

การพับขึ้นรูปตัววีโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์โดยเทคโนโลยีเผาหลอมผงด้วยเลเซอร์

V-bending of Sheet Metal with a Polymer Die

by Selective Laser Sintering Technology

ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเร็จ * เฉลิม ขุนเอียด พัทธระ กัญจนกาญจน์ และสัญญา คำจริง

ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ (TDTC) คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Bhadpiroon Watcharasresomroeng *, Chalerm Khunead, Patchara Kanjanakarn and Sanya Kumjing

Tool and Die Technology Center (TDTC), Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

*Corresponding author Email: natchanun.a@rmutsb.ac.th *

(Received: June 24, 2022; Accepted: June 27, 2022)

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองใช้แม่พิมพ์ที่ผลิตจากวัสดุพอลิเมอร์ด้วยกระบวนการผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุทำการพับขึ้นรูปตัววีโลหะแผ่นและเปรียบเทียบคุณภาพชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ที่ผลิตจากโลหะ แม่พิมพ์พอลิเมอร์ผลิตจากผงพอลิเอไมด์ 12 โดยใช้เทคโนโลยีเผาหลอมผงด้วยเลเซอร์ แม่พิมพ์ถูกออกแบบให้มีมุมพับเท่ากับ 90 องศา และมีรัศมีมุมของฟันซ์กับรัศมีมุมของตายเท่ากับ 3 และ 4 mm ตามลำดับ การทดลองทำโดยพับขึ้นรูปอลูมิเนียมผสมเกรด A5052-H32 ความหนา 1 mm ซึ่งมีขนาดชิ้นงานเริ่มต้นเท่ากับ 20 x 100 mm การพับขึ้นรูปกำหนดให้แม่พิมพ์มีเคลียร์เรนซ์เท่ากับความหนาของชิ้นงานเริ่มต้น จากการทดลองพบว่าเกิดการดีดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปทั้งด้วยแม่พิมพ์โลหะและแม่พิมพ์พอลิเมอร์ โดยชิ้นงานที่ถูกพับด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์มีปริมาณการดีดตัวกลับมากกว่าชิ้นงานที่ถูกพับด้วยแม่พิมพ์โลหะเฉลี่ยเท่ากับ 2.59 องศา แต่ปัญหาการพับขึ้นรูปแผ่นอลูมิเนียมผสมด้วยแม่พิมพ์โลหะ คือ การเกิดรอยจากแม่พิมพ์บนผิวชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูป ในขณะที่ไม่พบปัญหาดังกล่าวบนผิวชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์

คำสำคัญ: พับขึ้นรูป แม่พิมพ์พอลิเมอร์ เทคโนโลยีเผาหลอมผงด้วยเลเซอร์

Abstract

This article aims to experiment with a polymer die through the additive manufacturing process in the V-bending of sheet metal while comparing the quality of the bent part with the metal die. The polymer die was made from powder polyamide 12, which uses a selective laser sintering technology. The die was designed with a bend angle of 90 degrees and a punch corner radius and a die corner radius of 3 and 4 mm, respectively. The experiment was performed by bending a 1 mm thick A5052-H32 grade aluminum alloy with an initial blank size of 20 x 100 mm. The bending defined the die clearance as equal to the initial workpiece thickness. From the experiments, it was found that springback occurred with the workpieces after bending with both the metal and polymer dies. The workpieces that were bent by a polymer die had a higher quantity of springback than

the workpieces that were bent by a metal die by an average of 2.59 degrees. However, the problem with bending aluminum alloy sheets with a metal die was that the die scratched the workpiece surface after bending, while no such problem was found on the workpiece that was bent with a polymer die.

Keywords: Bending, Polymer die, Elective Laser Sintering Technology

1. บทนำ

การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุ (Additive manufacturing; AM) กำลังได้รับความนิยมและเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับเลือกใช้เพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนที่ไม่สามารถผลิตได้ด้วยการผลิตแบบลดเนื้อวัสดุ (Subtractive manufacturing; SM) เช่น กระบวนการกลึง กัด และเจาะ เป็นต้น โดยปี 2019 ประเทศไทยมีการใช้ AM ในการผลิตมากเป็นอันดับ 2 ของอาเซียนรองจากประเทศสิงคโปร์ [1] ปัจจุบัน AM มีเทคโนโลยีต่าง ๆ ให้เลือกใช้ผ่านกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ (3D Printing) ที่หลากหลาย โดยมีเทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการพิมพ์ 3 มิติ ได้แก่ เทคโนโลยี Fused deposition modeling (FDM), Stereolithography (SLA) และ Selective laser sintering (SLS) ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีต่างมีข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบแตกต่างกัน

งานขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยทั่วไปใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “แม่พิมพ์ (Die)” ในการขึ้นรูป เพื่อเปลี่ยนรูปร่างของโลหะแผ่นให้เป็นไปตามที่ต้องการ โดยแม่พิมพ์จะถูกผลิตจากโลหะกลุ่มเหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool steel) หรือเหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steel) แล้วผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (Heat treatment) ด้วยการชุบแข็ง (Hardening) เพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ แต่การสัมผัสกันระหว่างผิวของวัสดุทำแม่พิมพ์กับวัสดุชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปในลักษณะโลหะสัมผัสกับโลหะ (Metal to metal contact) มักส่งผลให้เกิดปัญหาคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ถูกขึ้นรูป เช่น ชิ้นงานถูกครูด (Scratch) จากเศษโลหะที่ยึดติดบนผิวแม่พิมพ์ (Adhesion) หรือการเกิดรอยเส้น (Marking line) หรือรอยที่เกิดจากแม่พิมพ์ (Die mark) บนผิวชิ้นงาน [2-6] ทั้งนี้การแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการป้องกันการสัมผัสกันระหว่างผิวของวัสดุทำแม่พิมพ์กับวัสดุชิ้นงานโดยใช้แผ่นพอลิเมอร์วางระหว่างผิวสัมผัสดังกล่าวหรือการใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุพอลิเมอร์ขึ้นรูปขึ้นงานโลหะ

Angsuseranee and Watcharasresomroeng [2] ได้อธิบายกลไกการเกิดรอยเส้นบนวัสดุชิ้นงานโลหะแผ่นที่ผ่านกระบวนการพับขึ้นรูปตัววี (V-bending) ว่าเกิดจากการเลื่อน (Slip) ของวัสดุชิ้นงานเพื่อยกตัว ณ ตำแหน่งบริเวณบ่าตาย (Die shoulder) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของพunch ทำให้ผิวของโลหะแผ่นเกิดการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic deformation) ในลักษณะรอยครูดกับบ่าตายที่ทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือชุบแข็ง การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้แผ่นโพลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) ชนิดความหนาแน่นสูง (High density) วางป้องกันการสัมผัสกันระหว่างวัสดุทำแม่พิมพ์กับวัสดุชิ้นงาน แต่การแก้ปัญหาดังกล่าวไม่สามารถใช้แก้ปัญหารอยเส้นที่เกิดกับวัสดุชิ้นงานในลักษณะแทงได้ดังรายงานในงานวิจัยของ Watcharasresomroeng and Angsuseranee [3] โดยการแก้ปัญหารอยพับขึ้นรูปตัววีชิ้นงานแท่งอลูมิเนียมทำได้โดยใช้วัสดุพอลิเมอร์ชนิดโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene; PTFE) หรือที่รู้จักกันในชื่อ “เทฟลอน (Teflon)” กับ โพลีออกซิเมทิลีน (Polyoxymethylene; POM) มาใช้เป็นวัสดุทำแม่พิมพ์ แต่การพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุพอลิเมอร์พบปัญหาการติดตัวกลับ (Springback) ของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปมากกว่าชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากโลหะ เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุพอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนรูปในช่วงอีลาสติก (Elasticity) หรือช่วงยืดหยุ่น เมื่อได้รับแรงจากเครื่อง پرسขณะทำการพับขึ้นรูป ดังนั้นการลดปัญหาการเกิดการติดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปควรเลือกวัสดุพอลิเมอร์ชนิดที่มีการเปลี่ยนรูปในช่วงอีลาสติกต่ำขณะรับแรงมาใช้เป็นวัสดุทำแม่พิมพ์ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Nakamura et al. [4] ที่ศึกษาการพับขึ้นรูปตัววีแผ่นอลูมิเนียมโดยใช้แม่พิมพ์พับขึ้นรูปตัววีที่ผลิตจากการพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเทคโนโลยี FDM ซึ่งเป็นการนำวัสดุพอลิเมอร์ในลักษณะเส้น (Filament) มาหลอมละลายแล้วฉีดขึ้นรูปทีละชั้น (Layer) จนได้เป็นชิ้นงานสำเร็จ การลดความรุนแรงการเปลี่ยนรูปของแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุพอลิเมอร์สามารถทำได้โดยการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีโครงสร้างผสมระหว่างพอลิเมอร์กับโลหะ เช่น ในงานวิจัยของ Zaragoza et al. [5] ที่ใช้โครงสร้างภายนอก (Frame) ของแม่พิมพ์ทำจากโลหะ ในขณะที่ Nakamura et al. [6] ใช้แท่งโลหะแทรก (Insert) ระหว่างแม่พิมพ์พอลิเมอร์เพื่อลดการเสียรูปในช่วงอัดพลาสติกของวัสดุพอลิเมอร์ ซึ่งงานวิจัยทั้งสองเป็นการใช้แม่พิมพ์พับขึ้นรูปจากการพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้เทคโนโลยี FDM

