



# การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวสำเร็จอลูมิเนียมอัลลอย เกรด 7075 ด้วยกระบวนการล้อเดียวกดรีดปิดเงา

ธนวันต์ บุญเพ็ง<sup>\*</sup> ณิชฐสุดา สงมา ศุภณัฐ ฤทธิ์ประเสริฐ และ พีรพงษ์ กาสุริยะ<sup>\*</sup>

สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี,  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>\*</sup> ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: Peerapong.kas@kmutt.ac.th

วันที่รับบทความ: 22 มกราคม 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 16 พฤษภาคม 2567; วันที่ตอบรับบทความ: 1 กรกฎาคม 2567  
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 22 สิงหาคม 2567

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้มุ่งดำเนินการออกแบบและพัฒนากระบวนการกดรีดปิดเงาอลูมิเนียมอัลลอย เกรด 7075 แบบล้อเดี่ยวในกระบวนการปรับผิวสำเร็จแบบอัตโนมัติ ซึ่งกระบวนการปรับผิวสำเร็จวัสดุดังกล่าวแบบปกตินั้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการที่ซับซ้อน ทั้งกระบวนการกลึง การเจียรระไน และการขัดเงา อีกทั้งกระบวนการขึ้นรูปด้วยงานกลึงไม่สามารถทำให้พื้นผิวสำเร็จมีความหยาบผิวต่ำได้ ดังนั้นวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดกดรีดปิดเงาแบบล้อเดี่ยวที่สามารถติดตั้งบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีได้ พร้อมทั้งศึกษากลไกพื้นฐานในการปรับปรุงพื้นผิวสำเร็จด้วยกระบวนการกดรีดปิดเงา บนชิ้นงานอลูมิเนียมอัลลอย เกรด 7075 และศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลต่อคุณภาพพื้นผิวชิ้นงานอลูมิเนียมอัลลอย เกรด 7075 ด้วยการรวมทั้งสองกระบวนการอัตโนมัติ ได้แก่ กระบวนการกลึงและกระบวนการกดรีดปิดเงา ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนในการปรับปรุงพื้นผิวที่ซับซ้อนในการทดลองได้ประยุกต์ใช้พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการกดรีดปิดเงาประกอบด้วยแรงกดสปริงแบบคงที่ 3 ระดับ ได้แก่ 150, 300 และ 450 นิวตัน อัตราป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 0.05, 0.1 และ 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วรอบ 2 ระดับ ได้แก่ 600 และ 1,200 รอบต่อนาที จากผลการทดลองพบว่า อัตราป้อนเป็นอิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งอัตราป้อนที่ดีที่สุดคือ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ จะได้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่ 0.078 ไมโครเมตร ซึ่งค่าความหยาบผิวเฉลี่ยหลังจากกระบวนการกลึงมีค่า 0.371 สามารถทำให้ค่าความหยาบผิวลดลง 4-5 เท่า ยิ่งไปกว่านั้น ค่าความแข็งของอลูมิเนียมอัลลอย เกรด 7075 หลังจากผ่านกระบวนการกดรีดปิดเงา ทำให้ได้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น 34% แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดังกล่าว นอกจากจะทำให้คุณภาพความหยาบผิวดีขึ้นแล้ว ยังส่งผลทำให้ผิวชิ้นงานมีค่าความเค้นตกค้างบนพื้นผิวมากขึ้นอีกด้วย

**คำสำคัญ:** กดรีดปิดเงาแบบล้อเดี่ยว; ความแข็งผิว; ความหยาบผิว; กระบวนการปรับผิว AI 7075

# An Optimization Process of Automatic Finishing Surface Treatment Al 7075 by a Single Roller Burnishing Tool

Thanawan Bunpheng, Nutsuda Songma, Supanut Ritpraseart and Peerapong Kasuriya\*

Division of Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture and Technology,  
Rajamangala University of Technology Isan

\* Corresponding author, E-mail: Peerapong.kas@kmutt.ac.th

Received: 22 January 2024; Revised: 16 May 2024; Accepted: 1 July 2024

Online Published: 22 August 2024

**Abstract:** This research designed and developed a single-roller burnishing tool for the automatic finishing surface of 7075 aluminum alloy (Al 7075). The conventional finishing process for such materials requires complex processes such as turning, grinding, and polishing. In addition, the turning process cannot achieve a surface finish with a low roughness. Therefore, the purpose of this research aims to design and fabricate a single-roller burnishing tool that can be installed on a CNC lathe. In addition, the research will study the fundamental mechanisms of surface finishing improvement using a single-roller burnishing tool on Al 7075 and study the parameters that affect the surface quality of Al7075 by combining two automatic processes. This process includes turning and roller Burnishing, which will reduce the complex steps in surface finishing. In the experiment, the following parameters were used in the roller burnishing process: three levels of constant spring force 150, 300, and 450 Newtons, feed rate 0.05, 0.1, and 0.15 mm/rev, and rotational speed 600 and 1,200 rpm. The results of the experiment showed that the feed rate was the main factor that affected the surface roughness of the workpiece with a statistical significance of 95%. The best feed rate was 0.05 mm/rev, which resulted in a surface roughness of 0.078  $\mu\text{mRa}$ . The surface roughness after the turning process was 0.371  $\mu\text{mRa}$ , which means that the surface roughness was reduced about 4-5 times. In addition, the hardness of Al 7075 after roller burnishing increased by 34%. This shows that the process not only improves the surface roughness quality but also increases the residual stress on the surface of the workpiece.

**Keywords:** Roller burnishing; surface hardness; surface roughness; Finishing process of Al 7075



## 1. บทนำ

วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้สำหรับงานวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมยานยนต์กับการบิน ต้องการวัสดุที่แข็งแรง น้ำหนักเบา และ มีความสวยงามทางด้านพื้นผิว รวมถึงในแง่ของการใช้พลังงานต่อน้ำหนัก โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาและส่วนประกอบของเครื่องยนต์โดยมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักที่ดีเยี่ยม ซึ่งสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงสูง อลูมิเนียมอัลลอยนั้นถือว่าเป็นโลหะที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการผลิตชิ้นส่วนยานพาหนะเนื่องจากมีความแข็งแรงต่ออัตราส่วนน้ำหนักที่สูง ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเยี่ยมซึ่งความหลากหลายของเกรดอลูมิเนียมอัลลอยขึ้นอยู่กับลักษณะความสำคัญของการใช้งาน และขีดความสามารถในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนต่าง ๆ ของยานพาหนะ [1]

