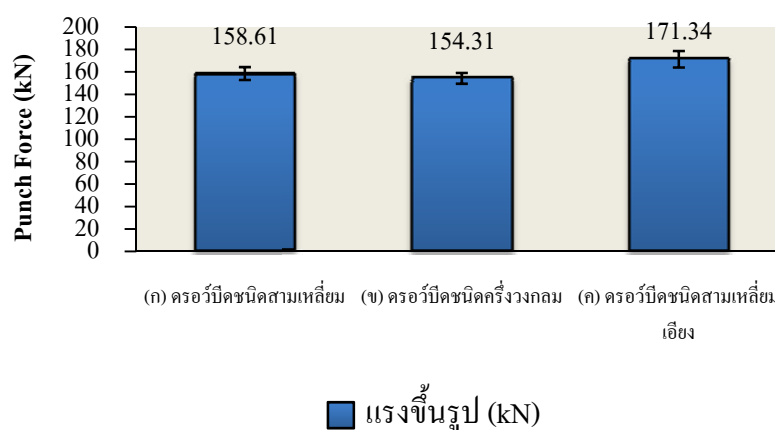
ภาพที่ 4.52 แรงขึ้นรูปชิ้นงานของครอว์บีคที่ความสูง 3 มม.

จากภาพที่ 4.52 แสดงถึงแรงขึ้นรูปชิ้นงานที่มีครอว์บีคความสูง 3 มม. ช่วยในการขึ้นรูป จากกราฟพบว่าครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมใช้แรงในการขึ้นรูป 150.82 kN แรงกด 55.64 kN ครอว์บีคชนิดครึ่งวงกลมใช้แรงขึ้นรูป 146.35 kN แรงกด 55.68 kN และครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงใช้แรงขึ้นรูป 155.57 kN แรงกด 54.42 kN จากการทดสอบ พบว่าค่าของแรงในการขึ้นรูปชิ้นงานของครอว์บีคทั้งสามชนิดที่มีความสูง 3 มม. เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว ครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงจะใช้แรงขึ้นรูปสูงที่สุด รองลงมาคือครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยม และครอว์บีคที่ใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยที่สุด คือ ครอว์บีคชนิดครึ่งวงกลม



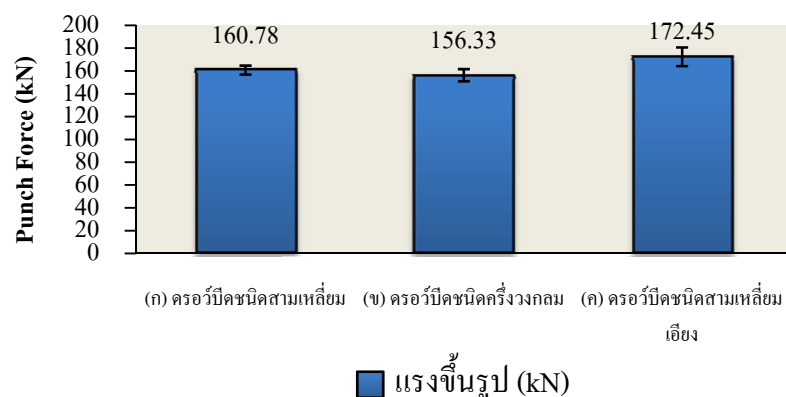
ภาพที่ 4.53 แรงขึ้นรูปชิ้นงานของครอว์บีคที่ความสูง 4 มม.

จากภาพที่ 4.53 แสดงถึงแรงขึ้นรูปชิ้นงานที่มีดรอร์ปิดความสูง 4 มม. ช่วยในการขึ้นรูป จากกราฟพบว่าดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมใช้แรงในการขึ้นรูป 156.9 kN แรงกด 55.53 kN ดรอร์ปิดชนิดครึ่งวงกลมใช้แรงขึ้นรูป 153.48 kN แรงกด 55.72 kN และดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงใช้แรงขึ้นรูป 165.83 kN แรงกด 54.12 kN จากการทดสอบ พบว่าค่าของแรงในการขึ้นรูปชิ้นงานของดรอร์ปิดทั้งสามชนิดที่มีความสูง 4 มม. เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว ดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงจะใช้แรงขึ้นรูปสูงที่สุด รองลงมาคือ ดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยม และดรอร์ปิดที่ใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยที่สุด คือ ดรอร์ปิดชนิดครึ่งวงกลม



