การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

การวิเคราะห์การออกแบบแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปแผ่นเชื่อมพ่วงโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Analysis of Die Design for Tailor Welded Blank Forming Using Finite Element Method

นภศวรรณ นาคจุ้ย* และ จุลศิริ ศรีงามผ่อง
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
กรุงเทพฯ 10140
*อีเมล์ naphasawan@msn.com

บทคัดย่อ

แผ่นเชื่อมพ่วง (Tailor Welded Blanks, TWBs) ประกอบด้วยแผ่นโลหะที่มีความหนาต่างกัน รวมไปถึงมีสมบัติที่ต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาเชื่อมติดกันโดยกรรมวิธีการเชื่อมแบบเลเซอร์ก่อนที่จะนำไปทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานจริง ซึ่งการนำเทคนิคแผ่นเชื่อมพ่วงมาใช้จะสามารถช่วยลดน้ำหนักของชิ้นส่วนยานยนต์ได้ ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้วัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC 590 ชนิดเชื่อมพ่วง ความหนา 1.0 และ 1.2 มิลลิเมตร เชื่อมต่อชนกัน และเพื่อลดน้ำหนักของชิ้นส่วนลง โดยทำการจำลองและวิเคราะห์การขึ้นรูปแผ่นเชื่อมพ่วงนี้ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม Auto Form 4.1.1 แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างแม่พิมพ์และทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจริง และนำผลที่ได้จากการขึ้นรูปจริงมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลจากการเปรียบเทียบพบว่าลักษณะรูปร่างสุดท้ายจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สอดคล้องกับชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูปจริง โดยชิ้นงานที่ได้จากการจำลองขึ้นรูปจะมีความหนาใกล้เคียงกับชิ้นงานจริงโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดร้อยละ 2.45 และยังทำให้น้ำหนักของชิ้นงานภายหลังการปรับปรุงลดลงไปร้อยละ 7.67 จึงสรุปได้ว่าสามารถทำการขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์ได้โดยใช้วัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงชนิดเชื่อมพ่วง SPFC 590 และการประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถใช้ทำนายและหาแนวทางแก้ไขงานลากขึ้นรูปโลหะแผ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ออกแบบแม่พิมพ์ / แม่พิมพ์ขึ้นรูป / โลหะแผ่นเชื่อมพ่วง / วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

Tailor Welded Blanks (TWBs) consist of two or more metal sheets having different thicknesses and/or different material properties bonded together by means of laser welding before fabrication. Applying TWB technique, weight of automotive parts can be reduced. The purpose of this study is to examine automotive parts' sheet metal forming process. The study uses SPFC 590 with 1.0 and 1.2 millimeters welded together and attempts to reduce total weight applying FEM commercial program called Auto Form 4.1.1 to carry out numerical simulation beforehand. The stamping tool is then constructed and the process parameters are set up according to the optimum design and forming conditions from FEM results. Stamping process is carried out to verify the results from FEM. From the experiment, geometry of stamped parts is found to be similar to the final geometry of FE analysis. About 2.45 percent variation in the distribution of thickness along the cross section of stamped parts is found. Moreover, the gross weight of the sample can be reduced by 7.67 percent. This can be proved that SPFC 590 is applicable for car parts' production. In conclusion, the FE analysis can be effectively used to predict and solve the process problems for TWBs forming as well as to reduce production cost together with improving products' quality.

Keywords: Die Design/ Sheet Forming Die/ Tailor Welded Blanks (TWBs)/ Finite Element Method

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์มีการแข่งขันกันอย่างเข้มข้นมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการลดต้นทุนและเวลาที่ใช้ในการผลิต และในขณะเดียวกันยังต้องคงไว้ซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้ต้องคิดหานวัตกรรมและวิธีการใหม่ๆ เข้ามาช่วย ดังนั้นจึงได้มีการนำ

