

กลไกการเกิดรอยเส้นและการแก้ปัญหาในกระบวนการพับขึ้นโลหะแผ่น Marking Lines Mechanism and Problem Solving in the Sheet Metal Bending Process

ณัฐชานันท์ อังสุเศรษฐี¹ และภาดิโรน วาชรศรีสำเร็จ^{2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
60 ถนนสายเอเชีย ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

² ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ (TDTC) คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
7/1 ถนนนันทบุรี 1 ตำบลสวนใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000

Natchanun Angsuseranee¹ and Bhadpiroon Watcharasresomroeng^{2*}

¹ Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

60 Asian Highway Road, Huntra, Phranakhon Si Ayutthaya, Thailand, 13000

² Tool and Die Technology Center (TDTC), Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

7/1 Nonthaburi 1 Road, Suanyai, Muang, Nonthaburi, Thailand, 11000

*ผู้รับผิดชอบบทความ: bhadpiroon.s@rmutsb.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 09-2289-1951

Received: 4 August 2019, Revised: 11 October 2020, Accepted: 30 October 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอแนวทางการแก้ปัญหาการเกิดรอยเส้นบนชิ้นงานโลหะแผ่นเกรด SPCC (JIS) ที่ผ่านการพับขึ้นรูปผลิตเป็นชิ้นส่วนตู้ไฟฟ้าเพื่อลดขั้นตอนการขัดลรอยเส้นบนผิวชิ้นงานดังกล่าวก่อนการพ่นสี การศึกษากลไกการเกิดรอยเส้นบนชิ้นส่วนดังกล่าวใช้การจำลองการทำงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการพับขึ้นรูปวัสดุชิ้นงาน จากการศึกษาพบว่าเมื่อโลหะแผ่นได้รับแรงจาก punches ชิ้นงานลงไปในตาย ที่บริเวณบ่าตายโลหะแผ่นจะเกิดการเลื่อนเพื่อยกตัว ทำให้ผิวของโลหะแผ่นเกิดการครูดกับบ่าตายเกิดเป็นรอยเส้นตลอดแนวการพับขึ้นรูปบนผิวชิ้นงานที่สัมผัสกับบ่าตายดังกล่าว แนวทางการแก้ปัญหาที่นำเสนอประกอบด้วย: (1) การใช้สารหล่อลื่น (2) การเคลือบผิวตายด้วยฟิล์มแข็งบาง และ (3) การใช้แผ่นโพลีเอทิลีนวางระหว่างผิวตายกับผิวชิ้นงานขณะทำการพับขึ้นรูป ซึ่งทั้งสามแนวทางมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติทางไดรบอลิระหว่างผิวคู่สัมผัสแม่พิมพ์กับชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูป จากการเปรียบเทียบผิวชิ้นงานโลหะแผ่นที่ผ่านการพับขึ้นรูปพบว่า แนวทางที่ (3) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันรอยเส้นที่เกิดบนชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปโดยมีต้นทุนการผลิตจากการป้องกันการเกิดรอยเส้นโดยวิธีดังกล่าว 0.21 บาท/ชิ้น สามารถลดขั้นตอนและพนักงานในสายการผลิตชิ้นส่วนตู้ไฟฟ้าไปได้ 1 สถานีงาน ทำให้เวลาการผลิตรวมของชิ้นส่วนดังกล่าวลดลง 22 วินาที/ชิ้น รวมถึงสามารถลดโอกาสที่จะเกิดของเสียจากขั้นตอนการขัดลรอยเส้นบนชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูป

คำสำคัญ รอยเส้น การพับขึ้นรูป โลหะแผ่น

Abstract

This article proposes ways to solve the marking lines problem on sheet metal workpieces graded SPCC (JIS) that have been bent to produce electrical cabinet parts, thereby minimizing the polishing process required to remove the marking lines on the workpiece surface before painting. The mechanism of the marking lines occurring on such parts was studied using simulation by finite element method for bending the workpiece material. The studies have shown that when sheet metal is exposed to force from punch, it takes the workpiece into the die. At the die shoulder area, the sheet metal will slide to raise, causing the surface of the sheet metal to be scratched with the die shoulder thus creating marking lines along the bending line on the surface of the workpiece in contact with the die shoulder. The proposed solution consists of: (1) using lubricant, (2) coating

the die with a hard-thin film and (3) the use of a polyethylene sheet between the die and the workpiece surface while bending. All these methods are aimed at improving the tribological properties between the contact surfaces of the die and the workpiece. According to the comparison of the workpiece surfaces that have been bent, it has revealed that method (3) is the most effective in preventing marking lines that occur on the workpiece after bending. It can also reduce the process of adjusting the workpiece surface through bending. The production cost to prevent marking lines by the above method is 0.21 baht/ piece, however the process and operator in the electrical cabinet production line can also be reduced to 1 work station, resulting in a reduction of the total production time of such parts to 22 sec/ piece. It can also reduce the chance of waste from the process of polishing to remove the marking lines on the workpiece surface after bending.

Keywords: Marking Line, Bending, Sheet Metal

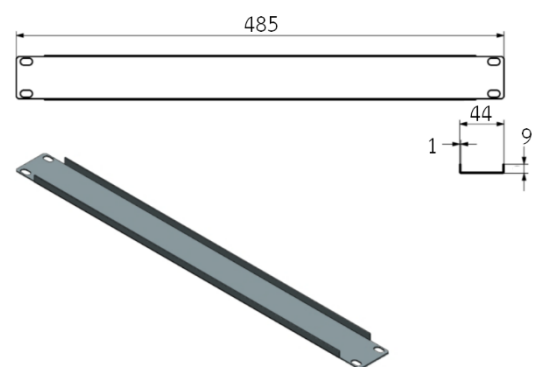
1. บทนำ

ชิ้นส่วนตู้ไฟฟ้า (Electrical Cabinet Part) ของบริษัท ฝึกนักศึกษาทำจากโลหะแผ่นเกรด SPCC ตามมาตรฐาน JIS มีความหนา 1 มิลลิเมตร ถูกขึ้นรูป (Forming) ด้วยกระบวนการพับขึ้นรูป (Bending) เพื่อให้มีรูปทรงเป็นไปตามแบบชิ้นงานที่ต้องการผลิตดังรูปที่ 1 โดยปัจจุบันมีขั้นตอนการผลิตชิ้นงานดังกล่าวตามแผนภูมิกระบวนการผลิตดังรูปที่ 2

