



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

ปัจจัยที่มีผลต่อความขรุขระผิวในการกลึงปอกอะลูมิเนียมเกรด 2024

Factors affecting surface roughness of aluminum grade 2024 turning

พิชญา พิศสุวรรณ^{2*} ปิยวิทย์ สุวรรณ¹ ณัฐวิช ลิ้มสิริสกุล¹ อำนาจ ชิวเมธาพันธ์¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา 90000

² หน่วยวิจัยเส้นใยและสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา 90000

Pichaya Pitsuwan^{2*} Piyavit Suwan¹ Nuttawich Limsirisagun¹ Amnard Cheewametapan¹

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya Songkla 90000

² Fiber and Textile Research Unit, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya Songkla 90000

* Corresponding author.

E-mail: pichaya.p@hotmail.com; Telephone: 08 7478 5356

วันที่รับบทความ 4 สิงหาคม 2564; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 13 พฤศจิกายน 2564; วันที่ตอบรับบทความ 21 ธันวาคม 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อความขรุขระผิวในการกลึงปอกอะลูมิเนียม เกรด 2024 โดยใช้เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์ ยี่ห้อ Plansee Tizit ชนิด DCGT 070204FN-27 เกรด H10T ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองคือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และความลึกในการตัด วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ อะลูมิเนียม เกรด 2024 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร โดยกำหนดขอบเขตการทดลองมีความเร็วรอบ 1,300, 1,500 และ 1,700 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.01, 0.03 และ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกในการตัด 0.1, 0.2 และ 0.3 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวคือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และความลึกในการตัด โดยค่าความขรุขระผิวมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้อัตราป้อน ความลึกในการตัดต่ำลง และเพิ่มความเร็วรอบสูงขึ้น และสามารถกำหนดสมการการกลึงด้วยสมการ $Ra = 0.651 - 0.000295 \text{ Speed} + 0.485 \text{ Depth} + 2.77 \text{ Feed}$ จากการทดลองเพื่อยืนยันผลเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการกับค่าที่วัดจริงโดยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์สำหรับค่าความขรุขระผิวไม่เกิน 5% ผลการทดลองหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของสมการความขรุขระผิวเท่ากับ 3.15 % ซึ่งน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ และค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

คำสำคัญ

อะลูมิเนียมเกรด 2024 กลึงปอก ความขรุขระผิว การออกแบบการทดลอง

Abstract

The purpose of this research was to investigate the factors influencing and affecting the surface roughness of aluminum grade 2024 turning with carbide cutting tool using brand Plansee Tizit type DCGT 070204FN-27 H10T. The main factors were Speed, Feed, and Depth of Cut. The experiment using aluminum with a diameter of 25 mm. was used at 1,300, 1,500, 1,700 rpm in Speed, Feed at 0.01, 0.03, 0.05 mm/rev, and Depth of Cut at 0.10, 0.20, 0.30 mm, respectively. It was found from the experiment that the factors affecting the surface roughness were Speed, Feed, and Depth of Cut with a tendency for reduction of roughness value at lower Feed and Depth of Cut and at greater Speed. The turning condition was to be determined by mean of the equation $Ra = 0.651 - 0.000295 \text{ Speed} + 0.485 \text{ Depth} + 2.77 \text{ Feed}$. The experiment was to confirm the result of a comparison between the equation and the percent accuracy with the margin of error. The result from the experiment of mean absolute percentage error (MEPE) of the equation of surface roughness was 3.15%, which was less than the margin of error and was acceptable.