อลูมิเนียมอัลลอยเกรด 7075 เป็นหนึ่งในวัสดุที่มีความแข็งแรงที่สุดที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมการผลิต และเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ การบิน และอวกาศ เนื่องจากมีความแข็งแรงและต้านทานการเสีรูปร่างได้ดี เหมาะกับงานที่ต้องการโลหะที่มีความเหนียวแต่มีน้ำหนักเบาซึ่งกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวอลูมิเนียม อัลลอยเกรด 7075 จำเป็นจะต้องผ่านกระบวนการที่ซับซ้อนเนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปเพลาด้วยงานกลึงไม่สามารถทำให้พื้นผิวสำเร็จมีความเรียบสูงได้จากงานวิจัยหลายแห่งแสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถของงานกลึงซึ่งได้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยประมาณ  $0.3-0.5 \mu\text{mRa}$  [2-4] เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการสุดท้ายคืองานเจียรไนเพื่อทำให้ได้ผิวสำเร็จที่ได้ตรงตามเป้าหมาย ทำให้กระบวนการปรับปรุงพื้นผิวเพลาลูมิเนียมอัลลอย

7075 นั้นมีความซับซ้อน ด้วยเหตุนี้กระบวนการกัดรีดขัดเงาจึงสำคัญ [5] โดยเครื่องมือกัดรีดขัดเงา (Burnishing tool) เป็นเครื่องมือที่ปรับปรุงผิวสำเร็จที่สมบูรณ์แบบ อาทิเช่น ความแข็งผิว, ความหยาบผิว และเพิ่มความเครียดตกค้างบนพื้นผิวชิ้นงาน เป็นต้น เนื่องจากกระบวนการกัดรีดขัดเงาพื้นผิวด้วยแรงอัดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก แตกต่างจากกระบวนการกลึง ซึ่งการกัดรีดขัดเงาจะไม่มีเศษออกในกระบวนการแต่จะทำการกัดผิวชิ้นงานทำให้ผิวชิ้นงานมีความเรียบมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเครื่องมือกัดรีดขัดเงายังเป็นเครื่องมือที่สามารถติดตั้งบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีได้และทำงานต่อเนื่องหลังจากกระบวนการกลึงได้โดยอัตโนมัติ ดังนั้น กระบวนการดังกล่าวจึงมีความสำคัญต่อการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการค่าความหยาบผิวในระดับนาโนเมตร

ผู้วิจัยจึงเห็นว่ากระบวนการดังกล่าวจะสามารถทำให้ผิวสำเร็จของอลูมิเนียมอัลลอยเกรด 7075 มีความเรียบผิวมากยิ่งขึ้นได้ อย่างไรก็ตามความท้าทายที่จะทำให้พื้นผิวชิ้นงานมีความเรียบนั้นจำเป็นต้องอาศัยแรงกดอัดและสภาวะการกัดรีดที่เหมาะสม จากการศึกษาการประยุกต์ใช้เครื่องมือ กัดรีดขัดเงาหลายงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าปัจจัยที่สำคัญของการกัดรีดขัดเงาคือแรงในการกัดที่มีอัตราคงที่ ค่าแรงกดของสปริง (นิวตัน) ต่อระยะการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z ที่มีหน่วยเป็นนิวตันต่อมิลลิเมตร โดยจะทำให้พื้นผิวของชิ้นงานมีคุณภาพความเรียบที่สม่ำเสมอ ทางผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องมือกัดรีดขัดเงาด้วยการใช้แรงกดสปริงคงที่ที่สามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปรับพื้นผิวชิ้นงาน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพพื้นผิวสำเร็จที่เหมาะสมที่สุดของการขึ้นรูปอลูมิเนียมอัลลอยเกรด



7075 ด้วยการผสมผสานขั้นตอนอัตโนมัติของกระบวนการกลึง และกระบวนการกัดรีดปิดเงาด้วยแรงคงที่ของสปริง ให้ได้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยในระดับต่ำกว่า  $0.1 \mu mRa$  และใช้เป็นแนวทางประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมการปรับปรุงผิวชิ้นงานอลูมิเนียมอัลลอยด์โดยอัตโนมัติบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีได้

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาปัจจัยของตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิว ด้วยกระบวนการกลึงแบบผสมผสานการใช้ลูกกลิ้งกัดรีดปิดเงาที่ถูกออกแบบมาใช้ติดตั้งบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีวัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ อลูมิเนียมอัลลอยด์เกรด 7075 เครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองคือ เครื่องกลึงซีเอ็นซี (Mazak nexus 150 II) โดยเครื่องจักรดังกล่าวมีความสามารถที่อัตราป้อนต่ำสุดของแกน X อยู่ที่ 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ แกน Z อยู่ที่ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ และมีความเร็วรอบสูงสุดอยู่ที่ 5,000 รอบต่อนาที ขั้นตอนในการทำวิจัยจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก (2.1) การออกแบบและสร้างชุดกัดรีดปิดเงาสำหรับการทดลอง (2.2) การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการกลึง และ (2.3) การหาอิทธิพลที่ส่งผลกระทบ รวมถึงพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อกระบวนการกัดรีดปิดเงา ทางผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

### 2.1 การออกแบบและสร้างชุดกัดรีดปิดเงา

การเลือกชนิดของหัวกัดรีดชนิดลูกกลิ้งจากการศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพบว่า เครื่องมือดังกล่าวได้มีการประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมการกลึง และปรับปรุงพื้นผิวด้วยหัวกัดรีดหลากหลายรูปแบบ เช่น การปรับปรุงคุณภาพผิว และ

ความแข็งผิวชิ้นงานอลูมิเนียมอัลลอยด์เกรด 7075-T6 โดยการใช้เครื่องมือขัดผิวด้วยหัวบอลกัดรีดปิดเงา [6]. การใช้เครื่องมือขัดผิวด้วยล้อเดี่ยวกัดรีดปิดเงาแบบใหม่ด้วยหัวสลักทรงกระบอกทำการกัดรีดปิดเงาด้วยการเอียงตามแนวแกนที่ 45 องศาบนชิ้นงานอลูมิเนียมอัลลอยด์เกรด ASTM2017 [7]. การประยุกต์ใช้หัวบอลที่ทำมาจากเซรามิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร โดยใช้แรงดันในการกัดรีดชนิดไฮดรอลิกพร้อมทั้งประยุกต์ใช้ในกระบวนการกลึงซีเอ็นซี [8] การใช้หัวบอลกัดรีดปิดเงา สามารถสร้างชั้นผลกระทบบนพื้นผิวจากกระบวนการได้ลึก 1.5 ถึง 3 มิลลิเมตร [9] ล้อเดี่ยวกัดรีดปิดเงาแบบวงแหวน หรือล้อกัดรีดแบบวงแหวนที่มีรัศมีความโค้งของแหวนที่ 5 มิลลิเมตร ให้ค่าความหยาบผิวชิ้นงานที่ดีที่สุดและสามารถทำการกัดรีดชิ้นงานได้หลากหลายรูปทรง [10]