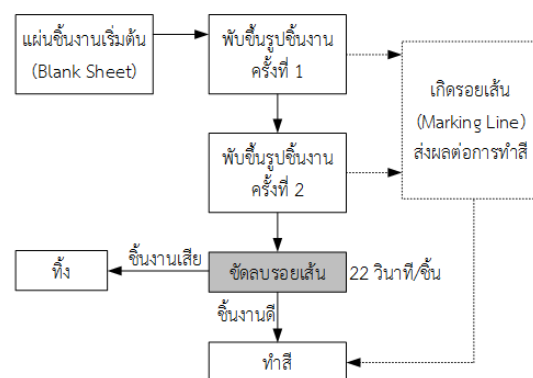
จากแผนภูมิกระบวนการผลิตชิ้นส่วนตู้ไฟฟ้าในปัจจุบันพบว่า การพับขึ้นรูปชิ้นงานแต่ละครั้งส่งผลให้ชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปเกิดรอยเส้น (Marking Lines) ขึ้นที่ผิวของชิ้นงานดังรูปที่ 3 จึงจำเป็นต้องขัดแต่งลบรอยเส้นที่เกิดขึ้นเพื่อป้องกันการมองเห็นรอยดังกล่าวหลังการนำชิ้นงานไปผ่านกระบวนการทำสี ซึ่งจากรูปที่ 2 การขัดแต่งลบรอยเส้นที่เกิดขึ้นเป็นการเพิ่มขั้นตอนการทำงานที่ต้องใช้เวลาในกระบวนการนี้ 22 วินาที/ชิ้น โดยใช้พนักงานจำนวน 1 คน ทั้งนี้จากข้อมูลการผลิตในการขัดแต่งลบรอยเส้นจะมีความผิดพลาดที่ก่อให้เกิดของเสียจากการทำงานที่ผิดพลาดร้อยละ 2 ทำให้เสียทรัพยากรการผลิตในขั้นตอนนี้ ดังนั้นโรงงานฝึกศึกษาจึงมีความต้องการแก้ปัญหารอยเส้นที่เกิดจากกระบวนการพับขึ้นรูปนี้เพื่อลดพนักงานและขั้นตอนกระบวนการขัดแต่งลบรอยเส้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

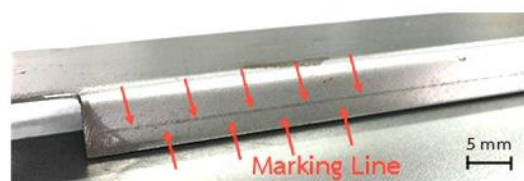
การพับขึ้นรูป เป็นกระบวนการผลิตพื้นฐานที่สำคัญในการเปลี่ยนรูปทรงหรือรูปร่างของโลหะแผ่น (Sheet Metal) ให้เป็นไปตามที่ต้องการ เพื่อผลิตเป็นชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์โลหะ ในกระบวนการพับขึ้นรูปอาจแบ่งประเภทของการพับตามลักษณะของชิ้นงานที่ถูกพับ เช่น การพับขึ้นรูปด้วย (U-Bending) และการพับขึ้นรูปตัววี (V-Bending) เป็นต้น



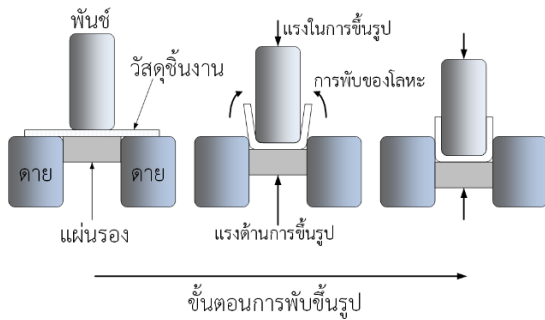
รูปที่ 1 แบบชิ้นงานที่ต้องการผลิต (หน่วย: มิลลิเมตร)



รูปที่ 2 แผนภูมิกระบวนการผลิตชิ้นส่วนตู้ไฟฟ้า



รูปที่ 3 รอยเส้นบนชิ้นงานที่เกิดจากกระบวนการพับขึ้นรูป



รูปที่ 4 ลักษณะของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปด้วย [1]

ลักษณะของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปด้วยแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งทั้งกระบวนการปั๊มขึ้นรูปด้วยและการปั๊มขึ้นรูปด้วยจะใช้เครื่องมือ (Tool) ที่เรียกว่า “แม่พิมพ์” ที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก คือ พันช์ (Punch) กับดาย (Die) แต่ในกรณีของแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปด้วยอาจมีแผ่นรอง (Pad) ขึ้นงาน เพื่อป้องกันการแอ่นตัวของชิ้นงานขณะทำการปั๊มขึ้นรูป

จากรูปที่ 4 ในขั้นตอนแรก วัสดุชิ้นงานซึ่งเป็นโลหะแผ่นหรือแผ่นขึ้นงานเริ่มต้น (Blank Sheet) จะถูกวางไว้บนดาย โดยมีพunchที่ได้รับแรงในการขึ้นรูปจากเครื่องเพรส (Press Machine) ลากพาชิ้นงานโลหะแผ่นทำให้เกิดการพับบริเวณมุมของดายหรือบ่าดาย (Die Shoulder) กับมุมของพunch ในขณะที่พunchยังคงเคลื่อนที่ลากพาชิ้นงานให้ไหลตัวเข้าไปในดายโดยมีแผ่นรองออกแรงต้าน (โดยทั่วไปแรงที่ให้กับแผ่นรองมักใช้แรงจากสปริง) จนการปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่นเสร็จสิ้น

โดยทั่วไปชิ้นส่วนหลักของแม่พิมพ์นิยมทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool Steel) แล้วทำการชุบแข็ง (Hardening) ด้วยกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อต้องการเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ [1] เหล็กกล้าเครื่องมือที่นิยมใช้ทำพunchกับดายได้แก่ เหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD11 ตามมาตรฐาน JIS สำหรับทำการขึ้นรูปโลหะที่ไม่ใช้อุณหภูมิช่วยในการขึ้นรูปหรือการขึ้นรูปเย็น (Cold Forming) และเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด SKD61 ตามมาตรฐาน JIS สำหรับทำการขึ้นรูปโลหะที่ใช้อุณหภูมิช่วยในการขึ้นรูปหรือการขึ้นรูปร้อน (Hot Forming)

ปัญหาหลักของกระบวนการปั๊มขึ้นรูป คือ รูปทรงของชิ้นงานหลังการปั๊มขึ้นรูปไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้เนื่องจากปัญหาการติดตัวกลับ (Spring-Back) และการเกิดผนังของชิ้นงานโค้ง (Sidewall-Curl) โดยเฉพาะกับการปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่นที่มีค่าความแข็งแรงสูง เช่น เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (High Strength Steel; HSS) [1-5] รวมถึงปัญหาคุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการปั๊มขึ้นรูป เช่น กรณีปั๊มขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงจะพบการเกาะติด (Adhesion) ของวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงบนผิวแม่พิมพ์ทำให้การปั๊มขึ้นรูปชิ้นงานขึ้นต่อไปเกิดรอยเส้นที่ผิวชิ้นงานจากการครูด