Keywords

aluminum grade 2024; turning; surface roughness; design of experiment

1. คำนำ

อะลูมิเนียมเกรด 2024 เป็นโลหะอะลูมิเนียมผสมทองแดง 4.5 % และแมกนีเซียม 1.5 % จะมีผลทำให้มีความแข็งแรงมากที่สุด และทนต่อการล้าได้ดีในบรรดาอะลูมิเนียมผสมทองแดงทุกชนิด และโลหะผสมชนิดนี้นิยมใช้ทำแม่พิมพ์เป่าพลาสติกหรือแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกในสูญญากาศ แม่พิมพ์ร่องเท้า ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล โครงสร้างเครื่องบิน หมุดย้ำ และล้อรถบรรทุก เป็นต้น [1] เนื่องจากอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ได้แก่ ความสามารถในการทนต่อความร้อน การกัดกร่อน และทนต่อการแตกหัก เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาอีกทั้งยังสามารถสะท้อนแสงและความร้อนได้ดีด้วย

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการของการกลึงปอก คือ อัตราป้อน (feed rate) ความเร็วตัด (cutting speed) ความลึกในการตัด (depth of cut) มีดกลึง (cutting tool) และชิ้นงานที่ต้องการตัดเฉือน (workpiece) ผลที่เกิดขึ้นหลังผ่านกระบวนการกลึงปอก คือ ขนาดของชิ้นงาน (workpiece dimension) เศษกลึง (chip) ความขรุขระของผิวชิ้นงาน (surface roughness) การสึกหรอของมีดกลึง (tool wear) นอกจากนี้คุณสมบัติชิ้นงาน เช่น ชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบอ่อนก่อนการกลึง จะทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เมื่อกลึงจะทำให้ค่าความขรุขระที่ผิวลดลง ปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวมากที่สุด คือ อัตราป้อน แต่ความลึกในการป้อนไม่มีผลต่อความขรุขระผิวนั่นเอง

ซึ่งมีการศึกษาการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L เพื่อลดความขรุขระของผิวงานที่กลึงด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ CNC และใช้ใบมีดคาร์ไบด์เคลือบชนิด TiAlN พบว่าค่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ความเร็วตัด 150 เมตร/นาที ความลึกในการป้อนตัด 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ได้ค่าความขรุขระผิวน้อยลง แต่ใบมีดกลึงจะมีการสึกหรอเร็วกว่าในสภาวะเดิมที่มีความเร็วตัด 110 เมตร/นาที ความลึกในการป้อนตัด 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งสังเกตได้จากเศษตัดการกลึงลักษณะเนื้อของชิ้นงาน ลักษณะใบมีดกลึง และองศาผิวหน้าใบมีดในการกลึงที่แตกต่างกัน ความขรุขระของผิวงานที่ลดลง