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้หัวกัดรีดชนิดลูกกลิ้งรูปทรงวงแหวน แสดงดังรูปที่ 1 พร้อมทั้งได้ออกแบบชุดกัดรีดด้วยสปริงคงที่ที่ใช้ในการติดตั้งบนเครื่องกลึงซีเอ็นซี ประกอบด้วย แกนเพลลาสวมสปริง, แหวนรองสปริง, สปริง, ฝาครอบสปริง, แกนดันสปริง, สลักลูกปืน, ล้อเดี่ยวกัดรีดปิดเงา

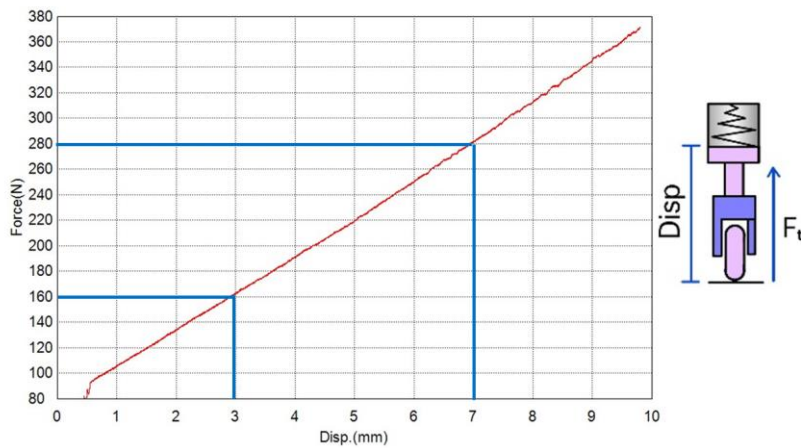
### 2.2 การทดสอบแรงกดสปริงคงที่สำคัญ

#### กระบวนการกัดรีดปิดเงา

การทดสอบแรงกดสปริง จะทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกด (Precision Universal Tester : SHIMADZU เพื่อหาค่าแรงกดของสปริง (นิวตัน) ต่อระยะการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z ที่มีหน่วยนิวตันต่อมิลลิเมตร (N/displacement (mm)) จากนั้นจะนำค่าดังกล่าวไปเป็นค่าสำหรับกำหนดระยะการกัดรีด ซึ่งจะใช้สูตรในการคำนวณ (1)



รูปที่ 1 การแสดงส่วนประกอบของชุดกดรีดบิดเงา



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์แรงกดสปริง และระยะเคลื่อนที่

$$\frac{\Delta F}{\Delta D} = \frac{F_2 - F_1}{D_2 - D_1} \quad (1)$$

จากรูปที่ 2 ผลการกดสปริงจะแสดงผลเป็นค่าแรงกดต่อระยะทาง จะมีค่าแรงกดสปริงอยู่ที่ 30 นิวตัน / มิลลิเมตร (N/mm)

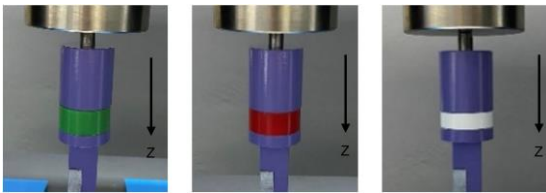
การตั้งค่าแรงกดสปริงดังกล่าวเมื่อต้องการแรงกดที่สูงจำเป็นต้องใช้ระยะกดที่ยาว จะทำให้เกิดปัญหาการเคลื่อนที่ในแนวแกน X ของเครื่องกลึงซีเอ็นซีเกินระยะด้วยเหตุนี้จึงได้ออกแบบแหวนรองฝากรอบสปริง

เพื่อทำการตั้งค่าระดับเริ่มต้นของแรงกดสปริง 3 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 3 ได้แก่ 40 นิวตัน (ก) สำหรับแรงกดที่ 150 นิวตัน, 90 นิวตัน (ข) สำหรับแรงกดที่ 300 นิวตัน และ 250 นิวตัน (ค) สำหรับแรงกดที่ 450 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งแหวนรองจะทำให้ระยะกดรีดบิดเงามีระยะใกล้เคียงกัน และสามารถตั้งระยะการกดบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีได้โดยไม่เกิดปัญหาระยะการเคลื่อนที่เกิน ดังตารางที่ 1



ตารางที่ 1 แสดงระยะการกัดที่ส่งผลต่อแรงกดสปริงของแต่ละแหวนรอง

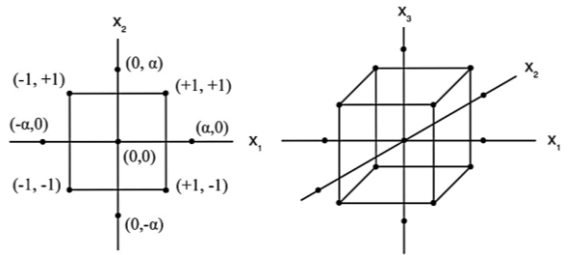
แหวนรองแบ่งตามสี (รูปที่ 3)	แรงกดรีดที่ได้ (N)	ระยะการกัดรีด (mm)
เขียว (40 นิวตัน)	150	3.6
แดง (90 นิวตัน)	300	7.0
ขาว (250 นิวตัน)	450	6.6



รูปที่ 3 แหวนรองปรับระดับแรงกดสปริง 3 ระดับ

### 2.3 การหาพารามิเตอร์ในทางกลึง

การทดลองการกลึงเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของงานกลึง กระบวนการกลึงใช้เม็ดอินเสิร์ทคาร์ไบด์ รุ่น VCGT 160404 รัศมีปลายคมตัด 0.4 มิลลิเมตร การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการศึกษานี้จะใช้วิธีการทางสถิติเป็นการออกแบบเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการออกแบบส่วนประสมกลางเมื่อทำการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในสมการที่อยู่ในรูปกำลังสอง และเป็นหนึ่งในการหาพื้นผิว(Response surface design) ที่เหมาะสำหรับการหากระบวนการที่เหมาะสม โดยนำไปสานประสมกลาง ประกอบด้วยปัจจัย  $2^k$  ที่มี  $n_f$  ซึ่ง  $2^k$  รันในแนวแกน หรือรูปดาว และ  $n_c$  รันที่จุดศูนย์กลาง ดังรูปที่ 4 โดยที่พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้จะแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งได้ของเขตมาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [2-4]



