

การศึกษาความสามารถในการถูกตัดเฉือนของยางโดยกระบวนการกัดและการกลึง

A Study of the Machinability of Rubber through Milling and Turning Processes

ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ^{1*} ภัคธร สงวนสิน² ชนะ รัชศิริ³ คุณยุต เอี่ยมสะอาด¹ และ ศรีสิทธิ์ เจียรบุตร⁴

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ

ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

⁴ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

โทร 0-2942-7188 โทรสาร 0-2942-7189 *อีเมล fengssr@ku.ac.th

Supasit Rodkwan^{1*}, Pakthorn Sangunasin², Chana Raksiri³, Kunyut Eiamsa-ard¹ and Srisith Jienbut⁴

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University and
Center of Excellence in Rubber Mould, Research and Development Institute of Industrial Production Technology

²Electromechanic Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Jatujak, Bangkok 10900, Thailand,

⁴Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkla 90112, Thailand,

Tel: 0-2942-7188, Fax 0-2942-7189, *E-mail: fengssr@ku.ac.th

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปแล้วกระบวนการผลิตชิ้นงานผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แผ่นยางรองพื้นในรถยนต์ แหวนกันซึม ของเล่น ชิ้นส่วนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นั้นมักจะทำได้โดยกระบวนการอัดและกระบวนการฉีดขึ้นรูป อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวจะต้องมีการทำการผลิตแม่พิมพ์ทั้งแม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดและแม่พิมพ์ใช้ในการฉีดซึ่งมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาทั้งในด้านค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์และระยะเวลาที่ใช้การผลิตแม่พิมพ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการตัดเฉือนชิ้นงานยางเพื่อให้สามารถนำไปใช้ประยุกต์ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนของรูปร่างค่อนข้างสูง รวมถึงผลิตภัณฑ์ยางต้นแบบเช่น พื้นยางของรองเท้า ยางรถยนต์ ยางรถแทรกเตอร์ โดยไม่จำเป็นต้องมีการสร้างแม่พิมพ์เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง โดยทำการตัดเฉือนชิ้นงานที่เป็นยางธรรมชาติผ่านกระบวนการกัดและการกลึงที่สภาวะต่างๆ โดยมีตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้คือ อุณหภูมิของชิ้นงาน ความเร็วรอบของชิ้นงาน อัตราเร็วในการป้อนชิ้นงาน ลักษณะของเศษยางจากการตัดเฉือนที่ได้ ซึ่งผลการวิจัยที่อุณหภูมิของชิ้นงานประมาณ -76 องศาเซลเซียสนั้นพบว่าในกระบวนการกัดและการกลึงนั้นที่ความเร็วรอบต่ำจะส่งผลให้ขอปชิ้นงานที่ถูกกัดมีลักษณะเป็นขุย ในทางกลับกันที่ความเร็วรอบสูงจะทำให้ขอปชิ้นงานที่ถูกกัดมีลักษณะเรียบ อย่างไรก็ตามยังไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วในการป้อนชิ้นงานและลักษณะของเศษยางกับความเรียบผิวของชิ้นงานอย่างชัดเจนนักในกระบวนการกัด ซึ่งต่างจากผลการวิจัยที่ได้ในกระบวนการกลึงซึ่งพบว่าอัตราเร็วในการป้อนชิ้นงานที่ต่ำและลักษณะของเศษยางที่เป็นเส้นยาวจะมีผลทำให้

ความเรียบผิวของขอปชิ้นงานที่ถูกกลึงดีขึ้นอย่างชัดเจน ผลในการวิจัยนี้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ตัวแปรที่เหมาะสมในการตัดเฉือนชิ้นงานที่เป็นยางเพื่อนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางในบางชนิดต่อไป

คำสำคัญ: ความสามารถในการถูกตัดเฉือน ยาง การกัด การกลึง อัตราเร็วในการป้อนชิ้นงาน ความเร็วรอบของชิ้นงาน

