



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยาง
ด้วยกรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อน

**Design and Manufacturing of the Thermal Cutting System for
Rubber Roller Production**

โดย ผศ.ดร. ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ และคณะ

มิถุนายน 2556

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยาง
ด้วยกรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อน

**Design and Manufacturing of the Thermal Cutting System for
Rubber Roller Production**

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. ผศ.ดร.ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
และศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง
สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาเทคโนโลยีการ
ผลิตทางอุตสาหกรรม

2. นายจักรกฤษณ์ มนต์เสวี

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
และศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง
สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาเทคโนโลยีการ
ผลิตทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชุดโครงการ ทุนวิจัยขนาดกลางเรื่องยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางด้วยกรรมวิธีการตัดเนื้อด้วยความร้อน

Design and Manufacturing of the Thermal Cutting System for Rubber Roller Production

หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร.สุกสิณี รอดขวัญ

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันคั้นควาและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่อยู่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 02-797-0999 โทรสาร 02-579-2279

E-mail fengssr@ku.ac.th

ผู้ร่วมวิจัย นายจักรกฤษณ์ มนต์เสวี

งบประมาณทั้งโครงการ 387,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินงาน ตั้งแต่วันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2553

ปัญหาที่ทําวิจัยและความสำคัญ

จากแนวโน้มการขาดแคลนพลังงานของประเทศและของโลกในอนาคตอันใกล้นั้นทำให้การออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันต้องมีการคำนึงถึงการเลือกใช้วัตถุดิบ การเลือกใช้กระบวนการผลิตในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถใช้พลังงานที่เหมาะสมในการผลิตได้ สำหรับในส่วนของการผลิตขึ้นส่วนผลิตภัณฑ์ยางนั้น โดยทั่วไปสามารถทำได้โดยการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ทั้งแบบอัด กึ่งฉีด และแบบฉีด ซึ่งมักใช้ผลิตขึ้นส่วนยานยนต์ ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์ยางประเภทยางขอบกระจกรยนต์ก็สามารถทำได้โดยกระบวนการรีดขึ้นรูป อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตดังกล่าวยังไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกกลิ้งยางทั้งแบบที่ไม่มีร่องและมีร่องได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของผลิตภัณฑ์ (การบิดเบี้ยว ความเรียบของผิวและร่องของลูกกลิ้งที่ไม่ได้ค่าที่ยอมรับได้) และในด้านของความสิ้นเปลืองของวัสดุและพลังงานในการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ (พลังงานความร้อนที่ใช้ในการขึ้นรูป) ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตต่ำลงและเกิดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมนี้เสียโอกาสในการแข่งขันทั้งในประเทศและนานาชาติ ดังนั้นด้วยเหตุผลข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงคิดว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาและพัฒนาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่สามารถผลิตลูกกลิ้งยางให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ในอุตสาหกรรม โดยใช้หลักการอื่นๆในการขึ้นรูปลูกกลิ้งยางเช่น การใช้กรรมวิธี

การตัดเนื้อด้วยความร้อนร่วมกับเครื่องกลึงขึ้นรูป โดยออกแบบในส่วนของชุดควบคุมอุณหภูมิเพื่อใช้สำหรับกลึง เป็นต้น ซึ่งหลักการดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น การย่อยเศษยางรถยนต์เพื่อนำมาใช้ใหม่ การผลิตยางล้อต้นแบบที่ใช้ในการเกษตร การขนถ่ายสินค้า อากาศยาน ได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์

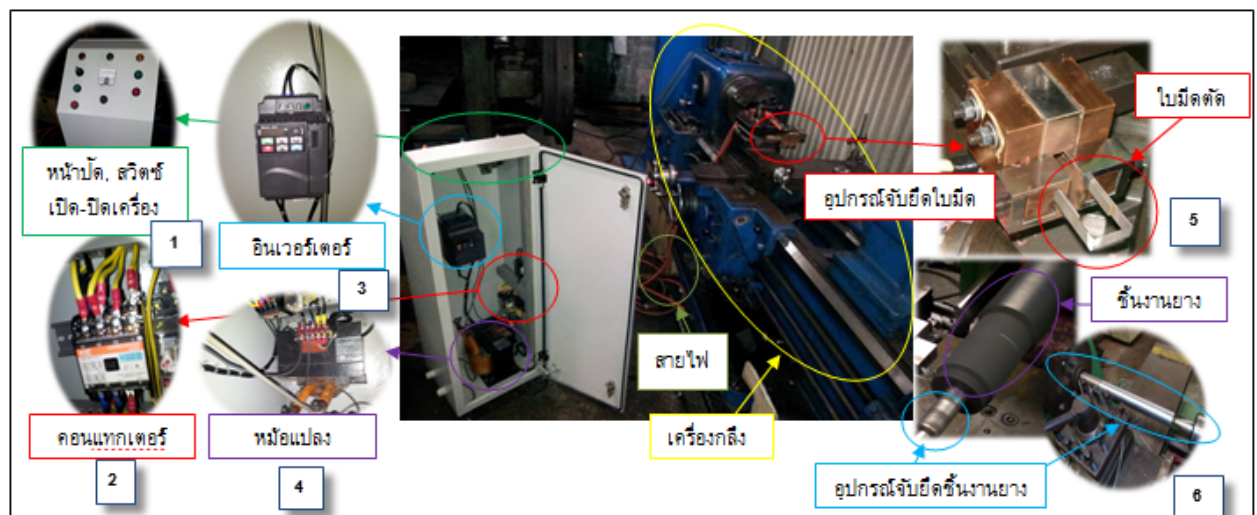
เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางโดยกระบวนการตัดเนื้อด้วยความร้อน

ผลการดำเนินงาน

1. ชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปยางด้วยความร้อนสามารถขึ้นรูปชิ้นงานยางได้

ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปยางด้วยความร้อน (ดังแสดงในรูปที่ 1) ประกอบไปด้วย

- 1) ชุดหน้าปัด สวิตช์ เปิด-ปิดเครื่อง
- 2) คอนแทกเตอร์
- 3) อินเวอร์เตอร์
- 4) หม้อแปลง
- 5) ชุดจับยึดใบมีดตัดและใบมีดตัด
- 6) อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานยาง



รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปยางด้วยความร้อน

2. ผลการทดสอบการขึ้นรูปยางเบื้องต้น

พบว่า ค่าผลกระทบหลัก (main effects) ของความเรียบผิวที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปยางยางสไตรีน บิวตาไดอีน (Styrene-Butadiene Rubber, SBR) ด้วยความร้อนกับ อัตราป้อน ความเร็วรอบ และอุณหภูมิที่ค่าต่างๆ พบว่า อัตราป้อน ที่ค่า 0.05 มิลลิเมตร/รอบ นั้นมีค่าความเรียบผิวที่ดีกว่าค่า อัตราป้อน ที่ 0.35 และ 0.70 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วรอบในช่วง 600-1600 รอบต่อนาที มีค่าความเรียบผิวที่ดีกว่าค่า 60 รอบต่อนาที ส่วน อุณหภูมิให้ค่าความเรียบผิวใกล้เคียงกันในช่วง 50 - 250 องศาเซลเซียส โดยที่ช่วง 125 องศาเซลเซียสได้ค่า ความเรียบผิวดีที่สุด

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางด้วยกรรมวิธีการตัด เลื่อนด้วยความร้อนนี้ พบว่า การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยวิธีการตัดเลื่อนนี้มีตัวแปรที่สำคัญได้แก่ 1) การ ออกแบบชุดจับยึดใบมีด 2) ใบมีดตัดที่มีส่วนประกอบของคาร์ไบด์ 3) ตัวจับยึดชิ้นงาน 4) ตู้ควบคุมที่ ประกอบไปด้วย ชุดสายไฟ สวิตช์ อินเวอร์เตอร์ คอนแทกเตอร์และหม้อแปลง 5) ตัวแปรที่ส่งผลต่อความ เรียบผิวชิ้นงาน คือ อุณหภูมิของชิ้นงาน อัตราป้อน และความเร็วรอบ พบว่า อัตราป้อน ที่ 0.05 มิลลิเมตรต่อ รอบ ความเร็วรอบที่ 600 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ให้ความเรียบผิวที่ดีคือ 0.0015 มิลลิเมตร โดยกรณีที่มีความเรียบผิวที่ดีที่สุดคือ กรณีที่ 17 ครั้งที่ 2 ที่อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ 125 องศาเซลเซียส งานวิจัยนี้ส่งผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพ ทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยาง ลดความสิ้นเปลืองของวัสดุและ พลังงานในการขึ้นรูป ให้ก่อประโยชน์จริงในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางและผลิตภัณฑ์อื่นๆของ ประเทศได้ในอนาคต

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

ควรมีการนำศึกษาแนวทางการเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กับงานกลึงและงานกัดขึ้นรูป สำหรับการขึ้นรูปดอกยางของอุตสาหกรรมยางล้อต่อไป โดยอาศัยแนวทางและผลที่ได้จากการวิจัยในโครงการนี้ ตลอดจนความร่วมมืออย่างใกล้ชิดกับผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องต่อไป

ผลงานวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

นำผลงานของงานวิจัยนี้ออกเผยแพร่ในวารสารวิชาการ Kasetsart Journal (Natural Science) ต่อไป

บทคัดย่อ

จากแนวโน้มการขาดแคลนพลังงานของประเทศและของโลกในอนาคตอันใกล้นั้นทำให้การออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันต้องมีการคำนึงถึงการเลือกใช้วัตถุดิบ การเลือกใช้กระบวนการผลิตในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถใช้พลังงานที่เหมาะสมในการผลิตได้สำหรับในส่วนของการผลิตชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ยางนั้น โดยทั่วไปสามารถทำได้โดยการขึ้นรูปโดยการใช้แม่พิมพ์ทั้งแบบอัด กึ่งฉีด และแบบฉีด ซึ่งมักใช้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์ยางประเภทยางขอบกระจกรถยนต์ก็สามารถทำได้โดยกระบวนการรีดขึ้นรูป อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตดังกล่าวยังไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกกลิ้งยางทั้งแบบที่ไม่มีร่องและมีร่อง อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการผลิตคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้นำให้ประสิทธิภาพในการผลิตต่ำลงและเกิดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางเป็นจำนวนมาก ดังนั้น ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เสริมสำหรับลูกกลิ้งยางแบบไม่มีร่องและมีร่องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของมิดกิ้งและใช้ร่วมกับเครื่องกลิ้งที่ใช้กับวัสดุยางยางสไตรีนบิวตาไดอีน (styrene-butadiene rubber, SBR) ได้ ประกอบไปด้วยใบมีดตัด อุปกรณ์จับยึดใบมีด อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ชุดควบคุมกระแสไฟฟ้าสำหรับให้ความร้อนที่ใบมีด โดยใช้อินเวอร์เตอร์มาทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำหรับปรับค่าความถี่ของกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความร้อนในช่วง 25 – 250 องศาเซลเซียส พบว่า การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยวิธีการตัดเฉือนนั้นมีตัวแปรที่สำคัญได้แก่ 1) การออกแบบชุดจับยึดใบมีด 2) ใบมีดตัดที่มีส่วนประกอบของคาร์ไบด์ 3) ตัวจับยึดชิ้นงาน 4) ตัวควบคุมที่ประกอบไปด้วย ชุดสายไฟ สวิตช์ อินเวอร์เตอร์ คอนแทกเตอร์และหม้อแปลง 5) ตัวแปรที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงาน คือ อุณหภูมิของชิ้นงาน อัตราป้อน และความเร็รรอบ โดยอัตราป้อน ที่ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็รรอบที่ 600 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ให้ความเรียบผิวที่ดีคือ 0.0015 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถนำผลจากการวิจัยไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางเพื่อลดความสิ้นเปลืองของวัสดุได้

Abstract

With the current global energy crisis, the product design and manufacturing needs proper material selection and suitable production process in order to obtain the optimum productivity. For the rubber parts used in automotive, electrical and electronics industries, in general, their manufacturing includes calendaring and compression, transfer as well as injection mouldings. Nevertheless, these production methods have some limitations both in quality and lead time aspects and then they are not used for making some products such as rubber rollers with various groove shapes. Therefore, the objective in this work is to design and manufacture the novel thermal cutting system used with lathes for rubber rollers made of SBR. The system consists of cutting carbide blades, cutting tool holders, workpiece jig and fixture, controller for electrical current for blade heating and the inverter to transform the current frequency into the heat where temperature in the ranges of 25-250 Celsius is obtained. Then the system was tested to investigate the effect of major parameters including workpiece temperature, feed rate, and spindle speed on surface roughness of the roller. For the ranges performed in this study, the best surface finish of 0.0015 mm was found at the workpiece temperature, feed rate, and spindle speed of 125 Celsius, 0.05 mm per revolution and 600 revolution per minute, respectively. The developed thermal cutting system used with the lathe can be further used to obtain better rubber roller part quality, material saving and lead time reduction.

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

จากแนวโน้มการขาดแคลนพลังงานของประเทศและของโลกในอนาคตอันใกล้นั้นทำให้การออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันต้องมีการคำนึงถึงการเลือกใช้วัตถุดิบ การเลือกใช้กระบวนการผลิตในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถใช้พลังงานที่เหมาะสมในการผลิตได้ สำหรับในส่วนของการผลิตชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ยางนั้น โดยทั่วไปสามารถทำได้โดยการขึ้นรูปโดยการใช้แม่พิมพ์ทั้งแบบอัด กึ่งฉีด และแบบฉีด ซึ่งมักใช้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์ยางประเภทยางขอบกระจักรรถยนต์ก็สามารถทำได้โดยกระบวนการรีดขึ้นรูป อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตดังกล่าวยังไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกกลิ้งยางทั้งแบบที่ไม่มีร่องและมีร่อง การขึ้นรูปและตกแต่งผิวของยางดินตะขาบที่ใช้ในการเกษตรและการทหาร (ดังแสดงในรูปที่ 1) ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของผลิตภัณฑ์ (การบิดเบี้ยว ความเรียบของผิวและร่องของลูกกลิ้งที่ไม่ได้ค่าที่ยอมรับได้) และในด้านของความเสี่ยงของวัสดุและพลังงานในการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ (พลังงานความร้อนที่ใช้ในการขึ้นรูป) ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้นำไปสู่ประสิทธิภาพในการผลิตต่ำลงและเกิดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมนี้เสียโอกาสในการแข่งขันทั้งในประเทศและนานาชาติ ดังนั้นด้วยเหตุผลข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงคิดว่าจะมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาและพัฒนาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่สามารถผลิตลูกกลิ้งยางให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ในอุตสาหกรรม โดยใช้หลักการอื่นๆในการขึ้นรูปลูกกลิ้งยางเช่น การใช้กรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อนร่วมกับเครื่องกลึงขึ้นรูป โดยออกแบบในส่วนของคุณสมบัติอุณหภูมิเพื่อใช้สำหรับกลึง เป็นต้น ซึ่งหลักการดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น การย่อยเศษยางรถยนต์เพื่อนำมาใช้ใหม่ การผลิตยางล้อต้นแบบที่ใช้ในการเกษตร การขนถ่ายสินค้า อากาศยาน ได้อีกด้วย



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีตัดเฉือน

วัตถุดิบ

เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางโดยกระบวนการตัดเฉือนด้วยความร้อน

ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยยางเป็นวัสดุที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ยางรถยนต์ สปริง ตัวดูดซับแรงกระแทก วัสดุลดเสียง และตัวดูดซับแรงสั่นสะเทือน ประเก็น ของเล่น พื้นรองเท้า ท่อ เนื่องจากคุณสมบัติของยางในการขึ้นรูปได้ถึงแม้ถูกทำให้เปลี่ยนรูปไปอย่างมากและยางยังมีความทนต่อความล้า และยังสามารถในการดูดซับพลังงานได้สูง นอกจากนี้ผิวของยางมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกว่าเมื่อเทียบกับโลหะ [1]

ศุภสิทธิ์. [2] กล่าวถึงกระบวนการแปรรูปยางพาราด้วยวิธีขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ (moulding) เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีคือ แบบอัด (compression moulding) แบบกึ่งอัด (transfer moulding) และแบบฉีด (injection moulding) [3,4] โดยแม่พิมพ์แบบอัดจะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่รูปร่างไม่ซับซ้อน ซึ่งแม่พิมพ์อัดจะมีราคาถูกกว่าแบบอื่น [5-7] ในขณะที่แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีดจะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนปานกลางและใช้เวลาสั้นกว่าแบบอัด ส่วนแม่พิมพ์แบบฉีดจะเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนสูงโดยที่มีราคาของแม่พิมพ์สูงด้วยเช่นกัน ด้วยความต้องการในด้านความซับซ้อนของรูปร่างคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ยางในปัจจุบันมีส่วนทำให้ความต้องการแปรรูปแบบฉีดมีเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากสภาวะปัจจุบันภายในประเทศไทยยังมีความสามารถในการผลิตแม่พิมพ์ ค่อนข้างน้อย จึงเป็นผลให้ได้แม่พิมพ์ที่ไม่มีคุณภาพและมีผลิตภัณฑ์เสียเป็นจำนวนมาก และในบางกรณีการผลิตชิ้นงานยางก็ไม่คุ้มกับการทำแม่พิมพ์ เนื่องจากต้องการชิ้นงานในจำนวนน้อยและไม่คุ้มกับราคาของแม่พิมพ์ที่มีราคาสูง ดังนั้นการขึ้นรูปชิ้นงานยางของต้นแบบของผลิตภัณฑ์บางประเภท เช่น ยางรถยนต์หรือพื้นยางรองเท้าที่ต้องการแม่พิมพ์ที่ซับซ้อนในการผลิต ซึ่งต้องการเพียงชิ้นงานตัวอย่างหรือต้นแบบเพื่อที่จะนำมาพัฒนาต่อเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไปโดยในปัจจุบันยังจำเป็นที่จะต้องสร้างแม่พิมพ์เพื่อผลิตชิ้นงานต้นแบบดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การศึกษาการตัดเฉือนชิ้นงานยาง เพื่อเป็นทางเลือกที่สามารถลดเวลาและต้นทุนในการผลิตชิ้นงานต้นแบบรวมทั้งทดแทนการสร้างแม่พิมพ์ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง โดยมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างบ่อยครั้งเช่น ยางรถยนต์ และพื้นยางรองเท้า

การขึ้นรูปยางด้วยกระบวนการตัดเฉือน

จักรกฤษณ์. [8] ทำการแปรรูปยางด้วยกรรมวิธีการตัดเฉือน โดยใช้ไน้แข็งแห้ง (dry ice) ทำให้ยางมีความแข็งแรงขึ้นแล้วทำการตัดเฉือนด้วยเครื่องกัดในแนวแกนตั้ง (milling machinery) (ดังแสดงในรูปที่ 2) วิธีการนี้มีข้อจำกัดเนื่องจากต้องทำการแช่ยางด้วยไน้แข็งแห้ง แล้วต้องทำการตัดเฉือนในเวลา 5 นาที [2] หลังจากนั้นยางจะอ่อนตัว มีผลต่อความเรียบผิว



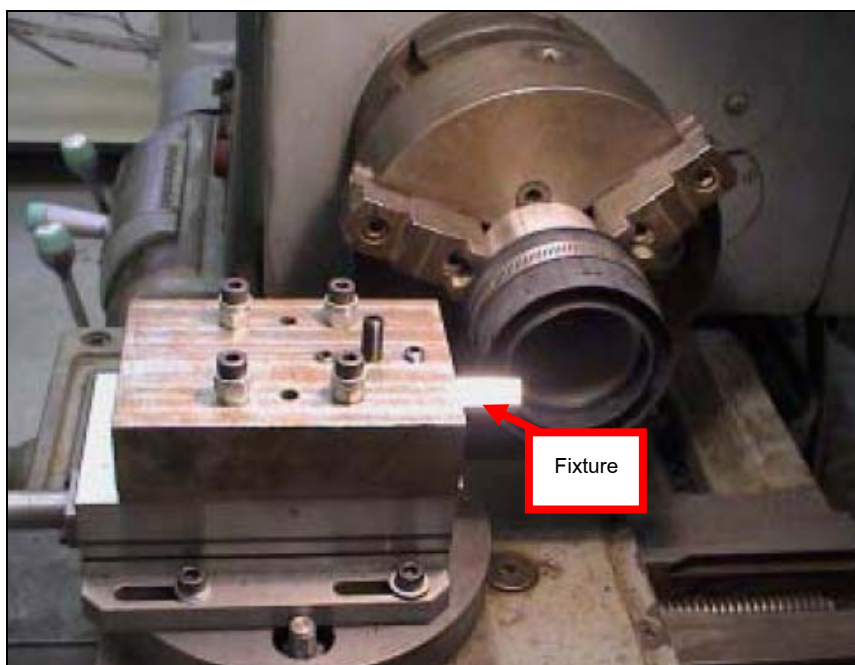
รูปที่ 2 ยางที่ผ่านการแช่น้ำแข็งแห้ง [8]