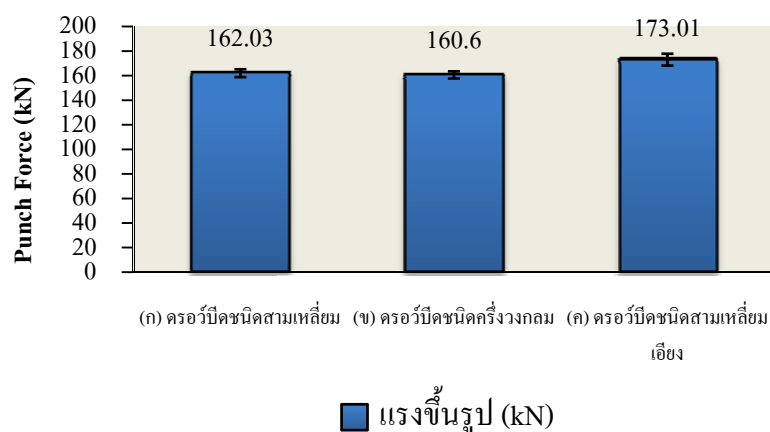
ภาพที่ 4.54 แรงขึ้นรูปชิ้นงานของดรอร์ปิดที่ความสูง 5 มม.

จากภาพที่ 4.54 แสดงถึงแรงขึ้นรูปชิ้นงานที่มีดรอร์ปิดความสูง 5 มม. ช่วยในการขึ้นรูป จากกราฟพบว่าดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมใช้แรงในการขึ้นรูป 158.61 kN แรงกด 55.24 kN ดรอร์ปิดชนิดครึ่งวงกลมใช้แรงขึ้นรูป 154.31 kN แรงกด 54.86 kN และดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงใช้แรงขึ้นรูป 171.34 kN แรงกด 54.46 kN จากการทดสอบ พบว่าค่าของแรงในการขึ้นรูปชิ้นงานของดรอร์ปิดทั้งสามชนิดที่มีความสูง 5 มม. เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว ดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงจะใช้แรงขึ้นรูปสูงที่สุด รองลงมาคือดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยม และดรอร์ปิดที่ใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยที่สุด คือดรอร์ปิดชนิดครึ่งวงกลม



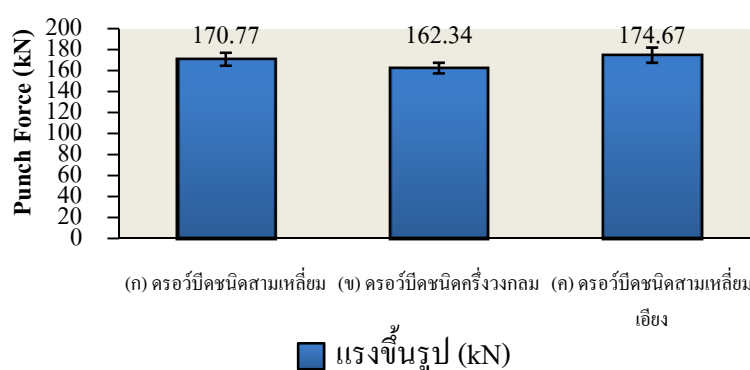
ภาพที่ 4.55 แรงขึ้นรูปขึ้นงานของครอบปิดที่ความสูง 6 มม.

จากภาพที่ 4.55 แสดงถึงแรงขึ้นรูปขึ้นงานที่มีครอบปิดความสูง 6 มม. ช่วยในการขึ้นรูป จากกราฟพบว่าครอบปิดชนิดสามเหลี่ยมใช้แรงในการขึ้นรูป 160.78 kN แรงกด 54.88 kN ครอบปิดชนิดครึ่งวงกลมใช้แรงขึ้นรูป 156.33 kN แรงกด 54.81 kN และครอบปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงใช้แรงขึ้นรูป 172.45 kN แรงกด 53.42 kN จากการทดสอบ พบว่าค่าของแรงในการขึ้นรูปขึ้นงานของครอบปิดทั้งสามชนิดที่มีความสูง 6 มม. เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแล้ว ครอบปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงจะใช้แรงขึ้นรูปสูงที่สุด รองลงมาคือครอบปิดชนิดสามเหลี่ยม และครอบปิดที่ใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยที่สุด คือครอบปิดชนิดครึ่งวงกลม



ภาพที่ 4.56 แรงขึ้นรูปขึ้นงานของครอบปิดที่ความสูง 7 มม.