Abstract

In general, the rubber products such as automobile rubber sheets, o-rings, toys can be manufactured using compression and injection moulding processes. Nevertheless, the rubber moulds used in those processes must be made which can cost high expenses and can be time-consuming process. Consequently, this research presents an investigation of the machinability of rubber so the machining process can possibly replace the mould making in some applications of rubber prototyped products like shoe-thread patterns, automobile tires including other rubber products with complicated shape. In this work, the machining of natural rubber through milling and turning processes was performed. The key studied parameters are workpiece temperature, spindle speed, feed, and chip morphology. With an approximate workpiece temperature of -76 degree C, the results from both milling and turning processes show that the high spindle speed generates a good workpiece surface finish and vice versa. However, the relation between

feed, chip morphology and the surface roughness can not be seen clearly in milling process while, in turning, a good surface finish can be obtained with low feed and ribbon-like chips. As a result, this work can be used as a fundamental selection of machining parameter for rubber machining process.

Keywords: Machinability, Rubber, Milling, Turning, Feed, Spindle Speed.

1. บทนำ

ยางเป็นวัสดุที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ยางรถยนต์ สปริง ตัวดูดซับแรงกระแทก วัสดุลดเสียง และตัวดูดซับแรงสั่นสะเทือน ประเก็น ของเล่น พื้นรองเท้า ท่อ เนื่องจากคุณสมบัติของยางในการคืนรูปได้ถึงแม้ถูกทำให้เปลี่ยนรูปไปอย่างมากและยางยังมีความทนต่อความล้า และยังสามารถในการดูดซับพลังงานได้สูง นอกจากนี้ผิวของยางมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกว่าเมื่อเทียบกับโลหะ [1]

ในกระบวนการแปรรูปยางพาราด้วยวิธีขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ (Moulding) เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ แบบอัด (Compression Moulding) แบบกึ่งอัด (Transfer Moulding) และแบบฉีด (Injection Moulding) โดยแม่พิมพ์แบบอัดจะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่รูปร่างไม่ซับซ้อน ซึ่งแม่พิมพ์อัดจะมีราคาต่ำกว่าแบบอื่น [2, 3] ในขณะที่แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีดจะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนปานกลางและใช้เวลาสั้นกว่าแบบอัด ส่วนแม่พิมพ์แบบฉีดจะเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนสูงโดยที่มีราคาของแม่พิมพ์สูงด้วยเช่นกัน ด้วยความต้องการในด้านความซับซ้อนของรูปร่าง คุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ยางในปัจจุบันมีส่วนทำให้ความต้องการแปรรูปแบบฉีดมีเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องด้วยสภาวะปัจจุบันภายในประเทศไทยยังมีความสามารถในการผลิตแม่พิมพ์ค่อนข้างน้อย จึงเป็นผลให้ได้แม่พิมพ์ที่ไม่มีคุณภาพและมีผลิตภัณฑ์เสียเป็นจำนวนมาก และในบางกรณีการผลิตชิ้นงานยางก็ไม่คุ้มกับการทำแม่พิมพ์ เนื่องจากต้องการชิ้นงานในจำนวนน้อยและไม่คุ้มกับราคาของแม่พิมพ์ที่มีราคาสูง

ดังนั้นการขึ้นรูปชิ้นงานยางของต้นแบบของผลิตภัณฑ์บางประเภท เช่น ยางรถยนต์หรือพื้นยางรองเท้าที่ต้องการแม่พิมพ์ที่ซับซ้อนในการผลิต ซึ่งต้องการเพียงชิ้นงานตัวอย่างหรือต้นแบบเพื่อที่จะนำมาพัฒนาต่อเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไปโดยในปัจจุบันยังจำเป็นที่จะต้องสร้างแม่พิมพ์เพื่อผลิตชิ้นงานต้นแบบดังกล่าว อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการตัดเฉือนชิ้นงานยางเพื่อเป็นทางเลือกที่สามารถลดเวลาและต้นทุนในการผลิตชิ้นงานต้นแบบรวมทั้งทดแทนการสร้างแม่พิมพ์ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง โดยมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างบ่อยครั้งเช่น ยางรถยนต์ และพื้นยางรองเท้า

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาการนำกระบวนการตัดเฉือนและการจับยึดชิ้นงานมาประยุกต์ใช้กับชิ้นงานยาง