วัสดุซึ่งก็คือโลหะแผ่นที่มีความหนาต่างกันมาเชื่อมติดกัน จึงเรียกวัสดุชนิดนี้ว่า วัสดุชนิดเชื่อมพ่วง จากนั้นจึงนำวัสดุที่ได้ไปทำการขึ้นรูป โดยกรรมวิธีนี้จะสามารถกำหนดสมบัติทางกลที่ดีที่สุดตามความต้องการในตำแหน่งที่เหมาะสมบนชิ้นงานได้ อีกทั้งยังสามารถลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้ด้วย สำหรับการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปวัสดุชนิดเชื่อมพ่วงนั้น จำเป็นต้องเก็บและศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุชนิดเชื่อมพ่วง เช่น สมบัติทางกลของวัสดุ ความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ เป็นต้น เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมต่างๆ และความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุชนิดเชื่อมพ่วง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาใช้ประกอบการออกแบบแม่พิมพ์ แต่เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันจึงได้มีการประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบและวิเคราะห์แม่พิมพ์ก่อนการผลิตจริง เนื่องจากสามารถจำลองการขึ้นรูปวิเคราะห์ในคอมพิวเตอร์ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ก่อนทำการผลิตจริง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดที่จะจัดทำงานวิจัยในการประยุกต์ใช้ไฟไนเอลิเมนต์วิเคราะห์การขึ้นรูปชิ้นส่วนยานยนต์วัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงชนิดเชื่อมพ่วง เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้วัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง โดยจะนำผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองและวิเคราะห์การลากขึ้นรูปมาใช้ออกแบบแม่พิมพ์เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานจริง

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้วัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงชนิดเชื่อมพ่วง SPFC 590

2.2 เพื่อลดน้ำหนักของชิ้นส่วนลง

3. ขอบเขตของงานวิจัย

3.1 ทำการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุด้วยการทดสอบการดึง (Tensile Test)

3.2 วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC 590 ชนิดเชื่อมพ่วง ความหนา 1.0 และ 1.2 มิลลิเมตร ต่อชนกัน

3.3 นำวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC 590 ทั้งสองความหนา มาเชื่อมต่อชนกันด้วยการเชื่อมแบบเลเซอร์ โดยกำหนดให้แผ่นที่มีความหนา 1.2 มิลลิเมตร อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นที่มีความหนา 1.0 มิลลิเมตร เนื่องจากด้านข้างของชิ้นงานเป็นส่วนที่ต้องนำไปยึดติดกับชิ้นส่วนอื่นทำให้มีความแข็งแรงอยู่แล้ว

3.4 การวางแนวเชื่อมจะวางทำมุม 90 องศา กับทิศทางการรีดวัสดุชิ้นงาน

3.5 ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองและวิเคราะห์การลากขึ้นรูปของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงSPFC 590 ชนิดเชื่อมพ่วง ความหนา 1.0 และ 1.2 มิลลิเมตร นำมาต่อชนกัน โดยในการศึกษาจะไม่คิดผลกระทบของสมบัติวัสดุในรอยเชื่อมที่มีผลต่อการปั๊มขึ้นรูปวัสดุ

3.6 ทำการทดลองขึ้นรูปกับสารหล่อลื่นเพียงชนิดเดียว คือ น้ำมันมะพร้าว

3.7 แรงกดของแผ่นยึดชิ้นงานเท่ากับ 100,000 นิวตัน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 เก็บผลสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

4.2 สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำนายพฤติกรรมการขึ้นรูปด้วยวิธีไฟไนเอลิเมนต์

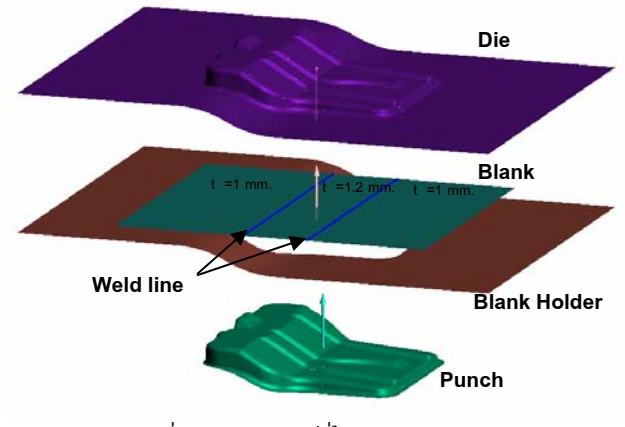
4.3 เปรียบเทียบผลจากการทดลองขึ้นรูปจริงกับวิธีไฟไนเอลิเมนต์