รูปที่ 4 การออกแบบส่วนประสมกลางสำหรับ  $k=2$  และ  $k=3$

นำพารามิเตอร์ของกระบวนการกลึงมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab จากนั้นนำค่าพยากรณ์ หรือค่าการคาดการณ์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในทางสถิติ มาเปรียบเทียบกับ การประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จริง จำนวน 10 ชิ้น เพื่อหาค่าความเที่ยงตรงและแม่นยำของการพยากรณ์

### 2.4 ขั้นตอนหาพารามิเตอร์ในทางกลึงรีดตัดเงา

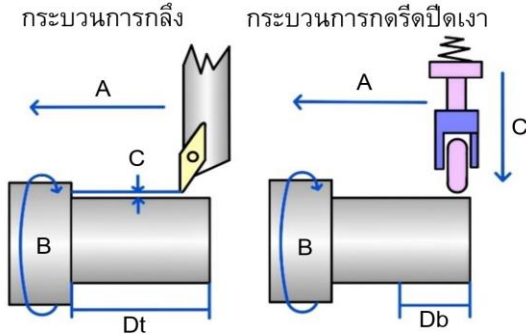
ขั้นตอนการกลึงรีดตัดเงาจะใช้ค่าพารามิเตอร์ของการกลึงที่เหมาะสมที่สุดเพื่อตั้งค่าเป็นพารามิเตอร์ในการกลึง หลังจากนั้นจะทำการทดลองการกลึงรีดตัดเงาดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง[2] พบว่า ความเร็วรอบไม่ส่งผลต่อความหยาบผิวในกระบวนการกลึงรีดตัดเงา อย่างไรก็ตามพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการกลึงรีดตัดเงาโดยใช้สปริงคองท์

ตารางที่ 2 ตารางแสดงพารามิเตอร์งานกลึง

Machining parameter	Low	Center	High
Feed rate (mm/rev) (A)	0.1 (-1)	0.175 (0)	0.25 (1)
Spindle speed (RPM) (B)	500 (-1)	850 (0)	1200 (1)
Depth of cut (mm) (C)	0.05 (-1)	0.075 (0)	0.1 (1)



บทความวิจัย



รูปที่ 5 กระบวนการกลึงและกระบวนการกดรีดปิดเงา

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยได้เลือกตัวแปรทั้งสองระดับคือ 600 รอบต่อนาที เป็นค่าต่ำสุด และ 1,200 รอบต่อนาที เป็นค่าสูงสุด การทดลองภายใต้กระบวนการดังกล่าว จึงมีจำนวน 36 ชั้น มาจากจำนวนการทดลองทั้งหมด แยกออกตามพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองกดรีด ปิดเงา ประกอบด้วย อัตราการป้อน 3 ระดับ 0.05, 0.1 และ 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วรอบ 2 ระดับ 600 และ 1,200 รอบต่อนาที และแรงกดของการกดรีดปิดเงา 150, 300 และ 450 นิวตัน ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3

นำพารามิเตอร์ของกระบวนการกดรีดปิดเงามาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab จากนั้นนำค่าพยากรณ์ หรือค่าการคาดการณ์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในทางสถิติ นำมาเปรียบเทียบกับ การประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จริง จำนวน 10 ชั้น เพื่อหาค่าความเที่ยงตรง และแม่นยำของการพยากรณ์

### 2.5 การวัดความหยาบผิว

ขั้นตอนการวัดค่าความหยาบผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว MarSurf PS 10 เป็นการวัดความขรุขระบนพื้นผิวโดยนำชิ้นงานที่ผ่านการทดลองมาวัดค่าความหยาบผิว ในการทดสอบใช้ความยาว

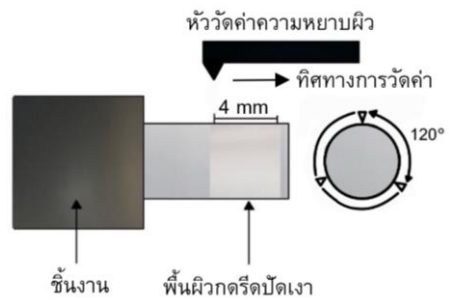


รูปที่ 6 กระบวนการติดตั้งชุดกดรีดปิดเงา และทดลอง

ตารางที่ 3 ตารางแสดงพารามิเตอร์งานกดรีดปิดเงา

Machining Parameter	Low	Center	High
Feed rate (mm/rev) (A)	0.05 (-1)	0.1 (0)	0.15 (1)
Spindle speed (RPM) (B)	600 (-1)	1200 (0)	1200 (1)
Burnishing force(N) (C)	150 (-1)	300 (0)	450 (1)

ในการวัด 4 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 7 (ก) ค่าที่วัดได้คือค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว ( $R_a$ ) ทำการวัดโดยการแบ่งพื้นที่ผิวออกเป็น 3 ส่วน จากนั้นทำการวัดค่าความหยาบผิวทั้ง 3 จุด ดังรูปที่ 7 (ข) นำค่าที่วัดได้หาค่าเฉลี่ย และจัดบันทึกผลจากการวัดค่าความหยาบผิวที่ได้จากกระบวนการกลึง และกระบวนการกดรีดปิดเงา



รูปที่ 7 การวัดค่าความหยาบผิวในการทดลอง

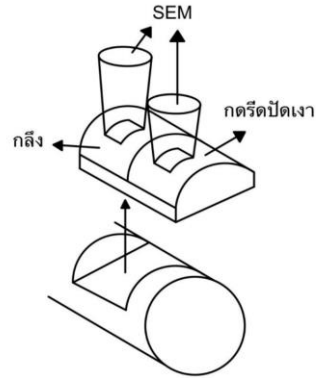


## 2.6 การส่องลักษณะผิวด้วยเทคนิคจุลทรรศน์

### อิเล็กตรอนแบบส่องกราด หรือ SEM (Scanning

### Electron Microscopy)

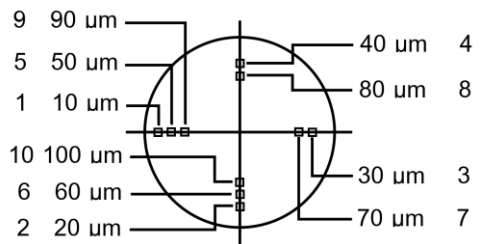
นำชิ้นงานที่ผ่านการทดลองมาตัดให้ได้ขนาด 10x10 มิลลิเมตร โดยใช้เป็นกล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษา ลักษณะพื้นผิวหลังกระบวนการกลึงและกระบวนการ กัดรีดปิดเงาของชิ้นงาน โดยลำอิเล็กตรอนจะส่องกราด ไปบนผิวของวัตถุ ทำให้ได้ภาพซึ่งมีลักษณะเป็นภาพ 3 มิติ โดยใช้กำลังขยาย 4 ระดับ ดังนี้ 1,000 2,500 5,000 และ 10,000X ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การส่องลักษณะผิวด้วยเทคนิคจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