เนื่องจากการใช้ความเร็วตัด และการป้อนลึกขึ้น [2] มีการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการกลึงปอกต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็งเกรด 7075 ที่มีค่าความแข็ง 185 HV โดยใช้เครื่องกลึงควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์และใช้มีดกลึงคาร์ไบด์ที่มีส่วนผสมของ Co 6.0% เป็นวัสดุคมตัด พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวมากที่สุด คือ อัตราป้อน โดยเมื่อใช้อัตราป้อนต่ำลง ความเร็วตัดและความลึกเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวมีแนวโน้มลดลง ความขรุขระผิวที่คำนวณได้จากสมการพยากรณ์โดยการทดลองซ้ำ มีค่าแตกต่างจากค่าที่วัดได้จริง 4.22% [3] อีกทั้งยังมีงานวิจัยกระบวนการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิม SUS420 ด้วยเครื่องกลึง CNC และหล่อเย็นด้วยการฉีดพ่นไนโตรเจนเหลวในระหว่างการกลึง เปรียบเทียบกับการหล่อเย็นวิธีอื่น ๆ พบว่าการหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวให้ผลการทดลองค่าเฉลี่ยความขรุขระผิวชิ้นงาน และการสึกหรอของเครื่องมือตัดมีค่าน้อยที่สุดที่ 1.56 และ 40.65 ไมโครเมตร ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิระหว่างกระบวนการตัดเฉือนของสารหล่อเย็นแบบไนโตรเจนมีค่าต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง จึงทำให้วัสดุมีความเหนียวลดลง แต่มีความเปราะสูงขึ้น ส่งผลให้ความขรุขระของผิวชิ้นงาน และการสึกหรอของเครื่องมือตัดลดลง เมื่อเทียบกับสารหล่อเย็นแบบอื่น ๆ [4] อีกทั้งยังมีการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการกลึงต่อความขรุขระของผิวเหล็กกล้า IS2062 E250 ที่มีความแข็ง 107 HRC ด้วยเครื่อง CNC และใบมีดคาร์ไบด์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ กลึงด้วยความเร็ว 1,100 รอบต่อนาที และอัตราป้อน 0.2 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งจะทำให้มีระยะการตัดลึก 0.44 มิลลิเมตร และความขรุขระต่ำที่สุดประมาณ 3.608 ไมโครเมตร [5] มีการศึกษาปัจจัยของตัวแปรในการกลึงที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติก บนเครื่องกลึงอัตโนมัติ โดยกำหนดให้เมตมีดกลึงมีรัศมี 0.8 มิลลิเมตร พบว่าความเร็วตัดเพิ่มสูงขึ้น แนวโน้มค่าความเรียบผิว และการสึกหรอของเมตมีดลดลง ปัจจัยที่มีผลคืออัตราป้อนและความลึกในการตัด แต่ความเร็วตัดไม่ส่งผลต่อความเรียบผิว และปัจจัยที่เหมาะสมต่อความเรียบผิวควรกำหนดอัตรา

ป้อนที่ 0.04 มิลลิเมตรต่อนาที ความลึกในการตัดที่ 0.5 มิลลิเมตร และความเร็วตัดที่ 150 เมตรต่อนาที [6]

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิว (Surface Roughness ; Ra) ในการกลึงปอกอะลูมิเนียมเกรด 2024 เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดปัจจัยและสภาวะในการกลึงให้มีความเหมาะสมทำให้ชิ้นงานอะลูมิเนียมที่มีคุณภาพ สามารถลดต้นทุน และลดความเสียหายที่เกิดจากความหยาบผิวในการผลิตให้แก่อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องได้

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือ

- ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองคือ อะลูมิเนียม เกรด 2024 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความยาว 163 มิลลิเมตร ทำการกลึงปอกเป็นระยะทาง 50 มิลลิเมตร และกำหนดพื้นที่ตรวจสอบ โดยแบ่งพื้นที่การตรวจสอบชิ้นงานออกเป็น 3 ส่วนละ 10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 โดยในแต่ละค่าของสภาวะการกลึงปอกจะวัด 9 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

- เม็ดมีดคาร์ไบด์ชนิดถอดเปลี่ยนได้ (Carbide Cutting Tool Insert) ยี่ห้อ Plansee Tizit แบบ DCGT 070204FN-27 เกรด H10T มีส่วนผสมของ Co 6.0% เป็นวัสดุคมตัด



รูปที่ 1 วิธีการวัดค่าความขรุขระผิว

- เครื่องกลึงควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ EMCO รุ่น PC TURN 50 โดยใช้ความเร็วรอบสูงสุดอยู่ที่ 1,700 รอบต่อนาที อัตราป้อนสูงสุดอยู่ที่ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ และอัตราการกินลึกสูงสุดอยู่ที่ 0.3 มิลลิเมตร

- เครื่องวัดความขรุขระผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-210 ลักษณะการวัดแบบหัวกดเคลื่อนที่ความละเอียดในการวัดอยู่ที่ 350 ไมโครเมตร ระยะในการวัด 10 มิลลิเมตร ความเร็วในการวัด 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และทิศทางในการวัดโดยจะถอยกลับหลัง