2.2 เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ทางวิศวกรรมไปใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตทางอุตสาหกรรมยางและยังเป็นการสร้างบุคลากรเพื่อรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางได้ในอนาคต

3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

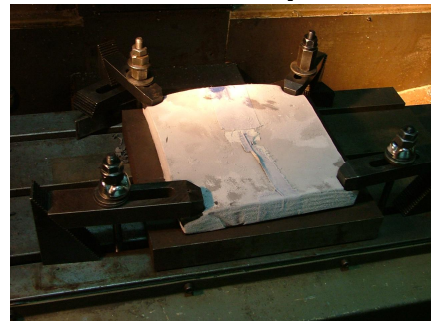
3.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

3.1.1 เครื่องกัด CNC (CNC Milling Machine) ยี่ห้อ Heckert Model CSK-300

3.1.2 มีดกัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตรแบบ Solid มี 2 ฟันกัด

3.1.3 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานยาง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานยาง

3.1.4 ชิ้นงานยางที่ใช้มีขนาด ยาว 20 เซนติเมตร กว้าง 20 เซนติเมตรหนา 1 นิ้ว

3.1.5 กล่องโคมสำหรับแช่แข็งชิ้นงานยาง

3.1.6 น้ำแข็งแห้งสำหรับเป็นตัวแช่แข็งชิ้นงานยาง

3.1.7 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ แบบ K-Type Thermometer Model MT-4001 มีความละเอียดหนึ่งจุดทศนิยม สามารถวัดอุณหภูมิ ได้ตั้งแต่ -100 ถึง 199.9 องศาเซลเซียส

3.1.8 เครื่องกลึง CNC (CNC Turning Machine) ยี่ห้อ Traub Model TND 160

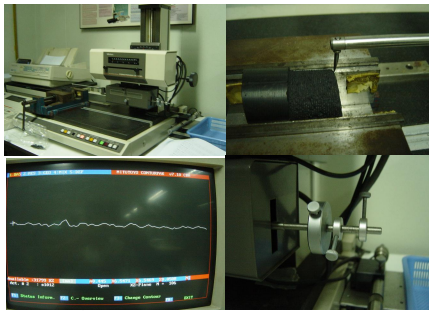
3.1.9 มีดกลึงแบบ Insert มุมกัด 30 องศา สำหรับกลึงอลูมิเนียม

3.1.10 ชิ้นงานและการจับยึด เนื่องจากชิ้นงานไม่สามารถทนต่อการจับยึดของ JAW ของเครื่องกลึงได้ จึงจำเป็นต้องมีการดัดชิ้นงาน โดยสอดใส่ท่อนเหล็กไว้ภายในโดยชิ้นงานยางมีลักษณะเป็นท่อกว้าง เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 30 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชิ้นงานยางที่ใช้ในกระบวนการกลึง

3.1.11 เครื่องวัดความเรียบผิว (Surface Roughness) Mitutoyo Contopak v7.10 ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 Mitutoyo Contopak v7.10 Set

3.2 วิธีกรวจวิจัย

3.2.1 วิธีกรวจสำหรับกระบวนการกัด

3.2.1.1 ศึกษากระบวนการตัดชิ้นงานยาง โดยใช้เครื่องกัด CNC (CNC Milling Machine)

3.2.1.2 ทำอุปกรณ์ยึดจับ (Fixture) เพื่อช่วยในการจับยึดชิ้นงานยาง ขณะที่ทำการตัดเฉือน