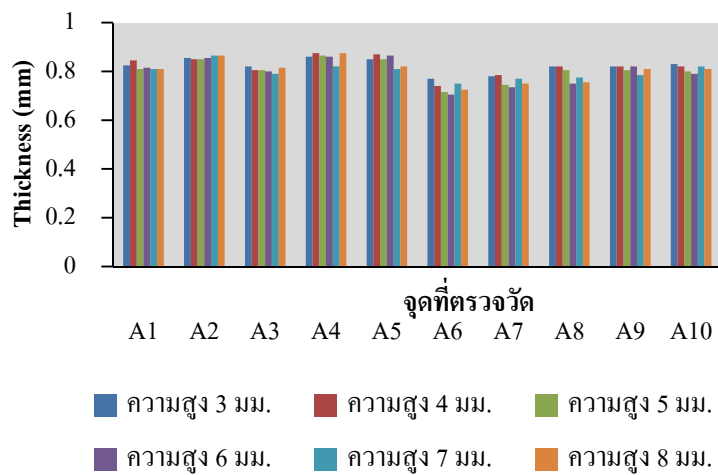
จากภาพที่ 4.56 แสดงถึงแรงขึ้นรูปชิ้นงานที่มีดรอร์ปิดความสูง 7 มม. ช่วยในการขึ้นรูป จากกราฟพบว่าดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมใช้แรงในการขึ้นรูป 162.03 kN แรงกด 54.74 kN ดรอร์ปิดชนิดครึ่งวงกลมใช้แรงขึ้นรูป 160.6 kN แรงกด 53.84 kN และดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงใช้แรงขึ้นรูป 173.01 kN แรงกด 53.67 kN จากการทดสอบ พบว่าค่าของแรงในการขึ้นรูปชิ้นงานของดรอร์ปิดทั้งสามชนิดที่มีความสูง 7 มม. เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว ดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงจะใช้แรงขึ้นรูปสูงที่สุด รองลงมาคือดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยม และดรอร์ปิดที่ใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยที่สุด คือดรอร์ปิดชนิดครึ่งวงกลม



ภาพที่ 4.57 แรงขึ้นรูปชิ้นงานของดรอร์ปิดที่ความสูง 8 มม.

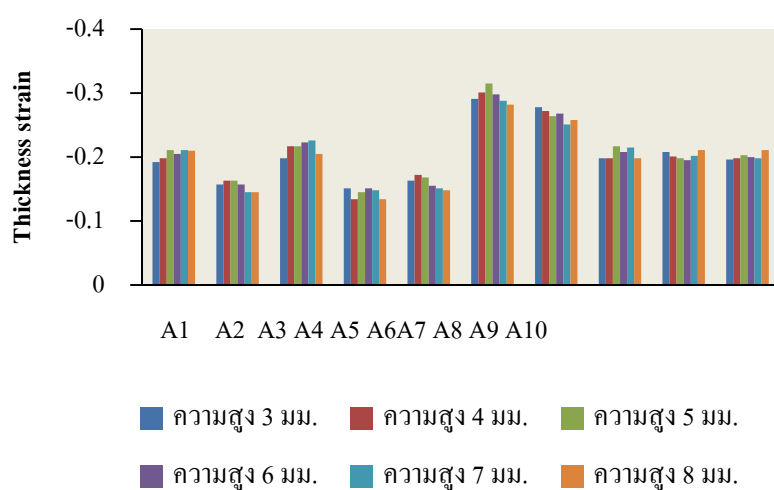
จากภาพที่ 4.57 แสดงถึงแรงขึ้นรูปชิ้นงานที่มีดรอร์ปิดความสูง 8 มม. ช่วยในการขึ้นรูป จากกราฟพบว่าดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมใช้แรงในการขึ้นรูป 170.77 kN แรงกด 54.32 kN ดรอร์ปิดชนิดครึ่งวงกลมใช้แรงขึ้นรูป 162.34 kN แรงกด 55.72 kN และดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงใช้แรงขึ้นรูป 174.67 kN แรงกด 54.18 kN จากการทดสอบ พบว่าค่าของแรงในการขึ้นรูปชิ้นงานของดรอร์ปิดทั้งสามชนิดที่มีความสูง 8 มม. เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว ดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงจะใช้แรงขึ้นรูปสูงที่สุด รองลงมาคือดรอร์ปิดชนิดสามเหลี่ยม และดรอร์ปิดที่ใช้แรงในการขึ้นรูปน้อยที่สุด คือดรอร์ปิดชนิดครึ่งวงกลม