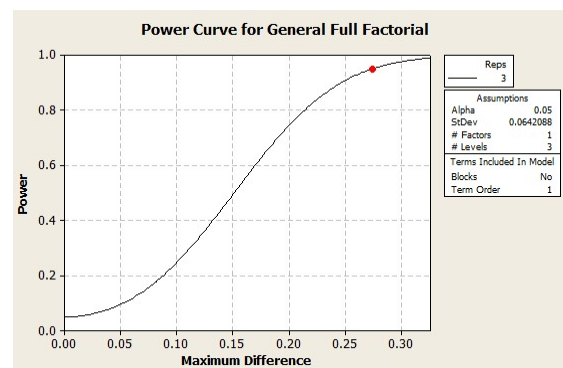
- เวอร์เนียไดอัลคาลิเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 505-732 มีขนาดความยาว 200 มิลลิเมตร ความละเอียดของสเกล 0.01 มิลลิเมตร

การวิจัยครั้งนี้เป็นวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อความขรุขระผิวในการกลึงปอกอะลูมิเนียมเกรด 2024 โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล โดยใช้เครื่องกลึงควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ EMCO รุ่น PC TURN 50 เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของการกลึงอะลูมิเนียม เกรด 2024 มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดค่าตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อความขรุขระผิวตามทฤษฎี จากการรวบรวมปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อการกลึงของชิ้นงาน ซึ่งได้ศึกษาค้นคว้าจากงานวิจัยหลายเรื่องพบว่า มีทั้งหมดจำนวน 3 ปัจจัยได้แก่ ความเร็วตัด (Cutting speed) อัตราป้อน (Feed rate) ความลึกในการป้อน (Depth of cut) [6-8] ปัจจัยละ 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 กำหนดค่าตัวแปรควบคุมในการทดลอง ได้แก่ มุมมีดกลึง การใช้น้ำยาหล่อเย็น เป็นต้น

ตารางที่ 1 การกำหนดค่าตัวแปรสำหรับการทดลอง

Factor	Low	Medium	High
Speed (rpm)	1300	1500	1700
Feed Rate (mm/rev)	0.01	0.03	0.05
Depth of Cut (mm)	0.1	0.2	0.3



รูปที่ 2 การหาขนาดสิ่งตัวอย่าง

2. จากปัจจัยข้างต้นนักวิจัยวางแผนการทดลองแบบแฟกตอเรียล โดยจากการคำนวณหาขนาดตัวอย่างการทดลองที่เหมาะสมภายใต้ค่าอำนาจแห่งการทดสอบ 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรม Minitab v.16 ที่ค่าเฉลี่ยของความขรุขระผิวได้เท่ากับ 0.282 ไมโครเมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0642 ดังรูปที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขนาดสิ่งตัวอย่างที่ 3 ถึง 9 ตัวอย่าง จะทำให้ไม่มีความไวต่อกำลังการทดสอบ ดังนั้นจึงเลือกใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 3 ตัวอย่าง ในการทดลอง ซึ่งพิจารณาจากความเชื่อมั่นที่ 95.021 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2 พบว่าต้องทำการทดลองซ้ำสภาวะละ 3 ซ้ำ และมีการทดลองทั้งสิ้น 81 การทดลอง

ตารางที่ 2 การหาขนาดสิ่งตัวอย่าง

Power and Sample Size		
General Full Factorial Design		
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.0642088		
Number of levels: 3		
Maximum Difference	Sample Size	Power
0.274	2	0.59225
0.274	3	0.95021
0.274	4	0.99639
0.274	5	0.99980
0.274	6	0.99999
0.274	7	1.00000
0.274	8	1.00000
0.274	9	1.00000