เนื้อวัสดุชิ้นงานของอนุภาควัสดุชิ้นงานที่เกาะติดบนผิวตายได้เอง

Sresomroeng et al. [6] ทดลองปั๊มขึ้นรูปด้วยด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น เกรด SKD11 (JIS) ผ่านการชุบแข็งที่ค่าความแข็ง 60 ± 2 HRC แล้วเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ที่เคลือบด้วยฟิล์มแข็งบาง (Hard Thin Film Coating) ภายใต้กระบวนการเคลือบผิวด้วยไอทางกายภาพ (Physical Vapor Deposition; PVD) ในกลุ่มฟิล์มที่มีไนโตรเจนเป็นธาตุประกอบ เช่น ฟิล์มแข็งบางชนิด TiN TiCN TiAlN และ CrN เพื่อป้องกันการเกาะติดของวัสดุชิ้นงานบนผิววัสดุทำแม่พิมพ์ในการปั๊มขึ้นรูปด้วยวัสดุกลุ่มเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงโดยไม่ใช้สารหล่อลื่น (Dry Condition) และได้เปรียบเทียบผลการศึกษากับฟิล์มแข็งบางในกลุ่มฟิล์มที่มีโครงสร้างคล้ายเพชร (Diamond-like Carbon; DLC) จากการศึกษาพบว่า ฟิล์มแข็งทุกชนิดที่เลือกใช้สามารถป้องกันการเกาะติดของอนุภาควัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงบนผิวแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป โดยสามารถปั๊มขึ้นรูปวัสดุดังกล่าวได้มากกว่า 500 ชิ้น ในขณะที่พบการเกาะติดของอนุภาควัสดุชิ้นงานตั้งแต่การปั๊มขึ้นรูปในช่วงแรกบนผิวแม่พิมพ์เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11 (JIS) ที่ผ่านการชุบแข็งแต่ไม่ได้ทำการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งบาง ส่งผลให้อนุภาควัสดุชิ้นงานที่เกาะติดบนผิวแม่พิมพ์ครูดเนื้อวัสดุชิ้นงานจนเป็นรอยลึกเกินค่าที่ยอมรับได้เมื่อผ่านการปั๊มขึ้นรูปไปจำนวน 49 ชิ้น จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเคลือบฟิล์มแข็งบางบนผิววัสดุทำแม่พิมพ์สามารถป้องกันการเกาะติดของอนุภาควัสดุชิ้นงานบนผิวแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปได้ ทั้งนี้ปัจจัยความสำเร็จในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่เคลือบฟิล์มแข็งบางอยู่ที่ความสามารถในการยึดเกาะ (Bonding Strength) ของฟิล์มแข็งบางที่เคลือบกับผิวของวัสดุทำแม่พิมพ์ เนื่องจากพบการลอกหลุดของฟิล์มแข็งบางหลังจากปั๊มขึ้นรูปชิ้นงานไป 500 ชิ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim et al. [7] ที่ศึกษาพฤติกรรมการเกิดการเกาะติดของอนุภาควัสดุชิ้นงานในการขึ้นรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษ (Advanced High Strength Steel; AHSS) ด้วยการทดสอบแบบ Twist Compression Test (TCT) และพบว่าฟิล์มแข็งบางที่ใช้เคลือบบนเครื่องมือทดสอบสามารถป้องกันการเกาะติดของวัสดุชิ้นงานบนผิวเครื่องมือทดสอบได้ การใช้สารหล่อลื่นในงานขึ้นรูปโลหะจะช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสของเครื่องมือกับวัสดุชิ้นงานและช่วยยืดระยะเวลาในการเกิดการเกาะติดของอนุภาควัสดุชิ้นงานบนผิวเครื่องมือได้ด้วยเช่นกัน ในขณะที่ Purohit et al. [8] ใช้การเคลือบผิวของวัสดุชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปด้วยวัสดุพอลิเมอร์เพื่อลดความเสียหายของเครื่องมือและผิวของชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูป จากการศึกษา

พบว่าพอลิเมอร์ที่นำมาใช้สามารถลดความเสียหายบนผิวของเครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปได้ ทั้งนี้ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้เคลือบบนผิวชิ้นงานจะส่งผลต่อความเสียหายบนผิวเครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูป เช่น เครื่องมือที่ใช้ขึ้นรูปวัสดุชิ้นงานที่เคลือบด้วยวัสดุโพลีโพรพิลีน (Polypropylene; PP) จะเกิดความเสียหายได้ง่ายกว่าเนื่องจากวัสดุโพลีโพรพิลีนมีความแข็งต่ำ

จากงานวิจัยข้างต้น [6-8] คุณภาพผิวของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปนั้นมีความสำคัญ ปัญหาคุณภาพผิวที่ไม่ดีของชิ้นงานที่ถูกขึ้นรูปมีสาเหตุหนึ่งมาจากการเกาะติดของอนุภาควัสดุชิ้นงานบนผิวแม่พิมพ์ ดังนั้นความเสียหายของแม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปโลหะอาจไม่ได้เกิดจากแม่พิมพ์เกิดการสึกหรอ (Wear) แต่เกิดจากการเกาะติดของอนุภาควัสดุชิ้นงานที่ทำให้การขึ้นรูปบนผิวของแม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปเอง ซึ่งการแก้ปัญหาคุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปจากการเกาะติดของวัสดุชิ้นงานบนผิวแม่พิมพ์ สามารถทำได้โดยปรับปรุงสมบัติทางไตรบอโลยี (Tribological Properties) ระหว่างผิวคู่สัมผัสของผิวแม่พิมพ์กับผิวของโลหะแผ่นที่ต้องการขึ้นรูป เช่น การใช้สารหล่อลื่น การเคลือบผิวแม่พิมพ์ด้วยฟิล์มแข็งบาง และการเคลือบผิวชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปด้วยวัสดุพอลิเมอร์ เพื่อป้องกันผิวของแม่พิมพ์กับชิ้นงานโลหะแผ่นสัมผัสกันในลักษณะโลหะสัมผัสกับโลหะ (Metal to Metal contact)

อย่างไรก็ดีจากงานวิจัยของ Sresomroeng et al. [9] แสดงรายงานผลการศึกษาลากขึ้นรูป (Deep Drawing) โลหะแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษที่พบว่า เกิดการเกาะติดของวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษเกรด SPFC980Y ตามมาตรฐาน JIS บนแม่พิมพ์ลากลากขึ้นรูปที่ทำจากวัสดุเครื่องมือขึ้นรูปเย็น เกรด SKD11 (JIS) ขูดแข็งแล้วทำการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งบางชนิด TIN ในการขึ้นรูปวัสดุชิ้นงานไม่เกิน 30 ชิ้น ซึ่งไม่แตกต่างกับการใช้แม่พิมพ์ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว ดังนั้นการเลือกใช้ฟิล์มเคลือบแข็งบางเคลือบบนผิววัสดุแม่พิมพ์เพื่อป้องกันการเกาะติดของวัสดุชิ้นงานมีความจำเป็นต้องเลือกชนิดของฟิล์มให้ถูกต้อง เพราะการเคลือบฟิล์มแข็งบางเป็นต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นและมีราคาสูง อีกทั้งฟิล์มแข็งบางแต่ละชนิดก็จะมีความสามารถในการยึดเกาะกับผิวของวัสดุแม่พิมพ์แตกต่างกัน และบริษัทผู้รับเคลือบฟิล์มแข็งแต่ละแห่งก็มีเทคนิควิธีการเคลือบที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อวัตถุประสงค์ในการเคลือบฟิล์มแข็งบางเพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์

