

อิทธิพลของตายเคลียร์และความเร็วพันทที่มีต่อคุณภาพ
ขอบตัดชิ้นงานยางในกระบวนการแบลกกิ้ง

Influence of Die Clearance and Punch Velocity on The Quality
of The Rubber Cutting Edge in The Blanking Process

ณัฐนันท์ อังสุเศรษฐี¹ ธนพล กอสุราษฎร์² และ ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเร็จ^{3*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พระนครศรีอยุธยา 13000

²บริษัท ไทยรับเทค จำกัด เขตบางบอน กรุงเทพมหานคร 10150

³ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ (TDTC) คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ นนทบุรี 11000

Natchanun Angsuseranee¹ Thanapol Korsurat² and Bhadpiroon Watcharasresomroeng^{3*}

¹Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya, 13000

²Thai Rubb Tech Co., Ltd., Bangbon, Bangkok, 10150

³Tool and Die Technology Center (TDTC), Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi, 11000

Corresponding author Email: bhadpiroon.s@rmutsb.ac.th*

(Received: January 8, 2023; Revised: March 10, 2023; Accepted: March 15, 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตายเคลียร์และความเร็วพันทที่มีต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานยางในกระบวนการแบลกกิ้ง ชิ้นงานที่ศึกษาเป็นข้อต่อสายน้ำเกลือทำจากวัสดุยางพอลิไอโซพรีนโดยกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ซึ่งมีจำนวน 144 คาวิตี แต่ละคาวิตีถูกเชื่อมโยงด้วยครีปซึ่งมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 1 มิลลิเมตร การทดลองใช้แม่พิมพ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นตามหลักการแม่พิมพ์โลหะโดยมีค่าตายเคลียร์เท่ากับ 0.01 และ 0.05 มิลลิเมตร ตัวแปรกระบวนการที่ศึกษาได้แก่ความเร็วพันทซึ่งกำหนดเท่ากับ 314 และ 1257 มิลลิเมตร/วินาที ผลการทดลองพบว่า หลักการทำงานของแม่พิมพ์แบลกกิ้งสามารถประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบแม่พิมพ์ตัดยางพอลิไอโซพรีนได้ โดยขอบตัดชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์คุณภาพของสถานประกอบการ คุณภาพขอบตัดของชิ้นงานสำเร็จขึ้นอยู่กับขนาดตายเคลียร์และความเร็วพันทขณะทำการตัดชิ้นงาน การเพิ่มคุณภาพของขอบตัดชิ้นงานทำได้โดยการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีขนาดตายเคลียร์น้อยและการเพิ่มความเร็วพันทในการตัดชิ้นงาน

คำสำคัญ: แบลกกิ้ง ตายเคลียร์ ความเร็วพันท ขอบตัดชิ้นงาน ยาง

Abstract

The objective of this research is to study the influence of die clearance and punch velocity on the quality of the rubber cutting edge in the blanking process. The specimens studied were saline hose joints made of polyisoprene rubber material by compression molding process with 144 cavities. Each cavity was linked by flash with an average thickness of 1 millimeter. The experiment was conducted on a die designed and built according to the metal die principle with die clearance values of 0.01 and 0.05 millimeter. The studied process parameter was the punch velocity, which was set at 314 and 1257 millimeter/second. The results showed that the principle of a blanking die can be applied to the design of a polyisoprene rubber cutting die. The cutting edge of the workpiece has a quality that meets the quality criteria of the establishment. The quality of the cutting edge of the finished workpiece depends on the die clearance size and the punch velocity during cutting. The quality of the cutting edge can be improved by designing the die with less die clearance and increasing the punching speed of the workpiece.