4.4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5. การดำเนินงานวิจัย

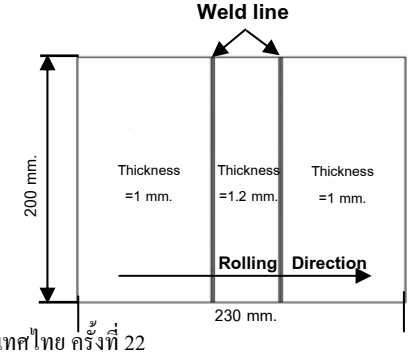
5.1 สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

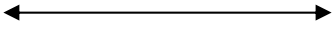
การจัดวางแม่พิมพ์จะกำหนดให้ชุดของ Die อยู่ในตำแหน่งบน ส่วน Blank Holder และ Punch อยู่ในตำแหน่งล่าง ซึ่งชุด Punch จะไม่เคลื่อนที่ตลอดการทำงาน ในการทำงานชุด Die จะเคลื่อนที่ลงมากดกับ Blank Holder และ Punch ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ชุดแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับงานวิจัย

วัสดุที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC590 ซึ่งจะต้องทำการเก็บค่าสมบัติของวัสดุเพื่อนำไปเป็นข้อมูลสำหรับการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองการลากขึ้นรูปชิ้นงาน ส่วนโลหะแผ่นเปล่าที่ใช้ คือ แผ่นเชื่อมพ่วง (Tailor Welded Blanks) ที่นำเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC590 ที่มีความหนา 1.0 และ 1.2 มิลลิเมตร มาเชื่อมต่อชนกันด้วยกรรมวิธีเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.2 โดยให้มีขนาดของแผ่นเปล่ากว้าง 200 มิลลิเมตรและยาว 230 มิลลิเมตร

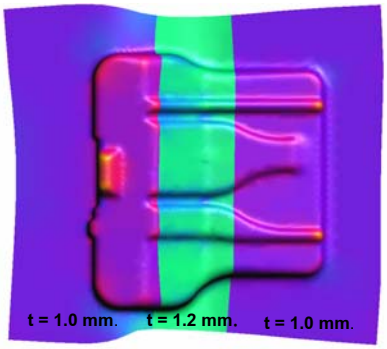




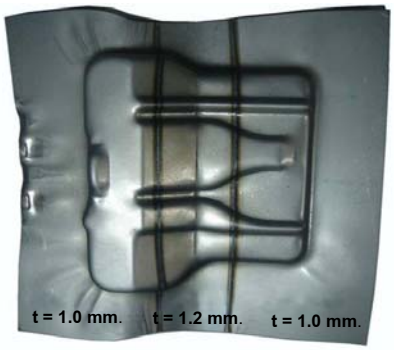
รูปที่ 5.2 แผ่นเชื่อมพ่วงที่นำมาใช้เป็นแผ่นเปล่า

6. ผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาผลของรูปร่างลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 6.1 เปรียบเทียบกับผลจากการขึ้นรูปจริง ดังแสดงในรูปที่ 6.2 พบว่าให้ผลสอดคล้องกัน