ภคธ. [2] เสนอการแปรรูปยางด้วยกระบวนการกลึง ซึ่งใช้น้ำแข็งแห้งที่ทำให้ยางเกิดความแข็งแรงแล้วทำการตัดเฉือนด้วยเครื่องกลึง (lathe machinery) โดยมีใช้ด้ามเหล็กสอดในชิ้นงานเพื่อช่วยในการจับยึดให้ยางคงตัว (ดังแสดงในรูปที่ 3) ทำให้การขึ้นรูปมีความเรียบผิวมากขึ้น



รูปที่ 3 ชิ้นงานยางที่มีด้ามเหล็กช่วยในการจับยึด [2,3]

บุญธรรม. [9] ได้นำเสนอการออกแบบตัวจับยึดชิ้นงาน (fixture) โดยพบว่าตัวจับยึดชิ้นงาน มีผลต่อความเรียบผิวในการตัดเฉือน Shih, A. J. [10] นำเสนอการออกแบบตัวจับยึดที่เหมาะสม สำหรับจับยึดชิ้นงานในกระบวนการกัดยาง กับใบมีดตัดที่สามารถตัดเฉือนชิ้นงานให้ความเรียบผิวที่ดีในระดับยอมรับได้ โดยพบว่าตัวจับยึดชิ้นงานมีผลต่อความเรียบผิว Rodkwan, S. [2,3] ได้นำเสนอการศึกษาการตัดเฉือนด้วยใบมีดด้วยการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการตัดเฉือนยาง วิเคราะห์ผลจาก เศษชิ้นงาน (chip morphology) เงื่อนไขการตัดเฉือน (machined surface condition) แรงในการตัดเฉือน (machining forces) ความเร็วในการป้อน (feed speed) มุมตัดเฉือน (rake angle) การใช้ความเร็วรอบที่สูงและมุมตัดเฉือนที่มีขนาดใหญ่ได้ผิวของยางที่มีความเรียบ อีกทั้งการออกแบบตัวจับยึดชิ้นงาน (fixture) (ดังแสดงในรูปที่ 4) มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน

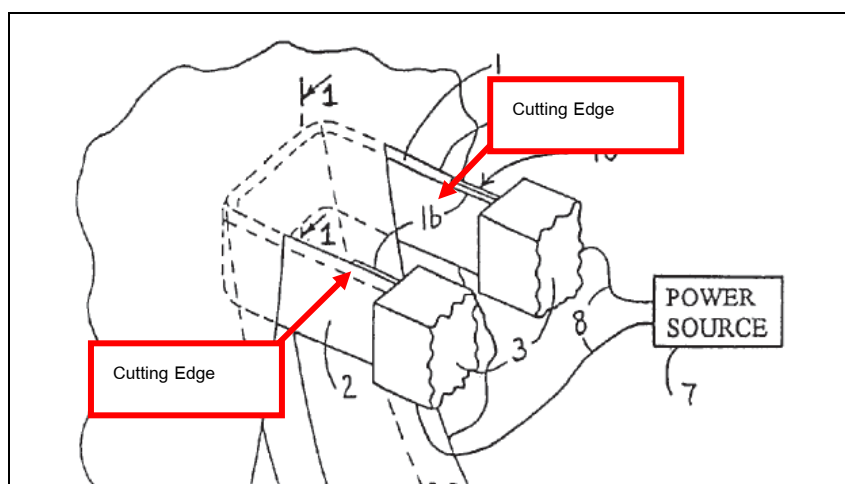


รูปที่ 4 การออกแบบตัวจับยึดชิ้นงาน [2]

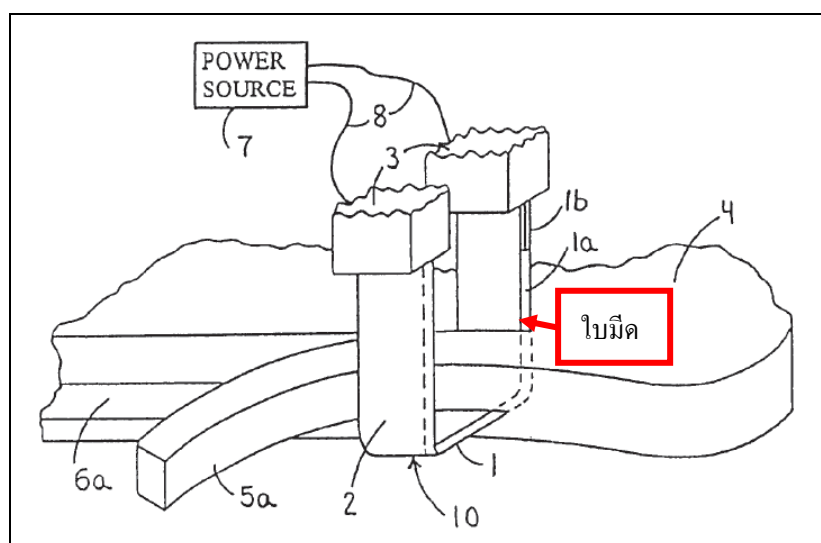
จากการแก้ปัญหาการตัดเฉือนด้วยวิธีดังที่กล่าวมายังไม่สามารถที่จะขึ้นรูปชิ้นงานบางประเภทได้ อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในเรื่องเทคโนโลยีการขึ้นรูปวัสดุหรืออีลาสโตเมอร์บางชนิด กระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการตัดเฉือนเหมาะสำหรับงานที่ใช้ร่อง ลวดลายของชิ้นงานที่เมื่อขึ้นรูป ยางด้วยวิธีการฉีดหรือการอัดขึ้นรูป อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตดังกล่าวยังไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกกลิ้งยางทั้งแบบที่ไม่มีร่องและมีร่อง ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของผลิตภัณฑ์ และในด้านของความสิ้นเปลืองของวัสดุ และพลังงานในการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ ทำให้นักวิจัยและนักประดิษฐ์หลายท่านให้ความสนใจในการแก้ปัญหานี้ นอกเหนือจากการขึ้นรูปด้วยวิธีการตัดเฉือนแล้ว ยังได้นำเอาเทคนิคอื่นๆ เช่น การ

ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน การออกแบบใบมีดที่สามารถขึ้นรูปลูกกลิ้งยางได้ รวมทั้งการนำเอาความร้อนโดยใช้กระแสไฟฟ้าผ่านใบมีดมาทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น

Kubala, Z. [11] ได้นำเสนอ ใบมีดตัดยางหรืออีลาสโตเมอร์ที่มีความต้านทานความร้อน (resistance-headed) โดยในส่วนของคมตัดทำจากวัสดุที่นำไฟฟ้าได้ดีและลักษณะเฉพาะตัวคือเป็นสื่อไฟฟ้า (thermal conductivity) เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านใบมีดตัด บริเวณคมตัดจะเป็นส่วนที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นส่วนที่มีการสัมผัสกับเนื้อของวัสดุ (ดังแสดงในรูป 5) ซึ่งการออกแบบคมตัด (ดังแสดงในรูป 6) ทำให้ประสิทธิภาพและความเรียบผิวที่ดีกว่าแบบอื่นๆ ลดการสูญเสียที่เกิดจากความร้อนระหว่างใบมีดกับวัสดุขณะทำการตัดเฉือน และชุดเครื่องขึ้นรูปยางด้วยความร้อนที่ใช้หลักการแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นความร้อน (ดังแสดงในรูปที่ 7)



รูปที่ 5 คมตัดที่มีสัมผัสกับเนื้อวัสดุอย่าง [11]

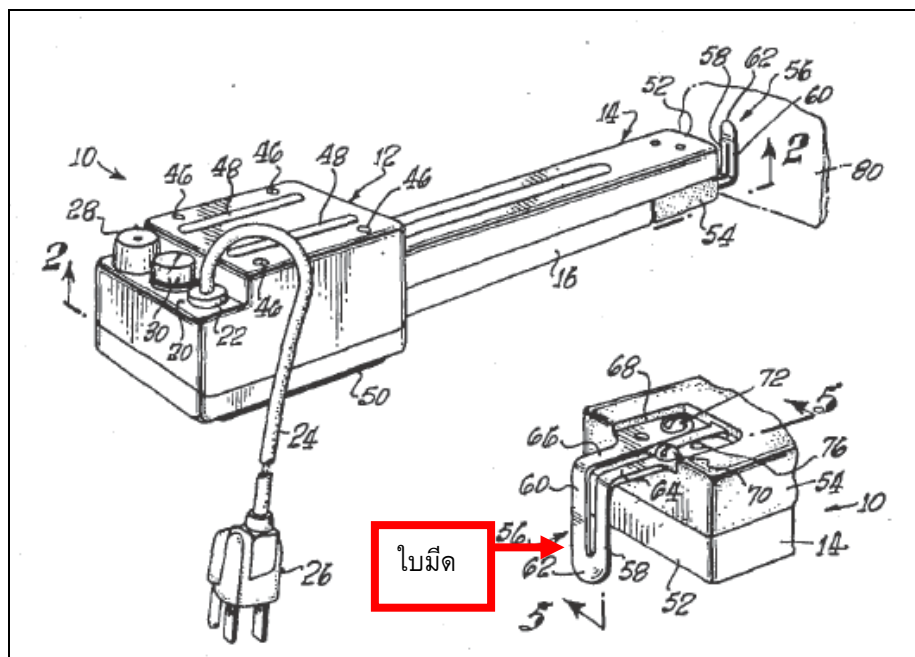


รูปที่ 6 ลักษณะใบมีดขณะตัดเฉือนวัสดุยาง [11]



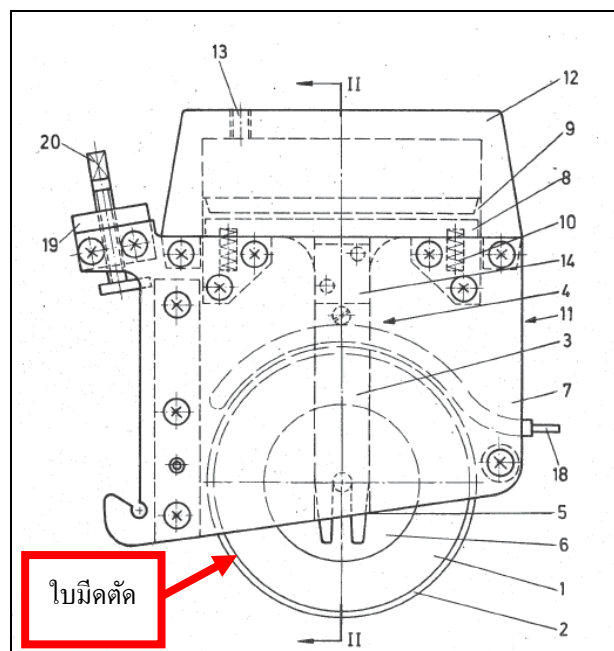
รูปที่ 7 เครื่องขึ้นรูปยางด้วยความร้อน [12]

Kraus, H. [13] ได้นำเสนอการใช้ใบมีดตัดเฉือนด้วยการนำไฟฟ้ามีตัวจับยึด (holder) ติดกับตัวใบมีด ลักษณะของใบมีดคล้ายกับแผ่นเป็นรูปตัวยู (ดังแสดงในรูปที่ 8) โดยการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าผ่านใบมีด



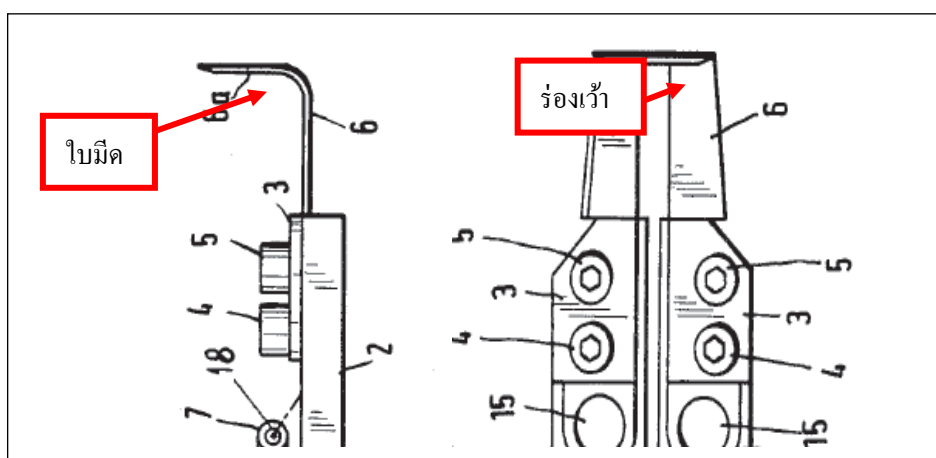
รูปที่ 8 อุปกรณ์ตัดเฉือนด้วยการนำไฟฟ้า [13]

Wingen, P. [14] นำเสนอชุดอุปกรณ์ตัดเนื้อด้วยความร้อนประกอบไปด้วยใบมีดตัดทรงแผ่นดิสก์ (ดังแสดงในรูป 9) โดยความร้อนอยู่มุมตัดของใบมีด

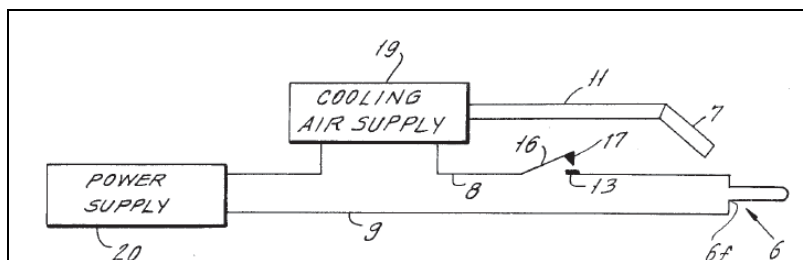


รูปที่ 9 ใบมีดที่มีลักษณะเป็นทรงแผ่นดิสก์ [14]

Wenger, H. [15] ได้จัดสร้างอุปกรณ์การตัดเนื้อด้วยความร้อนโดยทำการออกแบบอุปกรณ์ลักษณะใบมีดที่มีปลายแหลมเป็นรูปตัวยู ตัวจับยึดมีร่องเว้าเป็นรูปพระจันทร์ (ดังแสดงในรูป 10) เพื่อช่วยในเรื่องการระบายความร้อนระหว่างการตัดเนื้อ เมื่อผิวของวัสดุเข้ากับใบมีดสัมผัสกัน โดยมีการติดอุปกรณ์ระบายความร้อนเพื่อระบายความร้อนของใบมีดระหว่างกับตัดเนื้อ (ดังแสดงในรูปที่ 11)

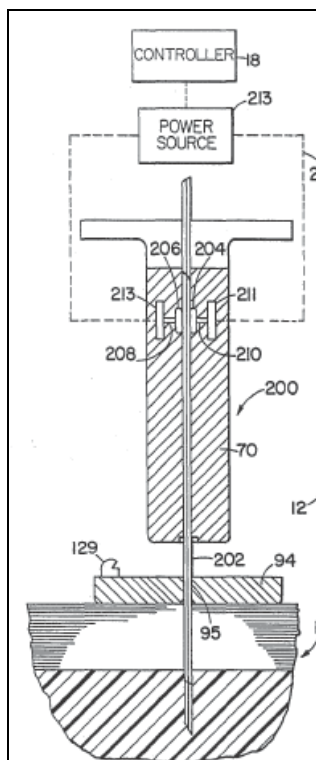


รูปที่ 10 ใบมีดตัดและอุปกรณ์จับยึดใบมีด [15]



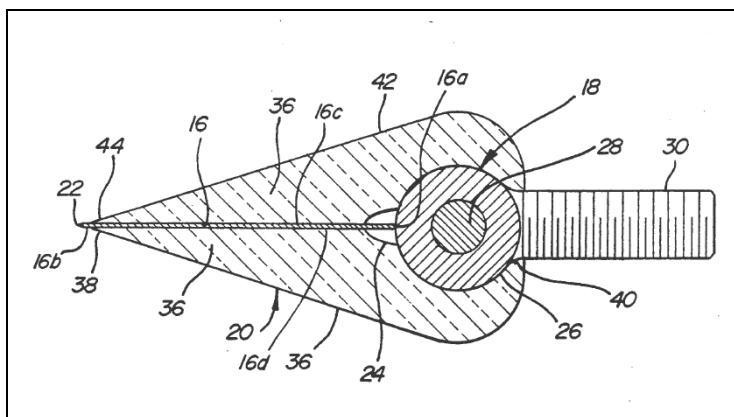
รูปที่ 11 ไบมีดตัดที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและอุปกรณ์ระบายความร้อน [15]

Gerber, H J. [16] ใช้วิธีการเอาขดลวด (coil) มานำความร้อนทำการตัดเนื้อวัสดุจำพวกเส้นใยเทอร์โมพลาสติก โดยการทดสอบมีการศึกษาในเรื่องของอุณหภูมิของขดลวด พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อความเรียบผิว Gerber ได้เสนอแนะการจัดสร้างไบมีดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้โดยใช้ตัวคอลโทลเลอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 12)



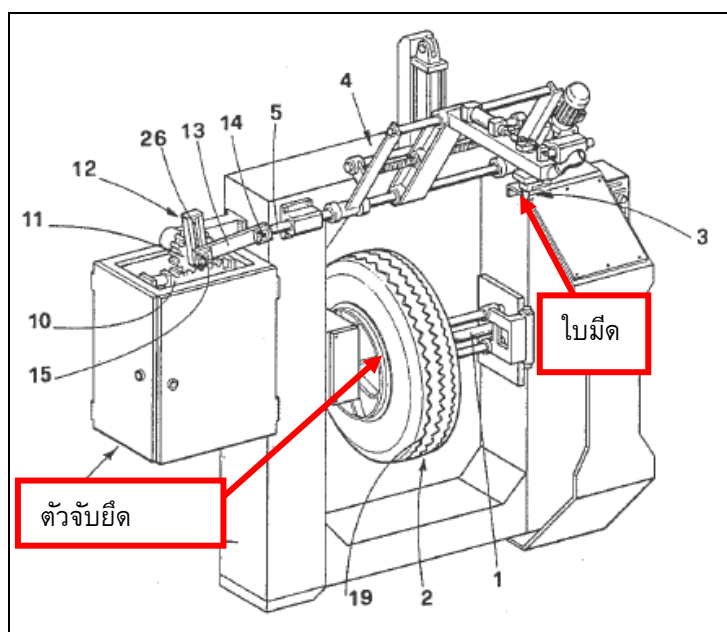
รูปที่ 12 ชุดเครื่องมือตัดมีตัวควบคุมกระแสไฟฟ้า [16]

Rosa-miranda, R. [17] ได้เสนอชุดไบมีดที่นำความร้อนรูป (ดังแสดงในรูป 13) เมื่อไบมีดสัมผัสกับเนื้อวัสดุยาง พบว่าได้ความเรียบผิวที่ดี ชิ้นงานยางที่ตัดออกมีลักษณะเป็นชิ้นยาว



รูปที่ 13 ชุดโคมัดนำความร้อน [17]

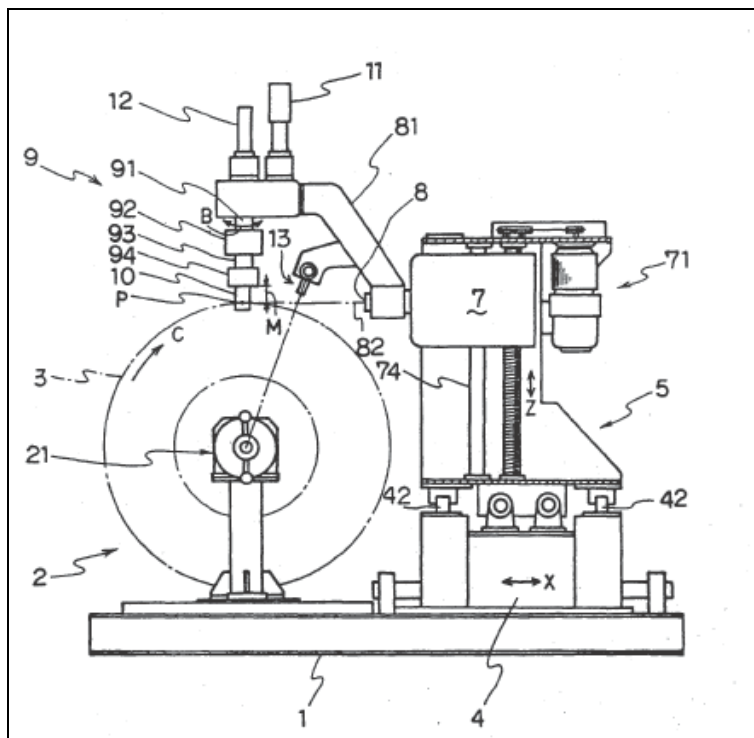
Matteuzzi, C.[18] ได้พัฒนาเครื่องกัดเซาะร่อง (groove) ยางรถยนต์ด้วยระบบอัตโนมัติ การทำเกลียว (treads) โดยชุดอุปกรณ์ประกอบไปด้วย โคมัด และเครื่องมือจับยึดชิ้นงานยาง โดยทำร่องได้หลายรูปแบบ (ดังแสดงในรูป 14)



