

บทความวิจัย (Research Article)

การปรับปรุงค่าความเรียบผิวเหล็ก ST37 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยใช้เทคนิคทาทุชิ

สัมภาษณ์ หาญตั้ง¹, วรรณรพ ชันธิรัตน์¹, อามินท์ หล้าวงศ์^{1*}, วราภรณ์ วโรรส¹ และ ไทยทัศน์ สุดสวนสี¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: amin.la@ksu.ac.th

(รับบทความ: 15 ตุลาคม 2566; แก้ไขบทความ: 31 ตุลาคม 2566; ตอรับบทความ: 31 ตุลาคม 2566)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งหมายที่จะศึกษาและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปเหล็ก ST37 ด้วยเครื่องจักรซีเอ็นซีกลึงเพื่อปรับปรุงคุณภาพทางด้านความเรียบผิวของชิ้นงาน ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการใช้งานและความทนทานของชิ้นงาน โดยวิธีทาทุชิในการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผล มีปัจจัยที่นำมาพิจารณาทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการป้อน และระยะป้อนลึก ในการออกแบบการทดลอง วิธีทาทุชิ L9 ได้ถูกนำมาใช้เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยและระดับต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ การทดลองได้ดำเนินการโดยวัดค่าความเรียบผิวของชิ้นงานหลังจากการกลึง ในการวิเคราะห์ผล งานวิจัยได้ใช้การวิเคราะห์ค่า S/N ratio เพื่อวัดความผันผวนและความคงเส้นคงวาของกระบวนการ นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความสำคัญของแต่ละปัจจัยต่อค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในการขึ้นรูปเหล็ก ST37 ที่จะทำให้เกิดความเรียบผิวที่ดีที่สุด ผลการวิจัยพบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปเหล็ก ST37 คือ ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งพารามิเตอร์นี้ทำให้ได้ค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.984 ไมครอน ผลของงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในการผลิตชิ้นงานที่ต้องการความเรียบผิวที่ดี นอกจากนี้งานวิจัยยังสามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ทำให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดและเพิ่มความสามารถของการแข่งขันในอุตสาหกรรมได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรซีเอ็นซี ความเรียบผิว เทคนิคทาทุชิ เหล็ก ST37 การปรับปรุงกระบวนการ

การอ้างอิงบทความ: สัมภาษณ์ หาญตั้ง, วรรณรพ ชันธิรัตน์, อามินท์ หล้าวงศ์, และ ไทยทัศน์ สุดสวนสี, "การปรับปรุงค่าความเรียบผิวเหล็ก ST37 ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยใช้เทคนิคทาทุชิ", วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, vol. 1, no. 5, pp. 27-39, 2566.

บทความวิจัย (Research Article)

Optimizing the Surface Roughness of ST37 Steel using CNC Turning Machinery through the Taguchi Technique

Sampat Hantang¹, Wanrop Khanthirat¹, Amin Lawong^{1*}, Waraporn Warorot¹ and Thaitat Sudsuansee¹

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

* Corresponding Author: amin.la@ksu.ac.th

(Received: October 15, 2023; Revised: October 31, 2023; Accepted: October 31, 2023)

Abstract

This research aims to study and improve the forming process of ST37 steel using CNC turning machinery to enhance the surface quality of workpieces, which is a significant factor affecting their functionality and durability. The Taguchi method was employed for experimental design and result analysis, considering three variables: spindle rotation speed, feed rate of the turning tool, and cutting depth. In the experimental design, the L9 Taguchi array was utilized due to its effectiveness in analyzing the relationships between various factors and levels. Experiments were conducted by measuring the surface roughness of the workpieces post-turning. In result analysis, the S/N ratio was utilized to assess variability and process stability, along with Analysis of Variance (ANOVA) to examine the significance of each factor concerning the workpiece's surface roughness. The research findings indicate the optimal conditions for forming ST37 steel, achieving the smoothest surface quality, were a spindle rotation speed of 2000 RPM, a feed rate of the turning tool at 0.06 mm per rotation, and a cutting depth of 0.5 mm. These conditions yielded the best surface smoothness values 0.984 μm . The outcomes of this research can serve as guidelines for improving and developing the workpiece forming process in industries, particularly where superior surface smoothness is required. Moreover, the research can help reduce costs and enhance efficiency in the production process, enabling better market responsiveness and competitive advantages in the industry.