4.2.4 ความหนาของครอว์ปิด



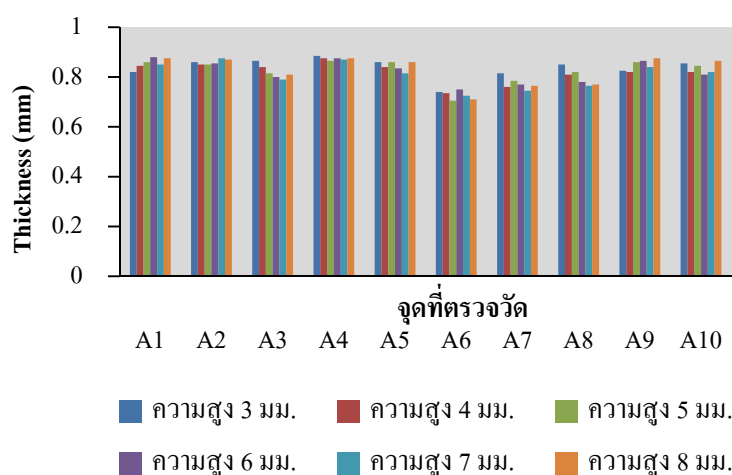
ภาพที่ 4.58 ความหนาของชิ้นงานครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมหลังการขึ้นรูป

จากภาพที่ 4.58 แสดงถึงความหนาของชิ้นงานที่จุดตรวจวัด A1-A10 ของครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยม ที่ระดับความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. จากกราฟพบว่า ที่จุดตรวจวัด A2 มีขนาดความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานมากที่สุด และมีการกระจายตัวของขนาดใกล้เคียงกัน และที่จุดตรวจวัด A6 มีขนาดความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานน้อยที่สุด และมีการกระจายตัวของขนาดต่างกัน



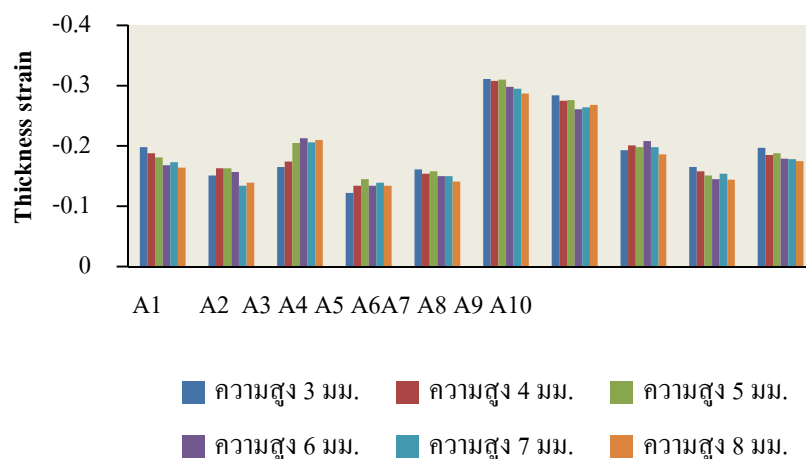
ภาพที่ 4.59 ค่าความเครียดความหนาของชิ้นงานครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมหลังการขึ้นรูป

จากภาพที่ 4.59 แสดงถึงความเครียดที่เกิดบนชิ้นงานที่จุดตรวจวัด A1-A10 โดยจะพบว่าความหนาของชิ้นงานและค่าความเครียดมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากแผ่นโลหะเมื่อถูกดึง ยึด ขึ้นรูป บริเวณที่ถูกดึง ความหนาของแผ่นโลหะจะบางลง ซึ่งในบริเวณนั้นจะมีค่าความเครียดสูง ดังที่จุดตรวจวัด A2 มีขนาดความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานมากที่สุด ค่าความเครียดมีค่าน้อยที่สุด และจุดตรวจวัด A6 เป็นจุดที่มีความหนาน้อยที่สุด พบว่าค่าความเครียดที่จุดตรวจวัด A6 มีค่าสูงสุด



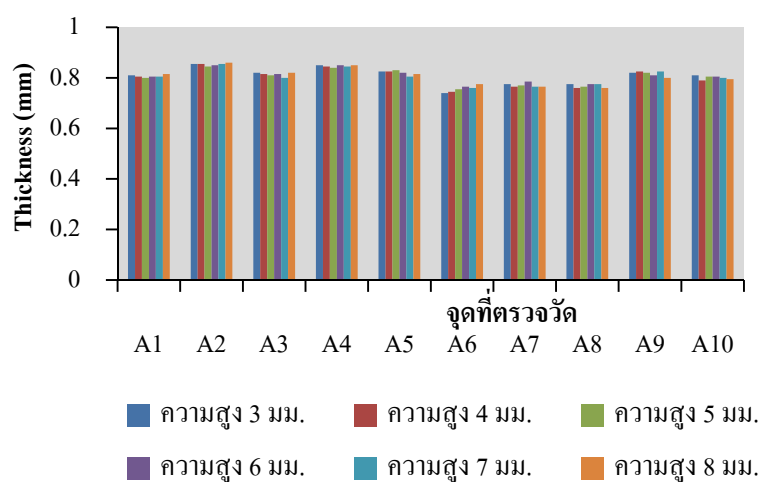
ภาพที่ 4.60 ความหนาของชิ้นงานดรอว์บีดชนิดครึ่งวงกลมหลังการขึ้นรูป