รูปที่ 14 เครื่องขึ้นรูปดอกยางอัตโนมัติ [18]

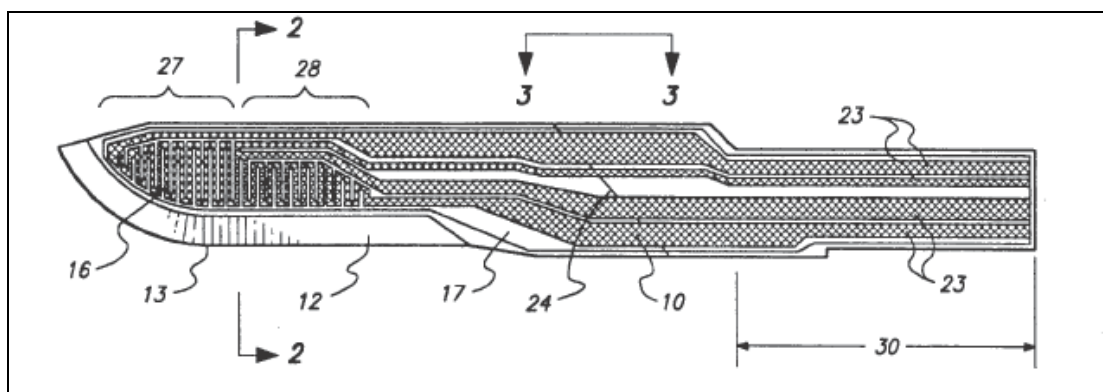
Appleby, P E. [19] เสนอวิธีการขึ้นรูปล้อยางโดยการนำความร้อนที่โคมัดแล้วทำการตัด เจียน และยังพบว่าความเรียบผิวของชิ้นงานขึ้นอยู่กับแบบของร่องที่ทำการกัดเซาะร่อง และความลึกของมีดตัด (depth of cut) ก็มีผลต่อความเรียบผิวเช่นกัน

Kinuhata, S. [20] ได้พัฒนาเครื่องกัดเซาะร่องยางรถยนต์ (ดังแสดงในรูปที่ 15) โดยมีรายละเอียดดังนี้ (1) สามารถป้องกันการเคลื่อนย้ายของชิ้นงาน (2) เคลื่อนไหวได้อย่างน้อยในทิศทางที่ขนานกับยาง (3) มีการสนับสนุนสายไฟฟ้าเคลื่อนที่ โดยอาศัยหลักการนำไฟฟ้า



รูปที่ 15 เครื่องกัดเซาะร่องยางรถยนต์ [20]

Eggers, P E. [21] นำเสนอการออกแบบไบมิดโดยมีลักษณะเคลือบสารนำไฟฟ้า (ดังแสดงในรูป 16) ทำการศึกษาในเรื่องอุณหภูมิของไบมิดในช่วงระหว่าง 20-70 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบผิวในแต่ละช่วง พบว่าวัสดุที่นำมาจัดสร้างไบมิดต้องมีความทนทานต่อความร้อนสูง



รูปที่ 16 ไบมิดที่มีการเคลือบสารนำไฟฟ้า [21]

การวัดความเรียบผิว

หลังจากที่มีการใช้กรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อนเสร็จสิ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบต้องนำไปทำการวัดความเรียบผิว (surface roughness) [2] การวัดความเรียบผิว ทำการวัดโดยใช้เครื่อง Contour ยี่ห้อ Mitutoyo Contpak พร้อมด้วยโปรแกรม Contpak v7.1 (ดังแสดงในรูปที่ 17) มีการวัดระยะในแนวแกน X และแนวแกน Z ซึ่งค่าที่นำมาใช้คือ ค่าในแนวแกน Z โดยทำการวัดทั้งหมด 5 จุด ในระยะที่ต่างกัน ข้อมูลที่ได้ถือเป็นข้อมูลดิบนำไปใช้คำนวณ (ดังแสดงในสมการที่ 1) [8] โดยจัดทำข้อมูลเป็นตาราง แล้วใช้หลักการทางสถิติมาวิเคราะห์



รูปที่ 17 เครื่องวัดความเรียบผิว ยี่ห้อ Mitutoyo Contpak พร้อมด้วยโปรแกรม Contpak v7.1 [2]

$$R_z = (\text{จุดที่}1) + (\text{จุดที่}2) + (\text{จุดที่}3) + (\text{จุดที่}4) + (\text{จุดที่}5) / 5 \quad (1)$$

1. การออกแบบอุปกรณ์

- ทำการออกแบบใบมีดตัดที่เหมาะสมสำหรับการตัดเนื้อด้วยความร้อน
- ทำการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ และระบบตรวจวัดอุณหภูมิขณะปฏิบัติงาน
- ทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึด (jig) ใบมีดตัด ที่มีความเหมาะสมในการตัดเนื้อ โดยทำการประกอบชุดเครื่องตัดเนื้อด้วยความร้อน มีรายละเอียดคือ (1) ชุดควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า (2) ชุดจ่ายกระแสไฟฟ้า (3) ชุดสายไฟ
- ทำการประกอบใบมีดตัด อุปกรณ์จับยึดใบมีดตัดและตัวเครื่องตัดเนื้อความร้อนเข้าด้วยกัน

2. ทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่เหมาะสมกับชิ้นงาน

3. วิธีการทดลอง

- วางแผนการทดลองให้ครอบคลุมปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานยาง
- ทดสอบตามแผนการทดลองที่ได้วางไว้ ซึ่งมีวิธีการดังนี้
 - เตรียมชิ้นงานลูกกลิ้งยางตามที่มีรูปร่างและขนาดตามแผนการทดลอง
 - ทำการจับยึดยางด้วยอุปกรณ์จับยึด
 - ทำการขึ้นรูปด้วยลูกกลิ้งยางยางด้วยกรรมวิธีการตัดเนื้อด้วยความร้อนตามเงื่อนไขของแผนการทดลอง
 - นำชิ้นงานที่ผ่านการตัดเนื้อไปวัดความเรียบผิวด้วยเครื่องวัดความเรียบผิว

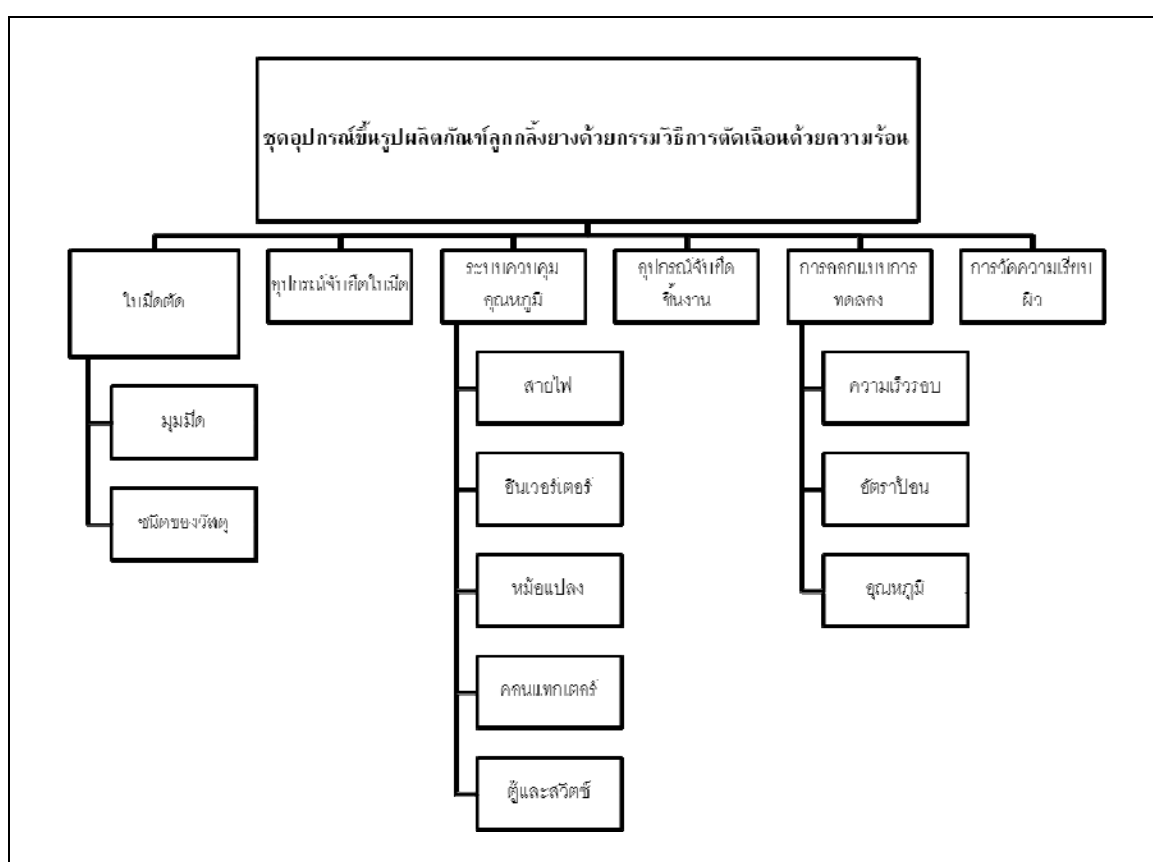
4. การเก็บข้อมูล

- ก่อนทำการตัดเนื้อ
 - ชนิดของยางที่นำมาใช้ในการทดสอบ
 - รูปร่างและขนาดของยาง
 - อุณหภูมิในการตัดเนื้อใช้ อินฟราเรด เทอร์โมมิเตอร์ (infrared thermometer) smart sensor AR300 infrared thermometer range from -32 to 300 degree ในการวัด (ตั้งแสดงในรูปที่ 50)
- ขณะทำการตัดเนื้อ
 - เศษยาง (chip morphology)
- หลังทำการตัดเนื้อ
 - ความเรียบผิวบริเวณร่องของชิ้นงาน

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

- ใช้เครื่องวัดความเรียบผิว (surface roughness) ยี่ห้อ mitutoyo contourpak v7.10 วัดความเรียบผิว

- การวัดความเรียบผิว ทำการวัดความเรียบผิวในแนวแกน z วัดผิวความเรียบของร่องชิ้นงานจำนวน 5 ตำแหน่งๆละ 3 ครั้งแล้วนำเอาหลักทางสถิติมาประเมินความเรียบผิวของชิ้นงาน
- สร้างแบบจำลองโดยการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขต่างๆ ที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานยาง เช่น อัตราการป้อน (feed) ความเร็วรอบ (spindle speed) อุณหภูมิ (temperature) ของใบมีด
- หาความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไข เช่น อัตราการป้อน ความเร็วรอบ อุณหภูมิของใบมีดแรงกดของใบมีดและความลึกของมีดตัด
- สรุปผลความเรียบผิวเปรียบเทียบกับชิ้นงานตั้งต้น



รูปที่ 19 ผังการดำเนินการในการออกแบบชุดอุปกรณ์ขึ้นด้วยกรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการวิจัย

กิจกรรมที่ 1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประชุมและกำหนดแผนงาน

วางแผนกับผู้ประกอบการ โดยเริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีการขึ้นรูปวัสดุยางด้วยความร้อนโดยเน้นในส่วนของใบมีดและระบบตัวจับยึดใบมีดที่นำมาใช้กับเครื่องกลึง (turning machine) (ดังแสดงในรูปที่ 20) มีรายละเอียดของรุ่น (ดังแสดงในรูปที่ 21)



รูปที่ 20 เครื่องกลึงที่นำมาศึกษาเพื่อนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ตัดเฉือนด้วยความร้อน

TECHNICAL FEATURES:	UNITS	
Capacities		
Swing over bed	mm/in	460 / 18
Swing over cross side	mm/in	250 / 9.8
Bar capacity thru spindle	mm/in	52 / 2
Distance between centers	mm/in	800,1000,1500 / 32, 40, 60
Headstock		
Spindle nose	ASA	A1-6"
Hole thru spindle	mm/in	52 / 2
Spindle center	MT	No. 4
Spindle speeds number		12
Spindle speeds range	rpm	25,36,53,70,100,145,265, 380,555,715,1020,1500
Thread and feed		
English threads, number		32
English threads, range		4-56
Metric threads, number		21
Metric threads, range		0.5-7
Logitudinal feeds, number		24
Logitudinal feeds, range	mm/in	0.071-0.5 / 0.0028-0.02
Cross feeds		1/2 of longitudinal feeds
Lead screw dia.	mm/in	35 / 1.4
Carriage		
Length on bed	mm/in	590 / 23.2
Cross slide	mm/in	215(W),680(L),47(D) / 8.5(W),26.8(L),1.9(D)
Cross slide travel	mm/in	285 / 11.2
Compound rest travel	mm/in	145 / 5.7
Tool block, capacity	mm/in	25x25 / 1x1
Tail stock		
Spindle dia.	mm/in	65 / 2.6
Center	MT	No.4
Spindle travel	mm/in	150 / 5.9
Bed		
Width	mm/in	370 / 14.6
Depth	mm/in	340 / 13.4
Length	mm/in	1970,2170,2680 / 77.5,85.4,105.5
Motor		
Main motor std.	kW/hp	3.7 / 5
Main motor Opt.	kW/hp	5.5 / 7.5
Machine Dimension		
Floor space (W x L)	mm/in	1028(W) x 2268,2468,2978(L) / 40.5 x 89.3,97.2,117.2
Height	mm/in	1226 / 48.3
Net weight	kg/lbs	1950,2000,2300 / 4300,4400,5070
Gross weight	kg/lbs	2250,2300,2700 / 4960,5070,5950

รูปที่ 22 รายละเอียดของเครื่องกลึง Takisawa TAL 460 [22]

เริ่มจากการที่วิจัยเบื้องต้นด้วยการออกแบบตัวเครื่อง ออกแบบระบบไฟฟ้าที่สามารถนำความร้อนส่งผ่านมาที่ตัวใบมีดได้โดยใช้เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับอินเวอร์เตอร์ (inverter) (ดังแสดงในรูปที่ 23) ใช้สำหรับปรับความถี่ของกระแสไฟฟ้าโดยเชื่อมต่อกับหม้อแปลง ขนาด 1 V 150 A (ดังแสดงในรูปที่ 24)



รูปที่ 23 เครื่องแปลงไฟที่ใช้ปรับความถี่ของกระแส



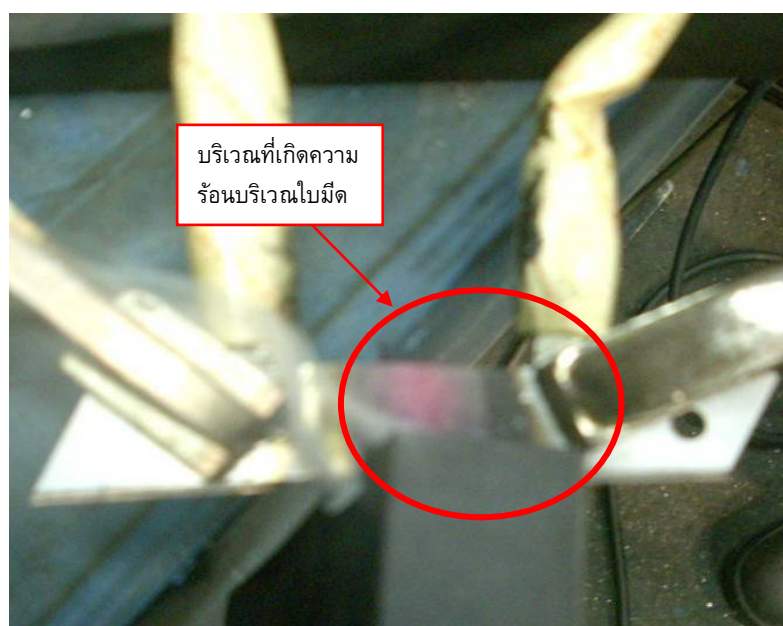
รูปที่ 24 หม้อแปลง ขนาด 1V 150A

ประกอบอุปกรณ์เข้าด้วยกันโดยต่อสายไฟ แล้วทำการทดสอบการถ่ายเทความร้อนด้วยการใช้วัสดุเหล็กสแตนเลส (stainless steel) ที่มีคมตัด (ดังแสดงในรูปที่ 25) มาเชื่อมต่อกับตัวหม้อ

แปลงโดยใช้คีมในการจับยึดในส่วนของไบมิด ผลลัพธ์ที่ได้คือ สามารถนำความร้อนมาสู่ที่ตัวมิดได้
ดังจะเห็นได้จากรอยสีแดงที่บริเวณไบมิดที่เกิดจากความร้อน (ดังแสดงในรูปที่ 26)



รูปที่ 25 ไบมิดที่ทำมาจากเหล็กสแตนเลส



รูปที่ 26 ความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณไบมิด

หลังจากที่ได้ทำการวิจัยในเบื้องต้นพบว่าอุณหภูมิที่สามารถปรับค่าได้อยู่ในช่วง 25 - 300 องศาเซลเซียส แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของคุณสมบัติการทนต่อความร้อนของสแตนเลส ถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงเกินจากนี้ทำให้ตัวไบมิดเกิดการเสียรูปหลอมละลายเนื่องจากความร้อน หลังจากนั้นลองทดสอบการตัดเชื่อมกับวัสดุที่เป็นยางโดยนำเอา ยางสไตรีนบิวตาไดอีน (Styrene-Butadiene

Rubber, SBR) ที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง x ยาว x สูง คือ 2.5 x 10 x 10 เซนติเมตร มีความแข็งที่ 75 shore A ที่ได้จากการทดสอบมาลองทำการตัดเฉือน พบว่าสามารถทำให้ยางเกิดการฉีกขาดที่บริเวณพื้นผิวได้ เมื่อสังเกตบริเวณพื้นผิวที่ถูกการตัดเฉือนด้วยตาเปล่าจะพบความเรียบผิวที่ดี (ดังแสดงในรูปที่ 27) เศษยาง (chip) ที่ได้นั้นมีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียว ผิวเรียบเสมอกันในระดับที่มองเห็นได้ด้วยสายตา (ดังแสดงในรูปที่ 28)



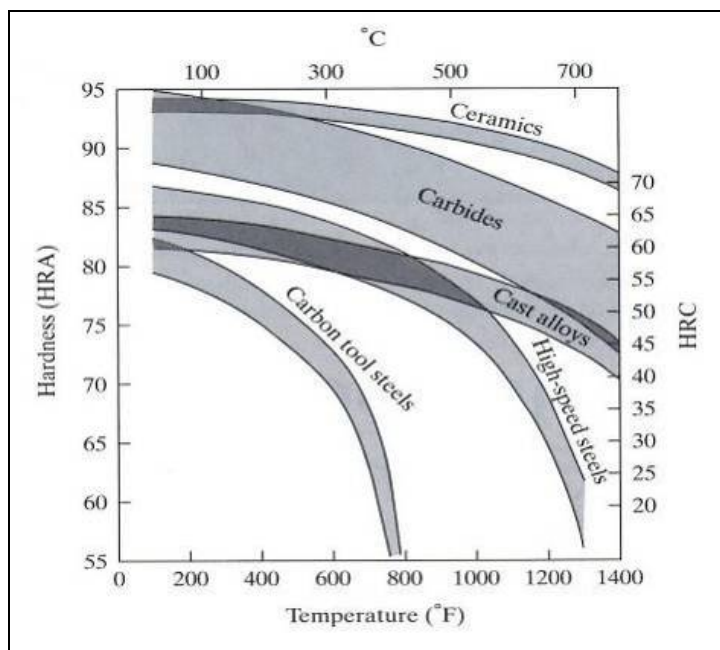
รูปที่ 27 ยาง SBR ที่นำมาใช้ทดสอบตัวไบมิดตัด



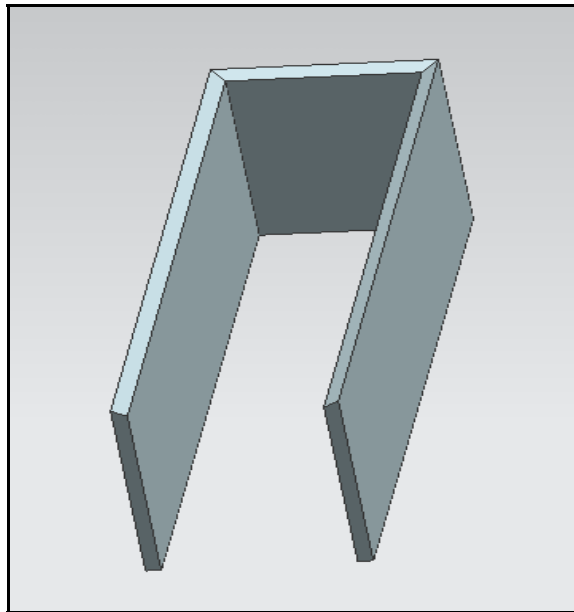
รูปที่ 28 เศษยางที่ได้นั้นมีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียว