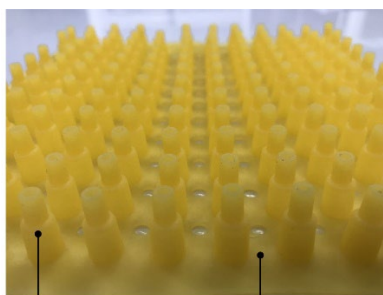
Keywords: Blanking, Die clearance, Punch velocity, Cutting edge, Rubber

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์จากวัสดุยางเป็นอีกอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนประเทศเนื่องจากประเทศไทยเป็นแหล่งเพาะปลูกยางพาราซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการทำผลิตภัณฑ์ยาง ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ยางมีส่วนเกี่ยวข้องกับหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงอุตสาหกรรมที่ทำการผลิตชิ้นส่วน อุปกรณ์ และเครื่องมือทางการแพทย์ เป็นต้น จากการใช้ผลิตภัณฑ์ยางที่หลากหลายทำให้มีการสังเคราะห์วัสดุที่มีสมบัติและโครงสร้างคล้ายคลึงกับยางธรรมชาติเพื่อให้มีสมบัติเฉพาะตรงตามวัตถุประสงค์ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตขึ้น ทำให้ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ยางทำจากวัตถุดิบยางพาราผสมกับสารเคมีเพื่อให้ได้สมบัติเฉพาะที่เหมาะสมกับการใช้งานที่ยังคงจัดอยู่ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ โดยในอุตสาหกรรมเรียวยางชนิดนี้ว่า “ยางคอมปาวด์ (Compound Rubber)” กับยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber) ที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยปฏิกิริยาทางเคมี โดยการแปรรูปยางทั้ง 2 ชนิด เป็นผลิตภัณฑ์จากยางทำได้ด้วย 3 เทคนิคหลัก ได้แก่ การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ (Molding) การขึ้นรูปด้วยการดันออกหรือเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) และการขึ้นรูปด้วยการรีดขึ้นรูปหรือคาเลนเดอร์ริง (Calendering) สำหรับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่นิยมใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยาง ได้แก่ การใช้แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป (Compression Mold) และแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูป (Injection Mold) โดยชิ้นงานที่ได้ส่วนใหญ่จะมีครีบ (Flash) เชื่อมโยงชิ้นงานสำเร็จที่ต้องการที่เกิดขึ้นในแต่ละควาวิตี้ (Cavity)

รูปที่ 1 แสดงชิ้นงานที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์และเพื่อให้ได้ชิ้นงานสำเร็จจำเป็นต้องตัดชิ้นงานออกจากครีبدังกล่าว ปัจจุบันการตัดชิ้นงานออกจากครีบใช้เครื่องมือ (Tool) ที่เรียกว่า “ดายคัท (Die Cut)” โดยการดัด (Bending) เหล็กกล้าเครื่องมือ (Tool Steel) ในลักษณะแผ่น (Sheet) ให้มีรูปทรงตามชิ้นงานที่ต้องการตัด แล้วนำมายึดติดกับแผ่นไม้อัด (Plywood) โดยทั่วไปแม่พิมพ์ลักษณะนี้มีจำนวนมิตติดเท่ากับจำนวนชิ้นงานสำเร็จที่ต้องการตัด แต่ผู้ผลิตพบปัญหาความไม่สม่ำเสมอของขอบชิ้นงานที่ได้จากการตัด (ขอบตัด; Cutting Edge) ด้วยแม่พิมพ์ในลักษณะดังกล่าว ซึ่งปัญหาดังกล่าวส่งผลต่อชิ้นส่วนที่ผลิตจากยางสำหรับใช้ในการทางการแพทย์ เนื่องจากมีความต้องการชิ้นงานสำเร็จที่มีขอบตัดสม่ำเสมอและมีขนาด

เที่ยงตรง อีกทั้งปัจจุบันชิ้นส่วนทางการแพทย์ที่ผลิตจากยางมีรูปร่างซับซ้อนและมีขนาดเล็ก ทำให้เป็นข้อจำกัดของการผลิตแม่พิมพ์ตายคัเพื่อใช้ตัดชิ้นงานออกจากครีบ



ชิ้นงานสำเร็จ

ครีบ

รูปที่ 1 ชิ้นงานที่ผลิตด้วยแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป

จากปัญหาข้างต้นทางสถานประกอบการซึ่งเป็นผู้ผลิตแม่พิมพ์และอุปกรณ์ในการแปรรูปวัสดุพอลิเมอร์ โดยเฉพาะในกลุ่มอีลาสโตเมอร์ (Elastomer) จำพวดยางคอมปาวด์ มีความต้องการพัฒนาเครื่องมือในการตัดชิ้นงานยางออกจากครีบให้ได้ขอบตัดที่มีคุณภาพรูปทรงและผิวของขอบตัดชิ้นงานเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า

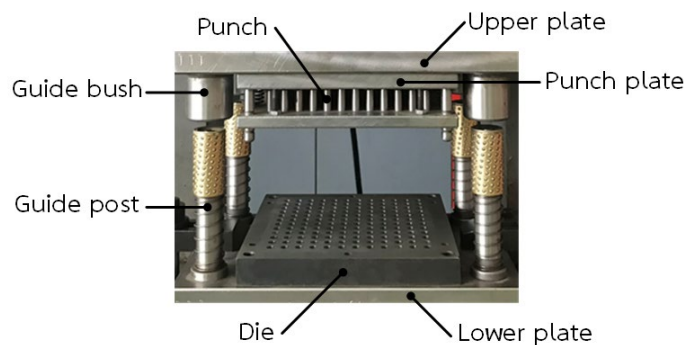
งานวิจัยของ Joommanee and Watcharasresomroeng [1] แสดงให้เห็นว่าสามารถประยุกต์ใช้หลักการออกแบบแม่พิมพ์ตัดโลหะแผ่นในลักษณะของกระบวนการแบลงก์กิ้ง (Blanking) ในการตัดครีบชิ้นงานยางได้ แต่คุณภาพรูปทรงของขอบตัดชิ้นงานดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับตัวแปรของเครื่องมือหรือแม่พิมพ์ โดยรูปแบบของคมตัดพังก์ที่ศึกษาในงานวิจัยดังกล่าวสามารถให้คุณภาพรูปทรงของขอบตัดชิ้นงานอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวศึกษาเพียงแค่รูปแบบของคมตัดพังก์ที่ส่งผลต่อคุณภาพรูปทรงของขอบตัดชิ้นงานยาง ซึ่งยังไม่ได้พิจารณาถึงคุณภาพของขอบตัดชิ้นงานที่ได้

ตามทฤษฎีของงานแบลงก์กิ้ง ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน ได้แก่ ช่องว่างระหว่างพังก์กับดายหรือดายเคลียร์แรนซ์ (Die Clearance) เนื่องจากส่งผลต่อการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) ของวัสดุโลหะแผ่น [2]–[6] โดยมีงานวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาอิทธิพลของดายเคลียร์แรนซ์ที่มีต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานในการตัดวัสดุโลหะแผ่นชนิดต่าง ๆ เพื่อหาขนาดดายเคลียร์แรนซ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดให้กับแม่พิมพ์สำหรับใช้ตัดวัสดุชิ้นงาน เนื่องจากวัสดุชิ้นงานที่มีสมบัติทางกลต่างกันจะเกิดสภาวะความเค้นที่เนื้อวัสดุระหว่างกลไกการเปลี่ยนรูปขณะทำการตัดที่บริเวณการตัดเนื้อวัสดุชิ้นงานแตกต่างกันดังเช่นงานวิจัยที่ผ่านมา [7]–[10] นอกจากตัวแปรของเครื่องมือตัดในกระบวนการแบลงก์กิ้งอย่างดายเคลียร์แรนซ์แล้ว คุณภาพของขอบตัดชิ้นงานยังขึ้นอยู่กับความเร็วพังก์ (Punch Velocity) ซึ่งเป็นตัวแปรกระบวนการ (Process Parameter) ที่สำคัญต่อคุณภาพชิ้นงานตัดในกระบวนการแบลงก์กิ้งด้วย [3]