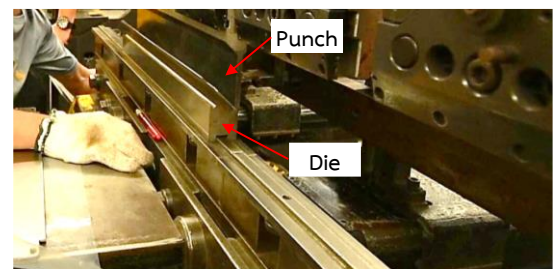
นอกจากรอยเส้นบนผิวชิ้นงานที่เกิดจากกระบวนการขึ้นรูปเนื่องจากอนุภาคของวัสดุชิ้นงานเกาะติดบนผิวตายแล้วครูดเนื้อวัสดุชิ้นงานในการขึ้นรูปครั้งต่อไปแล้ว ยังมีลักษณะรอยเส้นที่เกิดจากบาดายครูดเนื้อวัสดุชิ้นงานระหว่างกระบวนการขึ้นรูปด้วย ดังได้อธิบายไว้ในการศึกษาของ

Watcharasresomroeng et al. [10] ซึ่งเป็นกระบวนการขึ้นรูปแท่งอลูมิเนียม (Aluminum Shaft) การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุพอลิเมอร์ ซึ่งหลักการแก้ปัญหายังคงเป็นไปในลักษณะการปรับปรุงสมบัติทางไตรบอโลยี ระหว่างผิวคู่สัมผัสของผิวแม่พิมพ์กับผิวของโลหะแผ่นที่ต้องการขึ้นรูปโดยการป้องกันโลหะสัมผัสกับโลหะเช่นเดียวกัน แต่ปัญหาของการใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุพอลิเมอร์ คือ ชิ้นงานที่ถูกขึ้นรูปเกิดการติดตัวกลับหลังการขึ้นรูปสูงกว่าแม่พิมพ์ที่ทำจากโลหะ เนื่องจากสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic Property) ของวัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นวัสดุทำแม่พิมพ์

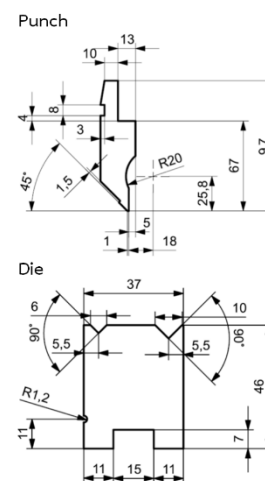
3. เครื่องมือ วัสดุ และวิธีการดำเนินงาน

3.1 เครื่องมือและวัสดุชิ้นงาน

เครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นส่วนตู้ไฟฟ้าเป็นเครื่องพับแบบ Press Brake ยี่ห้อ AMADA รุ่น RG80 ขนาด 80 ตัน ติดตั้งฟังก์ชันกับด้ายที่มีร่องตัววี ซึ่งเป็นชุดแม่พิมพ์พับขึ้นรูปตัววีแบบมาตรฐานของบริษัท AMADA ดังรูปที่ 5 ขนาดของฟังก์ชันและด้ายแสดงดังรูปที่ 6 ถูกใช้เพื่อพับขึ้นรูปตัววีชิ้นงานโลหะแผ่นเพื่อให้ได้ชิ้นงานตามแบบดังรูปที่ 1



รูปที่ 5 ลักษณะการติดตั้งชุดแม่พิมพ์พับขึ้นรูปและการทำงาน



รูปที่ 6 ขนาดของฟังก์ชันและด้ายที่ใช้ในการพับขึ้นรูป (หน่วย: มิลลิเมตร)

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงาน SPCC (JIS)

Yield Strength (MPa)	Ultimate Strength (MPa)	Elongation (%)
213	319	46
Hardness (HV)	Strength Coefficient; K (MPa)	Strain Hardening exponent; n
125.6	415	0.16

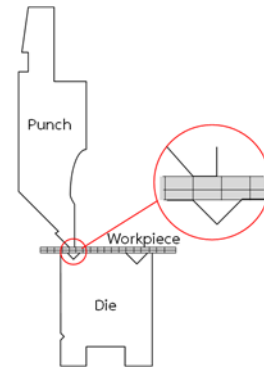
วัสดุชิ้นงานเป็นโลหะแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SPCC (JIS) ความหนา 1 มิลลิเมตร มีสมบัติทางกลดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งได้จากการทดสอบด้วยแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8

3.2 การศึกษากลไกการเกิดรอยเส้นบนชิ้นงาน

งานวิจัยที่ผ่านมา [11] ผู้ศึกษาใช้การศึกษางาน (Work Study) โดยการถ่ายวิดีโอกระบวนการพับขึ้นรูปเพื่อศึกษาสาเหตุการเกิดรอยเส้นบนชิ้นงานขึ้นส่วนตู้ไฟฟ้า แต่การศึกษาดังกล่าวไม่สามารถทราบถึงกลไกการเกิดรอยเส้นบนชิ้นงานดังกล่าว เพียงแต่ทราบว่ารอยเส้นเกิดจากเนื้อวัสดุชิ้นงานสัมผัสกับบาดายในลักษณะโลหะสัมผัสกับโลหะ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้การจำลองการทำงานการพับขึ้นรูปด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method; FEM) โดยใช้ซอฟต์แวร์ MSC Marc เวอร์ชัน 2008 ศึกษาการเกิดรอยเส้นโดยพิจารณาจากความเค้นที่เกิดขึ้นกับเนื้อวัสดุชิ้นงานระหว่างการพับขึ้นรูป

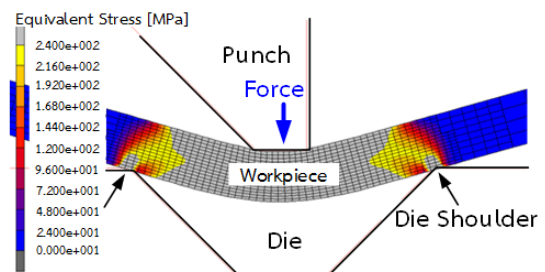
เพื่อลดเวลาในการคำนวณและสามารถเลือกใช้เอลิเมนต์ที่มีขนาดเล็ก มีความละเอียดสูง ผู้ศึกษาจึงกำหนดให้แบบจำลอง (Model) การพับขึ้นรูปตัววีเป็นแบบความเครียดระนาบ 2 มิติ (2D Plane Strain) มีเอลิเมนต์เป็นแบบทรงสี่เหลี่ยม สี่ด้าน สี่จุดต่อ (Quadrilateral 4 Node) ขนาดเริ่มต้นของเอลิเมนต์เฉลี่ย (Global Edge Length) เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร สำหรับบริเวณที่ชิ้นงานสัมผัสกับแม่พิมพ์ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเอลิเมนต์สูง ผู้ศึกษากำหนดให้มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.06 มิลลิเมตร เพื่อความละเอียดในการคำนวณ พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของวัสดุชิ้นงานแทนด้วยสมการความเค้นไหล (Flow Stress; $\bar{\sigma}$) ดังสมการที่ (1) เมื่อ $\bar{\epsilon}$ คือ ความเครียดจริง (True Strain) โดยกำหนดให้พันธ์และตายมีสมบัติเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างผิวคู่สัมผัสวัสดุแม่พิมพ์กับวัสดุชิ้นงานเท่ากับ 0.05 แบบจำลองการพับขึ้นรูปแสดงดังรูปที่ 7