กิจกรรมที่ 2 การออกแบบใบมีดตัดและอุปกรณ์จับยึดใบมีดตัด

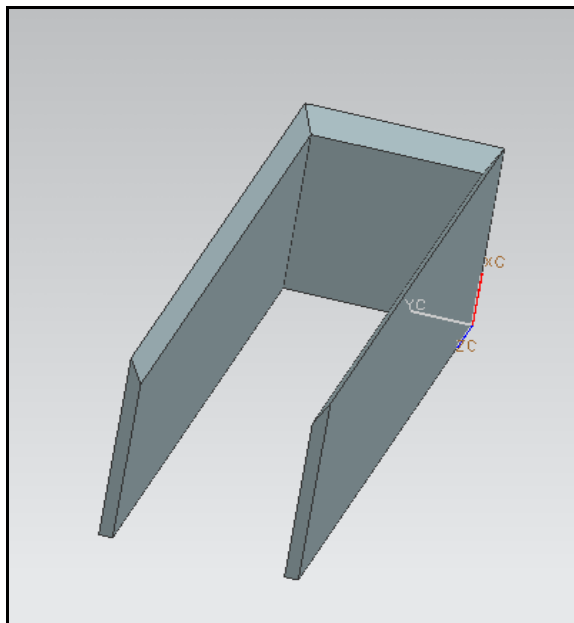
เมื่อทำการทดลองโดยการนำพาความร้อนจากเครื่องที่ผ่านใบมีดแล้วทำการตัดเฉือนแล้วสามารถทำได้โดยให้ความเรียบผิวที่ดีก็ดำเนินการออกแบบใบมีดที่เหมาะสมสำหรับอุณหภูมิช่วงที่อยู่ ระหว่าง 200 – 500 องศาเซลเซียส โดยทำการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) ทำการออกแบบของมุมของมุมตัด (Rack angle) โดยทำการออกแบบเป็น 4 ชนิด มุมของมุมคาย (rake angle) ที่ 27 องศา และ 63 องศา ตามลำดับ [3] และเพิ่มส่วนของ Fillet บริเวณขอบใบมีดโดยมีมุมคายคือ 27 องศา และ 63 องศาเช่นกัน (ดังแสดงในรูปที่ 30-33 ตามลำดับ) และเมื่อดูจากกราฟความสัมพันธ์แข็งแรงของวัสดุ (hardness) และอุณหภูมิ (ดังแสดงในรูปที่ 29) พบว่าคาร์ไบด์ (Carbide) มีความแข็งแรงลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจากช่วง 150-700 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการตัดเฉือนวัสดุอย่างด้วยความร้อน ดังนั้นจึงเลือกวัสดุคาร์ไบด์มาทำใบมีด



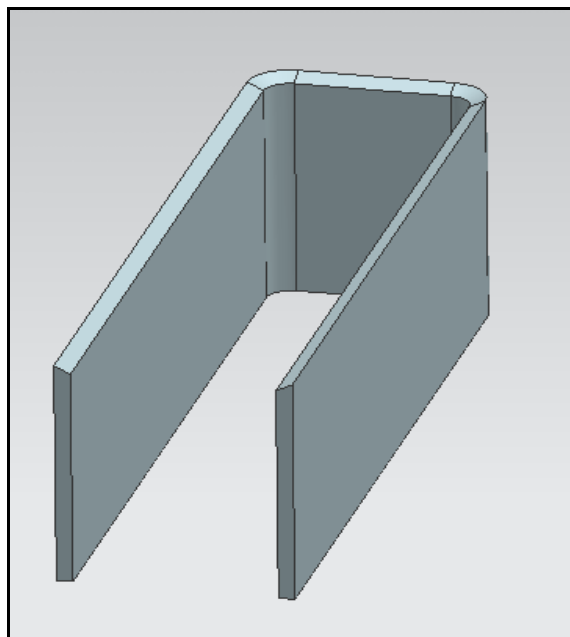
รูปที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของวัสดุกับความแข็งแรง [23]



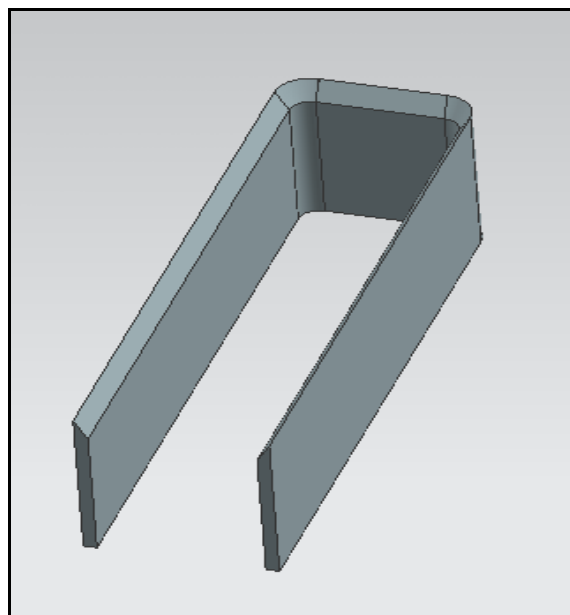
รูปที่ 30 ไบมีดตัดที่มีขนาดมุมคาย 27 องศา



รูปที่ 31 ไบมีดตัดที่มีขนาดมุมคาย 63 องศา



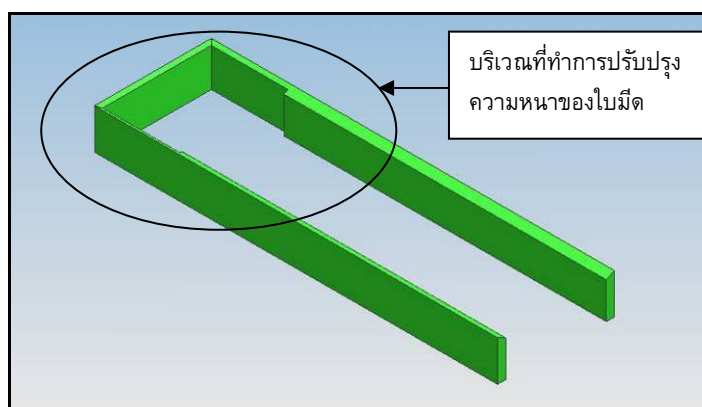
รูปที่ 32 โปมีดตัดที่มีขนาดมุมคาย 27 องศา แบบมี Fillet



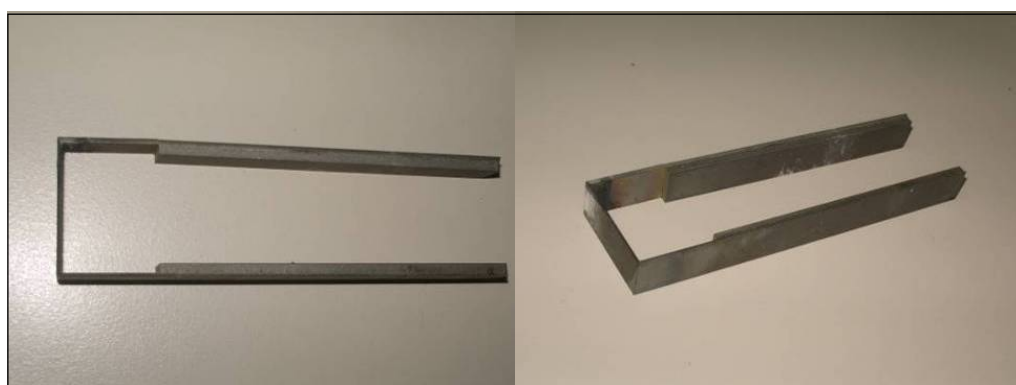
รูปที่ 33 โปมีดตัดที่มีขนาดมุมคาย 63 องศา แบบมี Fillet

หลังจากที่ศึกษาค้นคว้าวิจัยในเรื่องของวัสดุโปมีดและลักษณะของโปมีดจึงได้ข้อสรุปในเบื้องต้นจัดสร้างโปมีดตัดที่มีมุมคายขนาด 63 องศา ซึ่งเมื่อนำมาทดลองกับการให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านโดยอินเวอร์เตอร์กับหม้อแปลงไม่สามารถให้ความร้อนตามที่ต้องการคือในช่วง 200 – 300 องศาเซลเซียสได้ เนื่องจากความหนาของโปมีดที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงรูปร่างของโปมีดด้วยการลดความหนาบริเวณที่ใช้ในการตัดเฉือนให้เหลือเพียง 1 มิลลิเมตรเพื่อให้

ความร้อนกระจายทั่วบริเวณปลายใบมีดที่ใช้สัมผัสกับเนื้อยาง (ดังแสดงในรูปที่ 34 และรูปที่ 35 ตามลำดับ)



รูปที่ 34 ใบมีดตัดที่ผ่านการปรับปรุงความหนา



รูปที่ 35 ใบมีดตัดต้นแบบที่สร้างจากวัสดุคาร์ไบด์

ในส่วนของตัวจับยึดใบมีดตัด (tool holder) หลังจากที้ออกแบบใบมีดเรียบเรียบร้อยแล้ว จึงออกแบบตัวจับยึดใบมีดตัด (ดังแสดงในรูปที่ 36) ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design, CAD) ในส่วนของตัวจับยึดนั้นทำจากวัสดุทองแดง (copper) เพื่อคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ผ่านหม้อแปลงส่งผ่านไปยังตัวใบมีดที่ทำจากวัสดุคาร์ไบด์ (ดังแสดงในรูปที่ 37) แล้วครอบด้วยฉนวนไฟฟ้าก่อนที่จะมาประกอบเข้ากับตัวใบมีดตัด โดยตัดแผ่นไม้มาทำเป็นฉนวนไฟฟ้า (ดังแสดงในรูปที่ 38 และ 39 ตามลำดับ)

กิจกรรมที่ 3 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ

ประกอบตัวจับยึดใบมีดและใบมีดที่ใช้สำหรับตัดเฉือนเข้าด้วยกัน (ดังแสดงในรูปที่ 40) จากนั้นประกอบชุดระบบควบคุมอุณหภูมิ มีรายละเอียดดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 41)

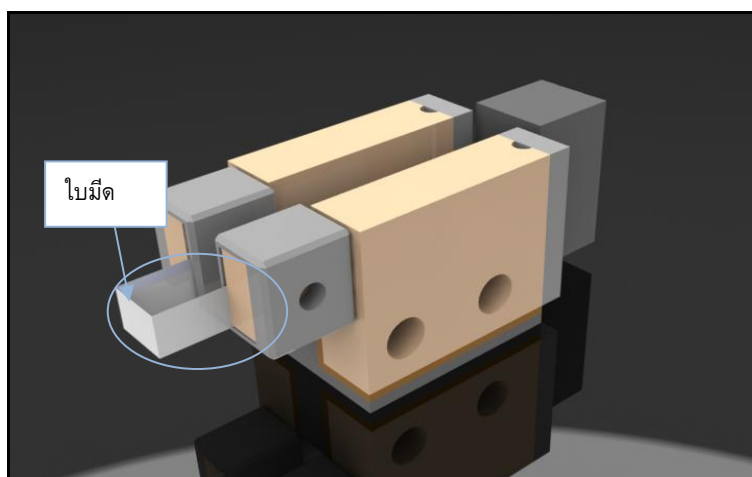
1) สายไฟ

2) อินเวอร์เตอร์รุ่น Delta VFD-E 1 เฟส ซึ่งอินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

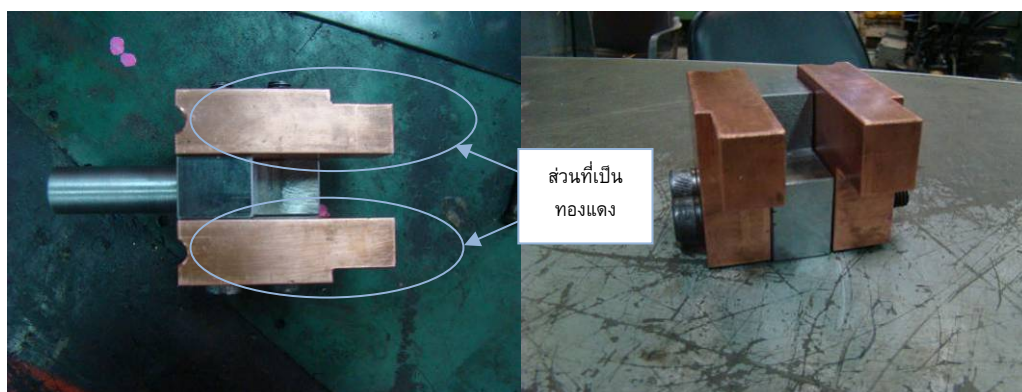
3) หม้อแปลงเพิ่มขนาดกระแสและแรงดันตามลำดับจาก 1V 150A เป็น 2V 500A เนื่องจากการทดลองเบื้องต้นหม้อแปลง 1V 150A ให้ความร้อนต่ำ จึงมีการเพิ่มขนาดเป็น 2V 500A เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจรหนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่งโดยวิธีทางวงจรแม่เหล็กซึ่งไม่มีจุดต่อไฟฟ้าถึงกันและไม่มีชิ้นส่วนทางกลเคลื่อนที่ โดยทั่วไปเราใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้มีขนาดลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยมีความถี่ไฟฟ้าคงเดิม

4) คอนแทกเตอร์ (contactor) คือ การใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนน้อยเพื่อไปควบคุมการตัดต่อกำลังไฟฟ้าจำนวนมาก คอนแทกเตอร์ ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งอื่นๆ ของระบบไฟฟ้าได้ สายไฟควบคุมให้ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอล์ยเป็นไฟฟ้ากระแสตรง การใช้คอนแทกเตอร์ทำให้สามารถควบคุมวงจรจากระยะไกล (remote) ได้ ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมกำลังไฟฟ้า

5) ตู้และสวิตช์ (switch) สำหรับควบคุม



รูปที่ 36 ตัวจับยึดใบมีดที่ทำการออกแบบ



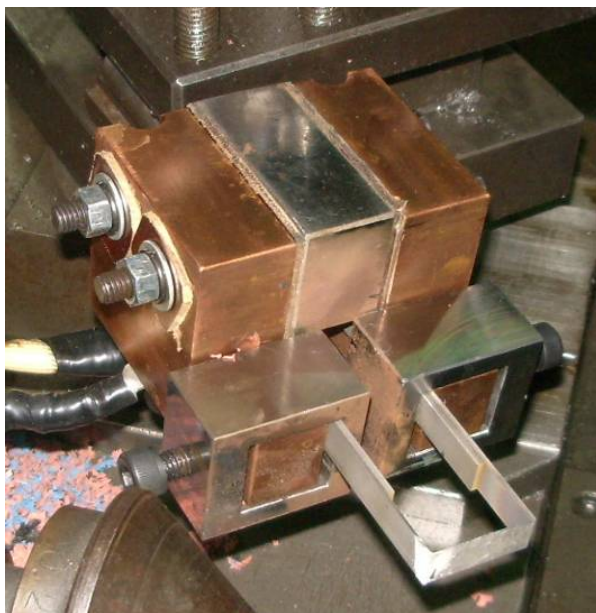
รูปที่ 37 ตัวจับยึดใบมีดที่ทำการสร้างโดยใช้วัสดุทองแดง



รูปที่ 38 ขั้นตอนในการตัดวัสดุมาใช้ทำเป็นฉนวน



รูปที่ 39 ขั้นตอนการเจาะรูเพื่อยึดฉนวนกับตัวจับยึดชิ้นงานในส่วนที่เป็นทองแดง



รูปที่ 40 ประกอบตัวจับยึดชิ้นงานกับใบมีดเข้าด้วยกัน



รูปที่ 41 ชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปด้วยความร้อน

กิจกรรมที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

เนื่องจากอีลาสโตเมอร์ (elastomers) เป็นโพลิเมอร์แบบอสัณฐาน (amorphous polymers) โดยอีลาสโตเมอร์สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ เทอร์โมเซต (thermosets) และ เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) โดยเทอร์โมเซตจะมีโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย 3 มิติ (3D Network) มีสายโมเลกุลยาวซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะทางเคมี และสามารถดูดซับสารละลายได้ดี แต่ไม่

สามารถขึ้นรูปใหม่อีกครั้งได้ด้วยการให้ความร้อน ส่วนโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกนั้นจะแตกต่างกันออกไปเพราะแต่ละโมเลกุลจะเชื่อมกันทางกายภาพเท่านั้น และสามารถดูดซับสารละลายได้บางอย่างเท่านั้น นอกจากนั้นเทอร์โมพลาสติกสามารถทำการขึ้นรูปใหม่อีกครั้งได้ด้วยการให้ความร้อน ทั้งเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติกถูกนำไปใช้แตกต่างกันตามคุณสมบัติต่างๆ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้ว ความต้องการที่จะนำไปใช้เป็นยางรถยนต์ และยางรองแท่นเครื่องยนต์นั้น เทอร์โมเซตจะเหมาะสมกว่าเนื่องจากคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่น (elasticity) และความทนทาน (durability) โดยหลังจากการเติมสารเคมีต่างๆ เข้าไปผสมกับอีลาสโตเมอร์ จะได้สิ่งที่เรียกว่า คอมพาวนด์ (compound) และเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนและกระบวนการวัลคาไนเซชัน (vulcanization) แล้วจะได้สิ่งที่เรียกว่า ยาง ดังนั้น การที่จับยึดวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูงจึงเป็นเรื่องยาก ดังนั้นจึงใช้วิธีการจับยึดด้วยการสร้างแท่งเหล็ก [2] (ดังแสดงในรูปที่ 42) สอดเข้ากับวัสดุที่นำมาใช้ในการทดสอบกระบวนการตัดเฉือนด้วยความร้อนคือยาง SBR ความแข็ง (hardness) 75 shore A (ดังแสดงในรูปที่ 43)



รูปที่ 42 แท่งเหล็กสำหรับยึดแกนกลางของแท่งยาง



รูปที่ 43 ยาง SBR ความแข็ง 75 shore A

เมื่อทำการออกแบบและผลิตใบมีดตัด อุปกรณ์จับยึดใบมีดตัด และอุปกรณ์จับยึดชิ้นเรียบร้อยแล้ว จึงประกอบชุดอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน แล้วนำมาติดตั้งใช้ร่วมกับตัวเครื่องกลึง (ดังแสดงในรูปที่ 44-45 ตามลำดับ)



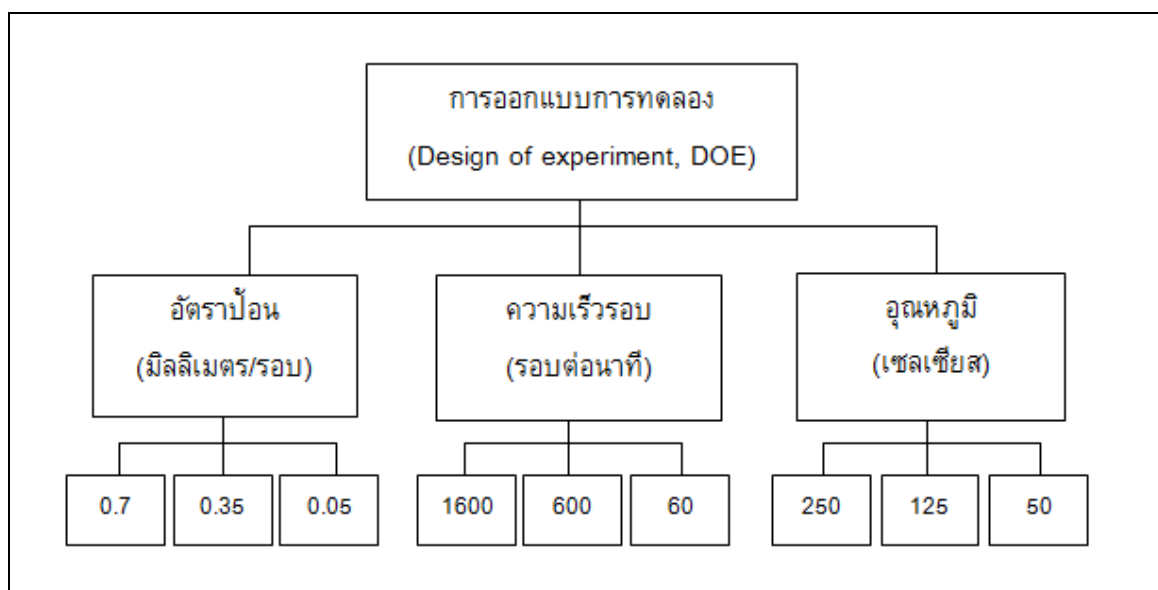
รูปที่ 44 ติดตั้งชุดอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ หม้อแปลงและตัวจับยึดใบมีดเข้าด้วยกัน



รูปที่ 45 ติดตั้งไบมีดเข้ากับตัวจับยึดไบมีด

กิจกรรมที่ 5 การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment, DOE) ทดสอบการตัดเฉือนด้วยความร้อนและเก็บข้อมูล