จากปัญหาและแนวทางข้างต้น เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาแม่พิมพ์ตัดแผ่นยางซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์หรือผลิตภัณฑ์ยางคอมปาวด์ในลักษณะอื่นด้วยกระบวนการแบลงก์กิ้ง ผู้วิจัยจึงศึกษาอิทธิพลของเคลียร์แรนซ์และความเร็วพังก์โดยมีสมมติฐานการวิจัยว่าตัวแปรดังกล่าวมีต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานยางในกระบวนการแบลงก์กิ้งเพื่อต่อยอดองค์ความรู้การใช้แม่พิมพ์ตัดวัสดุกลุ่มอีลาสโตเมอร์และเป็นไปตามความต้องการของสถานประกอบการ

2.2 เครื่องมือ

ด้วยวิธีการทำงานเดิมของสถานประกอบการโดยการใช้แม่พิมพ์แบบด้ายคัททำการตัดแยกชิ้นงานสำเร็จออกจากครีบนั่น โดยทั่วไปแม่พิมพ์แบบดังกล่าวจะทำการติดใบมีดจำนวนเท่ากับจำนวนชิ้นงานสำเร็จที่ต้องการตัดแยกออกจากครีบ เพื่อการตัดชิ้นงานครั้งเดียวจะสามารถแยกชิ้นงานสำเร็จออกจากครีบได้ทั้งหมด ดังนั้นเพื่อให้เกิดการเพิ่มผลผลิต (Productivity) ผู้วิจัยจึงออกแบบแม่พิมพ์ในการศึกษาครั้งนี้ด้วยการทำฟันซ์ จำนวน 144 ตัว ยึดติดกับแม่พิมพ์ชุดบน (Upper Die Set) ด้วยฟันซ์เพลท (Punch Plate) โดยด้ายเป็นลักษณะแผ่นเพลท (Plate) ถูกทำรู จำนวน 144 รู ยึดติดกับแม่พิมพ์ชุดล่าง (Lower Die Set) ดังรูปที่ 3 ซึ่งจะทำให้การปั๊มตัด 1 ครั้ง ได้จำนวนชิ้นงานสำเร็จเท่ากับหลักการใช้แม่พิมพ์แบบด้ายคัททำงาน



รูปที่ 3 ชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ในการศึกษา

เพื่อให้การทำงานของฟันซ์ร่วมศูนย์เดียวกันกับรูด้ายจึงออกแบบให้ชุดแม่พิมพ์มีไกด์โพสต์ (Guide Post) กับไกด์บุช (Guide Bush) ทำหน้าที่นำเลื่อนให้แม่พิมพ์ชุดบนกับแม่พิมพ์ชุดล่างทำงานร่วมศูนย์เดียวกัน และใช้สตริปเปอร์ (Stripper) แบบให้แรงด้วยสปริงทำหน้าที่ดึงชิ้นงานก่อนและระหว่างการตัด รวมทั้งทำหน้าที่ปลดแผ่นครีบบนออกจากฟันซ์ภายหลังเสร็จสิ้นการตัดในแต่ละรอบการทำงาน

2.3 วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) ที่มีการกำหนดระดับปัจจัยหลักไว้ที่ระดับสูง (High Level) และระดับต่ำ (Low Level) ปัจจัยหลัก (Main Factor) ของการทดลอง ได้แก่ ด้ายเคลือบและความเร็วฟันซ์ โดยมีผลการทดลอง (Response) ที่ได้จากปัจจัยหลักที่ศึกษา คือ คุณภาพขอบตัดของชิ้นงาน

การพิจารณาเลือกค่าด้ายเคลือบและความเร็วฟันซ์ของแม่พิมพ์ตัดชิ้นงานเพื่อกำหนดใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยใช้แนวทางหลักการออกแบบแม่พิมพ์โลหะโดยพิจารณาข้อมูลจากค่าด้ายเคลือบและความเร็วฟันซ์ของแม่พิมพ์ที่แนะนำให้ใช้ในการตัดวัสดุโลหะ [6] ซึ่งพบว่า การตัดโลหะที่มีความแข็งแรง (Strength) และความแข็ง (Hardness) ต่ำ รวมถึงความต้องการขอบตัดชิ้นงานที่มีคุณภาพจะกำหนดให้ใช้ค่าด้ายเคลือบและความเร็วฟันซ์น้อย เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวแลกเปลี่ยนเรียนรู้จากผู้มีประสบการณ์ในการออกแบบแม่พิมพ์ด้ายคัทของสถานประกอบการ จึงออกแบบให้แม่พิมพ์ที่จะใช้ในการทดลองตัดชิ้นงานของสถานประกอบการมีค่าด้ายเคลือบและความเร็วฟันซ์เป็นร้อยละ 1 และ ร้อยละ 5 ของความหนาวัสดุที่ต้องการตัด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.01 และ 0.05 mm ตามลำดับ