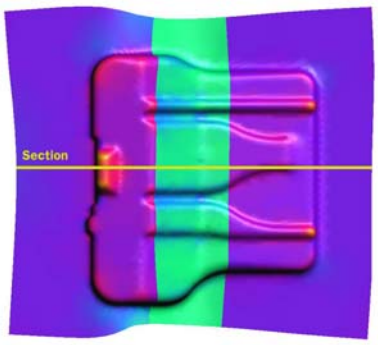


รูปที่ 6.1 ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปจริง

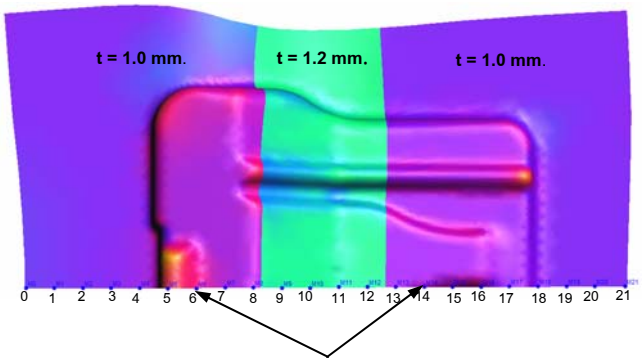


รูปที่ 6.2 ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปจริง

ส่วนในการเปรียบเทียบความหนาของชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปจริงกับผลเฉลยของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูป จะทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของความหนาในแนวตัดขวางของชิ้นงานที่เป็นบริเวณวิกฤตซึ่งเป็นบริเวณกึ่งกลางของชิ้นงานและยังเป็นบริเวณที่ชิ้นงานมีการขึ้นรูปลึกที่สุดอีกด้วย ทำให้ในบริเวณนี้เป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปค่อนข้างมาก อีกทั้งแนวตัดขวางนี้ยังตัดผ่านทั้งสองความหนาของชิ้นงาน จึงเป็นบริเวณที่ควรทำการพิจารณาความหนาที่เปลี่ยนไปหลังจากทำการขึ้นรูปโดยจะทำการตัดชิ้นงานตามแนวเส้นที่แสดงในรูปที่ 6.3 และในรูปที่ 6.4 จะแสดงตำแหน่งจุดวัดจากซ้ายไปขวาโดยจะเริ่มที่ 0 ถึง 21

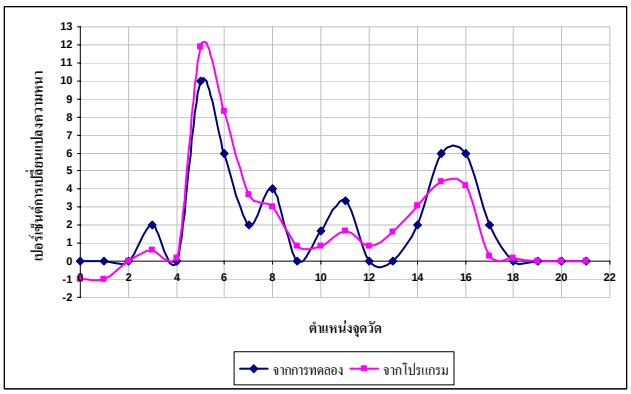


รูปที่ 6.3 แนวตัดเพื่อทำการวัดความหนาของชิ้นงาน



ตำแหน่งจุดวัดในแนวตัดขวาง

รูปที่ 6.4 ตำแหน่งจุดวัด



รูปที่ 6.5 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดความหนาในแนวตัดขวาง

ผลจากการเปรียบเทียบความหนาระหว่างชิ้นงานจากผลการจำลองการขึ้นรูปกับชิ้นงานจริงที่ขึ้นรูปได้ โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงานในแต่ละจุดวัดพบว่า ชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปในคอมพิวเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงความหนาในแต่ละจุดวัดใกล้เคียงกับชิ้นงานจริง ดังแสดงในรูปที่ 6.5 โดยมีค่าความเคลื่อนสูงสุด 2.45 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งตำแหน่งที่ความหนาของชิ้นงานที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปในคอมพิวเตอร์ลดลงมากที่สุดก็ตรงกันกับตำแหน่งที่ความหนาของชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปจริงลดลงมากที่สุดเช่นกัน โดยตำแหน่งที่ความหนาของชิ้นงานลดลงมากที่สุดเป็นบริเวณที่ชิ้นงานมีการขึ้นรูปลึกที่สุด

ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นงานก่อนปรับปรุงและภายหลังปรับปรุง พบว่าน้ำหนักชิ้นงานก่อนปรับปรุงซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีความหนา 1.2 มิลลิเมตร เท่ากันทั้งชิ้นมีค่าเท่ากับ 0.1200 กิโลกรัม และ

น้ำหนักชิ้นงานภายหลังปรับปรุงซึ่งเป็นชิ้นงานแผ่นเชื่อมพ่วงมีค่าเท่ากับ 0.1108 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าน้ำหนักของชิ้นงานลดลงจากเดิม 0.0092 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 7.67