ออกแบบการวิจัยโดยมีปัจจัยที่ศึกษาออกเป็นทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ อัตราป้อน (feed) ความเร็วรอบ (spindle speed) และอุณหภูมิ (temperature) (ดังแสดงในรูปที่ 46) โดยตัวแปรที่ใช้มี 3 ระดับคือ สูง กลาง ต่ำ และทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง รวมมีการทดลองทั้งหมด 81 ครั้ง [24] (ดังแสดงในตารางที่ 1)



รูปที่ 46 การออกแบบการทดลอง

ตารางที่ 1 กรณีการวิจัยการขึ้นรูปยางด้วยความร้อนที่ได้จากการออกแบบการทดลอง

กรณี	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)
1	0.70	1600	250
2	0.70	1600	125
3	0.70	1600	50
4	0.35	1600	250
5	0.35	1600	125
6	0.35	1600	50
7	0.05	1600	250
8	0.05	1600	125
9	0.05	1600	50
10	0.70	600	250
11	0.70	600	125
12	0.70	600	50
13	0.35	600	250
14	0.35	600	125
15	0.35	600	50
16	0.05	600	250
17	0.05	600	125
18	0.05	600	50
19	0.70	60	250
20	0.70	60	125
21	0.70	60	50
22	0.35	60	250
23	0.35	60	125
24	0.35	60	50
25	0.05	60	250
26	0.05	60	125
27	0.05	60	50

ตารางที่ 2 ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานยาง

กรณี	ทำซ้ำ	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)	ความหยาบผิว (มิลลิเมตร)
1	1	0.7	1600	250	0.0527
	2	0.7	1600	250	0.0499
	3	0.7	1600	250	0.0518
2	1	0.7	1600	125	0.0485
	2	0.7	1600	125	0.0492

กรณี	ทำซ้ำ	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)	ความหยาบผิว (มิลลิเมตร)
	3	0.7	1600	125	0.0479
3	1	0.7	1600	50	0.0488
	2	0.7	1600	50	0.0492
	3	0.7	1600	50	0.0497
4	1	0.35	1600	250	0.0086
	2	0.35	1600	250	0.0095
	3	0.35	1600	250	0.0079
5	1	0.35	1600	125	0.0069
	2	0.35	1600	125	0.0071
	3	0.35	1600	125	0.0065
6	1	0.35	1600	50	0.0068
	2	0.35	1600	50	0.0073
	3	0.35	1600	50	0.0072
7	1	0.05	1600	250	0.0035
	2	0.05	1600	250	0.0032
	3	0.05	1600	250	0.0029
8	1	0.05	1600	125	0.0022
	2	0.05	1600	125	0.0021
	3	0.05	1600	125	0.0024
9	1	0.05	1600	50	0.0026
	2	0.05	1600	50	0.0028
	3	0.05	1600	50	0.0029
10	1	0.7	600	250	0.0422
	2	0.7	600	250	0.0435
	3	0.7	600	250	0.0428
11	1	0.7	600	125	0.0411
	2	0.7	600	125	0.0409
	3	0.7	600	125	0.0429
12	1	0.7	600	50	0.0426
	2	0.7	600	50	0.0427
	3	0.7	600	50	0.0421
13	1	0.35	600	250	0.0116
	2	0.35	600	250	0.0119
	3	0.35	600	250	0.0114
14	1	0.35	600	125	0.0097
	2	0.35	600	125	0.0101

กรณี	ทำซ้ำ	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)	ความหยาบผิว (มิลลิเมตร)
	3	0.35	600	125	0.0094
15	1	0.35	600	50	0.0111
	2	0.35	600	50	0.0109
	3	0.35	600	50	0.0107
16	1	0.05	600	250	0.0020
	2	0.05	600	250	0.0024
	3	0.05	600	250	0.0019
17	1	0.05	600	125	0.0016
	2	0.05	600	125	0.0015
	3	0.05	600	125	0.0016
18	1	0.05	600	50	0.0021
	2	0.05	600	50	0.0023
	3	0.05	600	50	0.0024
19	1	0.7	60	250	0.1465
	2	0.7	60	250	0.1469
	3	0.7	60	250	0.1471
20	1	0.7	60	125	0.1450
	2	0.7	60	125	0.1442
	3	0.7	60	125	0.1438
21	1	0.7	60	50	0.1451
	2	0.7	60	50	0.1452
	3	0.7	60	50	0.1454
22	1	0.35	60	250	0.0465
	2	0.35	60	250	0.0461
	3	0.35	60	250	0.0463
23	1	0.35	60	125	0.0432
	2	0.35	60	125	0.0435
	3	0.35	60	125	0.0429
24	1	0.35	60	50	0.0441
	2	0.35	60	50	0.0447
	3	0.35	60	50	0.0445
25	1	0.05	60	250	0.0035
	2	0.05	60	250	0.0034
	3	0.05	60	250	0.0036
26	1	0.05	60	125	0.0030
	2	0.05	60	125	0.0028

กรณี	ทำซ้ำ	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิ (เซลเซียส)	ความหนาผิว (มิลลิเมตร)
	3	0.05	60	125	0.0029
27	1	0.05	60	50	0.0032
	2	0.05	60	50	0.0033
	3	0.05	60	50	0.0032

หลังจากการติดตั้งชุดอุปกรณ์ทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว ดำเนินการทดสอบชุดอุปกรณ์เบื้องต้น ด้วยการตัดเฉือนด้วยความร้อน โดยใช้ยาง SBR ที่ความแข็ง 75 shore A ในการทดสอบ (ดังแสดงในรูปที่ 47-49 ตามลำดับ) เริ่มต้นจากการปรับค่าความเร็วรอบ (spindle speed) จากค่าต่ำที่สุด คือ 50 rpm และจึงค่อยๆ เพิ่มความเร็วรอบให้สูงขึ้นเพื่อหาช่วงการตัดที่เหมาะสม โดยเครื่องมีความเร็วรอบสูงสุดที่ 1600 rpm



รูปที่ 47 ชุดอุปกรณ์การตัดเฉือนด้วยความร้อน



รูปที่ 48 เริ่มทดสอบการตัดเฉือนเบื้องต้น



รูปที่ 49 การตัดเฉือนยางด้วยความร้อน

ผลที่ได้จากการตัดเฉือนยางเบื้องต้น ผิวที่ถูการตัดเฉือนเมื่อสัมผัสด้วยสายตา ได้รับความเรียบผิวที่ไม่เรียบมาก เศษยาง (chip) ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นยาว แล้วใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ในการวัดอุณหภูมิที่ใบมีดขณะตัดเฉือน โดยปรับอุณหภูมิด้วยการปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 50 อินฟราเรด เทอร์โมมิเตอร์ มีช่วงในการวัดอุณหภูมิที่ $-32^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$

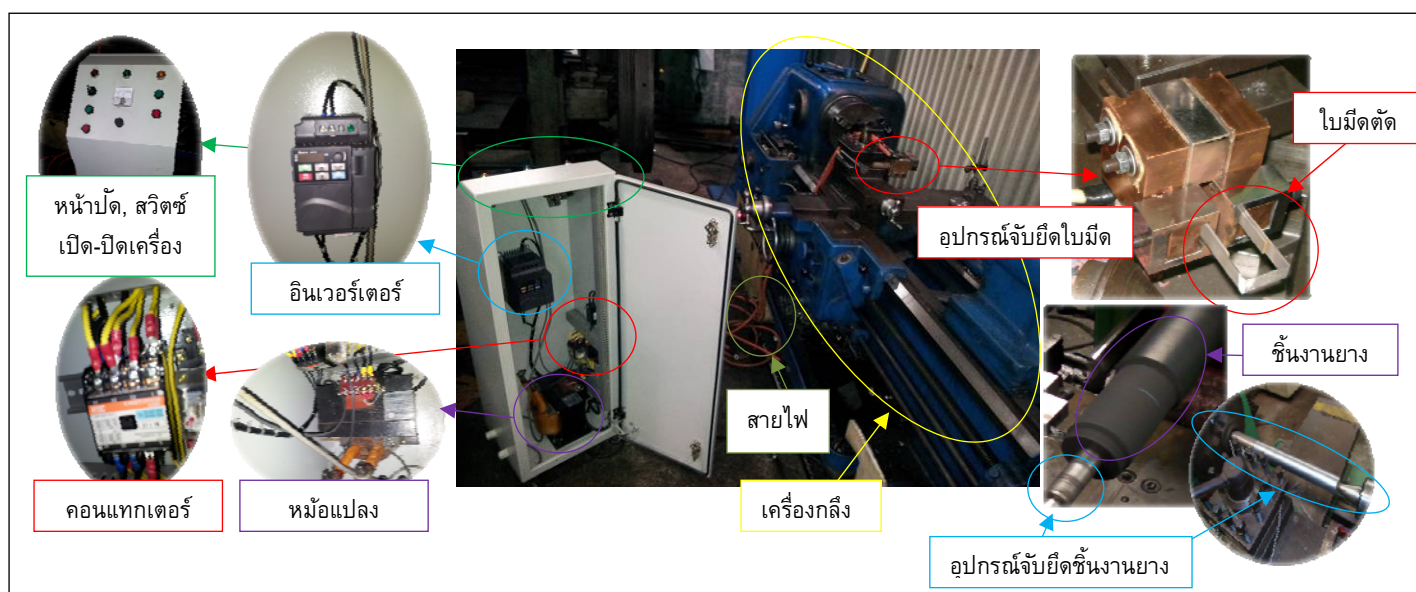
วิจารณ์ผล

1. ชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปยางด้วยความร้อนสามารถขึ้นรูปชิ้นงานยางได้

จากการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปยางด้วยความร้อนมาใช้ร่วมกับเครื่องกลึงนั้น พบว่าความเรียบผิวของชิ้นงานขึ้นอยู่กับใบมีดที่มีส่วนประกอบของคาร์ไบด์และตัวจับยึดชิ้นงาน ถ้ามีการออกแบบลักษณะของใบมีดให้มีรูปทรงที่แตกต่างออกไป เช่น ใบมีดมีลักษณะโค้งหรือปลายแหลม จะทำให้สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้หลากหลายยิ่งขึ้น

ชุดอุปกรณ์เสริมสำหรับกลึงลูกกลิ้งแบบไม่มีร่องและมีร่องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของมีดกลึงได้มีส่วนประกอบดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 51)

- 1) ไบมีดตัด
- 2) อุปกรณ์จับยึดไบมีด
- 3) ชุดสายไฟ
- 4) ตู้ควบคุม
 - หน้าปัด
 - สวิตช์เปิด-ปิดเครื่อง
 - อินเวอร์เตอร์
 - คอนแทกเตอร์
 - หม้อแปลง
- 5) อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานยาง
- 6) ชิ้นงานยาง
- 7) เครื่องกลึง

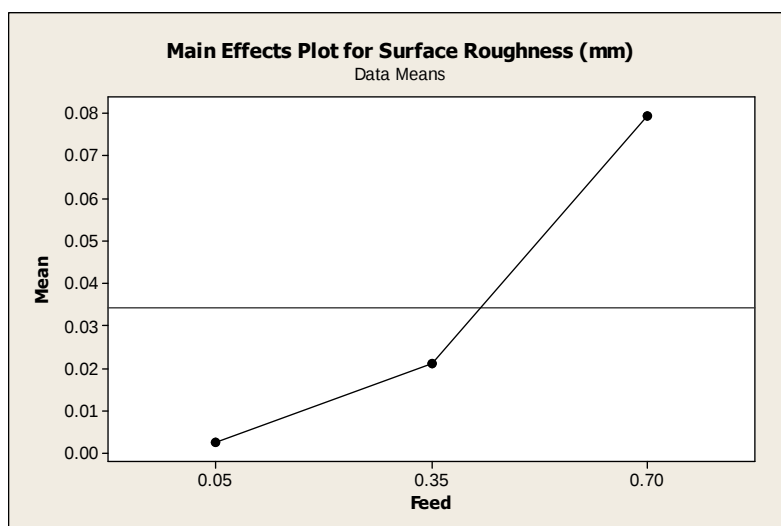


รูปที่ 51 ส่วนประกอบชุดอุปกรณ์สำหรับขึ้นรูปลูกกลิ้งยางด้วยความร้อน

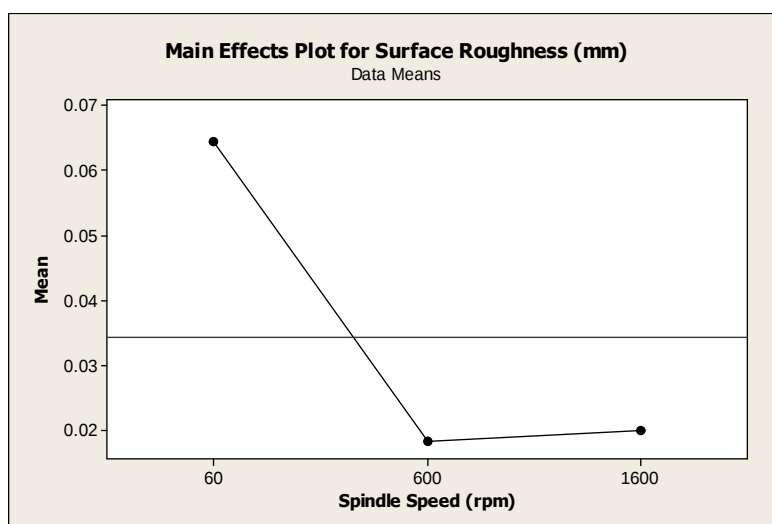
2. ผลการทดสอบการขึ้นรูปยางเบื้องต้น

พบว่า ค่าผลกระทบหลัก (main effects) ของความเรียบผิวที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปยางด้วยความร้อนกับ อัตราป้อน ความเร็วรอบและอุณหภูมิที่ค่าต่างๆ พบว่า อัตราที่ค่า 0.05 มิลลิเมตร/รอบ นั้นมีค่าความเรียบผิวที่ดีกว่าค่า อัตราป้อน ที่ 0.35 และ 0.70 มิลลิเมตร/รอบ (ค่าความเรียบผิวยิ่งค่าน้อยยิ่งมีความเรียบผิวดี) ส่วน ความเร็วรอบที่ช่วง 600-1600 รอบต่อนาที มีค่า

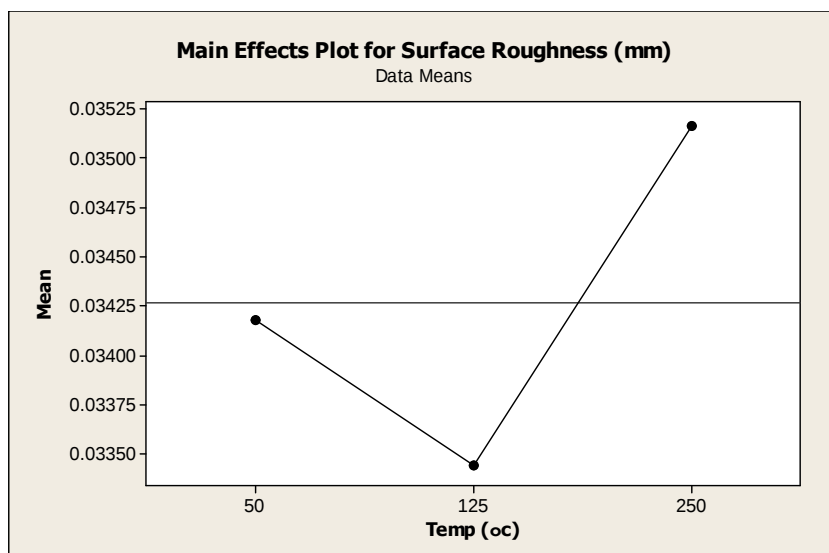
ความเรียบผิวที่ดีกว่าค่า 60 รอบต่อนาที ส่วนอุณหภูมิให้ค่าความเรียบผิวใกล้เคียงกันในช่วง 50 - 250 องศาเซลเซียส โดยที่ช่วง 125 องศาเซลเซียสได้ค่าความเรียบผิวดีที่สุด (ดังแสดงในรูปที่ 52-54) แสดงผลกระทบหลักของความเรียบผิวกับปัจจัยที่ศึกษา คือ อัตราป้อน ความเร็วรอบ และ อุณหภูมิ ที่ค่าต่างๆรวมกัน (ดังแสดงในรูปที่ 55) (รายละเอียดดูจากภาคผนวก)



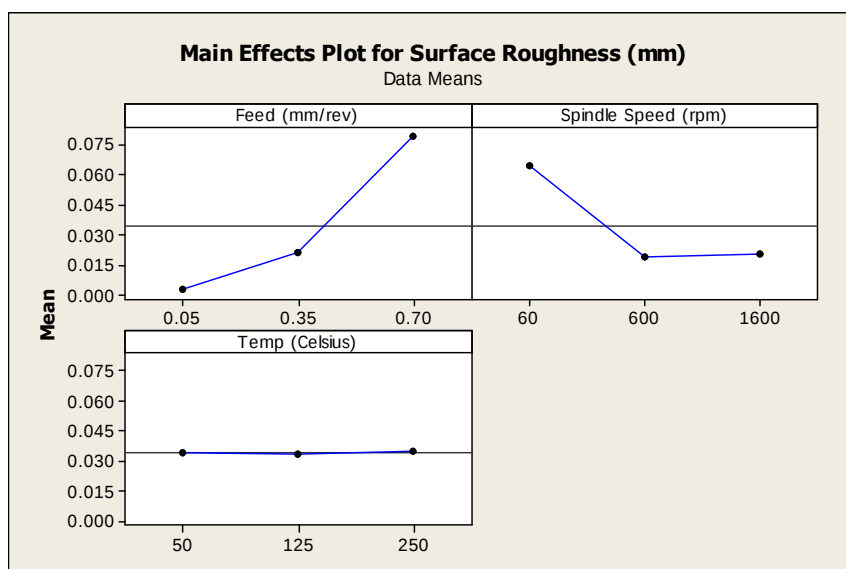
รูปที่ 52 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความเรียบผิวกับอัตราป้อน ที่ 0.05 มิลลิเมตร/รอบ
ให้ความเรียบผิวที่ดีกว่าช่วง 0.35 - 0.07 มิลลิเมตร/รอบ



รูปที่ 53 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความเรียบผิวกับความเร็วรอบที่ 600 รอบต่อนาที ให้ความเรียบผิวที่ดีกว่า 1600 และ 60 รอบต่อนาที ตามลำดับ

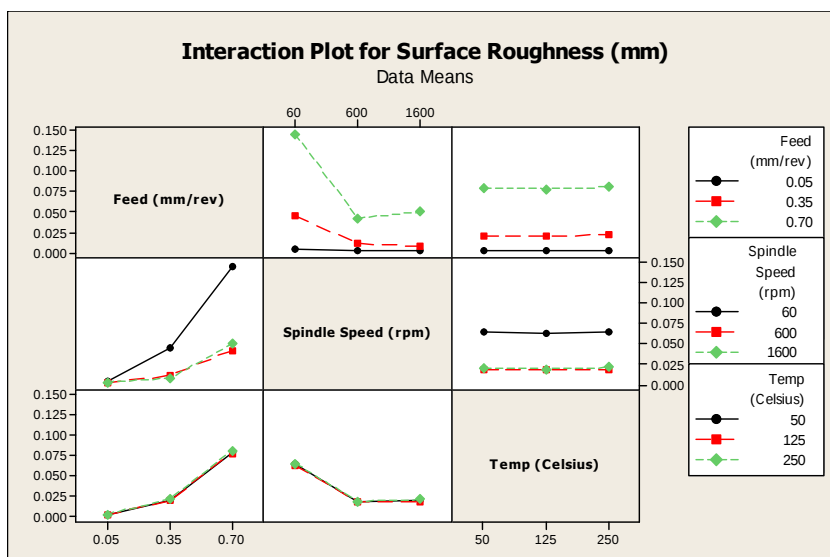


รูปที่ 54 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความเรียบผิวกับอุณหภูมิ 125 °C ให้ความเรียบผิวดีกว่า 50 และ 250 °C ตามลำดับ



รูปที่ 55 จากกราฟแสดงผลกระทบหลักของความเรียบผิวกับปัจจัยที่ศึกษา คือ อัตราป้อน ความเร็วรอบและอุณหภูมิที่ค่าต่างๆ

กราฟผลกระทบร่วม (interaction plot) ของความเรียบผิวที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปยาง ด้วยความร้อนกับ อัตราป้อน ความเร็วรอบและอุณหภูมิที่ค่าต่างๆ ค่าของอัตราป้อน ที่ให้ความเรียบผิวที่ดีอยู่ในช่วง 0.05 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วรอบ ที่ให้ความเรียบผิวที่ดีอยู่ในช่วง 600 – 1600 รอบต่อนาที อุณหภูมิจากกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง ความเรียบผิวขึ้นอยู่กับ อัตราป้อน และ ความเร็วรอบที่เหมาะสม (ดังแสดงในรูปที่ 56)



รูปที่ 56 กราฟผลกระทบร่วมของความเรียบผิวกับปัจจัยที่ศึกษา คือ อัตราป้อน ความเร็วรอบและอุณหภูมิที่ค่าต่างๆ

สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางด้วยกรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อนนี้เป็นการสร้างฐานองค์ความรู้ที่มีการศึกษาวิจัยเชิงลึกอย่างต่อเนื่องในด้านที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยการตัดเฉือนเพื่อใช้ในการผลิตชิ้นงานยางแทนที่การขึ้นรูปด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น การใช้แม่พิมพ์ในการขึ้นรูป โครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการออกแบบคมตัดชุดไบมีดพร้อมอุปกรณ์จับยึดที่สามารถใช้ร่วมกับเครื่องกลึงที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันโดยนำกระแสไฟฟ้ามาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของชุดไบมีดในระหว่างกระบวนการตัดเฉือนยาง พบว่า ชุดอุปกรณ์เสริมที่สร้างขึ้นนั้นสามารถนำมาใช้ขึ้นรูปชิ้นงานได้ โดยการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยวิธีการตัดเฉือนนั้นมีตัวแปรที่สำคัญได้แก่ 1) การออกแบบชุดจับยึดไบมีด 2) ไบมีดตัดที่มีส่วนประกอบของคาร์ไบด์ 3) ตัวจับยึดชิ้นงาน 4) ตัวควบคุมที่ประกอบไปด้วย ชุดสายไฟ สวิตช์ อินเวอร์เตอร์ คอนแทกเตอร์และหม้อแปลง 5) ตัวแปรที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงาน คือ อุณหภูมิของชิ้นงาน อัตราป้อน และความเร็วรอบ พบว่า อัตราป้อน ที่ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วรอบที่ 600 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ให้ความเรียบผิวที่ดีคือ 0.0015 มิลลิเมตร โดยกรณีที่มีความเรียบผิวที่ดีที่สุดคือ กรณีที่ 17 ครั้งที่ 2 (อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ 125 องศาเซลเซียส) งานวิจัยนี้ส่งผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยาง ลดความสิ้นเปลืองของวัสดุและพลังงานในการขึ้นรูป ก่อให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางและผลิตภัณฑ์อื่นๆของประเทศได้ในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการนำศึกษาแนวทางความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กับงานกลึงและกัดขึ้นรูปอย่าง
สำหรับขึ้นรูปดอกยางของอุตสาหกรรมล้ออย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยแนวทางและผลจากการวิจัยใน
โครงการนี้และความร่วมมืออย่างใกล้ชิดกับผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ข้อมูลวิชาการยางพารา. กรมวิชาการเกษตร, 2545.
- [2] ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ, ภัคธร สงวนสิน, ชนะ รัชศิริ, คุณยุต เอี่ยมสะอาด และศรีสิทธิ์ เจียรบุตร.
“การศึกษาความสามารถในการถูกตัดเฉือนของยางโดยกระบวนการกัดและการกลึง”,
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20 (ME-NETT 20),
นครราชสีมา, ประเทศไทย, 18-20 ตุลาคม, 2549
- [3] Rodkwan, S., and Strenkowski, J. S., 2003. **A Numerical and Experimental Investigation of the Machinability of Elastomers**, ME-NETT#17 National Conference, Prajinburi, Thailand.
- [4] Gent, A.N. 2001. Engineering with Rubber: How to Design Rubber Components. 2nd ed. Hanser Publishers, Munich.
- [5] Cho, K. and D. Lee (1998). "**Viscoelastic effects in cutting of elastomers by a sharp object.**" *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics* 36(8): 1283-1291.
- [6] สิริวรรณ อัสวะวิสิทธิ์ชัย. “ความรู้เรื่องยางเบื้องต้น” กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอส เค โพลีเมอร์ จำกัด, 2535
- [7] ยุทธศาสตร์การพัฒนายางพาราครบวงจร (2542-2546): คณะกรรมการนโยบายยางธรรมชาติ, 2545
- [8] จักรกฤษณ์ มั่นตเสวี. การศึกษาค่าตัวแปรและชนิดของเครื่องมือตัดที่เหมาะสมในกระบวนการตัดเฉือนยาง. โครงการงานวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2549
- [9] บุญธรรม วงศ์ไชย และศุภสิทธิ์ รอดขวัญ. “การวิเคราะห์ความเค้นในสกรูและแผ่นโลหะรับแรงอัดทางพลศาสตร์ที่ยึดติดอยู่บนกระดูกช่วงหน้าขาของคน”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20 (ME-NETT 20) , ขอนแก่น, ประเทศไทย, 18-20 ตุลาคม 2547

- [10] Shih, A. J. and M. A. Lewis and J. S. Strenkowski, **“End Milling of Elastomers Fixture Design and Tool Effectiveness for Material Removal”**, Journal of Manufacturing Science and Engineering, ASME, 2004
- [11] Kubala, Z. 2001. **Cutting blade for resistance-heated elastomer cutters**. U.S.Patent 6,230,603.
- [12] Internet Resource: <http://www.prosco-inc.com/elastomersystem.html> june 2010
- [13] Kraus, H. W. and Jr., Wesley R. 1974. **Electrically heated parting tool for removing windsh**. U.S.Patent 3,992,605.
- [14] Wingen, P. 1979. **Heated cutting device**. U.S.Patent 4,161,898
- [15] Wenger, H. 1985. **Electrically heated cutting tool**. U.S.Patent 4,539,467
- [16] Gerber, H. J. 1987. **Cutting apparatus with heated blade for cutting thermoplastic fabrics and related method of cutting** U.S.Patent 4,653,362
- [17] Rosa-miranda, R. 1992. **Hot knife assembly**. U.S.Patent 5,092,208
- [18] Matteuzzi, C. and Matteuzzi, E. 1987. **Machine for automatically engraving the groove in tire treads**. U.S.Patent 4,683,931
- [19] Appleby, P. and E. Brinkley and M. D. Smith and C. Clement, 1978. **Apparatus for grooving tires**. U.S.Patent 4,081,017
- [20] Kinuhata, S. and Y. Seiki, 1992. **Tire grooving apparatus and method**. U.S.Patent 5,144,996
- [21] Eggers, P. E. and S. F. Robert, 1994. **Electrically heated surgical blade and methods of making**. U.S.Patent 5,308,311

- [22] Internet Resource: http://www.leeport.com.sg/products/lathe/takisawa_TAL460.asp. may 2010
- [23] Kalpakjian, S. and S. R. Schmid, 2001. Manufacturing Engineering and Technology. pp. 570
- [24] Sudasna-na-Ayudhya, P. 2008. Design and Analysis of Experiments. 1st ed. Top Publishing Co., Ltd, Bangkok, Thailand.

ภาคผนวก ก

ผลการตัดเงื่อนไขด้วยชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปด้วยความร้อน

ในการบวณการวิจัยจะมีการเก็บผลการวิจัยเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ลักษณะชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยความร้อน ลักษณะเศษยาง และค่าความเรียบผิว (ดังตารางที่ 1ก)

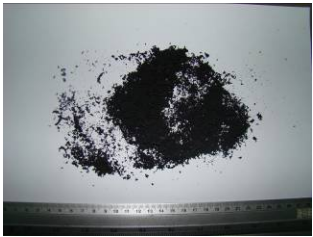
ตารางที่ 1ก ผลการวิจัยประกอบด้วยลักษณะชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยความร้อน ลักษณะเศษยาง และค่าความเรียบผิว

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 1, 1 st)			0.0527
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 1, 2 nd)			0.0499
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 1, 3 rd)			0.0518
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 2, 1 st)			0.0485

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 2, 2 nd)			0.0492
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 2, 3 rd)			0.0479
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 3, 1 st)			0.0488
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 3, 2 nd)			0.0492
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 3, 3 rd)			0.0497

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 4, 1 st)			0.0086
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 4, 2 nd)			0.0095
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 4, 3 rd)			0.0079
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 5, 1 st)			0.0069
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 5, 2 nd)			0.0071

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเนื้องาน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 5, 3 rd)			0.0065
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 6, 1 st)			0.0068
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 6, 2 nd)			0.0073
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 6, 3 rd)			0.0072
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 7, 1 st)			0.0035

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 7, 2 nd)			0.0032
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 7, 3 rd)			0.0029
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 8, 1 st)			0.0022
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 8, 2 nd)			0.0021
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 8, 3 rd)			0.0024

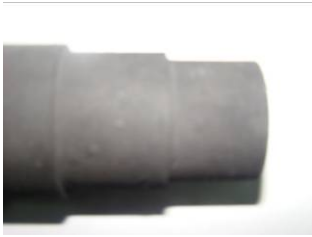
กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 9, 1 st)			0.0026
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 9, 2 nd)			0.0028
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 1600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 9, 3 rd)			0.0029
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 10, 1 st)			0.0422
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 10, 2 nd)			0.0435

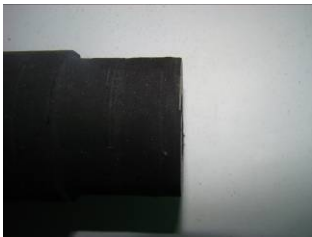
กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 10, 3 rd)			0.0428
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 11, 1 st)			0.0411
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 11, 2 nd)			0.0409
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 11, 3 rd)			0.0429
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 12, 1 st)			0.0426

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเนื้องาน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 12, 2 nd)			0.0427
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 12, 3 rd)			0.0421
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 13, 1 st)			0.0116
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 13, 2 nd)			0.0119
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 13, 3 rd)			0.0114

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเนื้องาน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 14, 1 st)			0.0097
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 14, 2 nd)			0.0101
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 14, 3 rd)			0.0094
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 15, 1 st)			0.0111
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 15, 2 nd)			0.0109

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 15, 3 rd)			0.0107
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 16, 1 st)			0.0020
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 16, 2 nd)			0.0024
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 16, 3 rd)			0.0019
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 17, 1 st)			0.0016

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 17, 2 nd)			0.0015
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 17, 3 rd)			0.0016
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 18, 1 st)			0.0021
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 18, 2 nd)			0.0023
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 600 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 18, 3 rd)			0.0024

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 19, 1 st)			0.1465
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 19, 2 nd)			0.1469
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 19, 3 rd)			0.1471
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 20, 1 st)			0.1450
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 20, 2 nd)			0.1442

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 20, 3 rd)			0.1438
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 21, 1 st)			0.1451
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 21, 2 nd)			0.1452
0.7 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 21, 3 rd)			0.1454
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 22, 1 st)			0.0465

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 22, 2 nd)			0.0461
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 22, 3 rd)			0.0463
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 23, 1 st)			0.0432
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 23, 2 nd)			0.0435
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 23, 3 rd)			0.0429

กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 24, 1 st)			0.0441
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 24, 2 nd)			0.0447
0.35 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 24, 3 rd)			0.0445
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 25, 1 st)			0.0035
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 25, 2 nd)			0.0034

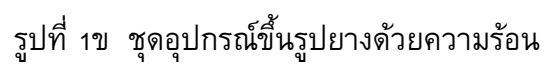
กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 250 องศาเซลเซียส (กรณี 25, 3 rd)			0.0036
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 26, 1 st)			0.0030
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 26, 2 nd)			0.0028
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 125 องศาเซลเซียส (กรณี 26, 3 rd)			0.0029
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 27, 1 st)			0.0032

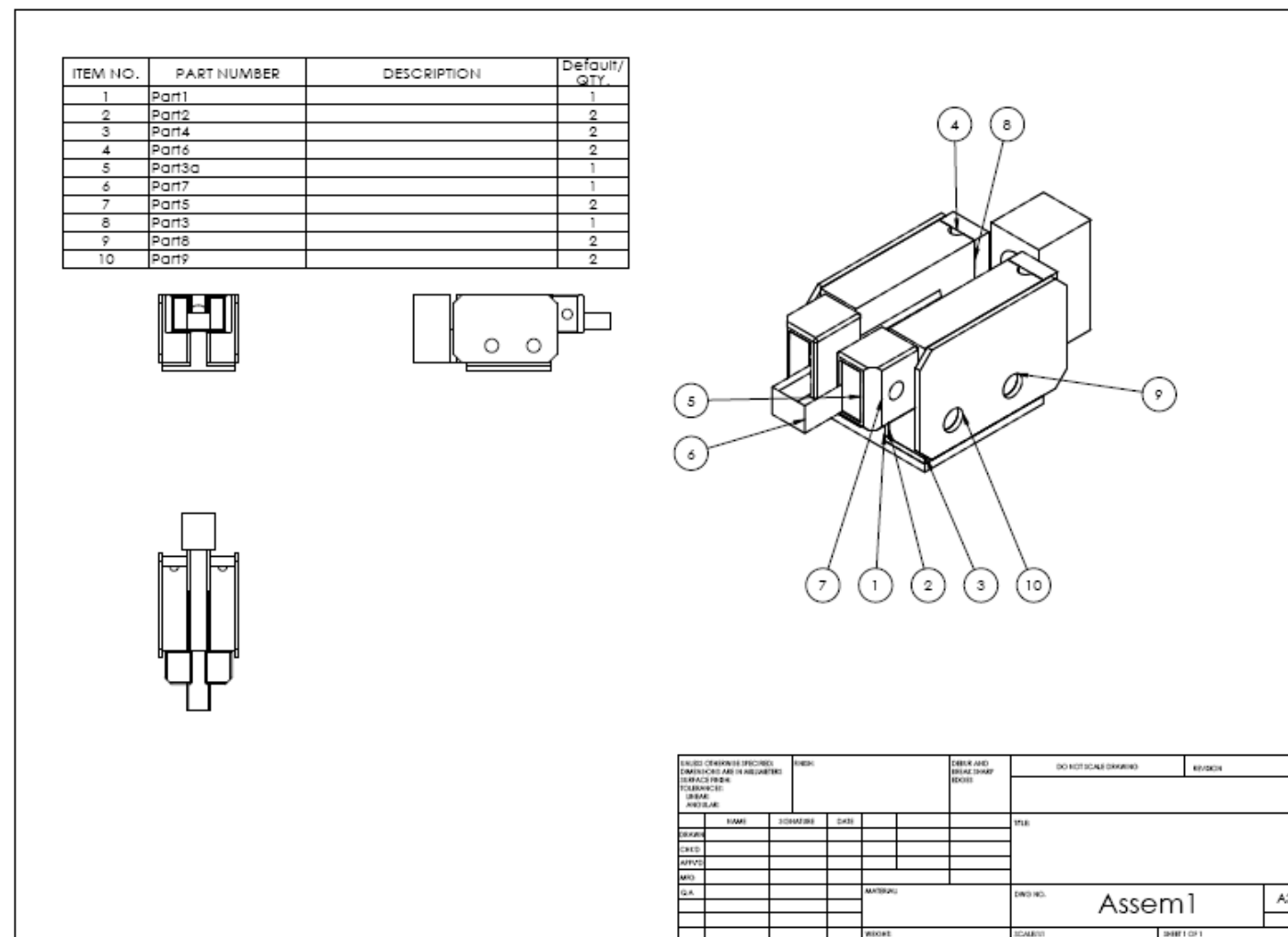
กรณี	ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือน	ลักษณะของเศษยาง	ความเรียบผิว (มิลลิเมตร)
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 27, 2 nd)			0.0033
0.05 มิลลิเมตร/รอบ, 60 รอบต่อนาที, 50 องศาเซลเซียส (กรณี 27, 3 rd)			0.0032

ภาคผนวก ข

ชุดอุปกรณ์ชิ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยาง

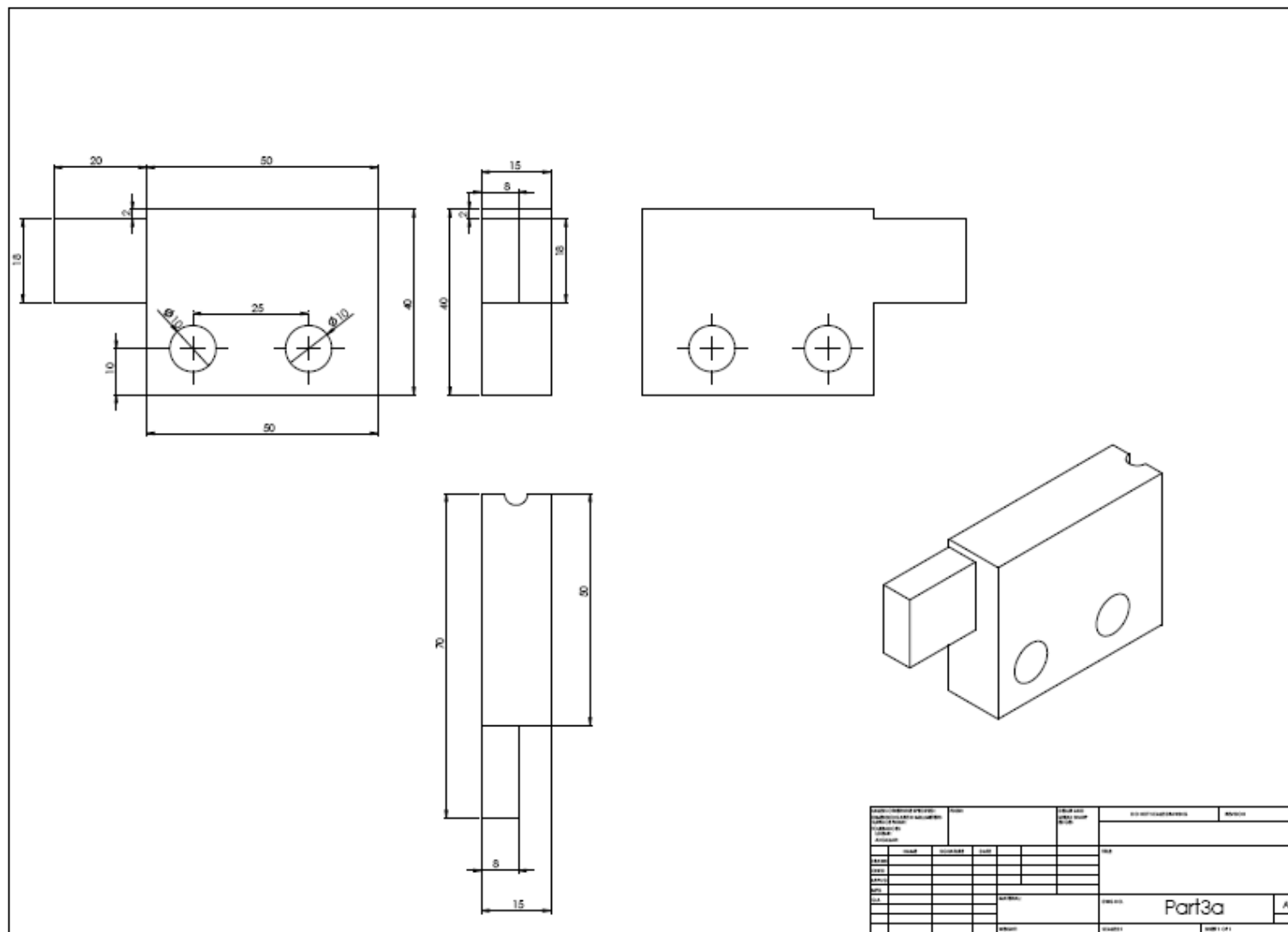
- อุปกรณ์ตัวจับยึดใบมีด ดังแสดงในรูป 1ข-11ข
- ใบมีด ดังแสดงในรูปที่ 10ข ใบมีดดังแสดงในรูปที่ 12ข