การผลิตชิ้นงานด้วยเทคโนโลยี FDM มีจุดเด่นในเรื่องราคาเครื่องที่ไม่สูงมากและสามารถใช้วัสดุในการขึ้นรูปได้หลายชนิดจึงเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมใช้ในปัจจุบัน แต่จุดด้อยของเทคโนโลยีนี้ คือ เรื่องความละเอียดและความแข็งแรงของชิ้นงานที่ผลิตได้เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเทคโนโลยีอื่น ดังนั้นจึงเหมาะกับการผลิตชิ้นงานต้นแบบ (Prototype) ในขณะที่การผลิตชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ในภาคอุตสาหกรรมปัจจุบันนิยมใช้เทคโนโลยี SLS หรือเทคโนโลยีเผาหลอมผงด้วยเลเซอร์ ซึ่งเป็นการใช้แสงเลเซอร์แรงสูงหลอมผงวัสดุที่ต้องการขึ้นรูปให้เป็นเนื้อเดียวกันจึงทำให้ชิ้นงานที่ผลิตได้มีความแข็งแรงทนทานกว่าการผลิตด้วยเทคโนโลยี FDM แต่ข้อด้อยของเทคโนโลยี SLS ได้แก่ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีราคาสูงและวัสดุที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ดังกล่าวด้วยเทคโนโลยีนี้ได้ยังมีอยู่อย่างจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ด้วยเทคโนโลยีอื่น [3-5] จึงทำให้ยังเป็นเรื่องจำกัดในการเลือกใช้เทคโนโลยีดังกล่าวเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน ดังนั้นเพื่อเป็นข้อมูลให้แก่ภาคอุตสาหกรรมในการใช้เทคโนโลยี SLS ในการผลิตเครื่องมือสำหรับขึ้นรูปโลหะด้วยวัสดุพอลิเมอร์ งานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้แม่พิมพ์ที่ผลิตด้วยการผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุด้วยเทคโนโลยี SLS ในการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการพับขึ้นรูปตัววีซึ่งเป็นกระบวนการพื้นฐานในงานผลิตชิ้นส่วนในภาคอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะ [8-10] แล้วทำการเปรียบเทียบคุณภาพผิวและรูปทรงของชิ้นงานหลังจากการพับขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ที่ผลิตจากโลหะ

2. วัสดุ เครื่องมือ และวิธีการศึกษา

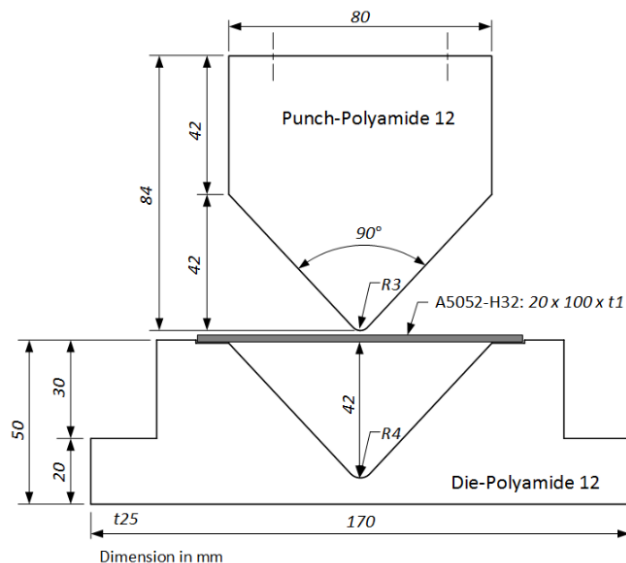
วัสดุเกรด A5052-H32 (JIS) ซึ่งเป็นวัสดุอลูมิเนียมผสมที่มีปริมาณแมกนีเซียม (Mg) สูง ทำให้ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการทนต่อการกัดกร่อน มีการใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เรือ ยานยนต์ และอากาศยาน ถูกใช้เป็นชิ้นงานเริ่มต้น (Initial blank) ในการทดลองพับขึ้นรูปตัววี โดยมีความแข็งแรงดึงและร้อยละการยืดตัวที่ได้จากใบรับรองวัตถุดิบที่ผู้ผลิตตรวจสอบและทดสอบ (Mill sheet) เท่ากับ 229 MPa และ 8% ตามลำดับ การศึกษานี้กำหนดให้มีตัวแปรในการทดลองพับขึ้นรูปตัววีเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรในการทดลองพับขึ้นรูปตัววี