$$\bar{\sigma} = 415\bar{\epsilon}^{0.16} \quad (1)$$



รูปที่ 7 แบบจำลองการทำงานการพับขึ้นรูปที่ใช้ศึกษา

จากการศึกษาพบว่าโลหะแผ่นจะถูกขึ้นรูปโดยการได้รับแรงจากพันธ์ขึ้นงานลงไปในตายดังรูปที่ 8 และที่บริเวณบาดายโลหะแผ่นจะเกิดการเลื่อน (Slip) เพื่อยกตัวเนื่องจากการพาของพันธ์ ทำให้ผิวของโลหะแผ่นเกิดการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) ในลักษณะรอยครูด (Scratch) กับบาดายที่ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือชุบแข็ง ดังพิจารณาได้จากที่บริเวณดังกล่าวบนเนื้อวัสดุชิ้นงานเกิดความเค้นสูงกว่าบริเวณอื่น ส่งผลให้เกิดเป็นรอยเส้นตลอดแนวการพับขึ้นรูปบนชิ้นงานที่สัมผัสกับบาดาย



รูปที่ 8 กลไกการเกิดรอยเส้นในกระบวนการพับขึ้นรูปตัววี

จากการศึกษาการเกิดรอยเส้นบนชิ้นงานด้วยการจำลองการทำงานพับขึ้นรูปวัสดุชิ้นงานพบว่า สาเหตุการเกิดรอยเส้นบนผิวชิ้นงานขึ้นส่วนตู้ไฟฟ้าหลังกระบวนการพับขึ้นรูปของปริศนศึกษาแตกต่างจากสาเหตุการเกิดรอยเส้นที่ได้รายงานไว้ในงานวิจัยที่ผ่านมา [6-9] ซึ่งมีสาเหตุจากการเกาะติดของอนุภาควัสดุชิ้นงานบนผิวแม่พิมพ์ แล้วครูดเนื้อชิ้นงานที่ถูกขึ้นรูปในครั้งต่อไปทำให้เกิดเป็นรอยเส้นบนผิวชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปในทิศทางตามแนวแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป

กลไกการเกิดรอยเส้นในงานการศึกษานี้เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับงานวิจัย [10,11] โดยมีแนวทางการแก้ปัญหาในการลดการสัมผัสระหว่างผิวของตายกับผิวโลหะแผ่นชิ้นงานขณะถูกขึ้นรูปในลักษณะโลหะสัมผัสกับโลหะ

เพื่อป้องกันการการครูดของบ่าตายกับผิวชิ้นงานโลหะแผ่นที่ถูกขึ้นรูป ซึ่งเป็นแนวทางการแก้ปัญหาตามทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมา

3.3 แนวทางการแก้ปัญหา

การลดการสัมผัสระหว่างผิวของตายกับผิวของโลหะแผ่นขณะถูกพับขึ้นรูปในลักษณะโลหะสัมผัสกับโลหะจะใช้วิธีการเพื่อแก้ปัญหาสามวิธี [11] คือ

- (1) การใช้สารหล่อลื่นทาบนผิวชิ้นงาน
- (2) การเคลือบผิวตายด้วยฟิล์มแข็งบาง
- (3) การใช้ฟิล์มพอลิเมอร์เคลือบบนผิวโลหะแผ่นที่ต้องการขึ้นรูปหรือใช้วัสดุพอลิเมอร์ทำแม่พิมพ์

ตารางที่ 2 วิธีที่เสนอเพื่อแก้ปัญหารอยเส้นในการพับขึ้นรูป

วิธีการ	ราคา (บาท/หน่วย)
(1) การใช้สารหล่อลื่น ชนิดของเหลว Forming Oil, Viscosity 150 cSt.	220 (บาท/ลิตร)
(2) การเคลือบฟิล์มแข็งบาง ชนิด Nitriding+CrN (PVD)	2,890 (บาท/กิโลกรัม) (ราคาต่อหน้าหนักตายที่ต้องการเคลือบ)
(3) การใช้แผ่นโพลีเอทิลีน ชนิด HDPE ขนาด 609 x 914 x 0.1 มิลลิเมตร	120 (บาท/กิโลกรัม) (38 แผ่น/กิโลกรัม)

เนื่องจากข้อกำหนดในการทำงานของบริษัทกรณีศึกษาใช้เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCC (JIS) เป็นวัตถุดิบในการผลิตซึ่งโดยทั่วไปวัสดุดังกล่าวไม่มีการเคลือบผิวด้วยวัสดุฟิล์มพอลิเมอร์ ดังนั้นวิธีการแก้ปัญหาในลักษณะของข้อที่ (3) คณะผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แผ่นโพลีเอทิลีน (Polyethylene; PE) ชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) วางป้องกันการสัมผัสกันระหว่างผิวโลหะของชิ้นงานและตายมาใช้แทนการเคลือบฟิล์มพอลิเมอร์บนแผ่นโลหะแผ่น SPCC (JIS) วิธีการที่เสนอเพื่อแก้ปัญหารอยเส้นที่เกิดบนชิ้นงานขึ้นส่วนตู้ไฟฟ้าจากการพับขึ้นรูป แสดงดังตารางที่ 2 โดยทำการทดสอบด้วยการพับขึ้นรูปตามเงื่อนไขของการผลิตจริงกับโลหะแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCC (JIS)

การทดสอบการพับขึ้นรูปดำเนินการเปรียบเทียบวิธีการตามตารางที่ 2 โดยชนิดของสารหล่อลื่นเลือกใช้จากสารหล่อลื่นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมงานขึ้นรูปโลหะ สำหรับฟิล์มแข็งบางที่เลือกใช้ได้แก่ฟิล์มชนิด CrN ที่เคลือบด้วยกระบวนการ PVD โดยเคลือบทับบนผิววัสดุแม่พิมพ์ที่ผ่านกระบวนการไนตรายด์ (Nitriding) ซึ่งถูกรายงานว่ามีความสามารถในการป้องกันการเกาะติดของวัสดุชิ้นงานบนผิวตายในการพับขึ้นรูปเหล็กกล้าที่เกิดความดันสัมผัส (Contact Pressure) ระหว่างผิวของวัสดุชิ้นงานกับวัสดุเครื่องมือสูง อย่างเช่นการขึ้นรูปเหล็กกล้ากลุ่มความแข็งแรงสูงพิเศษ อีกทั้งยังมีความสามารถในการเกาะติดของเนื้อฟิล์มแข็งบางกับผิวของวัสดุทำแม่พิมพ์ได้ดี [9]