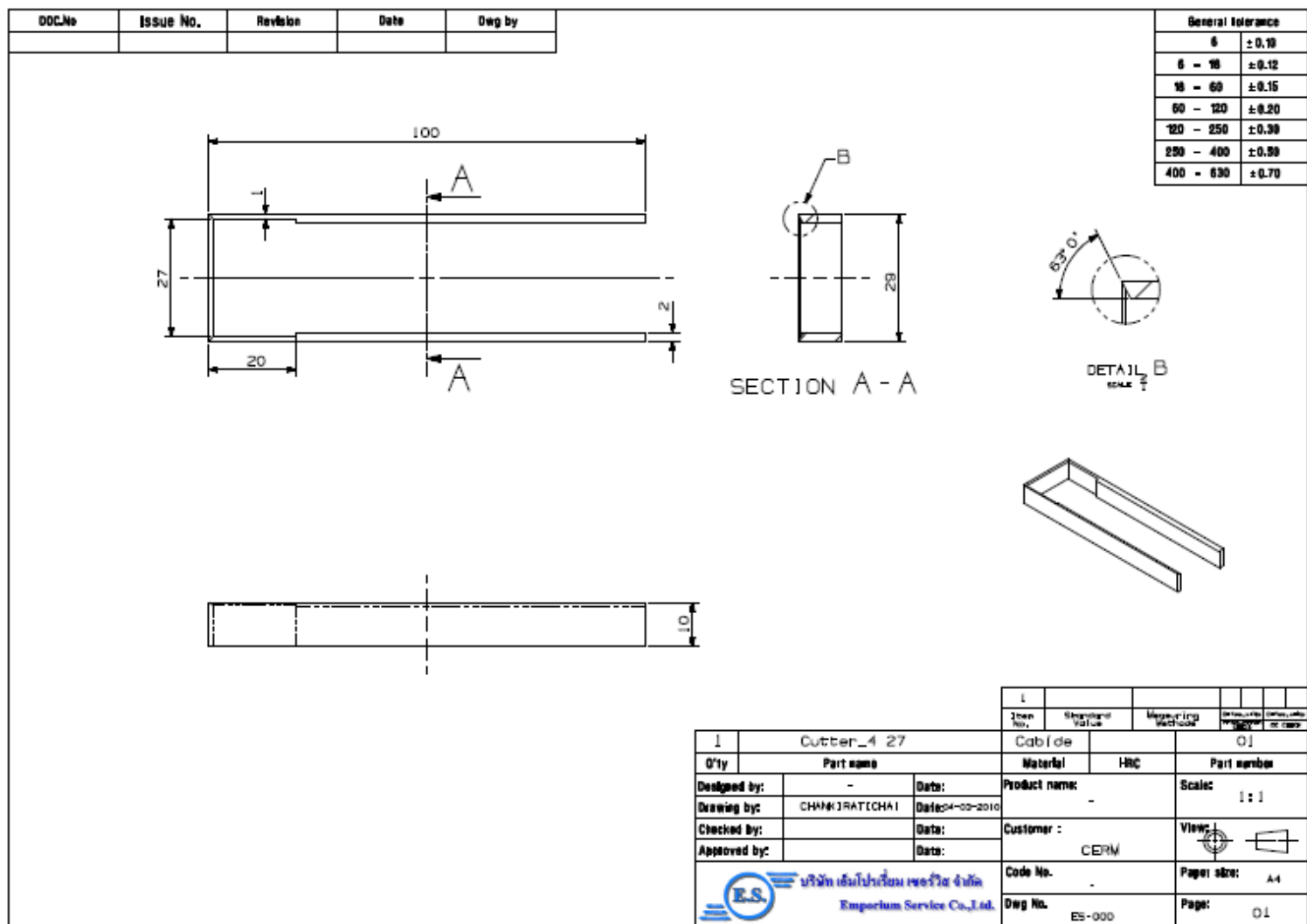


รูปที่ 2ข ชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปยางด้วยความร้อน





รูปที่ ๑๖ แบบอุปกรณ์ตัวจับยึดใบมีด



รูปที่ 12 ข แบบใบมีด

ภาคผนวก ค

บทความสำหรับการเผยแพร่

การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยาง ด้วยกรรมวิธีการตัดเนื้อด้วยความร้อน

Design and Manufacturing of the Thermal Cutting System for Rubber Roller Production

ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ^{*1,2} จักรกฤษณ์ มนต์เสวี^{1,2} แก้ว หลิมบุญเจียม³

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

³ บริษัท แมชชีนเนอร์รี่เอ็มไปริเยม (1995) จำกัด

* E-mail: fengssr@ku.ac.th, โทรศัพท์: (662) 7970999 โทรสาร: (662) 5792279

Supasit Rodkwan^{*1,2} Chakkrit Muntasawe^{1,2} Kaew Limboonjame³

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

² Center of Excellence in Rubber Mould, Research and Development Institute of Industrial Production Technology

Faculty of Engineering, Kasetsart University Jatujak, Bangkok 10900, Thailand

³ Machinery Emporium (1995) Co.,Ltd.

* E-mail: fengssr@ku.ac.th, Tel: 0-797-0999, Fax 0-2579-2279

บทคัดย่อ

จากแนวโน้มการขาดแคลนพลังงานของประเทศและของโลกในอนาคตอันใกล้นั้นทำให้การออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันต้องมีการคำนึงถึงการเลือกใช้วัตถุดิบ การเลือกใช้กระบวนการผลิตในการผลิตผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถใช้พลังงานที่เหมาะสมในการผลิตได้ สำหรับในส่วนของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ยางนั้น โดยทั่วไปสามารถทำได้โดยการขึ้นรูปโดยการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ทั้งแบบอัด กึ่งฉีด และแบบฉีด ซึ่งมักใช้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์ยางประเภทยางขอบกระจกรถยนต์ก็สามารถทำได้ โดยกระบวนการรีดขึ้นรูป อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตดังกล่าวยังไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกกลิ้งยางทั้งแบบที่ไม่มีร่องและมีร่อง อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตต่ำลงและเกิดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางเป็นจำนวนมาก ดังนั้น ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เสริมสำหรับกลิ้งลูกกลิ้งยางแบบไม่มีร่องและมีร่องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของเม็ดกึ่งและใช้ร่วมกับเครื่องกลิ้งที่ใช้กับวัสดุยางยางสไตรีนบิวตาไดอีน (styrene-butadiene rubber, SBR) ได้ ประกอบไปด้วยใบมีดตัด อุปกรณ์จับยึดใบมีด อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ชุดควบคุมกระแสไฟฟ้าสำหรับให้ความร้อนที่ใบมีด โดยนำอินเวอร์เตอร์มาทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำหรับปรับค่าความถี่ของกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความร้อนในช่วง 25 – 250 องศาเซลเซียส พบว่า การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยวิธีการตัดเนื้อนั้นมีตัวแปรที่สำคัญได้แก่ 1) การออกแบบชุดจับยึดใบมีด 2) ใบมีดตัดที่มีส่วนประกอบของคาร์ไบด์ 3) ตัวจับยึดชิ้นงาน 4) ตัวควบคุมที่ประกอบไปด้วย ชุดสายไฟ สวิตช์ อินเวอร์เตอร์ คอนแทกเตอร์และหม้อแปลง 5) ตัวแปร

ที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงาน คือ อุณหภูมิของชิ้นงาน อัตราป้อน และความเร็วรอบ โดยอัตราป้อน ที่ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วรอบที่ 600 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ให้ความเรียบผิวที่ดีที่สุดคือ 0.0015 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถนำผลจากการวิจัยไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางเพื่อลดความสิ้นเปลืองของวัสดุได้

คำสำคัญ: ลูกกลิ้งยาง, กรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อน, ใบมีดตัด

Abstract

With the current global energy crisis, the product design and manufacturing needs proper material selection and suitable production process in order to obtain the optimum productivity. For the rubber parts used in automotive, electrical and electronics industries, in general, their manufacturing includes calendaring and compression, transfer as well as injection mouldings. Nevertheless, these production methods have some limitations both in quality and lead time aspects and then they are not used for making some products such as rubber rollers with various groove shapes. Therefore, the objective in this work is to design and manufacture the novel thermal cutting system used with lathes for rubber rollers made of SBR. The system consists of cutting carbide blades, cutting tool holders, workpiece jig and fixture, controller for electrical current for blade heating and the inverter to transform the current frequency into the heat where temperature in the ranges of 25-250 Celsius is obtained. Then the system was tested to investigate the effect of major parameters including workpiece temperature, feed rate, and spindle speed on surface roughness of the roller. For the ranges performed in this study, the best surface finish of 0.0015 mm was found at the workpiece temperature, feed rate, and spindle speed of 125 Celsius, 0.05 mm per revolution and 600 revolution per minute, respectively. The developed thermal cutting system used with the lathe can be further used to obtain better rubber roller part quality, material saving and lead time reduction.

Keywords: Rubber Roller, Thermal Cutting, Cutting Blade

1. คำนำ

จากแนวโน้มการขาดแคลนพลังงานของประเทศและของโลกในอนาคตอันใกล้ทำให้การออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันต้องมีการคำนึงถึงการเลือกใช้วัตถุดิบ การเลือกใช้กระบวนการผลิตในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถใช้พลังงานที่เหมาะสมในการผลิตได้ สำหรับในส่วนของ การผลิตชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ยางนั้น โดยทั่วไปสามารถทำได้โดยการขึ้นรูปโดยการใส่แม่พิมพ์ทั้งแบบอัด กึ่งฉีด และแบบฉีด ซึ่งมักใช้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์ยางประเภทยางขอบกระजरถยนต์ก็สามารถทำได้โดย

กระบวนการรีดขึ้นรูป อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตดังกล่าวยังไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกกลิ้งยางทั้งแบบที่ไม่มีร่องและมีร่อง (ดังแสดงในรูปที่ 1) ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของผลิตภัณฑ์ (การบิดเบี้ยว ความเรียบของผิวและร่องของลูกกลิ้งที่ไม่ได้ค่าที่ยอมรับได้) และในด้านของความสิ้นเปลืองของวัสดุและพลังงานในการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ (พลังงานความร้อนที่ใช้ในการขึ้นรูป) ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้นำให้ประสิทธิภาพในการผลิตต่ำลงและเกิดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมนี้

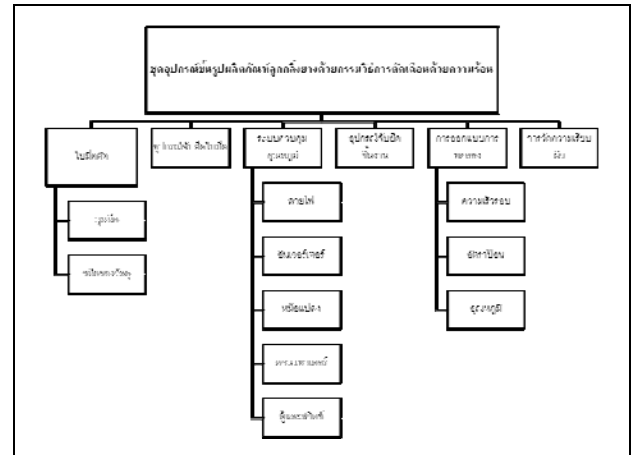
เสียโอกาสในการแข่งขันทั้งในประเทศและนานาชาติ ดังนั้นด้วยเหตุผลข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงคิดว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาและพัฒนา ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่สามารถผลิตลูกกลิ้งยางให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ในอุตสาหกรรม โดยใช้หลักการอื่น ๆ ในการขึ้นรูปลูกกลิ้งยางเช่น การใช้กรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อนร่วมกับเครื่องกลึงขึ้นรูป โดยออกแบบในส่วนของคุณสมบัติของชุดควบคุมอุณหภูมิเพื่อใช้สำหรับกลึง เป็นต้น ซึ่งหลักการดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น การย่อยเศษยางรถยนต์เพื่อนำมาใช้ใหม่ การผลิตยางล้อต้นแบบที่ใช้ในการเกษตร การขนถ่ายสินค้า อากาศยาน ได้อีกด้วย



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางที่ใช้ในอุตสาหกรรม

2. อุปกรณ์และวิธีการ

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประชุมและกำหนดแผนงาน ออกแบบใบมีดตัด ออกแบบอุปกรณ์จับยึดใบมีดตัดและระบบควบคุมอุณหภูมิ ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ประกอบชุดอุปกรณ์เข้าด้วยกันและ ออกแบบการทดลองสำหรับกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยรายละเอียดของขั้นตอนหลักที่สำคัญสามารถสรุปได้เป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้ (แสดงในรูปที่ 2 และ 4)



รูปที่ 2 รายละเอียดชุดอุปกรณ์ขึ้นด้วยกรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อน

1. การออกแบบอุปกรณ์

- ออกแบบใบมีดตัดที่เหมาะสมสำหรับการตัดเฉือนด้วยความร้อน
- ออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติและระบบตรวจวัดอุณหภูมิขณะกลึงงาน
- ทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึด (jig) ใบมีดตัด ที่มีความเหมาะสมในการตัดเฉือน โดยทำการประกอบชุดเครื่องตัดเฉือนด้วยความร้อน มีรายละเอียดคือ (1) ชุดควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า (2) ชุดจ่ายกระแสไฟฟ้า (3) ชุดสายไฟ
- ทำการประกอบใบมีดตัด อุปกรณ์จับยึดใบมีดตัดและตัวเครื่องตัดเฉือนความร้อนเข้าด้วยกัน

2. ทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่เหมาะสมกับชิ้นงาน [1]

3. วิธีการทดลอง

- วางแผนการทดลองให้ครอบคลุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานยาง
- ทดสอบตามแผนการทดลองที่มีวิธีการดังนี้
 - เตรียมชิ้นงานลูกกลิ้งยางตามที่มีรูปร่างและขนาดตามแผนการทดลอง
 - ทำการจับยึดยางด้วยอุปกรณ์จับยึด

- ทำการขึ้นรูปด้วยลูกกลิ้งยางยาง ด้วยกรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อนตามเงื่อนไขของแผนการทดลอง
- นำชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือนไปวัดความเรียบผิวด้วยเครื่องวัดความเรียบผิว

4. การเก็บข้อมูล

- ก่อนทำการตัดเฉือน
 - ชนิดของยางที่นำมาใช้ในการทดสอบ
 - รูปร่างและขนาดของยาง
 - อุณหภูมิในการตัดเฉือน
- ขณะทำการตัดเฉือน
 - เศษยาง (chip morphology)
- หลังทำการตัดเฉือน
 - ความเรียบผิวบริเวณร่องของชิ้นงาน

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

- ใช้เครื่องเครื่องวัดความเรียบผิว (surface roughness) ยี่ห้อ mitutoyo contourpak v7.10 วัดความเรียบผิว [2]
 - การวัดความเรียบผิว ทำการวัดความเรียบผิวในแนวแกน z วัดผิวความเรียบของร่องชิ้นงานจำนวน 5 ตำแหน่งๆละ 3 ครั้งแล้วนำเอาหลักทางสถิติมาประเมินความเรียบผิวของชิ้นงาน
 - สร้างแบบจำลองโดยการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขต่างๆ ที่มีผลต่อความเรียบ

ผิวของชิ้นงานยาง เช่น อัตราการป้อน (feed) ความเร็วรอบ (spindle speed) อุณหภูมิ (temperature) ของใบมีด

- หาความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขๆ เช่น อัตราการป้อน ความเร็วรอบ อุณหภูมิของใบมีด
- สรุปผลความเรียบผิวเปรียบเทียบกับชิ้นงานตั้งต้น

3. ผลและวิจารณ์

ผลการวิจัย

1. ทำการศึกษาข้อมูล ประชุม วางแผนกับผู้ร่วมวิจัย โดยเริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีการขึ้นรูปวัสดุยางด้วยความร้อนโดยเน้นในส่วนของใบมีดและระบบตัวจับยึดใบมีดที่นำมาใช้กับเครื่องกลึง (turning machine) ยี่ห้อ Takisawa TAL 460 (ดังแสดงในรูปที่ 3)



รูปที่ 3 เครื่องกลึงที่นำมาศึกษาเพื่อนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ตัดเฉือนด้วยความร้อน

โดยทั่วไปเราใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้มีขนาดลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยมีความถี่ไฟฟ้าคงเดิม

3.4 คอนแทกเตอร์ (contactor) คือ การใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนน้อยเพื่อไปควบคุมการตัดต่อกำลังไฟฟ้าจำนวนมาก คอนแทกเตอร์ ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งอื่นๆ ของระบบไฟฟ้าได้ สายไฟควบคุมให้ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอยล์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง การใช้คอนแทกเตอร์ทำให้สามารถควบคุมวงจรจากระยะไกล (remote) ได้ ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมกำลังไฟฟ้า

3.5 ตู้และสวิตช์ (switch) สำหรับควบคุม



รูปที่ 7 ชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปด้วยความร้อน

4. ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

เนื่องจากอีลาสโตเมอร์ (elastomers) เป็นโพลิเมอร์แบบอสัณฐาน (amorphous polymers) โดยอีลาสโตเมอร์สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ เทอร์โมเซต (thermosets) และ เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) โดยเทอร์โมเซตจะมีโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย 3 มิติ (3D network) มีสายโมเลกุลยาวซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะทางเคมี และสามารถดูดซับสารละลายได้ดี แต่ไม่สามารถขึ้นรูปใหม่อีกครั้งได้ด้วยการให้ความร้อน ส่วนโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกนั้นจะแตกต่างกันออกไปเพราะแต่ละโมเลกุลจะเชื่อมกันทางกายภาพเท่านั้น และสามารถดูดซับสารละลายได้บางอย่างเท่านั้น นอกจากนั้น

เทอร์โมพลาสติกสามารถทำการขึ้นรูปใหม่อีกครั้งได้ด้วยการให้ความร้อน ทั้งเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติกถูกนำไปใช้แตกต่างกันตามคุณสมบัติต่างๆ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้ว ความต้องการที่จะนำไปใช้เป็นยางรถยนต์ และยางรองแท่นเครื่องยนต์นั้น เทอร์โมเซตจะเหมาะสมกว่าเนื่องจากคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่น (elasticity) และความทนทาน (durability) โดยหลังจากการเติมสารเคมีต่างๆ เข้าไปผสมกับอีลาสโตเมอร์ จะได้สิ่งที่เรียกว่า คอมพาวนด์ (compound) [4] และเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนและกระบวนการวัลคาไนเซชัน (vulcanization) แล้วจะได้สิ่งที่เรียกว่า ยาง ดังนั้น การที่จับยึดวัสดุที่ความยืดหยุ่นสูงจึงเป็นเรื่องยาก ดังนั้นจึงใช้วิธีการจับยึดด้วยการสร้างแท่งเหล็ก [2] (ดังแสดงในรูปที่ 8) สอดเข้ากับวัสดุที่นำมาใช้ในการทดสอบกระบวนการตัดเฉือนด้วยความร้อนคือยาง SBR ความแข็ง (hardness) 75 shore A (ดังแสดงในรูปที่ 9)



รูปที่ 8 แท่งเหล็กสำหรับยึดแกนกลางของแท่งยาง

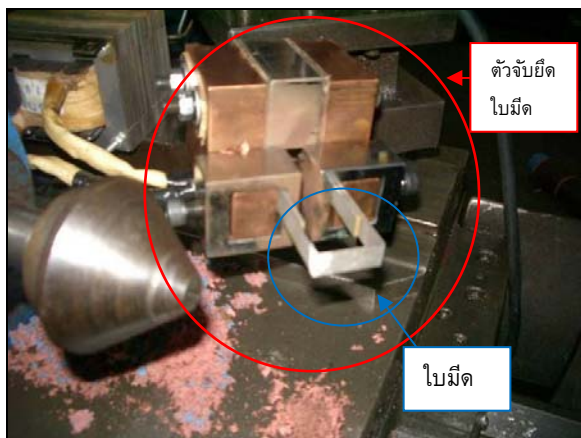


รูปที่ 9 ยาง SBR ความแข็ง 75 shore A

5. ประกอบชุดอุปกรณ์เข้าด้วยกัน เมื่อทำการ
ออกแบบและผลิตไบมีดตัด อุปกรณ์จับยึดไบมีดตัด
และอุปกรณ์จับยึดชิ้น เรียบร้อยแล้ว จึงประกอบชุด
อุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน แล้วนำมาติดตั้งใช้ร่วมกับ
ตัวเครื่องกลึง (ดังแสดงในรูปที่ 10-11 ตามลำดับ)



รูปที่ 10 ติดตั้งชุดอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ หม้อแปลงและ
ตัวจับยึดไบมีดเข้าด้วยกัน



รูปที่ 11 ติดตั้งไบมีดเข้ากับตัวจับยึดไบมีด

หลังจากการติดตั้งชุดอุปกรณ์ทั้งหมด
เรียบร้อยแล้ว ดำเนินการทดสอบชุดอุปกรณ์เบื้องต้น
ด้วยการตัดเฉือนด้วยความร้อน โดยใช้ยาง SBR ที่
ความแข็ง 75 shore A ในการทดสอบ (ดังแสดงในรูป
ที่ 12-14 ตามลำดับ) เริ่มต้นจากการปรับค่าความเร็ว
รอบ (spindle speed) จากค่าต่ำที่สุด คือ 50 rpm และ
จึงค่อยๆเพิ่มความเร็วย้อนให้สูงขึ้นเพื่อหาช่วงการตัด

ที่เหมาะสม (การดำเนินการตัดเฉือนอยู่ในช่วง 9
เดือนหลัง) โดยเครื่องมีความเร็วรอบสูงสุดที่ 1600
rpm



รูปที่ 12 ชุดอุปกรณ์การตัดเฉือนด้วยความร้อน



รูปที่ 13 เริ่มทดสอบการตัดเฉือนเบื้องต้น



รูปที่ 14 การตัดเฉือนยางด้วยความร้อน

ผลที่ได้จากการตัดเฉือนยางเบื้องต้น ผิวที่ถูก
การตัดเฉือนเมื่อสังเกตด้วยสายตา ให้ความเรียบผิวที่
ไม่เรียบมาก เศษยาง (chip) ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นๆ
ยาว

6. ออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment, DOE) ออกแบบการวิจัยโดยมีปัจจัยที่ศึกษาออกเป็นทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ อัตราป้อน (feed) ความเร็วรอบ (spindle speed) และอุณหภูมิ (temperature) โดยตัวแปรที่ใช้มี 3 ระดับคือ สูง กลาง ต่ำ และทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง รวมมีการทดลองทั้งหมด 81 ครั้ง [5] (ดังแสดงในตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 กรณีการวิจัยการขึ้นรูปยางด้วยความร้อนที่ได้จากการออกแบบการทดลอง