3. ทำการทดลองด้วยเครื่องกลึงควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ EMCO รุ่น PC TURN 50 กลึงปอกผิวชิ้นงานอะลูมิเนียม เกรด 2024 ทรงกระบอก ขนาด 25 × 100 มิลลิเมตร ในลักษณะของการกลึงละเอียดเพียงครั้งเดียว ใช้ใบมีดคาร์ไบด์ชนิดถอดเปลี่ยนได้ (Carbide Cutting Tool Insert) ยี่ห้อ Plansee Tizit แบบ DCGT 070204FN-27 เกรด H10T มีส่วนผสมของ Co 6.0% เป็นวัสดุคมตัดโดยใช้เครื่องวัดความขรุขระผิว ยี่ห้อมิตูโตโย รุ่น SJ-210 กำหนดความเร็วรอบในการกลึงไม่เกิน 2,000 รอบต่อนาที และบันทึกค่าผลการตอบสนองของการทดลองคือ ค่าความขรุขระผิว (Ra) ดังตัวอย่างการทดลองดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการทดลองการวัดค่าความขรุขระผิวอะลูมิเนียม เกรด 2024

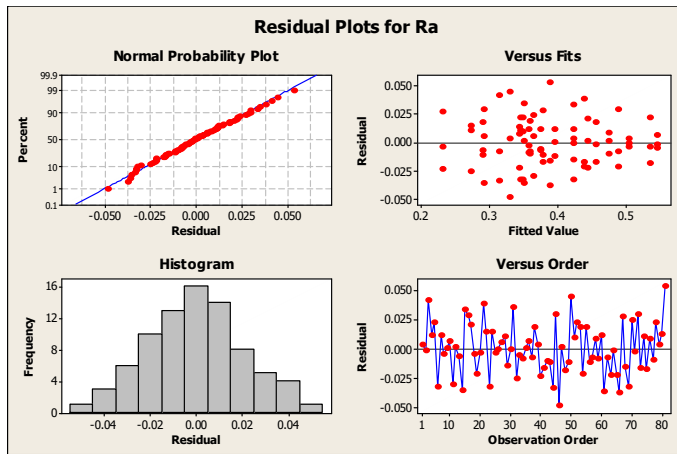
No.	Speed (rpm.)	Depth (mm.)	Feed (mm./rev.)	Average
1	1300	0.1	0.01	0.343
2	1300	0.1	0.03	0.522
3	1300	0.1	0.05	0.644
4	1300	0.2	0.01	0.449
5	1300	0.2	0.03	0.535
6	1300	0.2	0.05	0.608
7	1300	0.3	0.01	0.379
8	1300	0.3	0.03	0.504
9	1300	0.3	0.05	0.555
10	1500	0.1	0.01	0.327

4. วิเคราะห์ผลการทดลองภายใต้ข้อสมมุติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแฟกตอเรียลเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และพัฒนาโมเดลความสัมพันธ์เชิงเส้นของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขรุขระผิว (Ra) รวมทั้งทำการทดสอบและยืนยันผลการทดลองโดยใช้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error; MAPE) โดยมีเกณฑ์ตัดสินใจ คือ คลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการวิจัยและการอภิปราย

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ตามกระบวนการที่ได้ออกแบบไว้ ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแฟกตอเรียลพบว่า ในเบื้องต้นข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามสมมุติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคือ ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ทดสอบโดยที่แกน X คือ ค่าเศษเหลือ และแกน Y คือ ค่าความเป็นปกติมาตรฐาน กราฟที่ได้มีลักษณะเส้นตรง การทดสอบความเป็นอิสระ โดยแกน X คือ ลำดับการทดลอง และแกน Y คือ ค่าเศษเหลือ แผนภาพที่ได้กระจายไว้รูปแบบไม่มีแนวโน้ม และการทดสอบเสถียรภาพ โดยแกน X คือ ผลต่างของความขรุขระผิว และแกน Y คือ ค่าเศษเหลือ แผนภาพกระจาย มีความยาวเท่า ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 3 จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้มีคุณภาพ ตามหลักวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบแฟกตอเรียล ผลการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่