Parameter (Unit)	Value
Forming velocity (mm/s)	10
Punch radius (mm)	3
Die radius (mm)	4
Bend angle (degree)	90
Clearance (mm)	1
Lubrication	Non (Dry condition)

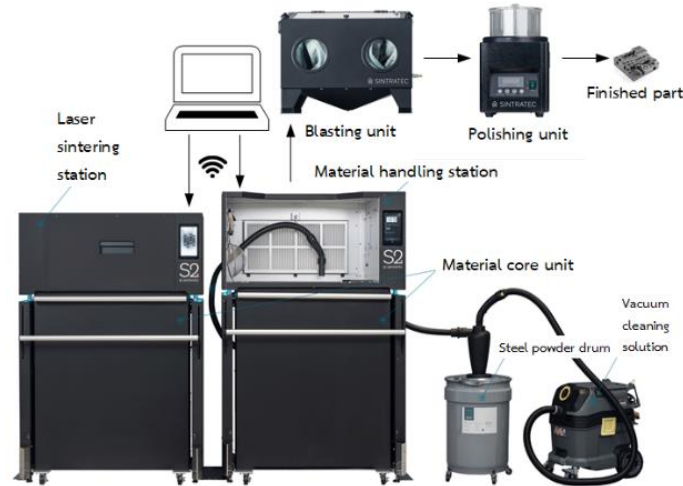
2.1 แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปตัววี

แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปตัววีถูกออกแบบตามตัวแปรที่ต้องการศึกษาดังตารางที่ 1 โดยมีขนาดเป็นไปดังรูปที่ 1 แม่พิมพ์ดังกล่าวขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยี SLS โดยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ของ Sintratec รุ่น S2 มีฟังก์ชันการสร้างชิ้นงานในปริมาตรทรงกระบอก (Cylinder build volume) เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 160 mm มีความสูงเท่ากับ 400 mm และมีความละเอียดการพิมพ์ 3 มิติ ในแนวแกน Z เท่ากับ 0.001 mm



รูปที่ 1 แบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปตัววีที่ใช้ในการทดลอง

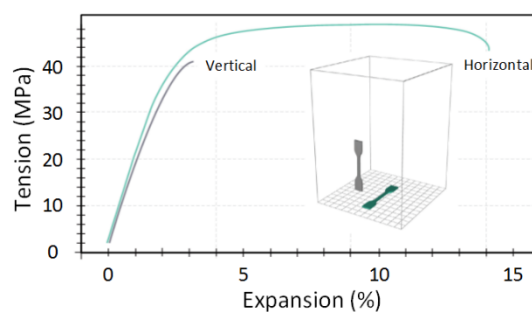
อุปกรณ์ที่ประกอบเป็นระบบเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคโนโลยี SLS ของ Sintratec รุ่น S2 แสดงดังรูปที่ 2 โดยกระบวนการขึ้นรูปเริ่มจากการส่งข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ (3D CAD data หรือ Modelling data) ของชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปในรูปแบบชนิดไฟล์ Standard triangle language (STL) ให้ชุด Material handling station (MHS) เพื่อเตรียมผงวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปให้แก่ Material core unit (MCU)



รูปที่ 2 ระบบการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคโนโลยี SLS ของชุดเครื่องพิมพ์ 3 มิติ Sintratec รุ่น S2