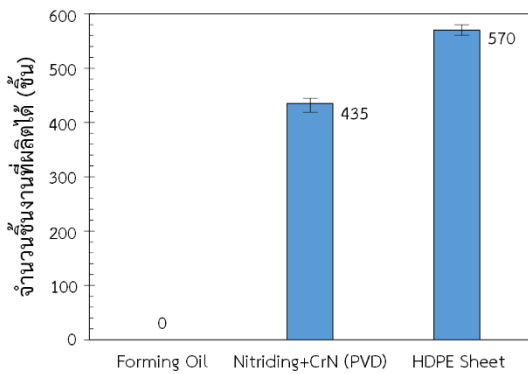
สำหรับการเลือกใช้วัสดุพอลิเมอร์ โพลีเอทิลีน ชนิด HDPE วางป้องกันการสัมผัสกันระหว่างผิวโลหะของชิ้นงานและตาย เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีใช้อยู่ในโรงงานกรณีศึกษาในรูปแบบของถุงพลาสติกสำหรับใช้ใส่ชิ้นงานสำเร็จเพื่อส่งมอบแก่ลูกค้าอีกทั้งและเป็นวัสดุชนิดเดียวกันกับที่ใช้ศึกษาในงานของ Watcharasresomroeng et al. [10] แต่ในงานวิจัยดังกล่าวการใช้แผ่นโพลีเอทิลีน ชนิด HDPE ไม่สามารถพับขึ้นรูปแต่อย่างใดโดยไม่เกิดรอยเส้นบนผิวชิ้นงาน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนเนื้อวัสดุชิ้นงานบริเวณบ่าตายแล้วพบว่าในการศึกษาครั้งนี้เกิดค่าความเค้นขึ้นบนเนื้อวัสดุชิ้นงานน้อยกว่าการพับขึ้นรูปในงานวิจัยดังกล่าว ดังนั้นผู้ศึกษาจึงทดลองใช้วิธีการนี้เพื่อแก้ปัญหารอยเส้นเนื่องจากมีต้นทุนการแก้ปัญหาต่ำและเป็นวัสดุที่มีใช้ในโรงงานกรณีศึกษา

การทดสอบพับขึ้นรูปวัสดุชิ้นงานโลหะแผ่น SPCC (JIS) จะดำเนินการจนเกิดรอยเส้นบนผิวชิ้นงานแล้วจึงหยุดการทดลอง การพิจารณาการเกิดรอยเส้นที่เกิดบนชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปจนไม่สามารถยอมรับคุณภาพของชิ้นงานได้นั้น คณะผู้วิจัยใช้การตรวจสอบด้วยสายตาทุกชิ้นที่ผ่านการพับขึ้นรูปโดยบุคลากรแผนกควบคุมคุณภาพของบริษัทกรณีศึกษา การทดสอบจะทำซ้ำจำนวน 5 ครั้งต่อการทดลองของแต่ละวิธีการที่นำเสนอตามตารางที่ 2 แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานที่สามารถพับขึ้นรูปได้โดยไม่เกิดรอยเส้นของแต่ละวิธีการที่นำเสนอเพื่อรายงานผลของการศึกษา

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการทดสอบใช้วิธีการแก้ปัญหารอยเส้นบนแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SPCC (JIS) ด้วยวิธีการที่นำเสนอทั้ง 3 วิธี ด้วยการผลิตจริงโดยการทดลองซ้ำ 5 ครั้งในแต่ละวิธีการที่นำเสนอนั้น จำนวนชิ้นงานเฉลี่ยที่สามารถพับขึ้นรูปได้โดยไม่เกิดรอยเส้นบนชิ้นงานขึ้นส่วนตู้ไฟฟ้าแสดงไว้ในรูปที่ 9

จากผลการทดสอบพบว่า การใช้สารหล่อลื่นไม่สามารถแก้ปัญหารอยเส้นบนชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปได้ โดยไม่สามารถพับขึ้นรูปชิ้นงานได้โดยไม่เกิดรอยเส้นแม้แต่ชิ้นเดียว แสดงให้เห็นว่าสารหล่อลื่นที่มีลักษณะเป็นน้ำมันไม่สามารถป้องกันการรอยเส้นในการพับขึ้นรูปชิ้นงานในการศึกษานี้ได้ ซึ่งแตกต่างกับข้อมูลที่ได้รายงานไว้ในงานวิจัย [7] ทั้งนี้อาจเนื่องจากเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะที่แตกต่างกันและมีกลไกการเกิดรอยเส้นบนผิวชิ้นงานที่มีความแตกต่างกัน การใช้สารหล่อลื่นนอกจากจะไม่สามารถป้องกันการเกิดรอยเส้นบนชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปชิ้นงานขึ้นส่วนตู้ไฟฟ้าได้แล้ว ยังจำเป็นต้องกำจัดสารหล่อลื่นก่อนนำชิ้นงานไปขัดบดแต่งลบ



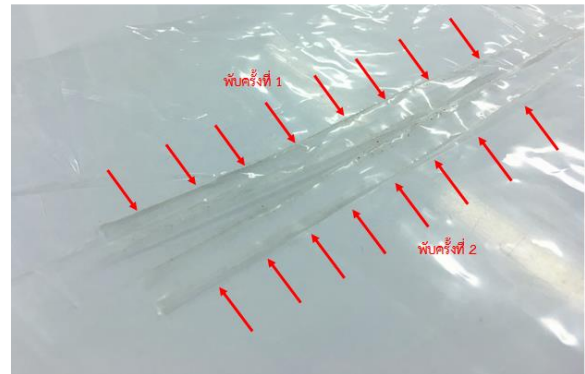
รูปที่ 9 ผลการทดสอบพับขึ้นรูปวัสดุขึ้นงานด้วยวิธีที่เสนอ

รอยเส้น รวมถึงต้องเพิ่มความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) หรือกรดเกลือสำหรับการล้างไขมันของสารหล่อลื่นที่เกาะติดบนผิวชิ้นงานในขั้นตอนการเตรียมการปรับสภาพ (Pre-treatment) ชิ้นงาน ก่อนทำการพับขึ้นรูป ทำให้ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตและคุณภาพของพนักงานเนื่องจากการสูดดมไอระเหยของกรดไฮโดรคลอริกระหว่างกระบวนการกำจัดคราบไขมัน