7. สรุป

ในการจำลองการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยโปรแกรม Auto Form Version 4.1.1 เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง SPFC 590 ชนิดเชื่อมพ่วง ความหนา 1.0 และ 1.2 มิลลิเมตรนั้น พบว่าชิ้นงานที่ได้จากการจำลองขึ้นรูปจะมีความหนาใกล้เคียงกับชิ้นงานจริงโดยมีความเคลื่อนสูงสุดร้อยละ 2.45 และจากการทดลองขึ้นรูปจริงจะเห็นได้ว่าชิ้นงานแผ่นเชื่อมพ่วงนั้นสามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานจริงได้สำเร็จโดยไม่มีการแตกหรือฉีกขาดในบริเวณแนวเชื่อม และยังทำให้น้ำหนักของชิ้นงานภายหลังการปรับปรุงลดลงไปร้อยละ 7.67 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถทำการขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์ได้โดยใช้วัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงชนิดเชื่อมพ่วง SPFC 590 และการประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถใช้ทำนายและหาแนวทางแก้ไขงานลากขึ้นรูปโลหะแผ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8. ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าการใช้งานแผ่นเชื่อมพ่วงนั้นจะสามารถลดน้ำหนักของยานยนต์และลดขั้นตอนของการผลิตลงได้ แต่ในการขึ้นรูปวัสดุที่เป็นแผ่นเชื่อมพ่วง (Tailor Welded Blanks) ในประเทศไทยก็มีขีดจำกัดของการเชื่อมชิ้นงานด้วยเลเซอร์ เนื่องจากในปัจจุบันมีหน่วยงานที่สามารถทำการเชื่อมเลเซอร์ชิ้นงานเชื่อมพ่วงด้วยเลเซอร์ได้อยู่เพียงไม่กี่แห่ง โดยเฉพาะกับชิ้นงานที่เป็นอลูมิเนียมด้วยแล้วยิ่งหาแหล่งเชื่อมได้ยากมาก ดังนั้นก่อนที่จะเลือกใช้เทคนิคแผ่นเชื่อมพ่วงนี้ควรจะต้องหาข้อมูลเกี่ยวกับการเชื่อมให้ดีเสียก่อน

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ เช่น การวิเคราะห์ผลการลากขึ้นรูปโลหะโดยการจำลองกระบวนการขึ้นรูป และการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ สามารถช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ แต่จุดที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะให้ผลเฉลยมีความแม่นยำ คือข้อมูลที่ป้อนเข้าคอมพิวเตอร์จะต้องมีความถูกต้องและครบถ้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติของวัสดุแผ่นชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบการดึงควรทำให้ถูกต้องตามขั้นตอน และมาตรฐานการทดสอบ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะมีผลต่อความแม่นยำของผลเฉลยจากการคำนวณเป็นอย่างมาก เช่น ความหนา ความเค้น การไหลขึ้นรูป หรือแม้กระทั่งการเปลี่ยนรูปของชิ้นงาน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. Dowling, N.E., 1999, **Mechanical Behavior of Materials**, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersy, pp. 127-156.
2. Rowe, G.W., 1991, **Finite-element plasticity and metal forming analysis**, Cambridge University Press, New York, pp. 25-134.
3. Kobayashi, S., Oh, S. And Altan, T., 1989, **Metal Forming and the Finite Element Method**, New York, Oxford University Press, pp. 58-109.
4. Schwartz, M.M., 1979, **Metal Joining Manual**, McGraw-Hill, Inc, USA, pp. 2-1 – 2-10.
5. Chan, S.M., Chan, L.C., Lee, T.C., 2003, “Tailor-Welded Blanks of Different Thickness Ratios Effects on Forming Limit Diagram”, **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 132, pp. 95-101.
6. Zhao K.M., Chun B.K., Lee J.K., 2001, “Finite element analysis of tailor-welded blanks”, **Journal of Finite Elements in Analysis and Design**, Vol. 37, pp. 117-130.
7. Abdullah, K., Wild, P.M., Jeswiet, J.J., Ghasempoor, A., 2001, “Tensile testing for weld deformation properties in similar gage tailor welded blanks using the rule texture”, **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 112, pp. 91-97.
8. Ghoo, B.Y., Kuem, Y.T., Kim, Y.S., 2001, “Evaluation of the mechanical properties of welded metal in tailored steel sheet welded by CO_2 laser”, **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 113, pp. 692-698.
9. Sushanta Kumar Panda, D. Ravi Kumar, Harish Kumar, A.K. Nath, 2007, “Characterization of tensile properties of tailor welded IF steel sheets and their formability in stretch forming”, **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 183, pp. 321-332.