## 2.7 การวัดค่าความแข็ง

นำชิ้นงานที่ผ่านการทดลองมาวัดความแข็งโดยใช้ เครื่องไมโครวิกเกอร์ เลือกใช้หัวกดแบบทรงเพชร พีรามิดฐานสี่เหลี่ยม แล้วใช้กล้องจุลทรรศน์สังเกต รอยกด ดูแนวเส้นทแยงมุม เรียกว่าดูความแข็งของ วัสดุในระดับไมโครเมตร ซึ่งแรงกดในการวัดที่ใช้ 50 แกร์กิโลกรัม ระยะห่างจากขอบของชิ้นงานเพิ่มครั้ง ละ 10  $\mu\text{m}$  จำนวน 10 ตำแหน่ง ดังแสดงรูปที่ 9



รูปที่ 9 วิธีการวัดค่าความแข็งผิวชิ้นงาน

## 3. ผลการทดลอง

### 3.1 ผลการทดลองของกระบวนการกลึง

ตารางที่ 4 แสดงผลของการวิเคราะห์ การทดลองการกลึงก่อนการทดลองการกัดรีดปิดเงา พบว่าค่า P-value ของตัวแปรมากกว่า 0.05 แสดง ให้เห็นว่าไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อคุณภาพพื้นผิว ในกระบวนการกลึงที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงได้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ที่สุดโดยใช้โปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 10 พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่คาดการณ์ ประกอบด้วย ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที อัตราการป้อนที่ 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ

และระยะป้อนลึก 0.075 มิลลิเมตร จะให้ค่าความหยาบ ผิวที่ต่ำที่สุดคือ 0.313  $\mu\text{mRa}$

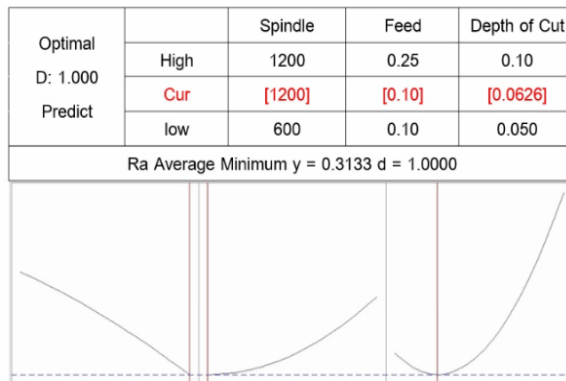
เมื่อทำการประยุกต์พารามิเตอร์ในกระบวนการกลึง อลูมิเนียมอัลลอยเกรด 7075 บนเครื่องกลึงซีเอ็นซี จำนวน 10 ชิ้น พบว่าค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ  $0.378 \pm 0.04 \mu\text{mRa}$  ดังแสดงรูปที่ 11 ซึ่งผลจากการประยุกต์ใช้จริงมีค่าความหยาบผิวต่าง จากค่าพยากรณ์ อยู่ที่ 0.058  $\mu\text{mRa}$  ทั้งนี้ขีด ความสามารถในการทดลองกระบวนการกลึงด้วย พารามิเตอร์ที่แนะนำได้ค่าความหยาบผิวอยู่ในเกณฑ์ วิจัยที่ได้ศึกษาก่อนหน้า [2-4] จึงสามารถนำ ค่าพารามิเตอร์นี้ไปใช้ในกระบวนการกัดรีดปิดเงาได้



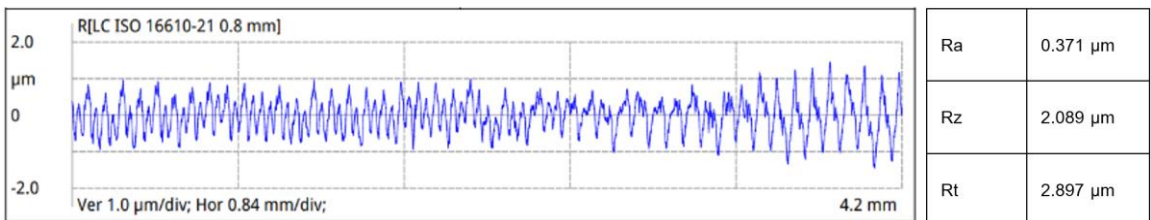


ตารางที่ 4 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองการกลึง

<b>Model</b>	0.11194	9	0.01243	1.08	< 0.0001
A-Feed rate	0.01034	1	0.01034	0.90	0.387
B-Spindle speed	0.00956	1	0.00956	0.83	0.404
C-Depth of cut	0.00210	1	0.00210	0.18	0.687
AB	0.00023	1	0.00023	0.02	0.892
AC	0.00446	1	0.00446	0.39	0.561
BC	0.02260	1	0.02260	1.96	0.221
<b>Residual</b>	0.05774	5	0.01154		
Lack of Fit	0.05189	3	0.01729	5.91	0.148
Pure Error	0.00584	2	0.00292		
<b>Cor Total</b>	0.16968	14			
<b>S</b> 1.07466	<b>R-sq</b> 65.97%		<b>R-sq (adj)</b> 4.71%		



รูปที่ 10 ค่าพยากรณ์หรือค่าคาดการณ์ในกระบวนการกลึงที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม Minitab



รูปที่ 11 ค่าความหยาบผิวของกระบวนการกลึง



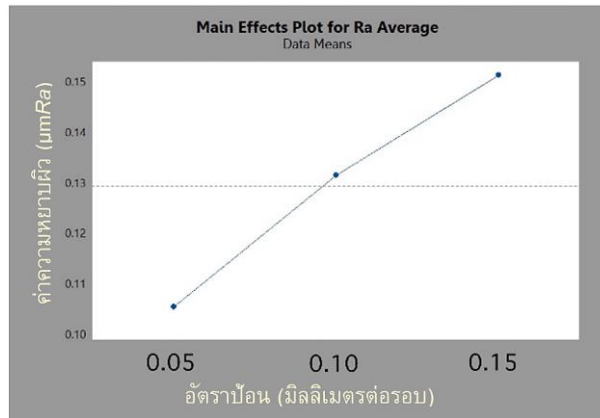
### 3.2 ผลการทดลองของกระบวนการกรัดรีดบิดเงา

