

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายการเสียหายแบบอ่อนหนืดในการขึ้นรูปลึงแผ่นอลูมิเนียมรูปด้วยทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยอาศัยการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ใน 3 มิติ ร่วมกับเกณฑ์ความเสียหายแบบอ่อนหนืดที่อยู่ในรูปของงานทางพลาสติกสูงสุดที่วัสดุสามารถรับได้เป็นเกณฑ์กำหนดการเกิดความเสียหายโดยพิจารณาวัสดุเป็นแบบแอนไอโซโทรปิก ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ระยะกดยขึ้นรูปเป็น 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิเมตร และแรงกดยืดแผ่นเท่ากับ 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 กิโลนิวตัน ตัวอย่างชิ้นงานที่ทำการศึกษาเป็นแผ่นอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบหนา 1.20 มิลลิเมตร มีรูปร่างสุดท้ายเป็นด้วยทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดปากกว้าง 70x70 มิลลิเมตร<sup>2</sup> อัตราส่วนการขึ้นรูปเป็น 1.93

ในการดำเนินการวิจัยได้ทดสอบคุณสมบัติทางกลของแผ่นอลูมิเนียมเพื่อนำข้อมูลไปใช้ดำเนินการในส่วนต่างๆ ของการวิจัย จากนั้นทำการจำลองสภาพการขึ้นรูปลึงด้วยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งได้เปลี่ยนแปลงตัวแปรการขึ้นรูปลึงที่ต้องการศึกษา โดยผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปหาอินทิกรัลความเสียหายเพื่อวิเคราะห์การเกิดความเสียหายที่มีเงื่อนไขการวิเคราะห์คือ ถ้าเอลิเมนต์ที่กำลังพิจารณามีค่าอินทิกรัลความเสียหายเกินหนึ่งหน่วยจะถือว่าเอลิเมนต์นั้นเกิดความเสียหาย พบว่าการจำลองสภาพที่มีระยะกดยขึ้นรูปเป็น 25 และ 30 มิลลิเมตร จะมีอินทิกรัลความเสียหายค่าสูงสุดเกินหนึ่งหน่วยในทุกๆ ค่าของแรงกดยืดแผ่น โดยเอลิเมนต์ที่มีอินทิกรัลความเสียหายค่าสูงสุดจะอยู่ในบริเวณมุมด้านในหัวกดขึ้นรูปของแบบจำลองแผ่นอลูมิเนียม จากนั้นได้ทำการทดสอบขึ้นรูปลึงอย่างง่ายเพื่อตรวจสอบผลการทำนายการเกิดความเสียหาย พบว่าตัวแปรการขึ้นรูปที่ก่อให้เกิดความเสียหายและตำแหน่งที่เกิดความเสียหายในชิ้นงานทดสอบมีค่าตรงกันกับการทำนายการเกิดความเสียหาย นอกจากนี้ในส่วนของรูปร่างและความหนาของแบบจำลองจากการจำลองสภาพยังได้นำมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานทดสอบขึ้นรูปลึงด้วย พบว่ารูปร่างโดยส่วนใหญ่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ในส่วนของความหนาพบว่าในการจำลองสภาพและการทดสอบขึ้นรูปได้มีตำแหน่งที่ความหนาเอนที่สุดตรงกันคือที่มุมด้านในหัวกดขึ้นรูป โดยที่ความหนาของแบบจำลองชิ้นงานจะมีค่ามากกว่าความหนาของชิ้นงานทดสอบประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์

ผลของการวิจัยนี้สรุปได้ว่า การทำนายการเกิดความเสียหายแบบอ่อนหนืดในการขึ้นรูปลึงแผ่นอลูมิเนียมโดยอาศัยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ใน 3 มิติ ร่วมกับเกณฑ์ความเสียหายแบบอ่อนหนืด สามารถที่จะทำนายความเสียหายได้ใกล้เคียงกับการขึ้นรูปลึงจริง สำหรับกระบวนการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตควรประกอบด้วย การขึ้นรูปลึงของชิ้นงานที่มีรูปร่างไม่สมมาตร ตัวแปรของการขึ้นรูปลึงอื่นๆ และการขึ้นรูปลึงด้วยโลหะชนิดอื่นๆ

The objective of this research was to predict a ductile fracture in deep drawing of a square aluminium cup. Three dimensional finite element analysis was used to simulate the drawing process. Plastic work of any element was monitored and used as ductile fracture criteria. Aluminium sheet was anisotropic material. The study variables were punch depths and blank holder forces. Punch depths were 10, 15, 20, 25 and 30 mm. Blank holder forces were 0, 2, 4, 6, 8, 10 and 12 kN. The sample aluminium flat sheet thickness was 1.20 mm. Final shape like a square cup was  $70 \times 70 \text{ mm}^2$  and deep drawing ratio was 1.93.

Steps of the study were material property testing, numerical simulation, experiment and comparison of the results. Mechanical properties of aluminium sheet were obtained using tensile test. Deep drawing simulation was performed by using finite element analysis. The fracture integral was calculated using finite element results. The failure occurred if fracture integral at an element higher than unity. The simulation results shown that at punch depths of 25 and 30 mm with any blank holder force, fracture integral values at several elements were higher than a unity. That means such elements were failed to drawn to the required final shape. The failure position was at inner-corner punch head of a aluminium sheet model.

A deep drawing experiment was setting up. The drawing conditions were the same as the simulation. The variables which caused damage and fracture position in the experiment were compared with the simulation. Final shapes of drawn cups from experiments were the same as the ones from simulation results in all conditions. Thickness of the sheet at inner-corner punch head from simulation result was higher than the experimental result approximately 6%. Further studies should focus on the different cup shapes, study variables and materials.