จากภาพที่ 4.60 แสดงถึงความหนาของชิ้นงานที่จุดตรวจวัด A1-A10 ของดรอว์บีดชนิดครึ่งวงกลม ที่ระดับความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. จากกราฟพบว่า ที่จุดตรวจวัด A4 มีขนาดความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานมากที่สุด และมีการกระจายตัวของขนาดใกล้เคียงกัน และที่จุดตรวจวัด A6 มีขนาดความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานน้อยที่สุด และมีการกระจายตัวของขนาดต่างกัน



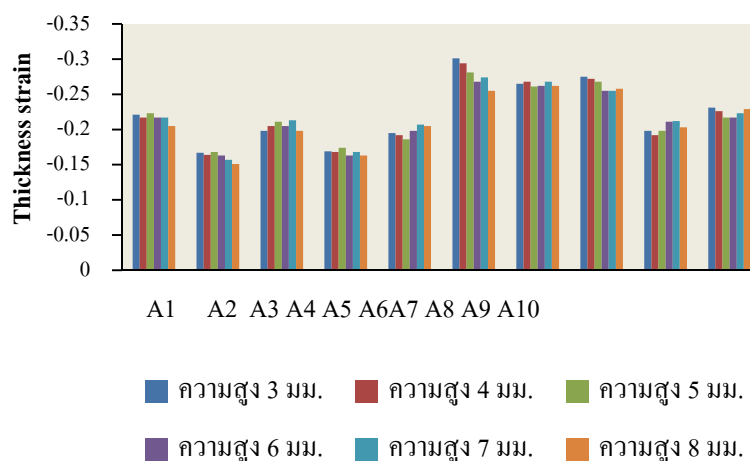
ภาพที่ 4.61 ค่าความเครียดความหนาของชิ้นงานดรอว์บีคชนิดครึ่งวงกลมหลังการขึ้นรูป

จากภาพที่ 4.61 แสดงถึงความเครียดที่เกิดขึ้นงานที่จุดตรวจวัด A1-A10 โดยจะพบว่าความหนาของชิ้นงานและค่าความเครียดมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากแผ่นโลหะเมื่อถูกดึง ยืดขึ้นรูป บริเวณที่ถูกดึง ความหนาของแผ่นโลหะจะบางลง ซึ่งในบริเวณนั้นจะมีค่าความเครียดสูง ดังที่จุดตรวจวัด A4 มีขนาดความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานมากที่สุด ค่าความเครียดมีค่าน้อยที่สุด และจุดตรวจวัด A6 เป็นจุดที่มีความหนาน้อยที่สุด พบว่าค่าความเครียดที่จุดตรวจวัด A6 มีค่าสูงสุด



ภาพที่ 4.62 ความหนาของชิ้นงานดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงหลังการขึ้นรูป

จากภาพที่ 4.62 แสดงถึงความหนาของชิ้นงานที่จุดตรวจวัด A1-A10 ของครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียง ที่ระดับความสูง 3 4 5 6 7 และ 8 มม. จากกราฟพบว่า ที่จุดตรวจวัด A2 มีขนาดความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานมากที่สุด และมีการกระจายตัวของขนาดใกล้เคียงกัน และที่จุดตรวจวัด A6 มีขนาดความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานน้อยที่สุด และมีการกระจายตัวของขนาดต่างกัน



ภาพที่ 4.63 ค่าความเครียดความหนาของชิ้นงานครอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงหลังการขึ้นรูป

จากภาพที่ 4.63 แสดงถึงความเครียดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานที่จุดตรวจวัด A1-A10 โดยจะพบว่าความหนาของชิ้นงานและค่าความเครียดมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากแผ่นโลหะเมื่อถูกดึง ยึดขึ้นรูป บริเวณที่ถูกดึง ความหนาของแผ่นโลหะจะบางลง ซึ่งในบริเวณนั้นจะมีค่าความเครียดสูง ดังที่จุดตรวจวัด A2 มีขนาดความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานมากที่สุด ค่าความเครียดมีค่าน้อยที่สุด และจุดตรวจวัด A6 เป็นจุดที่มีความหนาน้อยที่สุด พบว่าค่าความเครียดที่จุดตรวจวัด A6 มีค่าสูงสุด