คาดว่าจะมีผลต่อความขรุขระผิว ในการกลึงปกอะลูมิเนียม
เกรด 2024

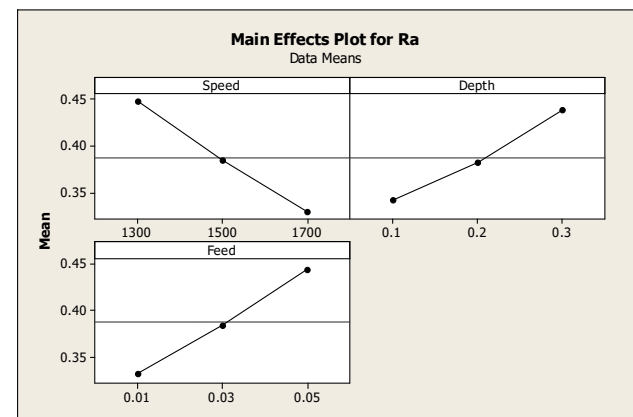


รูปที่ 3 การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลความขรุขระผิว

ในการศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความขรุขระผิวนักวิจัยตั้งสมมติฐานหลักของการทดลอง ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และความลึกในการตัด และมีสถานะในแต่ละปัจจัย 3 ระดับ โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระผิวในการทดลองแสดงในตารางที่ 4 ดังนี้

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4 พบว่า ในการกลึงปกอะลูมิเนียม เกรด 2024 ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยส่งผลกระทบต่อค่าความขรุขระผิวอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.001 โดยพบว่าหากความเร็วรอบเพิ่มจาก 1,300 เป็น 1,700 รอบต่อนาที ส่งผลให้

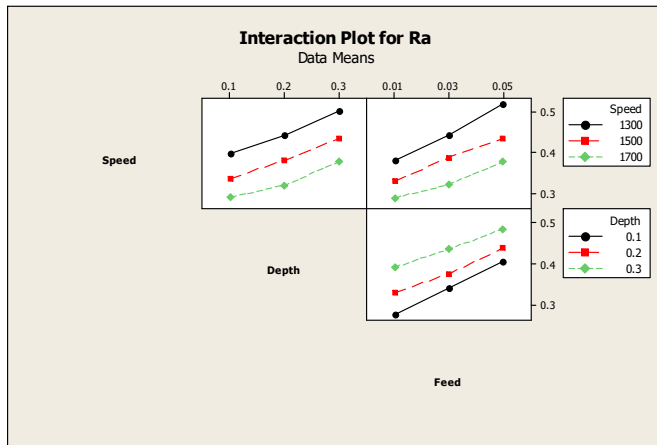
ค่าความขรุขระผิวลดลง ในขณะที่เมื่อเพิ่มอัตราป้อนจาก 0.01 เป็น 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ และเพิ่มความลึกในการตัดจาก 0.1 เป็น 0.3 มิลลิเมตร ค่าความขรุขระผิวจะเพิ่มขึ้น และเมื่อปรับความเร็วรอบเพิ่มขึ้น อัตราป้อนลดลง และความลึกในการตัดลดลง ทำให้ความขรุขระผิวของอะลูมิเนียม เกรด 2024 ลดลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4 นอกจากนี้ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนยืนยันได้ว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งใน 2 ระดับ และ 3 ระดับ โดยแสดงผลเพิ่มเติมในรูปที่ 5 รวมทั้งตัวแบบมีความเหมาะสมด้วยค่า Adjust R^2 90.07 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความขรุขระผิวจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยหลัก

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระผิวในการทดลอง

Response Surface Regression: Ra versus Speed, Feed Rate, Depth of Cut					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Speed	2	0.188829	0.094414	141.45	<0.001
Depth of Cut	2	0.128045	0.064022	95.91	<0.001
Feed Rate	2	0.165933	0.082966	124.30	<0.001
Speed × Depth of Cut	4	0.000981	0.000245	0.37	0.831
Speed × Feed	4	0.006689	0.001672	2.51	0.053
Depth of Cut × Feed	4	0.003105	0.000776	1.16	0.337
Speed × Depth × Feed	8	0.007961	0.000995	1.49	0.182
Error	54	0.036045	0.000667		
Total	80	0.537587			
S = 0.0258359 R-Sq = 93.30% R-Sq(adj) = 90.07%					