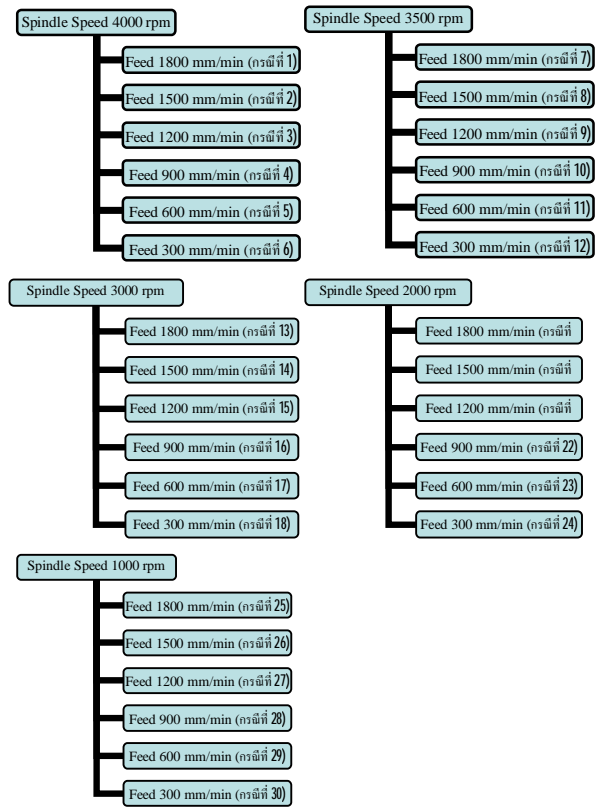
3.2.1.3 เลือกใช้มีดตัด (Tools) แบบ End-Mill โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร แบบ 2 ฟันกัด

3.2.1.4 ทำการแช่แข็งชิ้นงานยางโดยใช้น้ำแข็งแห้งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

3.2.1.5 ทำการทดสอบการตัดเฉือนชิ้นงานยางขณะที่ชิ้นงานยางอยู่ในสภาพแข็งแต่ตัวเครื่องกัด CNC (CNC Milling Machine) และอุปกรณ์อื่น ๆ อยู่ในอุณหภูมิห้อง

3.2.1.6 ทำการตรวจสอบลักษณะของเศษยาง (Chip Morphology) และความเรียบ (Surface Roughness) ขอบผิวด้านล่างของรอยกัด

โดยจะมีการแบ่งกรณีวิจัยเป็น 5 กลุ่มใหญ่โดยแต่ละกลุ่มมี 6 กรณี ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กรณีวิจัยกระบวนการกัด

3.2.3 วิธีกรวจสำหรับกระบวนการกลึง

3.2.3.1 ศึกษากระบวนการตัดชิ้นงานยาง โดยใช้เครื่องกลึง CNC (CNC Turning Machine)

3.2.3.2 ทำอุปกรณ์ยึดจับ (Fixture) เพื่อช่วยในการจับยึดชิ้นงานยาง ขณะที่ทำการตัดเฉือน

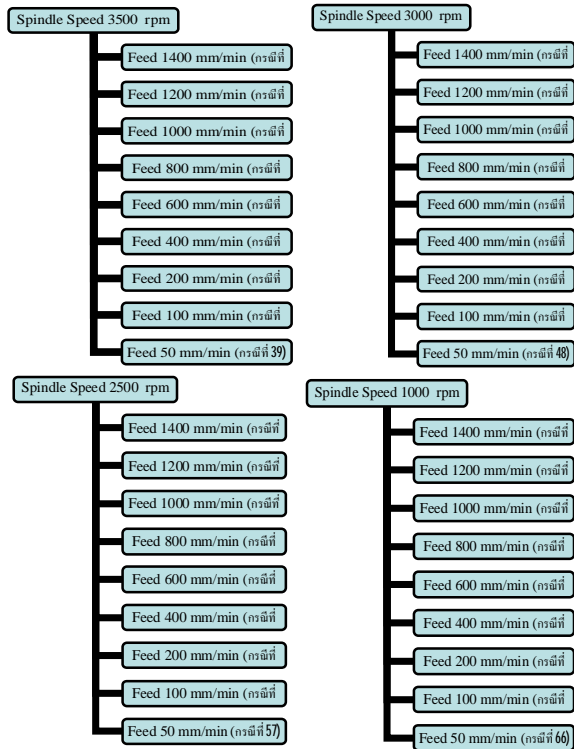
3.2.3.3 เลือกใช้มีดตัด (Tools) แบบ มุมแหลม 30 องศา ที่มีความคมสูงสำหรับกลึงอลูมิเนียม

3.2.3.4 ทำการแช่แข็งชิ้นงานยางโดยใช้น้ำแข็งแห้งเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