เมื่อทำการเตรียมผงวัสดุเสร็จสิ้น ชุด MCU จะถูกเคลื่อนย้ายจากชุด MHS เข้าสู่ชุด Laser sintering station (LSS) ซึ่งมีข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ ของชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปเพื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานตามแบบจำลองดังกล่าวโดยการหลอมเหลวผงวัสดุด้วยลำแสงเลเซอร์ หลังจากชุด LSS ทำงานเสร็จสิ้น ชุด MCU จะถูกเคลื่อนย้ายเข้าสู่ชุด MHS อีกครั้งเพื่อกำจัดผงวัสดุที่ไม่ถูกลำแสงเลเซอร์หลอม โดยผงที่ถูกกำจัดออกจะถูกดูดด้วยชุด Vacuum cleaning solution เพื่อเก็บผงวัสดุดังกล่าวใน Steel powder drum

วัสดุที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ได้แก่ ผง (Powder) พอลิเอไมด์ 12 (Polyamide 12; PA12) หรือชื่อเรียกทั่วไปทางการค้าว่า “ไนลอน (Nylon)” ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานวิศวกรรม โดยเฉพาะเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วน มีสมบัติรับแรงกระแทกได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น ที่สำคัญมีการจำหน่ายในลักษณะผงเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยเทคโนโลยี SLS



รูปที่ 3 พฤติกรรมของวัสดุ PA12 จากการทดสอบด้วยแรงดึง [7]

รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบด้วยแรงดึงตามมาตรฐาน DIN EN ISO 527-1 กับชิ้นทดสอบ PA12 ที่ถูกขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยี SLS จากเส้นกราฟที่ได้จากการทดสอบด้วยแรงดึงพบว่า ชิ้นทดสอบที่ถูกเตรียมตามแนวนอน (Horizontal) จะมีค่าความแข็งแรงดึงและความสามารถในการยืดตัวสูงกว่าชิ้นทดสอบที่ถูกเตรียมตามแนวตั้ง (Vertical) ทั้งนี้ชิ้นทดสอบทั้งสองลักษณะยังคงมีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุ่มมากกว่า 40 MPa ซึ่งเป็นค่าสมบัติทางกลที่อยู่ในช่วงมาตรฐานของวัสดุ PA12

แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ของ Sintratec รุ่น S2 ในเรื่องพิสัยการสร้างชิ้นงานในปริมาตรทรงกระบอกกับมิติแม่พิมพ์ที่ต้องการขึ้นรูปดังรูปที่ 1 ดังนั้นในงานนี้จึงต้องเตรียมข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ ของชิ้นงานตาย (Die) ตามแนวตั้ง

2.2 วิธีการทดลอง

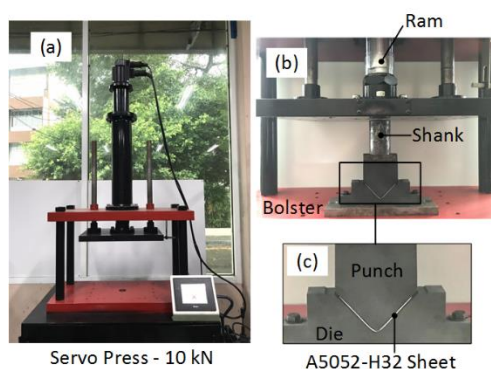
การทดลองพับขึ้นรูปตัววีด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์ใช้เครื่องเซอร์โวเพรส (Servo press) ขนาด 10 kN ในการให้แรงขึ้นรูปชิ้นงานโลหะแผ่น เกรด A5052-H32 ความหนา 1 mm ซึ่งมีขนาดชิ้นงานเริ่มต้นเท่ากับ 20 x 100 mm โดยทำการทดลองพับขึ้นรูป จำนวน 30 ตัวอย่าง

ชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปจะถูกตรวจสอบคุณภาพรูปทรงด้วยชุด Vision Unit ของ Mitutoyo รุ่น MF-B1010D ซึ่งประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ต่อพ่วงกับชุดคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์ QSPAK ผลการศึกษาดังกล่าวจะถูกเปรียบเทียบกับผลการทดลองพับขึ้นรูปชิ้นงานอลูมิเนียมผสมที่ถูกขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด S50C (JIS) ที่มีค่าความแข็งหลังการอบชุบและอบคืนตัวเท่ากับ 55 HRC โดยการทดลองนี้ใช้ตัวแปรเดียวกับการทดลองพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์ตามตารางที่ 1 และเนื่องจากมีรายงานวิจัย [2-6] แสดงให้เห็นว่านอกจากปัญหาการติดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปแล้ว ชิ้นงานที่ได้จากการพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากโลหะมีโอกาสเกิดรอยจากแม่พิมพ์บนผิวชิ้นงาน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงจะได้ตรวจสอบปัญหาดังกล่าวกับชิ้นงานที่ผ่านการทดลองพับขึ้นรูปโดยสายตาด้วย