กรณีการพับขึ้นรูปวัสดุชิ้นงาน SPCC (JIS) โดยใช้แม่พิมพ์ที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง Nitriding+CrN (PVD) นั้นสามารถพับขึ้นรูปชิ้นงานได้โดยไม่เกิดรอยเส้นจำนวน 870 ครั้ง ซึ่งชิ้นงานหนึ่งชิ้นต้องพับจำนวนสองครั้ง (พับขึ้นรูป 2 ด้าน) ทำให้ได้ชิ้นงานจากการพับขึ้นรูปด้วยด้ายที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง Nitriding+CrN (PVD) เท่ากับ 435 ชิ้น หลังจากนั้นเริ่มพบรอยเส้นบนชิ้นงานเนื่องจากบริเวณบ่าด้ายที่ทำการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งบางดังกล่าวเกิดการหลุดลอก ซึ่งความเสียหายของฟิล์มแข็งบางเป็นไปตามลักษณะของงานวิจัยที่ [9] ทั้งนี้การเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งบาง บริษัทรับเคลือบผิวจะคิดค่าบริการจากน้ำหนักด้ายที่เคลือบผิวสำหรับการศึกษาครั้งนี้ น้ำหนักด้ายที่ใช้มีขนาด 6.68 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นค่าเคลือบผิวฟิล์ม Nitriding+CrN (PVD) จำนวน 19,305 บาท/ชุด

สำหรับแนวทางการใช้แผ่นโพลีเอทิลีนโดยการใช้ถุงโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ขนาด 609 x 914 x 0.1 มิลลิเมตร วางป้องกันการสัมผัสกันระหว่างผิวชิ้นงานและผิวด้ายขณะทำการพับขึ้นรูปพบว่า สามารถป้องกันการรอยเส้นบนชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCC (JIS) ได้ แต่แผ่นโพลีเอทิลีนจะได้รับความเสียหายจากการเสียดสีของโลหะแผ่นขณะทำการพับขึ้นรูปหรือเรียกว่า “รอยสลิบ” ดังแสดงในรูปที่ 10

ในการพับขึ้นรูปชิ้นงานโลหะแผ่น 1 ครั้ง จะเกิดรอยสลิบบนแผ่นโพลีเอทิลีน 1 รอย ทำให้การพับขึ้นรูปชิ้นงานโลหะแผ่นครั้งต่อไป พนักงานต้องวางแผ่นโพลีเอทิลีนเลื่อนหลบรอย



รูปที่ 10 รอยสลิบบนแผ่นโพลีเอทิลีน

สลิบเดิม โดยจากการศึกษาครั้งนี้ แผ่นโพลีเอทิลีน 1 แผ่น สามารถใช้เพื่อป้องกันการเกิดรอยเส้นจากการพับขึ้นรูปได้เฉลี่ย 30 ครั้ง/การพับขึ้นรูป (ขึ้นอยู่กับความชำนาญของพนักงานในการวางแผ่นโพลีเอทิลีนระหว่างผิวด้ายกับผิวชิ้นงาน) ทำให้ได้ชิ้นงานจำนวน 15 ชิ้น เมื่อพิจารณาจำนวนแผ่นโพลีเอทิลีนที่ใช้ จำนวน 1 กิโลกรัม มี 38 แผ่น ดังนั้นจากการทดลองและข้อมูลในตารางที่ 2 ต้นทุนในการแก้ปัญหาการรอยเส้นบนชิ้นงานโลหะแผ่นจากการพับขึ้นรูปเป็นดังตารางที่ 3

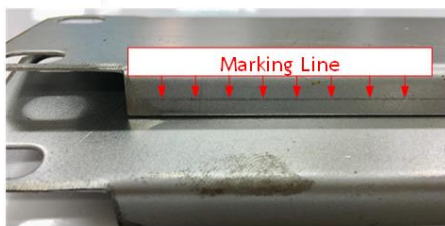
ตารางที่ 3 ต้นทุนการแก้ปัญหาการรอยเส้นบนชิ้นงานพับขึ้นรูป

วิธีการ	จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ (ชิ้น)	ต้นทุน (บาท/ชิ้น)
(1) การใช้สารหล่อลื่น	0	-
(2) การเคลือบฟิล์มแข็งบาง Nitriding+CrN (PVD)	435	45.00
(3) การใช้แผ่นโพลีเอทิลีน	570	0.21

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแก้ปัญหาการเกิดรอยเส้นบนชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปชิ้นส่วนตู้ไฟฟ้าต่างแนวทางที่นำเสนอทั้งสามแนวทางด้วยการปรับปรุงสมบัติทางไทรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสแม่พิมพ์กับชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูปพบว่า การใช้สารหล่อลื่นทาบนผิวชิ้นงานไม่สามารถป้องกันการสัมผัสของผิววัสดุชิ้นงานกับผิวของวัสดุขดด้ายขณะทำการขึ้นรูปได้ โดยเมื่อชิ้นงานถูกพันหุ้มทำให้ไหลเข้าไปในด้ายชิ้นงานบริเวณที่สัมผัสกับบ่าด้ายจะเกิดการเสียดสีและยกตัวเพื่อไหลตัวเข้าสู่ด้าย ส่งผลให้ฟิล์มของสารหล่อลื่นที่ทาเคลือบบนผิววัสดุชิ้นงานเกิดการแตกตัว ทำให้เนื้อวัสดุชิ้นงานสัมผัสกับผิวของด้ายเกิดเป็นรอยเส้นขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการขึ้นรูปในลักษณะอื่นเช่นการลากขึ้นรูป (Deep Drawing) ที่เมื่อชิ้นงานไหลผ่านรีตมิดาย ฟิล์มของสารหล่อลื่นจะแตกตัวที่บริเวณดังกล่าวเนื่องจากเกิดความดันสัมผัสที่บริเวณดังกล่าวสูง โดยเฉพาะในกระบวนการรีดขึ้นรูป (Ironing Process) ทำให้เกิดการสัมผัสกันของวัสดุชิ้นงานกับวัสดุทำแม่พิมพ์ในลักษณะโลหะสัมผัสกับโลหะ [2,12]

สำหรับการปรับปรุงสมบัติทางไดรบอลอยระหว่างผิวคู่สัมผัสสายกับชิ้นงานด้วยการเคลือบฟิล์มแข็งบางชนิด Nitriding+CrN (PVD) บนผิวตายเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็นเกรด SKD11 แล้วทำการพับขึ้นรูปชิ้นงานนั้น แม้จะป้องกันรอยเส้นเกิดบนชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปได้ แต่เนื่องจากวิธีการนี้พับขึ้นรูปได้ชิ้นงานเพียงแค่ 435 ชิ้น หลังจากนั้นเกิดฟิล์มแข็งบางลอกหลุดส่งผลให้การพับขึ้นรูปครั้งต่อไปเกิดปัญหาการรอยเส้นบนผิวชิ้นงานอีกดังรูปที่ 11

Workpiece No. 436 From Method (2)



Workpiece No. 571 From Method (3)

รูปที่ 11 เปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการพับขึ้นรูปด้วยวิธีการที่ (2) กับวิธีการที่ (3)