การทดลองปั๊มตัดชิ้นงานใช้เครื่องเพรสเชิงกลหรือเครื่องปั๊มแบบใช้กลไกทางกล (Mechanical Press Machine) ขนาด 800 kN ที่ติดตั้งตัวปรับความเร็วการเคลื่อนที่ของแรม (Ram) เครื่องเพรสได้ เพื่อใช้ควบคุมความเร็วฟันซ์ขณะทำการตัดชิ้นงาน โดยกำหนดให้เพลทข้อเหวี่ยงหมุนรอบตัวเองต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 300 rpm และ 1200 rpm โดยค่าดังกล่าวเป็นค่าต่ำสุดและ

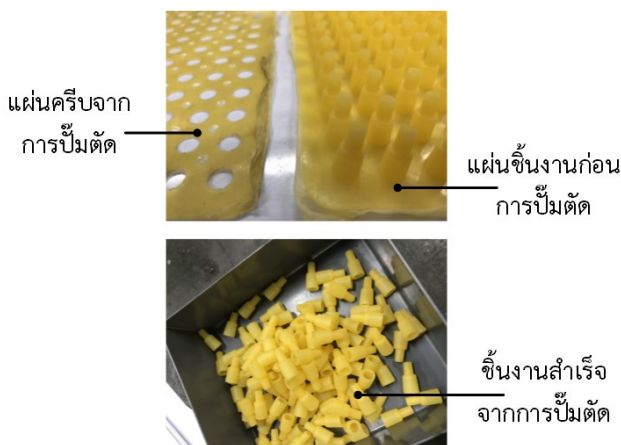
ค่าสูงสุดของเครื่องเพรสที่ใช้ในการทดลองสามารถปรับตั้งได้ ทำให้พื้นที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วตัดเท่ากับ 314 mm/sec และ 1257 mm/sec ตามลำดับ

การออกแบบการทดลองใช้เทคนิคการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ สำหรับศึกษาปัจจัยที่สองระดับ ทำให้มีจำนวนการทดลอง (Run) เท่ากับ 2^k โดย k คือ จำนวนของปัจจัยหลัก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 ดังนั้นจึงมีจำนวนการทดลองในการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ 4 การทดลอง ซึ่งในการวิเคราะห์ผู้วิจัยได้พิจารณาถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหรืออันตรกิริยา (Interaction) ของปัจจัยใช้ในการศึกษาครั้งนี้ด้วย โดยมีการทดลองซ้ำ (Replication) จำนวน 30 ครั้งในแต่ละการทดลอง

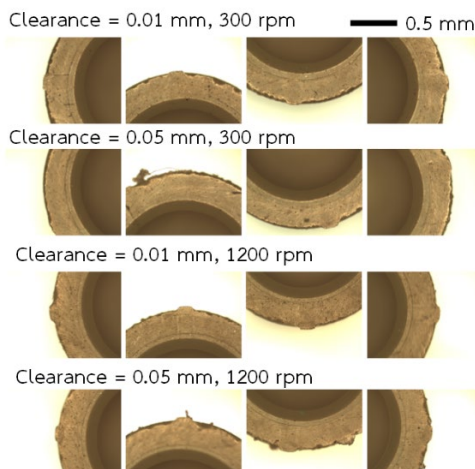
คุณภาพขอบตัดของชิ้นงานสำเร็จที่ได้จากการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นภายใต้สภาวะเงื่อนไขการทดลองที่กำหนดจะถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ของ Mitutoyo รุ่น MF-B1010D ที่ต่อพ่วงกับชุดประมวลผลภาพ Mitutoyo Vision Unit ซึ่งสามารถขยายขอบตัดชิ้นงานได้จากการตัดโดยชุดแม่พิมพ์ด้วยกำลังขยาย 10X ทั้งนี้การวัดขนาดและตรวจสอบลักษณะของขอบตัดใช้ชุดซอฟต์แวร์ QSPAK ของ Mitutoyo เช่นกัน

3. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

จากการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ตามหลักการแม่พิมพ์ตัดโลหะเพื่อใช้ในการตัดชิ้นงานข้อต่อสายน้ำเกลือซึ่งทำจากวัสดุยางพอลิไอโซพรีนตามเงื่อนไขการทดลองที่กำหนด การทดลองบ่มตัดชิ้นงานแสดงให้เห็นว่าแม่พิมพ์ชุดดังกล่าวสามารถตัดชิ้นงานได้ โดยตัวอย่างแผ่นชิ้นงานก่อนการบ่มตัดแผ่นครีบและชิ้นงานสำเร็จที่ถูกบ่มตัดแยกโดยแม่พิมพ์ชุดดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผ่นชิ้นงานก่อนการบ่มตัดและชิ้นงานสำเร็จ



รูปที่ 5 ลักษณะขอบตัดที่ได้จากการตัดด้วยแม่พิมพ์ภายใต้เงื่อนไขของการทดลองที่กำหนด

เมื่อนำชิ้นงานสำเร็จที่ได้จากการตัดด้วยแม่พิมพ์ภายใต้เงื่อนไขของการทดลองที่กำหนดไปตรวจสอบคุณภาพขอบตัดที่ได้ ดังตัวอย่างรูปที่ 5 โดยทำการวัดขนาดของครีบบส่วนที่เหลือจากการตัด ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่ต่อพ่วงกับชุดประมวลผลภาพ Mitutoyo Vision Unit ผ่านซอฟต์แวร์ QSPAK ของ Mitutoyo และใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) ด้วย Threshold Operation เพื่อตรวจวัดพื้นที่ของครีบบส่วนเหลือที่ยังติดอยู่กับชิ้นงานสำเร็จที่ตัดได้ และนำข้อมูลที่ได้จากการวัดไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางสถิติ

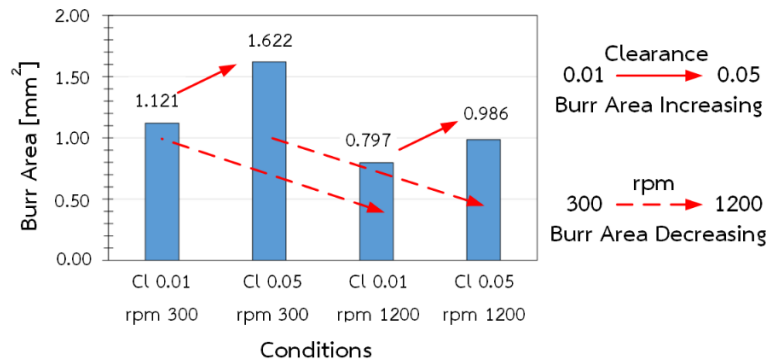
ก่อนการทดสอบสมมติฐานงานวิจัย เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลผลการตรวจวัดพื้นที่ของครีบบที่ยังติดอยู่กับชิ้นงานสำเร็จที่ตัดได้ มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ผู้วิจัยใช้ซอฟต์แวร์ทางสถิติทดสอบชุดข้อมูลดังกล่าว โดยผลการทดสอบพบว่าชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่า P-Value ของผลการทดสอบมากกว่าในทุกเงื่อนไขการทดลอง 0.05

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยปริมาณครีบบส่วนเหลือที่ขอบตัดชิ้นงาน

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	11.2030	3.73432	187.23	0.000
Linear	2	10.4713	5.23566	262.51	0.000
Clearance [mm]	1	3.5632	3.56316	178.56	0.000
rpm	1	6.9082	6.90816	346.37	0.000
2-Way Interactions	1	0.7316	0.73164	36.68	0.000
Clearance [mm]*rpm	1	0.7316	0.73164	36.68	0.000
Error	116	2.3136	0.01994		
Total	119	13.5165			