3. ผลและการวิเคราะห์

แม่พิมพ์พอลิเมอร์ที่ถูกขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีเผาหลอมผงด้วยเลเซอร์ถูกวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งดิจิทัลแบบชอร์ในสเกล D (Digital Durometer Shore D) ตามมาตรฐาน PN-EN ISO 868:2005 ของ Mitutoyo ได้ค่าความแข็งเท่ากับ

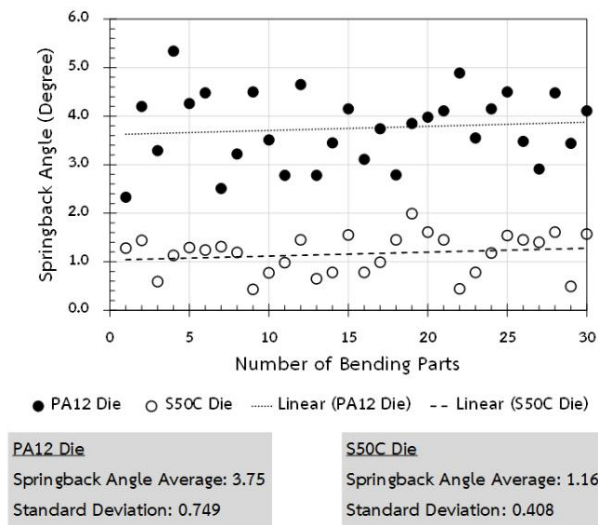
74



รูปที่ 4 (a) เซอร์โวเพรส (b) ลักษณะการติดตั้งแม่พิมพ์ และ (c) ลักษณะการพับขึ้นรูปตัววี

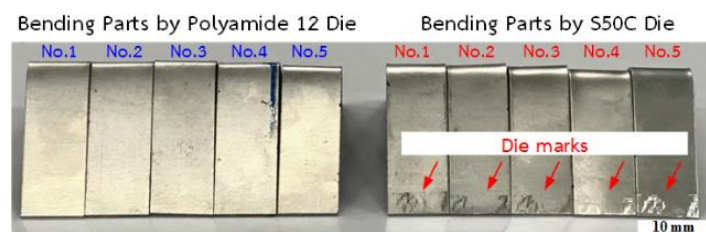
รูปที่ 4 (a) แสดงเครื่องเซอร์โวเพรสขนาด 10 kN ที่ใช้ในการทดลองพับขึ้นรูปตัววีด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุโลหะและพอลิเมอร์ โดยพื้นที่จะถูกประกอบกับแชงค์ (Shank) และถูกจับยึดกับชุดแรม (Ram) ของเครื่องเพรส ดังรูปที่ 4 (b) ในขณะที่ตายจะถูกยึดติดกับโบลสเตอร์ (Bolster) ของเครื่องเพรส เมื่อเครื่องเพรสให้แรงผ่านชุดแรม โลหะแผ่น A5052-H32 จะถูกพับขึ้นรูปในลักษณะตามรูปที่ 4 (c)

จากการตรวจสอบชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปด้วยชุด Vision Unit พบว่า ชิ้นงานอลูมิเนียมแผ่น เกรด A5052-H32 ที่ถูกพับขึ้นรูปตัววีด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุโลหะกับ PA12 เกิดการติดตัวกลับโดยมีค่าองศาการติดตัวกลับดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 องค์การการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูป

จากรูปที่ 5 พบว่า โลหะแผ่นชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากโลหะ เกรด S50C เกิดการดัดตัวกลับหลังการพับขึ้นรูปน้อยกว่าชิ้นงานที่ได้จากการพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์ โดยมีค่าเฉลี่ยองค์การการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปเท่ากับ 1.16 องศา และ 3.75 องศา ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุทำแม่พิมพ์มีผลต่อปริมาณการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูป ทั้งนี้ด้วยสมบัติพลาสติกของวัสดุพอลิเมอร์และค่าความแข็งที่มีค่าน้อยกว่าวัสดุโลหะทำให้แม่พิมพ์ดังกล่าวเกิดการเสียรูปพลาสติก (Elastic deformation) ขณะรับแรงขึ้นรูป [3] แต่อย่างไรก็ดีการพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุโลหะ ชิ้นงานจะเกิดรอยครูดจากแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 6 ส่งผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูป ซึ่ง Angsuseranee and Watcharasresomroeng [2] ได้รายงานว่ารอยดังกล่าวเกิดจากการยกตัวของชิ้นงานระหว่างการพับขึ้นรูปและทำให้เนื้อวัสดุชิ้นงานบริเวณที่สัมผัสกับบ่าตายเกิดการครูดกับผิวของบ่าตายที่มีความแข็งสูง ซึ่งปัญหานี้ไม่พบกับชิ้นงานที่ถูกพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์



รูปที่ 6 คุณภาพผิวของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูป

เมื่อพิจารณารูปในรูปที่ 5 พบแนวโน้มการดัดตัวกลับของชิ้นงานเพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนการพับขึ้นงานเพิ่มขึ้นกับทั้งชิ้นงานที่ถูกพับด้วยแม่พิมพ์โลหะและแม่พิมพ์พอลิเมอร์ ซึ่งในประเด็นนี้ยังไม่พบรายงานวิจัยใดได้กล่าวถึงสาเหตุดังกล่าว โดยผู้วิจัยจะได้อธิบายเพิ่มเติมในประเด็นดังกล่าวรวมถึงเรื่องอายุการใช้งานและความคุ้มค่าการใช้แม่พิมพ์พอลิเมอร์ที่ทำจากผง PA12

ด้วยเทคโนโลยี SLS ในการพ่นขึ้นรูปโลหะแผ่นเมื่อเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุโลหะหรือวัสดุพอลิเมอร์ด้วยกระบวนการลดเนื้อวัสดุ

4. สรุป

แม่พิมพ์พอลิเมอร์ที่ทำจากผง PA12 ด้วยเทคโนโลยี SLS สามารถพ่นขึ้นรูปแผ่นอลูมิเนียมผสม เกรด A5052-H23 ได้ โดยให้คุณภาพผิวชิ้นงานหลังการพ่นขึ้นรูปดีกว่าการพ่นด้วยแม่พิมพ์โลหะวัสดุ S50C ชุบแข็ง แต่ชิ้นงานที่ถูกพ่นขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์พอลิเมอร์จะเกิดการบิดตัวกลับสูงกว่าชิ้นงานที่ถูกพ่นด้วยแม่พิมพ์โลหะเฉลี่ย 2.59 องศา

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานชิ้นนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Lersirinukul. (2019, August 15). Additive manufacturing. [Online]. Available: <https://www.salika.co/2019/08/15/additive-manufacturing-growth-opportunities-in-asean> (In Thai)
- [2] N. Angsuseranee and B. Watcharasresomroeng, “Marking Lines Mechanism and Problem Solving in the Sheet Metal Bending”, RMUTL Engineering Journal, Vol. 5, 2020, pp. 10–18. (In Thai)
- [3] B. Watcharasresomroeng and N. Angsuseranee, “A solution to die marks in the bending operation of an aluminum alloy shaft”, in *The 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, Thailand, 2020, pp. 177-181.
- [4] N. Nakamura, K. Mori, F. Abe and Y. Abe, “Bending of sheet metals using plastic tools made with 3D printer”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 15, 2018, pp. 737–742.
- [5] V.G. Zaragoza, M. Strano, L. Iorio and M. Monno, “Sheet metal bending with flexible tools”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 29, 2019, pp. 232–239.
- [6] N. Nakamura, K. Mori and Y. Abe, “Applicability of plastic tools additively manufactured by fused deposition modelling for sheet metal forming”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 108, 2020, pp. 975–985.
- [7] Sintratec. (2021, March 10). Tensile test Sintratec PA12. [Online]. Available: https://cdn.shopify.com/s/files/1/2574/6810/files/Factsheet_Tensile_Test_Sintratec_PA12_EN.pdf?2563564693558467541
- [8] K. Lange, *Handbook of Metal Forming*, New York, McGraw-Hill, 1985.
- [9] S. GmbH, *Metal Forming Handbook*, Berlin, Springer Berlin, Heidelberg, 1998.
- [10] I. Suchy, *Handbook of die design*, Estados Unidos, McGraw-Hill, 2006.