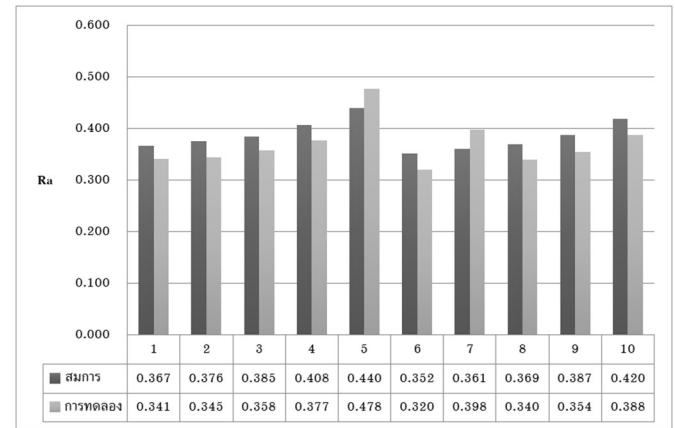
รูปที่ 5 ปฏิสัมพันธ์ของความขรุขระผิว

สำหรับการสร้างโมเดลความสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้นพหุ (Multiple Linear Regression Model : MLR) ภายใต้ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความขรุขระผิว พบว่ามีเพียงปัจจัยหลักอันได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และความลึกในการตัด ที่นำมาพัฒนาโมเดลความสัมพันธ์เชิงเส้นได้อย่างมีนัยสำคัญ ด้วยค่า Adjust R^2 ร้อยละ 89.1 ดังตารางที่ 5 และมีโมเดลความสัมพันธ์ คือ

$$Ra = 0.651 - 0.000295\text{Speed} + 0.485\text{Depth} + 2.77\text{Feed} \quad (1)$$

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความขรุขระผิวกับความเร็วรอบ อัตราป้อน และความลึกในการตัด

Regression Analysis: Ra versus Speed, Depth, Feed				
The regression equation is				
Predictor	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constan	0.65085	0.02928	22.23	<0.001
Speed	-0.00029546	0.00001842	-16.04	<0.001
Depth	0.48481	0.03684	13.16	<0.001
Feed	2.7694	0.1842	15.04	<0.001
S = 0.0270713 R-Sq = 89.5% R-Sq(adj) = 89.1%				



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบค่าความขรุขระผิว

ในการยืนยันผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองซึ่งทำการสุ่มสภาวะการกลึงปอกอยู่ในขอบเขตที่กำหนด แล้วนำผลที่ได้จากการพยากรณ์มาเปรียบเทียบกับค่าจริงที่ได้จากการทดลอง ตารางที่ 6 โดยกำหนดสภาวะในการทดลองจำนวน 10 สภาวะ ทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์สำหรับค่าความขรุขระผิวไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยคำนวณหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ได้ 3.15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์สำหรับวัดค่าความขรุขระผิว และค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าความขรุขระผิวที่คำนวณจากสมการและค่าที่วัดได้จริง

No.	Speed (rpm.)	Depth (mm.)	Feed (mm./rev.)	Ra Cal. (Ft)	Actual Ra (dt)
1	1300	0.12	0.015	0.367	0.341
2	1350	0.14	0.020	0.376	0.345
3	1400	0.16	0.025	0.385	0.358
4	1450	0.18	0.035	0.408	0.377
5	1500	0.22	0.045	0.440	0.478
6	1550	0.24	0.015	0.352	0.320
7	1600	0.26	0.020	0.361	0.398
8	1650	0.28	0.025	0.369	0.340
9	1700	0.29	0.035	0.387	0.354
10	1700	0.30	0.045	0.420	0.388