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้แก้ปัญหาดังตารางที่ 3 แล้วการใช้แม่พิมพ์เคลือบผิวตายจะมีต้นทุนในการแก้ปัญหารอยเส้นบนชิ้นงานพับขึ้นรูปที่สูงถึง 45 บาท/ชิ้น และเมื่อแม่พิมพ์พับขึ้นรูปเกิดการสึกหรอเนื่องจากฟิล์มเคลือบลอกหลุด ก็จำเป็นต้องนำแม่พิมพ์ไปเคลือบผิวใหม่อีกครั้ง โดยต้องใช้เวลาในการส่งให้บริษัทเคลือบผิวทำการเคลือบผิวเป็นระยะเวลา 3 ถึง 7 วันทำการ ในขณะที่การใช้แผ่นโพลีเอทิลีนวางระหว่างผิวคู่สัมผัสโลหะชิ้นงานและตายสามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่องไม่จำเป็นต้องนำแม่พิมพ์ไปทำการแก้ไขหรือปรับปรุงสภาพผิวแต่อย่างใด และยังมีต้นทุนการแก้ปัญหาลดลงเพียง 0.21 บาท/ชิ้น ดังนั้นแนวทางที่ (3) การใช้แผ่นโพลีเอทิลีนวางระหว่างผิวตายกับผิวชิ้นงานขณะทำการพับขึ้นรูปจึงมีประสิทธิภาพสูงสุดจากวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เพื่อแก้ปัญหารอยเส้นบนชิ้นงานขึ้นรูปตัวไฟฟ้าในกระบวนการพับขึ้นรูปเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SPCC (JIS)

เป็นที่น่าสังเกตว่าการใช้แผ่นโพลีเอทิลีนวางป้องกันการสัมผัสกันระหว่างผิวโลหะของชิ้นงานและตายนั้นสามารถแก้ปัญหารอยเส้นบนผิวของวัสดุชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปได้ก็ต่อเมื่อแรงที่กระทำบริเวณปลายนั้นต้องไม่สูงจนทำให้แผ่นโพลีเอทิลีนได้รับความเสียหายจนขาดแล้วก่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างผิวของวัสดุชิ้นงานกับผิวของวัสดุแม่พิมพ์ดังเช่นที่ได้อธิบายไว้ในงานวิจัย [10]

4. บทสรุป

จากการศึกษาเพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาการเกิดรอยเส้นบนผิวชิ้นงานขึ้นรูปตัวไฟฟ้าซึ่งถูกพับขึ้นรูปจากโลหะแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SPCC (JIS) ขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร พบว่าวิธีการใช้แผ่นโพลีเอทิลีนวางระหว่างผิวคู่สัมผัสโลหะชิ้นงานและตายเพื่อป้องกันการสัมผัสกันในลักษณะโลหะสัมผัสกับโลหะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อพิจารณาจากคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ได้และต้นทุนที่ใช้แก้ปัญหาต่อหน่วยต่ำที่สุด อีกทั้งยังไม่ต้องปรับปรุงสมบัติของวัสดุทำตายอย่างเช่นการเคลือบผิวตายด้วยฟิล์มแข็งบาง

จากการแก้ปัญหารอยเส้นที่เกิดบนผิวชิ้นงานพับขึ้นรูปด้วยวิธีการตามแนวทางที่ (3) บริษัทกรณีศึกษาสามารถลดขั้นตอนขัดตบแต่งลบรอยเส้นที่เกิดขึ้นได้ ทำให้ลดขั้นตอนการผลิตชิ้นงานขึ้นรูปตัวไฟฟ้าไปได้ 1 สถานีงาน และสามารถลดพนักงานในสายการผลิตขึ้นรูปตัวดังกล่าวรวมถึงลดเวลาที่ใช้ในการผลิตได้

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากโครงการพัฒนาผู้เชี่ยวชาญอุตสาหกรรมรุ่นใหม่เพื่อยกระดับขีดความสามารถด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมในภาคเอกชน ภายใต้โครงการส่งเสริมบุคลากรด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมจากมหาวิทยาลัยและสถาบันวิจัยของภาครัฐไปปฏิบัติงานเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในภาคเอกชน (Talent Mobility Program)

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเฟื้อขอพดแพร่เพื่อใช้ในการศึกษากลไกการพับขึ้นรูป และขอขอบคุณ ดร.สมคิด เลานิตะธรากุล ผู้จัดการทั่วไป บริษัท เออีเอสซี จำกัด ที่ให้คำปรึกษาในการจำลองการทำงานการพับขึ้นรูปชิ้นงานกรณีศึกษา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Eary DF, Reed EA. Techniques of pressworking sheet metal Englewood: Prentice-Hall;1974.
- [2] Lange K. Handbook of Metal Forming. New York: McGraw-Hill; 1985.
- [3] Sresomroeng B, Lawanwaong K, Premanond V, Kaewtatip P, Khantachawana A. The influences of die clearance on spring-back of high strength steel in U-bending Process. proceedings of the 21st Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand; 2007 October 17- 19; Chonburi, Thailand. p. 881-885. Thai.

- [4] Sresomroeng B, Chumrum P, Sripraserd J, Premanond V. Sidewall-curl prediction in U-bending process of advanced high strength steel. Proceedings of the 2nd TSME International Conference on Mechanical Engineering; 2011 October 19-21; Krabi, Thailand.
- [5] Angsuseranee N, Pluphrach G, Watcharasresomroeng B, Songkroh A. Springback and sidewall curl prediction in U- bending process of AHSS through finite element method and artificial neural network approach. Songklanakarin J. Sci. Technol. 2018;40(3):534-539.
- [6] Sresomroeng B, Premanond V, Kaewtatip P, Khantachawana A, Koga N, Watanabe S. Anti-adhesion performance of various nitride and DLC films against high strength steel in metal forming operation. Diamond & Related Materials 2010;19:833–836.
- [7] Kim H, Sung J, Goodwin FE, Altan T. Investigation of galling in forming galvanized advanced high strength steels (AHSSs) using the twist compression test (TCT). Journal of Materials Processing Technology 2008;205:459–468.
- [8] Purohit Z, Zhang Y, Wang J. On surface damage of polymer coated sheet metals during forming. Journal of Manufacturing Processes 2018;20:389–396.
- [9] Sresomroeng B, Premanond V. Kaewtatip P. Khantachawana A. Kurosawa A, Koga N. Performance of CrN radical nitrided tools on deep drawing of advanced high strength steel. Surface & Coatings Technology 2011;205:4198–204.
- [10] Watcharasresomroeng B, Angsuseranee N. A solution to die marks in the bending operation of an aluminum alloy shaft. Proceedings of 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications; 2020 April 16-21; Bangkok, Thailand. p.177-181.
- [11] Angsuseranee N, Watcharasresomroeng B. Preventing marking line in bending of electrical cabinet part. Proceedings of The Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2019; 2019 May 30-31; Chiang Mai, Thailand. p. 60-65.
- [12] Hosford FW, Caddell MR. Metal Forming: Mechanics and Metallurgy. Englewood: PTR Prentice Hall;1993.