3.2.3.5 ทำการทดสอบการตัดเฉือนชิ้นงานยางขณะที่ชิ้นงานยางอยู่ในสภาพแข็งแต่ตัวเครื่องกลึง CNC (CNC Turning Machine) และอุปกรณ์อื่น ๆ อยู่ในอุณหภูมิห้อง

3.2.3.6 ทำการตรวจสอบลักษณะของเศษผิว (Chip Morphology) และความเรียบ (Surface Roughness) ของผิวที่ผ่านการกลึง

โดยมีการแบ่งกรณีวิจัยเป็น 4 กลุ่มใหญ่โดยแต่ละกลุ่มมี 9 กรณี ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 กรณีวิจัยกระบวนการกลึง

4. ผลการวิจัย

ในการบวนการวิจัยจะมีการเก็บผลการวิจัยเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ลักษณะชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการ ลักษณะเศษยาง และค่าความเรียบผิวดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปแบบการเก็บผลการวิจัย

	ลักษณะชิ้นงาน	ลักษณะเศษยาง	ค่าความเรียบผิว Rz (mm)
3500 rpm 600 mm/min (กรณีที่ 11)			0.00977
4000 rpm 1500 mm/min (กรณีที่ 2)			0.0050
3500 rpm 300 mm/min (กรณีที่ 12)			0.00688
3000 rpm 600 mm/min (กรณีที่ 17)			0.00598

	ลักษณะชิ้นงาน	ลักษณะเศษยาง	ค่าความเรียบผิว Rz (mm)
1000 rpm 900 mm/min (กรณีที่ 28)			0.004464
1000 rpm 600 mm/min (กรณีที่ 29)			0.004
3500 rpm 400 mm/min (กรณีที่ 36)			0.004439
2500 rpm 1400 mm/min (กรณีที่ 49)			0.042164
2500 rpm 600 mm/min (กรณีที่ 53)			0.011556
1000 rpm 1400 mm/min (กรณีที่ 58)			0.145733
1000 rpm 400 mm/min (กรณีที่ 63)			0.014968
1000 rpm 100 mm/min (กรณีที่ 65)			0.00492

ซึ่งจากผลการวิจัยเราจะได้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานยางดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ค่าความเรียบผิว (mm) ของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกัด

Spindle Speed (rpm) \ Feed (mm/mm)	4000	3500	3000	2500	1000
1800	0.0044	0.0038	0.0023	0.0045	0.0053
1500	0.0050	0.0051	0.0061	0.0048	0.0069
1200	0.0089	0.0071	0.0045	0.0072	0.0067
900	0.0065	0.0071	0.0049	0.0067	0.0044
600	0.0052	0.0098	0.0060	0.0051	0.0040
300	0.0042	0.0069	0.0112	0.0055	0.0054

ตารางที่ 3 ค่าความเรียบผิว (mm) ของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกลึง

Spindle Speed (rpm) \ Feed (mm/min)	3500	3000	2500	1000
1400	0.0535	0.0404	0.0422	0.1457
1200	0.0381	0.0241	0.0294	0.1311
1000	0.0122	0.0117	0.0141	0.0941
800	0.0084	0.0098	0.0142	0.0967
600	0.0086	0.0101	0.0116	0.0465
400	0.0044	0.0074	0.0070	0.0150
200	0.0038	0.0039	0.0036	0.0121
100	0.0035	0.0029	0.0022	0.0049
50	0.0031	0.0034	0.0020	0.0035

5. อภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

โดยทั่วไปแล้วกระบวนการผลิตชิ้นงานผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แผ่นยางรองพื้นในรถยนต์ แหวนกันซึม ของเล่น ชิ้นส่วนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นั้นมักจะทำได้โดยกระบวนการอัดและกระบวนการฉีดขึ้นรูป อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวจะต้องมีการทำการผลิตแม่พิมพ์ทั้งแม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดและแม่พิมพ์ที่ใช้ในการฉีดซึ่งมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาทั้งในด้านค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์และระยะเวลาที่ใช้การผลิตแม่พิมพ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการตัดเฉือนชิ้นงานยาง เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประยุกต์ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนของรูปร่างค่อนข้างสูง รวมถึงผลิตภัณฑ์ยางต้นแบบเช่น พื้นยางของรองเท้า ยางรถยนต์ ยางรถแทรกเตอร์ โดยไม่จำเป็นต้องมีการสร้างแม่พิมพ์เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง โดยทำการตัดเฉือนชิ้นงานที่เป็นยางธรรมชาติผ่านกระบวนการกัดและการกลึงที่สภาวะต่างๆโดยมีตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานที่ได้คือ อุณหภูมิของชิ้นงาน ความเร็วรอบของชิ้นงาน อัตราเร็วในการป้อนชิ้นงาน ลักษณะของเศษยางจากการตัดเฉือนที่ได้ โดยพบว่าผลการวิจัยที่อุณหภูมิของชิ้นงานยางประมาณ -76 องศาเซลเซียสต้องใช้เวลาในการแช่แข็งอย่างน้อย 45 นาทีเพื่อให้ชิ้นงานถูกแช่แข็งอย่างแท้จริง ซึ่งในกระบวนการกัดไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างอัตราการป้อนชิ้นงาน และค่าความเรียบผิวได้แต่สามารถสรุปได้ว่ามีค่าความเรียบผิวแบบ Rz อยู่ในช่วง 0.002-0.001 mm. ซึ่งกรณีที่มีความเรียบผิวเรียบที่สุดคือ กรณีที่ 13 (Spindle Speed 3000 rpm และ Feed 1800 mm/min) ส่วนในกระบวนการกลึง อัตราการป้อนชิ้นงานมีผลต่อค่าความเรียบผิวอย่างชัดเจน โดยค่าความเรียบผิวแปรผันตรงกับอัตราการป้อนชิ้นงาน ซึ่งได้สมการถดถอยของค่ากระบวนการกลึง

$$Rz = 0.0452 - 0.000020 \text{ Spindle Speed} + 0.000048 \text{ Feed} \quad (1)$$

นอกจากนี้จะพบว่าในกระบวนการกัด ลักษณะเศษยางไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความเรียบผิว ในขณะที่ในกระบวนการกลึง

ลักษณะเศษยางมีความสัมพันธ์กับค่าความเรียบผิว โดยที่เศษยางในลักษณะสะเก็ดจะทำให้ค่าความเรียบผิวหยาบและ เศษยางลักษณะเป็นเส้นจะให้ค่าความเรียบผิวดีกว่า โดยที่ จากกรณีที่ 57 (Spindle Speed 2500 rpm และ Feed 50 mm/min) ในกระบวนการกลึง เศษยางของชิ้นงานที่มีค่าความเรียบผิวสูงที่สุดมีลักษณะเป็นเส้นที่หนาปานกลาง นอกจากนี้ช่วง Spindle Speed ที่ให้ค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุดอยู่ระหว่าง 2500-3000 รอบต่อนาที (rpm)

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ฝ่ายอุตสาหกรรม (ฝ่าย 5) สำนักกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ในโครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา (SPR) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณรุ่งธรรม ปัญญาวิภาต คุณเสกสรรค์ วินยางค์กุล คุณสุชาติา เจริญโยธา และเจ้าหน้าที่ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง (CERM) สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDIP) สำหรับความรู้ความช่วยเหลือเรื่องเกี่ยวกับคุณสมบัติยาง และการสนับสนุนในการใช้เครื่องจักรที่ใช้ในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณกัมปนาท อ่วมกุล และเจ้าหน้าที่ในแผนกเครื่องมือวัด สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDIP) สำหรับการเอื้อเฟื้อในการใช้อุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] ข้อมูลวิชาการยางพารา 2545: กรมวิชาการเกษตร, 2545.
- [2] ยุทธศาสตร์การพัฒนายางพาราครบวงจร (2542-2546): คณะกรรมการนโยบายยางธรรมชาติ, 2545.
- [3] Rodkwan, S., and Strenkowskil, J. S., 2003. A Numerical and Experimental Investigation of the Machinability of Elastomers, ME-NETT#17 National Conference, Prajinburi, Thailand.