สมมติฐานงานวิจัยถูกทดสอบด้วยวิธีการพารามตริก (Parametric Method) โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) มีผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2 ซึ่งเห็นได้ว่า ค่า P-Value ของดาเยลี่ยแรนซ์ และความเร็ว

พื้นที่ในรูปของ rpm มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) ที่กำหนดไว้ รวมถึงอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยหลักทั้งสองก็มีค่า P-Value เท่ากับ 0.00 เช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าดาวยเคิลี่แรนซ์ ความเร็วพินซ์ และอันตรกิริยาระหว่างดาวยเคิลี่แรนซ์ และความเร็วพินซ์ มีผลต่อปริมาณครีบส่วนเหลือที่ขอบตัดชิ้นงานสำเร็จ



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยพื้นที่ครีบส่วนเหลือที่ขอบตัดชิ้นงานสำเร็จภายใต้เงื่อนไขการทดลอง

ค่าเฉลี่ยพื้นที่ครีบส่วนเหลือที่ขอบตัดชิ้นงานจากการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อศึกษาตัวแปรในงานวิจัยนี้ถูกนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบดังรูปที่ 6 โดยรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขนาดดาวยเคิลี่แรนซ์และลดความเร็วพินซ์ในการตัดชิ้นงานมีผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงานที่ลดลง ชิ้นงานสำเร็จที่ได้จากการบีมตัดด้วยชุดแม่พิมพ์ที่มีค่าดาวยเคิลี่แรนซ์มากขึ้นจะมีค่าเฉลี่ยพื้นที่ครีบส่วนเหลือที่ขอบตัดมากกว่ากรณีใช้ชุดแม่พิมพ์ที่มีค่าดาวยเคิลี่แรนซ์น้อยบีมตัดชิ้นงาน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีงานตัดโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์ [2]–[5] ในขณะที่การใช้ความเร็วพินซ์ในการตัดชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานสำเร็จมีพื้นที่ครีบส่วนเหลือลดลง ซึ่งทางทฤษฎีตัดโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์ในงานของ Lange [3] ไม่ได้ระบุไว้อย่างแน่ชัดถึงความสัมพันธ์ของความเร็วพินซ์ในการตัดกับคุณภาพขอบตัดชิ้นงานสำเร็จที่ได้ เพียงแต่กล่าวว่าขึ้นอยู่กับวัสดุชิ้นงานที่ทำการตัด อย่างไรก็ตามเมื่อคำนึงถึงการเพิ่มผลผลิต ผู้ปฏิบัติงานจึงควรใช้ความเร็วพินซ์ในการตัดชิ้นงานสูงสุดเท่าที่ทำได้

จากการทดลองชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ค่าดาวยเคิลี่แรนซ์ 0.01 mm และใช้ความเร็วพินซ์ในการตัดด้วยความเร็วรอบของเครื่องเพรส 1200 rpm ให้คุณภาพขอบตัดชิ้นงานยางพอลิไอโซพรีนดีกว่ากรณีเงื่อนไขการทดลองอื่นที่ศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบคุณภาพของพนักงานควบคุมคุณภาพ (QC) ระดับความเชี่ยวชาญสูงสุดของสถานประกอบการ อย่างไรก็ตามการตัดชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ตามหลักการแม่พิมพ์โลหะนั้นยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อคุณภาพขอบตัดชิ้นงาน [2]–[5] อีกทั้งยังต้องพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตและจุดคุ้มทุนในการเปลี่ยนวิธีการจากการใช้ดาวยเคิลี่แรนซ์ในการตัดแยกชิ้นงานสำเร็จออกจากครีบด้วย ซึ่งชุดแม่พิมพ์ที่ผลิตและใช้ในงานวิจัยนี้มีต้นทุนสูงกว่าแม่พิมพ์ดาวยเคิลี่แรนซ์ทั่วไปอยู่ 10 เท่า ดังนั้นผู้วิจัยจะได้ศึกษาปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงานที่ผลิตได้เพื่อปรับปรุงคุณภาพชิ้นงานสำเร็จให้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนหาวิธีการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ที่ใช้ในการตัดชิ้นงานยางให้มีต้นทุนที่ต่ำลง รวมถึงการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) จำลองการตัดชิ้นงานยางพอลิไอโซพรีน เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุดังกล่าวในกระบวนการตัดด้วยแม่พิมพ์ต่อไป