4. สรุปผลการศึกษา

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความขรุขระผิวของอะลูมิเนียม เกรด 2024 มากที่สุด คือ ความเร็วรอบ โดยมีค่า F-Ratio มากที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นๆ รองลงมา คือ อัตราป้อน และความลึกในการตัด โดยมีแนวโน้มว่าการใช้ความเร็วรอบสูง อัตราป้อนต่ำ และความลึกในการตัดต่ำมีผลทำให้ค่าความขรุขระผิวลดลง

จากการทดลองได้สมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และความลึกในการตัด ตัวแปรตามคือ ค่าความขรุขระผิว ดังนี้

$$Ra = 0.651 - 0.000295\text{Speed} + 0.485\text{Depth} + 2.77\text{Feed} \quad (2)$$

นำสมการนี้ไปใช้ตรวจสอบในขอบเขตความเร็วรอบอยู่ในช่วง 1,300, 1,500 และ 1,700 รอบต่อนาที โดยอัตราป้อนอยู่ในช่วง 0.01, 0.03 และ 0.05 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกในการตัด 0.1, 0.2 และ 0.3 มิลลิเมตร

ถ้าต้องการความขรุขระผิวน้อยที่สุด ให้ปรับตั้งเครื่องที่ความเร็วรอบ 1,700 รอบต่อนาที และอัตราป้อนที่ 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rojananukul, C. (2019) [9] พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความขรุขระผิวในการกลึงอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง เกรด 2024 คือ ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.03 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกในการตัด 0.2 มิลลิเมตร ได้ค่าความขรุขระผิว เท่ากับ 0.742 ไมโครเมตร และค่าความพึงพอใจ (Desirability) เท่ากับ 91.7%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้อุปกรณ์ในการใช้เครื่องจักรและสถานที่ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chayarun M. *Industrial materials*. Bangkok: Charoen Tham Printing House. 2002.
- [2] Chulabuddee P, Saikaew C. Study of factors affecting surface smoothness in machining

- process AISI 316L stainless steel by shinin experiment design. *KKU Engineering Journal*, 42 (1), 71-81.
- [3] Boonrod W, Ratanavilai T. The Influence of peeling factors on the surface roughness of semi-solid cast aluminum. *Substance Engineering Research and Development Issue*. 2012;23(4), 72-77.
- [4] Thonesangin T. *The Study of Influence of Liquid Nitrogen on Machining Properties of Stainless Steel SUS420 [Dissertation]*. Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Bangkok, 2019.
- [5] Prasomthong S, Namgaew S, Saeong M, Arunchai T, Udom, T. Study parameter in the turning process on surface roughness of austenitic stainless steels. *Proceeding of the 14th National Kasetsart University Kamphaeng Saen*. 2017:273-280.
- [6] Krishnan BR, Ramesh M. Optimization of machining process parameters in CNC turning process of IS2062 E250 Steel using coated carbide cutting tool. *Proceeding of Materials Today*. 2020; 21, 346-350.
- [7] Naksenei W. *Study of Influence of Machining Conditions of Cold Work Tool Steel (SKD11) Turning with Titanium Coated Carbide Inserts on Surface Roughness*. Department of Industrial Technology Rajabhat University, ChomBueng Village, 2010.
- [8] Waitrungrote S, Lawong A. A study of turning operation factors affecting power consumption *Journal of Engineering*. 2018; 16(1), 13-21.
- [9] Rojananukul C, Wangwong S. 2017. Surface roughness prediction in turning semi-solid cast aluminum 5083 using the response surface method. *Proceeding of National Operational Research 2017: Proceedings*. 2017;196-203.

- [10] Rojananukul C. Homkhiew C. Wangwong S. surface roughness prediction in turning of aluminum casting semi-solid grade 2024 using the response surface methodology. *Proceedings of IE Network 2019*. 2019: 492-498.