ตารางที่ 5 เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง จากวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปัจจัยหลักได้แก่ อัตราป้อนและปัจจัยร่วม ได้แก่ อัตราป้อน กับแรงกด แสดงให้เห็นว่าทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวในกระบวนการกรัดรีดบิดเงาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์อิทธิพลหลักนั้นพบว่าอัตราการป้อนที่ส่งผลทำให้ค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดคือ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ และจะทำให้ค่าความหยาบผิวสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มอัตราการป้อน ดังแสดงในรูปที่ 12

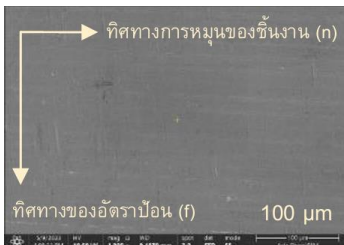
จากการเปรียบเทียบด้วยรูปภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รูปที่ 13) อัตราป้อน 3 ระดับได้แก่ 0.05, 0.1 และ 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ดังแสดงรูปที่ 13 จากรูปแสดงให้เห็นถึงพื้นผิวหลังจากกระบวนการกรัดรีดบิดเงา จากการสังเกตอัตราป้อนที่ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ จะพบว่าที่อัตราป้อนดังกล่าว สามารถกรัดรีดพื้นผิวหลังจากกระบวนการกลึงได้ดี ทำให้ผิวชิ้นงานมีความเรียบมากกว่า อัตราป้อนที่ 0.1 และ 0.15 ตามลำดับ จากลักษณะพื้นผิวระยะขยายหรืออัตราป้อนส่งผลต่อค่าความหยาบผิว เนื่องจากยิ่งระยะขยายน้อยจะทำให้ความต่อเนื่องของการกรัดรีดบิดเงามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 5 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองการกรัดรีดบิดเงา

Model	0.02053	17	0.00120	4.54	< 0.05	significant
<b>A-Feed rate</b>	<b>0.01276</b>	<b>2</b>	<b>0.00638</b>	<b>23.99</b>	<b>&lt; 0.05</b>	<b>sig</b>
B-Spindle speed	0.00374	1	0.00374	1.41	0.251	
C-Burnishing Forces	0.00065	2	0.00032	1.22	0.317	
AB	0.00021	2	0.00010	0.40	0.637	
<b>AC</b>	<b>0.00455</b>	<b>4</b>	<b>0.00113</b>	<b>4.28</b>	<b>0.013</b>	<b>sig</b>
BC	0.00051	2	0.00025	0.97	0.397	
ABC	0.00146	4	0.00036	1.37	0.282	
<b>Residual</b>	0.00478	18	0.00026			
<b>Cor Total</b>	0.02532	35				
<b>S 1.0163074</b>	<b>R-sq 81.10%</b>		<b>R-sq (adj) 63.25%</b>		<b>R-sq (pred) 24.39%</b>	



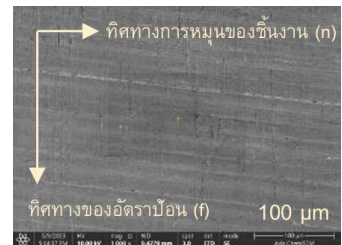
รูปที่ 12 อิทธิพลหลักของค่าความหยาบผิวกับ อัตราป้อน



(ก) อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ



(ข) อัตราป้อน 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ

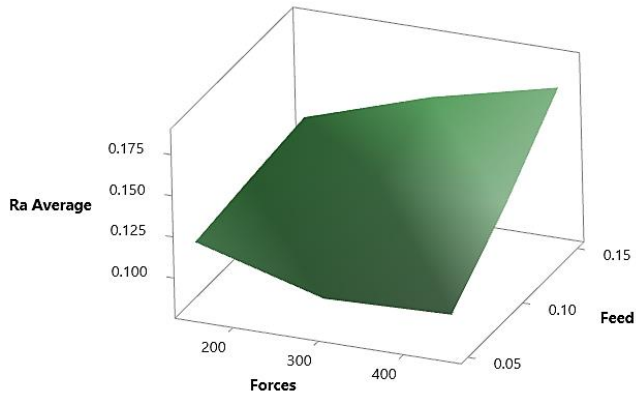


(ค) อัตราป้อน 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ

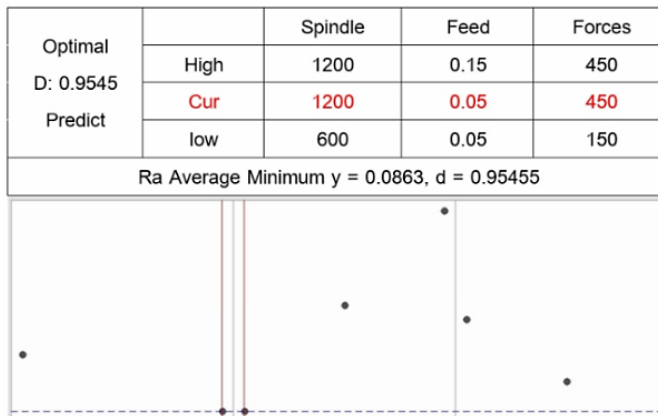
รูปที่ 13 ภาพขยายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในแต่ละอัตราป้อน

ปัจจัยร่วมของกระบวนการกัดรีดปัดเงาคือ อัตราป้อนกับ แรงกด แสดงให้เห็นว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวในกระบวนการกัดรีดปัดเงาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์เมื่อใช้อัตราป้อนที่เข้าจำเป็นต้องใช้แรงกัดรีดที่สูง ยกตัวอย่างเช่นอัตราป้อนที่ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ จะให้ค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุดเมื่อใช้แรงกัดรีดที่ 300 และ 450 นิวตัน ในทางกลับกันเมื่อใช้อัตราป้อนที่ 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ จะให้ค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุดเมื่อใช้แรงกัดรีดที่ 150 นิวตัน ดังแสดงรูปที่ 14 หลังจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ทางผู้วิจัยจึงได้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้โปรแกรม