4. สรุป

งานวิจัยนี้ใช้หลักการออกแบบแม่พิมพ์โลหะพัฒนาการออกแบบเครื่องมือสำหรับตัดแยกส่วนชิ้นงานสำเร็จวัสดุกลุ่มอีลาสโตเมอร์ออกจากแผ่นครีบ โดยชิ้นงานที่ศึกษาเป็นข้อต่อสายน้ำเกลือ มีขนาดเล็ก ทำจากยางพอลิไอโซพรีน

จากการศึกษาพบว่าหลักการทำงานของแม่พิมพ์โลหะสามารถประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบแม่พิมพ์ตัดยางที่ศึกษาได้ โดยคุณภาพของข้อต่อชิ้นงานที่ได้อยู่ในเกณฑ์คุณภาพของสถานประกอบการ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ค่าตายเคลียร์และความเร็วพั่นขณะทำการตัดชิ้นงานมีอิทธิพลต่อคุณภาพของข้อต่อชิ้นงานสำเร็จ การเพิ่มคุณภาพของข้อต่อชิ้นงานสำเร็จโดยการลดปริมาณครีบส่วนเหลือที่ข้อต่อชิ้นงานทำได้โดยการออกแบบแม่พิมพ์ตัดให้มีค่าตายเคลียร์น้อยและใช้ความเร็วพั่นขณะทำการตัดชิ้นงานสูง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากโครงการศึกษาวิจัยเชิงนโยบายการพัฒนาแพลตฟอร์มบริหารจัดการทรัพยากรผู้มีศักยภาพ (Talent Resource Management; TRM) กลุ่มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ.2564 และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในการสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Joommanee and B. Watcharasresomroeng, “Study effect of degree cutting punch in blanking die rubber part quality,” in *Proceeding of 5th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2020 (RMTC2020)*, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Thailand, 2020, pp. 159. (in Thai)
- [2] D. F. Eary and E. A. Reed, *Techniques of pressworking sheet metal: Engineering approach to die design*, 2nd ed. London, England: Prentice-Hall, 1974.
- [3] K. Lange, *Handbook of metal forming*. Maidenhead, England: McGraw Hill Higher Education, 1985.
- [4] Schuler, *Metal forming handbook*, Springer, Berlin Heidelberg, 1998.
- [5] T. Altan and etc., *Metal forming: Fundamentals and applications*, ASM International, 1983.
- [6] C. Suktayou, P. Kaewtatip and V. Premanond, *Sheet metal stamping*, Thai Tool and Die Industry Association (TDIA), pp. 50–65, 2004. (in Thai)
- [7] N. Pornputsiri, R. Paisarn, P. Kaewtatip and V. Premanond, “Study on Influence of Die Clearance on Wear Behavior in Blanking Process”, in *Proceeding of Mechanical Engineering Network of Thailand the 16th Conference*, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand, pp.441–437 (in Thai)
- [8] S. Subramonian, T. Altan, B. Ciocirlan, and C. Campbell, “Optimum selection of variable punch-die clearance to improve tool life in blanking non-symmetric shapes,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 75, pp. 63–71, 2013.
- [9] Z. Xing, L. Chen, C. Lei, T. Cai, and H. Yu, “Simulated analysis and experimental investigation on edge qualities of high strength steels hot blanking parts,” *Procedia Manuf.*, vol. 15, pp. 619–626, 2018.

- [10] M. Otroshi and G. Meschut, “Influence of cutting clearance and punch geometry on the stress state in small punch test,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 136, no. 106183, p. 106183, 2022.
- [11] ASTM, “Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness,” ASTM, Aug. 2000.
- [12] ASTM, “Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension,” ASTM, May 2021.