กรณี	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	0.70	1600	250
2	0.70	1600	125
3	0.70	1600	50
4	0.35	1600	250
5	0.35	1600	125
6	0.35	1600	50
7	0.05	1600	250
8	0.05	1600	125
9	0.05	1600	50
10	0.70	600	250
11	0.70	600	125
12	0.70	600	50
13	0.35	600	250
14	0.35	600	125
15	0.35	600	50
16	0.05	600	250
17	0.05	600	125
18	0.05	600	50
19	0.70	60	250
20	0.70	60	125
21	0.70	60	50
22	0.35	60	250
23	0.35	60	125
24	0.35	60	50
25	0.05	60	250
26	0.05	60	125
27	0.05	60	50

วิจารณ์ผล

1. ชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปยางด้วยความร้อนสามารถขึ้นรูปชิ้นงานยางได้ จากการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปยางด้วยความร้อนมาใช้ร่วมกับเครื่องกลึงนั้นพบว่าความเรียบผิวของชิ้นงานขึ้นอยู่กับใบมีดที่มีส่วนประกอบของคาร์ไบด์และตัวจับยึดชิ้นงาน ถ้ามีการออกแบบลักษณะของใบมีดให้มีรูปทรงที่แตกต่างออกไป เช่น ใบมีดมีลักษณะโค้งหรือปลายแหลม จะทำให้สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้หลากหลายยิ่งขึ้น

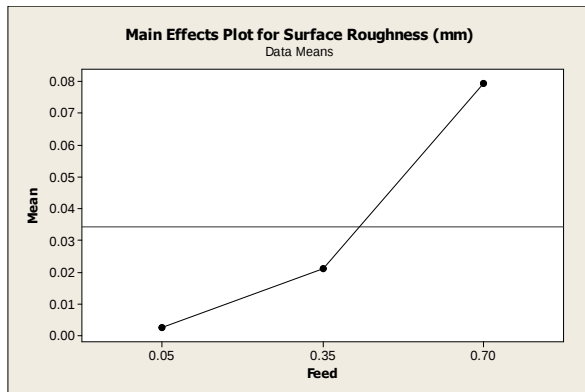
ชุดอุปกรณ์เสริมสำหรับกลึงลูกกลิ้งยางแบบไม่มีร่องและมีร่องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของมีดกลึงได้มีส่วนประกอบดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ 4)

- 1) ใบมีดตัด
- 2) อุปกรณ์จับยึดใบมีด
- 3) ชุดสายไฟ
- 4) ตัวควบคุม
 - หน้าปัด
 - สวิตช์เปิด-ปิดเครื่อง
 - อินเวอร์เตอร์
 - คอนแทกเตอร์
 - หม้อแปลง
- 5) อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานยาง
- 6) ชิ้นงานยาง
- 7) เครื่องกลึง

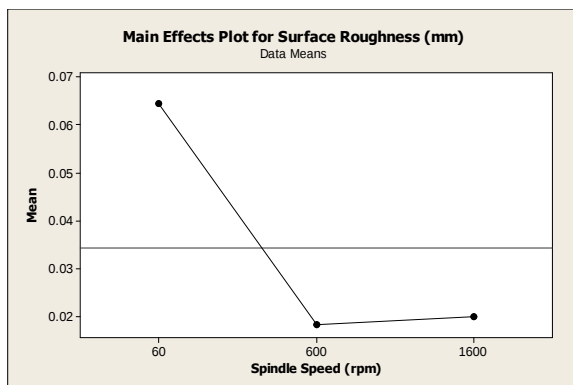
2. ผลการทดสอบการขึ้นรูปยางเบื้องต้น

พบว่า ค่าผลกระทบหลัก (main effects) ของความเรียบผิวที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปยางด้วยความร้อนกับ อัตราป้อน ความเร็วรอบและอุณหภูมิที่ค่าต่างๆ พบว่า อัตราที่ค่า 0.05 มิลลิเมตร/รอบ นั้นมีค่าความเรียบผิวที่ดีกว่าค่า อัตราป้อน ที่ 0.35 และ 0.70 มิลลิเมตร/รอบ (ค่าความเรียบผิวยิ่งค่าน้อยยิ่งมีความเรียบผิวดี) ส่วน ความเร็วรอบที่ช่วง 600-1600 รอบต่อนาที มีค่าความเรียบผิวที่ดีกว่าค่า 60 รอบต่อนาที ส่วนอุณหภูมิให้ค่าความเรียบผิวใกล้เคียงกันในช่วง 50 - 250 องศาเซลเซียส โดยที่ช่วง 125 องศา

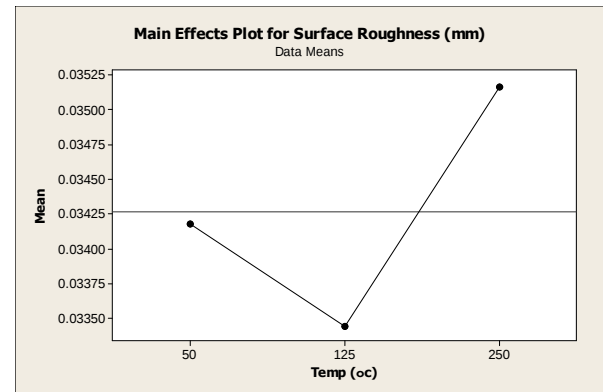
เซลเซียสได้ค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุด (ดังแสดงในรูปที่ 15-18)



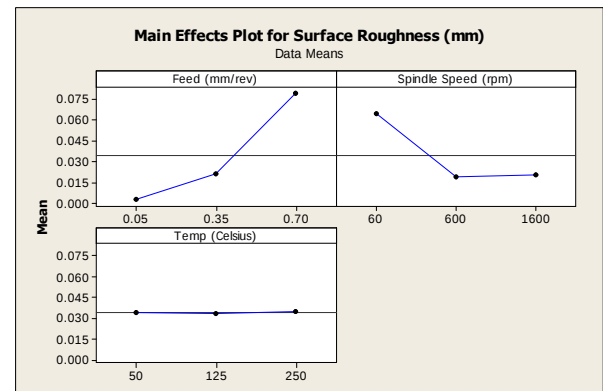
รูปที่ 15 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความเรียบผิวกับอัตราป้อน ที่ 0.05 มิลลิเมตร/รอบ ให้ความเรียบผิวที่ดีกว่าช่วง 0.35 -0.07 มิลลิเมตร/รอบ



รูปที่ 16 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความเรียบผิวกับความเร็วรอบที่ 600 รอบต่อนาที ให้ความเรียบผิวที่ดีกว่า 1600 และ 60 รอบต่อนาที ตามลำดับ

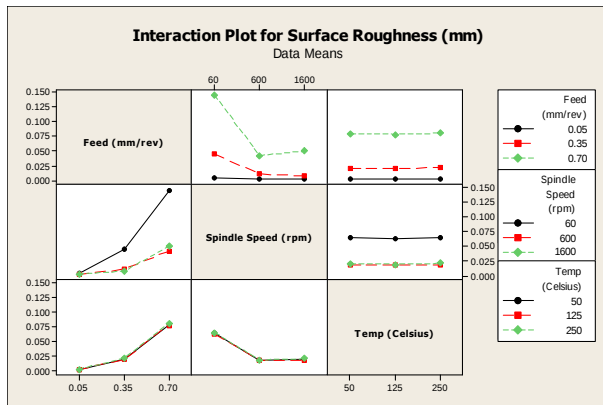


รูปที่ 17 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความเรียบผิวกับอุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ให้ความเรียบผิวดีกว่า 50 และ 250 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 18 จากกราฟแสดงผลกระทบหลักของความเรียบผิวกับปัจจัยที่ศึกษา คือ อัตราป้อน ความเร็วรอบ และ อุณหภูมิที่ค่าต่างๆ

กราฟผลกระทบร่วม (interaction plot) ของความเรียบผิวที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปยางด้วยความร้อนกับ อัตราป้อน ความเร็วรอบและอุณหภูมิที่ค่าต่างๆ ค่าของอัตราป้อน ที่ให้ความเรียบผิวที่ดีอยู่ในช่วง 0.05 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วรอบ ที่ให้ความเรียบผิวที่ดีอยู่ในช่วง 600 – 1600 รอบต่อนาที อุณหภูมิจากกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง ความเรียบผิวขึ้นอยู่กับ อัตราป้อน และ ความเร็วรอบที่เหมาะสม (ดังแสดงในรูปที่ 19)



รูปที่ 19 กราฟผลกระทบรวมของความเรียบผิวกับปัจจัยที่ศึกษา คือ อัตราป้อน ความเร็วรอบและอุณหภูมิที่ค่าต่างๆ

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางด้วยกรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อนนี้เป็นการสร้างฐานองค์ความรู้ที่มีการศึกษาวิจัยเชิงลึกอย่างต่อเนื่องในด้านที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยการตัดเฉือนเพื่อใช้ในการผลิตชิ้นงานยางแทนที่การขึ้นรูปด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น การใช้แม่พิมพ์ในการขึ้นรูป โครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการออกแบบคมตัดชุดไบมีดพร้อมอุปกรณ์จับยึดที่สามารถใช้ร่วมกับเครื่องกลึงที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันโดยนำกระแสไฟฟ้ามาใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของชุดไบมีดในระหว่างกระบวนการตัดเฉือนยาง พบว่า ชุดอุปกรณ์เสริมที่สร้างขึ้นนั้นสามารถนำมาใช้ขึ้นรูปชิ้นงานได้ โดยการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยวิธีการตัดเฉือนนั้นมีตัวแปรที่สำคัญได้แก่ 1) การออกแบบชุดจับยึดไบมีด 2) ไบมีดตัดที่มีส่วนประกอบของคาร์ไบด์ 3) ตัวจับยึดชิ้นงาน 4) ตัวควบคุมที่ประกอบไปด้วย ชุดสายไฟ สวิตช์ อินเวอร์เตอร์ คอนแทกเตอร์และหม้อแปลง 5) ตัวแปรที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงาน คือ อุณหภูมิของชิ้นงาน อัตราป้อน และความเร็วรอบ พบว่า อัตราป้อน ที่ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วรอบที่ 600 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ให้ความเรียบผิวที่ดีคือ 0.0015 มิลลิเมตร โดยกรณีที่มีความเรียบผิวที่ดีที่สุดคือ กรณีที่ 17 ครั้ง

ที่ 2 (อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ 125 องศาเซลเซียส) งานวิจัยนี้ส่งผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ลูกกลิ้งยาง ลดความสิ้นเปลืองของวัสดุและพลังงานในการขึ้นรูป ก่อให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางและผลิตภัณฑ์อื่นๆของประเทศไทยได้อีกในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการ ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ RDG5250077 สำหรับการสนับสนุนเงินทุนวิจัย ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง (CERM) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และบริษัทแมชชีนเอนรี เอ็มโปเรียม (1995) จำกัด ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rodkwan, S., and Strenkowskil, J. S., 2003. **A Numerical and Experimental Investigation of the Machinability of Elastomers**, ME-NETT#17 National Conference, Prajinburi, Thailand.
- [2] ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ, ภัคธร สงวนสิน, ชนะ รักษศิริ, คุณยุต เอี่ยมสะอาด และศรีสิทธิ์ เจียรบุตร. “การศึกษาความสามารถในการถูกตัดเฉือนของยางโดยกระบวนการกัดและการกลึง” , การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20 (ME-NETT 20), นครราชสีมา, ประเทศไทย, 18-20 ตุลาคม, 2549
- [3] Kubala, Z. 2001. **Cutting blade for resistance-heated elastomer cutters**. U.S. Patent 6,230,603.

[4] Gent, A.N. 2001. *Engineering with Rubber: How to Design Rubber Components*. 2nd ed. Hanser Publishers, Munich.

[5] Sudasna-na-Ayudhya, P. 2008. *Design and Analysis of Experiments*. 1st ed. Top Publishing Co., Ltd, Bangkok, Thailand.

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์

แสดงตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ (ดังแสดงในตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการมา	ผลที่ได้รับ	ผลสำเร็จ (%)
การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประชุมและกำหนดแผนงาน	- ศึกษาค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการตัดเย็บอย่าง - ทดลองการตัดเย็บอย่างเบื้องต้น	- แนวทางการออกแบบและกระบวนการขึ้นรูปอย่างด้วยการตัดเย็บ	100%
การออกแบบใบมีดตัดและอุปกรณ์จับยึดใบมีดตัด	- ออกแบบและผลิตใบมีดตัด - ออกแบบอุปกรณ์จับยึดใบมีดตัด	- ใบมีดตัดที่สร้างจากวัสดุคาร์ไบด์สำหรับใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน - อุปกรณ์จับยึดใบมีด	100%
การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ	-ออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ	- ชุดระบบควบคุมอุณหภูมิ ประกอบไปด้วย - สายไฟ - อินเวอร์เตอร์ - คอนแทกเตอร์ - ตู้และสวิตช์สำหรับควบคุมการทำงาน	100%
การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	- ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	-อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	100%
การประกอบชุดอุปกรณ์เข้าด้วยกัน	- ประกอบชุดอุปกรณ์ทั้งหมดเข้าตู้	-ชุดขึ้นรูปลูกกลิ้งยางด้วยความร้อน	100%

กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการมา	ผลที่ได้รับ	ผลสำเร็จ (%)
การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment, DOE) ทดสอบการตัดเฉือนด้วย ความร้อนและเก็บ ข้อมูล	- ออกแบบการทดลอง โดยศึกษาตัวแปร คือ อัตราป้อน ความเร็วรอบ และอุณหภูมิ	- ค่าตัวแปรที่เหมาะสม ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่ ยางชนิดหนึ่ง	100%
การเก็บข้อมูล	- รวบรวมนำชิ้นงาน อย่างผ่านการตัดเฉือน	- ชิ้นงานยางที่จะ นำไปใช้วัดความ เรียบผิว	100%
การสรุปผลการวิจัยและ จัดทำรายงาน	- นำข้อมูลมาสรุปผล จัดทำรายงาน	- รายงานฉบับ สมบูรณ์	100%

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

“การออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งยางด้วยกรรมวิธีการตัดเฉือนด้วยความร้อน” สัญญาเลขที่ RDG 5250077

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
<u>ความคิดเห็นด้านการพิมพ์ (Editor)</u> 1. ขอให้นักวิจัยอธิบายรูปที่ 54 เนื่องจากเป็นการแสดงภาพที่ไม่มีคำอธิบายเพิ่มเติม 2. ขอให้นักวิจัยเปลี่ยนรูปในภาคผนวกเป็นรูปสี่ 3. ผลการทดลองหน้า 29 ขอให้นักวิจัยแสดงผลทั้ง 3 ซ้ำ เพื่อความชัดเจน และเขียนคำอธิบายรูปเพิ่มเติมให้ถูกต้อง ไม่ใช่บอกว่า แกนตั้งคือ...แกนขนานคือ..... 4. ขอให้นักวิจัยเขียนบทคัดย่อใหม่ ไม่ควรตัดแปะสรุปผลมาไว้ในบทคัดย่อ 5. ขอให้นักวิจัยเพิ่มการออกแบบและวิธีสร้างอุปกรณ์เสริมสำหรับการกลิ้งลูกกลิ้งยาง 6. ขอให้นักวิจัยเพิ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแบบนี้ 7. ขอให้นักวิจัยแก้ไขวิธีทดลองให้ชัดเจน เช่น การวัดอุณหภูมิที่ใบมีดระหว่างตัดเฉือน และการควบคุมอุณหภูมิ	1. มีการเพิ่มเติมคำอธิบายในหน้า 35-37 ตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ 2. มีการปรับเปลี่ยนรูปในภาคผนวกเป็นรูปสี่ตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ 3. มีการเพิ่มผลการทดลองทั้ง 3 ซ้ำและเขียนคำอธิบายเพิ่มเติมตามที่คุณผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำในหน้าที่ 29-34 4. แก้ไขตามที่คุณผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ 5. มีการเพิ่มเติมข้อมูลในภาคผนวกตามที่คุณผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำและขยายความขั้นตอนในการสร้างอยู่ในกิจกรรมที่ 2 -4 6. เพิ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแบบนี้ในหน้าที่ 1 ตามที่คุณผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ 7. มีการอธิบายเพิ่มเติม ในหน้าที่ 34 เรื่องการวัดอุณหภูมิใบมีดด้วยการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์และควบคุมด้วยการปรับอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 23 – 26 ในหน้าที่ 17 และ 18 ตามลำดับ
<u>ความเห็นด้านวิชาการ (Technical)</u> 1. ในรายงานความก้าวหน้าของนักวิจัยนั้นยังไม่มี DOE จึงไม่ทราบว่า จะออกแบบการทดลองในลักษณะนี้ เนื่องจากเรื่องนี้มีหลาย factor ควบคุม objective (ความเรียบผิ) จึงน่าจะใช้ CCD และ Respond Surface Methodology (RSM) จะดีกว่า	1. การทดลองการหาความสามารถในการตัดเฉือนนั้น เป็นการทดลองที่ทำเสริมเพิ่มเติมขึ้นมาจากวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นว่าสามารถขึ้นรูปยางด้วยวิธีนี้ได้จริง โดยวัตถุประสงค์หลักคือการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง โดย DOE เพิ่มในหน้าที่ 29

2. ตามชื่อโครงการแม้งานนี้เน้นความรู้การดัดแปลงเครื่องกลเพื่อใช้กลึงยาง ในรายงานนี้ให้ข้อมูลในเรื่องนั้นน้อยมาก ขอให้นักวิจัยเพิ่มเติมเพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาและนำไปใช้ประโยชน์ได้ 3. ขอให้นักวิจัยอธิบายและสรุปผล ประโยชน์ของการใช้ความร้อนช่วยในการตัดเฉือน ยางว่าตกลงเป็นประโยชน์หรือไม่ เนื่องจาก จากผลการทดลองจะเห็นว่าความร้อนในช่วงที่ศึกษาไม่มีผลต่อการตัดเฉือน เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยตัวแปรในการตัดเฉือนอื่นๆ ขอให้นักวิจัยสรุปผลให้ชัดเจน 4. ผู้วิจัยควรจะมีเชิงปฏิบัติในมุมของการผลิตจริงประกอบด้วย ในการศึกษาพิจารณาปัจจัยสภาวะเงื่อนไขต่างๆในการตัดเฉือนด้วยความร้อนต่อผลการตัดเฉือนในแง่ของความเรียบผิว (Ra) เพียงด้านเดียว ไม่ได้พิจารณาค่าความสำคัญเรื่องอัตราการเอาเนื้อยางออก (Material Removal Rate-MRR) ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญในแง่การผลิต ที่ผู้ประกอบการให้ความสำคัญ 5. ขอให้นักวิจัยเพิ่มตัวแปรอีก 2 ตัว คือ แรงกด และความลึกของมีดตัด 6. อุปกรณ์เสริมสำหรับกลึงยาง ขอให้นักวิจัยเพิ่มเติมว่ามีอะไรบ้างที่เป็นความรู้ในการสร้างอุปกรณ์ดังกล่าว ที่ไม่ใช่ผลของการตัดเฉือนด้วยความร้อน 7. ขอให้นักวิจัยเพิ่มเติมหลักฐานในการอธิบายและสรุปความรู้ในแต่ละเรื่อง	2. มีการเพิ่มเติมรายละเอียดในเนื้อหาหน้า 15-35 และเพิ่มเติมข้อมูลในภาคผนวก 3. มีการปรับแก้ตามที่คุณทงคุณวุฒิแนะนำในการสรุปผล โดยการสร้างชุดอุปกรณ์เสริมสำหรับการขึ้นรูปยางนั้นสามารถใช้ขึ้นรูปชิ้นงานได้จริง แต่ความร้อนที่นำมาศึกษานั้นมีผลต่อความสามารถในการขึ้นรูป โดยดูได้จากความเรียบผิวที่ได้จากการวัดในหน้าที่ 30 -32 ตารางที่ 1 และ 2 4. เห็นด้วยกับข้อเสนอแนะของคุณทงคุณวุฒิโดยจะนำเรื่องอัตราการเอาเนื้อยางออก (Material Removal Rate, MRR) จะนำไปศึกษาต่อยอดในโครงการต่อไป 5. เนื่องจากในโครงการวิจัยนี้ วัตถุประสงค์ของโครงการเพื่อการออกแบบและสร้างอุปกรณ์เสริมสำหรับกลึงยางแบบไม่มีร่องและมีร่องโดยพิจารณาจากความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปด้วยวิธีการใช้ความร้อน โดยในส่วนการหาอัตราการเอาเนื้อออกจะนำไปศึกษาต่อยอดในโครงการต่อไป 6. มีการเพิ่มเติมในเนื้อหาหน้า 15-35 และเพิ่มเติมในภาคผนวกตามที่คุณทงคุณวุฒิแนะนำ 7. มีการปรับปรุงเนื้อหา และชี้แจงตามรายละเอียดต่างๆที่คุณทงคุณวุฒิแนะนำ ในหน้าที่ 15-38 และเพิ่มเติมในภาคผนวก
--	---