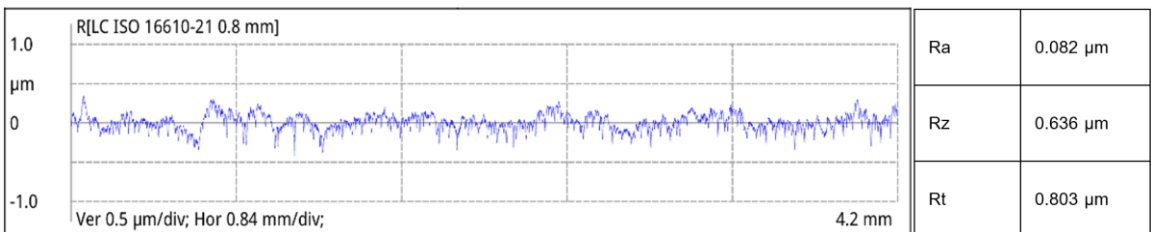
Minitab พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่คาดการณ์ในกระบวนการกัดรีดปัดเงาคือความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาที อัตราการป้อนที่ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ และแรงกัดรีดด้วยสปริงที่ 450 นิวตัน จะทำให้ค่าความหยาบผิวที่ต่ำที่สุดคือ 0.0863 µmRa ดังแสดงรูปที่ 15 จากนั้นได้ทำการประยุกต์ใช้พารามิเตอร์จากการคาดการณ์ในกระบวนการกัดรีดปัดเงาบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีจำนวน 10 ชิ้น พบว่าค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ  $0.083 \pm 0.013$  µmRa ดังแสดงในรูปที่ 16 ซึ่งผลจากการประยุกต์ใช้จริงมีค่าความหยาบผิวต่างจากค่าพยากรณ์อยู่ที่ 0.0033 µmRa



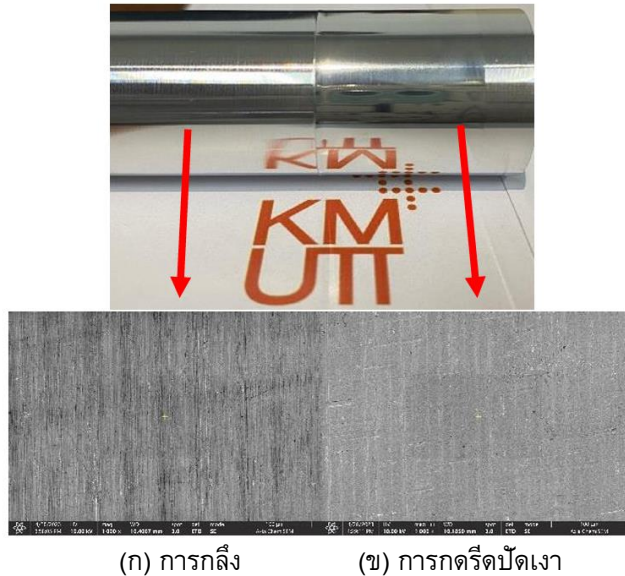
รูปที่ 14 อิทธิพลร่วมกันระหว่างอัตราป้อนกับแรงกดรีดบิดเงา



รูปที่ 15 การพยากรณ์ของค่าพารามิเตอร์กระบวนการกดรีดบิดเงา



รูปที่ 16 ค่าความหยาบผิวของกระบวนการกดรีดบิดเงา



(ก) การกรกลึง

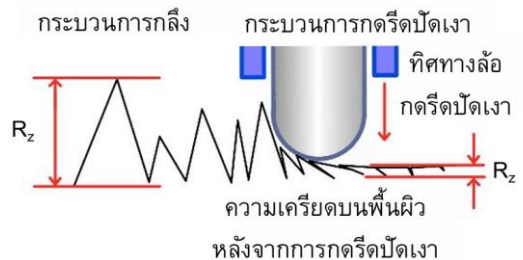
(ข) การกรดรีดขัดเงา

รูปที่ 17 ภาพพื้นผิวของชิ้นงาน กระบวนการกรกลึง และกระบวนการกรดรีดขัดเงา

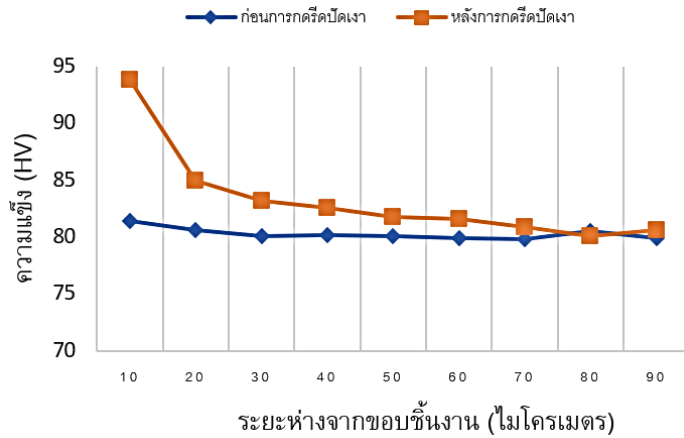
หลังจากผ่านทั้งสองกระบวนการจะเห็นได้ว่าเกิดการสะท้อนรูปภาพได้อย่างชัดเจนบนผิวชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการดรีดขัดเงา ดังแสดงในรูปที่ 17 เมื่อทำการส่องกำลังขยายด้วยอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) พบว่ากระบวนการดรีดขัดเงานั้นสามารถทำให้ผิวชิ้นงานมีความหยาบผิวที่น้อยลง และไม่เกิดคลื่นกลไกของกระบวนการเป็นที่เข้าใจได้ว่าแรงกดของสปริงจะส่งผลทำให้ผิวชิ้นงานที่ผ่านการกรกลึงที่ปลายยอดของความหยาบผิว Peak to Valley ถูกกดทับอย่างสม่ำเสมอหลังจากผ่านกระบวนการดรีดขัดเงาจึงทำให้พื้นผิวมีความเรียบมากยิ่งขึ้น ดังแสดงรูปที่ 18

นอกจากนี้ค่าความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากการทดสอบหาค่าความแข็ง ซึ่งวัดจากขอบของชิ้นงานเข้ามาครั้งละ  $10\ \mu\text{m}$  จากการทดสอบได้

ค่าความแข็งก่อนกระบวนการดรีดขัดเงามีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 80 HV หลังจากผ่านกระบวนการดรีดขัดเงา ได้ค่าความแข็งเฉลี่ย 107.5 HV ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น 4-5 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 19 เนื่องจากกระบวนการดรีดขัดเงาไม่ได้เป็นกระบวนการกำจัดเศษแต่แรงกดรีดจะกดพื้นผิวที่บดลงไปบนผิวชิ้นงาน ทำให้ชั้นพื้นผิวของชิ้นงานเกิดความเค้นความเครียดลึกลงไปประมาณ  $50\text{-}60\ \mu\text{m}$



รูปที่ 18 กลไกของกระบวนการกรดรีดขัดเงา



รูปที่ 19 กราฟแสดงค่าความแข็งผิวของอลูมิเนียม เกรด 7075 หลังกรัดรีดบิดเงา

#### 4. สรุปผลการทดลอง

4.1 พารามิเตอร์ของกระบวนการแปรรูปผิวที่เหมาะสมต่อกระบวนการกลึงได้รับการกำหนดโดยใช้การทดลอง CCD และการทำนายจากแบบจำลองโดยใช้อัตราป้อน 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ, ความเร็วรอบที่ 1200 รอบ ต่อ นาที และ ระยะป้อน ลึก 0.075 มิลลิเมตร คาดว่าจะได้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ  $0.03133 \mu mRa$  พารามิเตอร์ของการพยากรณ์ได้ค่าความหยาบผิวที่ต่ำที่สุดเฉลี่ย  $0.0371 \pm 0.04 \mu mRa$  ซึ่งผลจากการประยุกต์ใช้มีค่าความหยาบผิวต่างจากค่าพยากรณ์อยู่ที่  $0.058 \mu mRa$

4.2 พารามิเตอร์ของกระบวนการแปรรูปผิวที่เหมาะสมต่อกระบวนการกรัดรีดบิดเงาได้รับการกำหนดโดยใช้การทดลอง Factor และการพยากรณ์จากแบบจำลอง โดยใช้ความเร็วรอบที่ 1200 รอบต่อนาที, อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ และ แรงกด 450 นิวตัน คาดว่าจะได้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ  $0.0863 \mu mRa$  ดังพารามิเตอร์ของการพยากรณ์ได้ค่าความหยาบผิวที่ต่ำที่สุดเฉลี่ย

$0.083 \pm 0.013 \mu mRa$  ซึ่งผลจากการประยุกต์ใช้จริงมีค่าความหยาบผิวต่างจากค่าพยากรณ์อยู่ที่  $0.0033 \mu mRa$

4.3 อัตราป้อนส่งผลต่อค่าความหยาบผิวในกระบวนการกรัดรีดบิดเงาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าอัตราการป้อนที่ส่งผลทำให้ค่าความหยาบผิวที่ต่ำที่สุดคือ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ และจะทำให้ค่าความหยาบผิวสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มอัตราการป้อน

4.4 กระบวนการกรัดรีดบิดเงานั้นนอกจากจะสามารถทำให้ผิวชิ้นงานมีความหยาบผิวที่น้อยลงและไม่เกิดคลื่น ยังทำให้เกิดความเค้นตกค้างใต้พื้นผิวของกระบวนการกรัดรีดบิดเงาโดยแรงกดของสปริงจะส่งผลทำให้ผิวชิ้นงานที่ผ่านการกลึงที่ปลายยอดของความหยาบผิว Peak to Valley ถูกกดทับอย่างสม่ำเสมอหลังจากผ่านกระบวนการกรัดรีดบิดเงาจึงทำให้พื้นผิวมีความเรียบมาก และมีความเค้นตกค้างใต้พื้นผิวเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ชิ้นงานมีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้น



4.5 กระบวนการกัดรีดบิดเงานั้นสามารถลดขั้นตอนในการปรับปรุงพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงานทรงกระบอกได้ เนื่องจากขั้นตอนในการทำงานของทั้ง 2 กระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่องกันทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปได้ ทั้งนี้กระบวนการกัดรีดบิดเงานั้นสามารถลดขั้นตอนในการปรับปรุงพื้นผิวสำเร็จพร้อมทั้งสามารถเพิ่มความเค้นความเครียดได้พื้นผิวของชิ้นงาน ทำให้มีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นได้

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นการต่อยอดทุนวิจัยเพื่อพัฒนา นักศึกษาด้านงานวิจัยภายใต้การสนับสนุนทุนวิจัย พระจอมเกล้าธนบุรี (KMUTT Fund) รหัส 26843 จากสำนักงานวิจัย นวัตกรรม และพันธมิตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และขอขอบคุณแผนกช่างกลโรงงาน วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือเครื่องจักรใช้ในการทดลอง

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A survey of the status of the non-ferrous metals industry, aluminum, by the Center for Steel and Metals Industry Insight Analysis Iron and Steel Institute of Thailand, 2014. (in Thai)
- [2] S. Ramesh, L. Karunamoorthy and K. Palanikumar, Measurement and analysis of surface roughness in turning of aerospace titanium alloy (gr5). *Measurement*, 2012, 45(5), 1266-1276.
- [3] M.V. Ramana and Y.S. Aditya, Optimization and influence of process parameters on surface roughness in turning of titanium alloy, *Materials Today: Proceedings*, 2017, 4(2), 1843-1851.
- [4] A. Yang, Y. Han, Y. Pan, H. Xing, and J. Li, Optimum surface roughness prediction for titanium alloy by adopting response surface methodology, *Results in Physics*, 2017, 7, 1046-1050.
- [5] J. P. Ajithkumar, and M.A. Xavior, Cutting force and surface roughness analysis during turning of Al 7075 based hybrid Composites, *Procedia Manufacturing*, 2019, 30, 180-187.
- [6] H. Basak and H.H. Goktas, Burnishing process on al-alloy and optimization of surface roughness and surface hardness by fuzzy logic, *Materials and Design*, 2009, 30(4), 1275-1281.
- [7] M. Okada, S. Suenobu, K. Watanabe, Y. Yamashita and N. Asakawa, Development and burnishing characteristics of roller burnishing method with rolling and sliding effects, *Mechatronics*, 2015, 29, 110-118.
- [8] V. Chomienne, F. Valiorgue, J. Rech, and C. Verdu, Influence of ball burnishing on residual stress profile of a 15-5PH stainless steel, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2016, 13, 90-96.



- [9] A.S. Maheshwari and R.R. Gawande, Influence of stiff ball burnishing process parameters on surface roughness of AA 6063, International Journal of Applied Engineering Research, 2018, 13(8),30-35.
- [10] G.V. Duncheva, J.T. Maximov, V.P. Dunchev, A.P. Anchev, T.P. Atanasov, and J. Capek, Single toroidal roller burnishing of 2024-T3 Al alloy implemented as mixed burnishing process, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 111, 3559-3570.