Keywords: CNC Turning, Surface Roughness, Taguchi Method, ST37 Steel, Process Optimization

Please cite this article as: S. Hantang, W. Khanthirat, A. Lawong, W. Warorot and T. Sudsuansee, Optimizing the Surface Roughness of ST37 Steel using CNC Turning Machinery through the Taguchi Technique, "The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University", vol. 1, no. 5, pp. 27-39, 2023

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

เทคโนโลยีการผลิตกลายเป็นสิ่งสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพของกระบวนการกลึงท่ามกลางการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีที่มีความรวดเร็วและต่อเนื่อง การตกแต่งพื้นผิวของชิ้นงานที่เรียกว่าไม่เพียงเพิ่มความสวยงามเท่านั้น แต่ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของชิ้นส่วนที่ผลิตด้วย พื้นผิวที่มีคุณภาพมากขึ้นช่วยลดความต้านทานและเสียดทาน มีผลให้ชิ้นส่วนมีความน่าเชื่อถือและความทนทานที่ดีขึ้นทั้งทางกลและเชิงกล

งานวิจัยที่น่าเสนอนี้มุ่งเน้นในด้านความพยายามในการปรับปรุงคุณภาพพื้นผิวของเหล็กชนิด ST37 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความเกี่ยวข้องมากในภาคการผลิต การสร้างความมั่นใจในความแข็งแรงและพื้นผิวที่มีคุณภาพดีเป็นสิ่งสำคัญในการใช้งานที่หลากหลาย ตั้งแต่การก่อสร้างไปจนถึงอุตสาหกรรมยานยนต์ มีขอบเขตการศึกษากระบวนการกลึง CNC ซึ่งเป็นเทคนิคการผลิตที่มีความแม่นยำและความสม่ำเสมอ การกลึง CNC เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถผลิตชิ้นงานที่ซับซ้อนและได้คุณภาพที่ดี ซึ่งจำเป็นสำหรับการตอบสนองต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรมสมัยใหม่โดยใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีทาคุชิ (Taguchi Technique) ที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย เทคนิคนี้ได้รับการยกย่องในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการโดยช่วยวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการ การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาปัจจัยของการตัดเฉือนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ค่าความเรียบผิวที่ดีในชิ้นงานเหล็ก ST37 ผ่านการทดลองอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคของการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทาคุชิ การศึกษานี้พยายามที่จะอธิบายให้ครอบคลุมเกี่ยวกับอิทธิพล

ของปัจจัยและผลกระทบโดยรวมของค่าความเรียบผิวของชิ้นงานกลึง

ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง Rathod et al. [1] ใช้วิธีทาคุชิ (Taguchi Technique) ร่วมกับ ANOVA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ เช่น อายุการใช้งานของเครื่องมือ ค่าความเรียบของพื้นผิวและเวลาในการผลิตในกระบวนการกลึง CNC การวิจัยของพวกเขาให้แนวทางที่มีโครงสร้างเพื่อทำความเข้าใจอิทธิพลของปัจจัยการกลึงต่าง ๆ ที่มีต่อผลลัพธ์โดยนำเสนอข้อมูลเชิงลึกสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานและคุณภาพของชิ้นงานในกระบวนการกลึง [1]

การศึกษาอื่นโดย Kam [2] มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องมือและค่าความเรียบของพื้นผิวในระหว่างการกลึงตัวอย่างเหล็ก อลูมิเนียมโดยใช้วิธีทาคุชิ (Taguchi Technique) เพื่อแยกแยะปัจจัยการตัดเฉือนที่เหมาะสมที่สุด การวิจัยนี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ เช่น อัตราการป้อนและความเร็วในการตัดที่มีอิทธิพลต่อค่าความเรียบของพื้นผิวและการสั่นสะเทือนของเครื่องมือ ซึ่งให้ความรู้ที่จำเป็นสำหรับการปรับปรุงคุณภาพพื้นผิวในการกลึง [2]

นอกจากนี้การศึกษาที่ดำเนินการโดย Susac et al. [3] ได้เจาะลึกถึงการเพิ่มประสิทธิภาพและการทำนายค่าความเรียบของพื้นผิวและแรงตัดในการกลึงของโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ (UHMWPE) การใช้วิธีทาคุชิควบคู่ไปกับวิธีการวิเคราะห์อื่น ๆ การศึกษาได้แสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลและผลกระทบของพวกเขาเพื่อเพิ่มความเข้าใจในปัจจัยที่เอื้อต่อคุณภาพพื้นผิว [3]

การศึกษานี้เกี่ยวข้องนี้เป็นพื้นฐานและวิธีการที่ใช้ในการวิจัยซึ่งเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพปัจจัยเพื่อปรับปรุงความเรียบผิวของ

บทความวิจัย (Research Article)

ชิ้นงานเหล็ก ST37 ในกระบวนการกลึง (CNC Lathe) ในการพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการป้อน และระยะป้อนลึก โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองทากูชิ

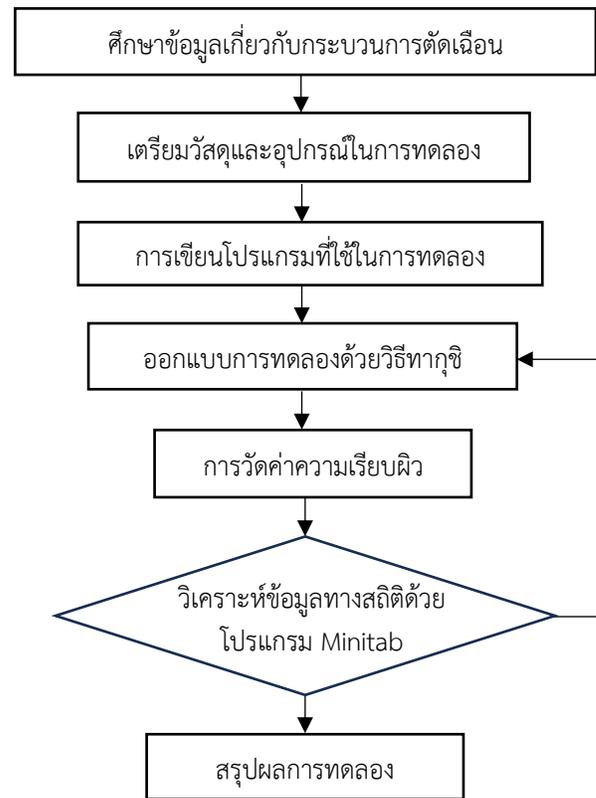
2. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของชิ้นงานเหล็ก ST37 โดยใช้เครื่องจักรซีเอ็นซี (CNC Lathe) ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองทากูชิ (Taguchi Technique) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังภาพที่ 1

2.1 ศึกษาข้อมูลกระบวนการตัดเฉือนวัสดุ

การตัดเฉือนชิ้นงานโดยการเคลื่อนที่ของมีดตัดเข้าไปในเนื้อชิ้นงานและแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกไปเป็นเศษตัด เนื้อวัสดุจะถูกมีดตัดดันจนเกิดความเค้นเกินจุดเสียรูปอย่างถาวรของวัสดุ (Plastic Deformation) และหลุดออกไป ในบางกรณีในวัสดุกลุ่มโลหะ อุดมภูมิในบริเวณนี้จะสูงหลายร้อยองศาเซลเซียส เกินกว่าที่วัสดุมีดตัดที่ใช้กันในอดีตเช่น HSS จะรับภาระที่เกิดขึ้นได้ ทำให้เกิดการพัฒนาวัสดุคมตัดชนิดใหม่ ๆ ออกมา กลไกดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบมีดตัด การใช้ความเร็วตัดและวัสดุคมตัดรุ่นใหม่ ๆ ในปัจจุบัน

การตัดเฉือนโลหะได้นั้นวัสดุของมีดตัดต้องมีความแข็งมากกว่าวัสดุชิ้นงานค่อนข้างมาก อีกทั้งยังต้องทนต่อความร้อนที่เกิดจากการตัดเฉือนได้ดีด้วย ยิ่งวัสดุงานมีความแข็งมากเท่าไรยิ่งต้องใช้แรงในการตัดเฉือนมาก หากมีดกลึงไม่แข็งพอก็จะเกิดการสึกหรอ (Wear) อย่างรวดเร็ว ซึ่งต้องมีการใช้เทคโนโลยีด้านวัสดุและการเคลือบมีดตัด



ภาพที่ 1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

มีดเครื่องมือตัดได้นำมาใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพด้านการตัดเฉือนให้ดีขึ้นอย่างมาก ทำให้ความเร็วในการตัดเฉือนทำได้สูงขึ้น อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดยาวนานขึ้น ส่งผลทำให้ผลิตชิ้นงานได้รวดเร็วขึ้น และต้นทุนของเครื่องมือตัดลดลง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เม็ดมีดคาร์ไบด์ DCMT11T304 มีรูปทรง D หรือทรงเพชร มุม 55° ซึ่งเหมาะสมสำหรับการกลึงปกของวัสดุเหล็กเกรด ST37

2.2 เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

การทดลองนี้ได้ใช้วัสดุทดลองเหล็กเหนียว ST37 ซึ่งเป็นเหล็กที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

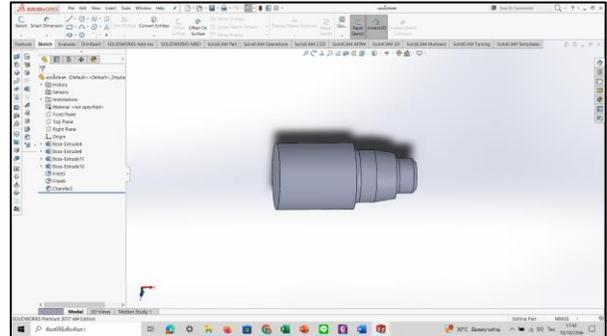
บทความวิจัย (Research Article)

ในงานอุตสาหกรรม เช่น การผลิตโครงสร้างเหล็ก สำหรับอาคาร การผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ และการผลิตเครื่องจักร เป็นต้น นำมาเข้าเครื่องกลึงซีเอ็นซี (Optimum) รุ่น L33HS ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เครื่องกลึงซีเอ็นซีและการติดตั้งวัสดุ

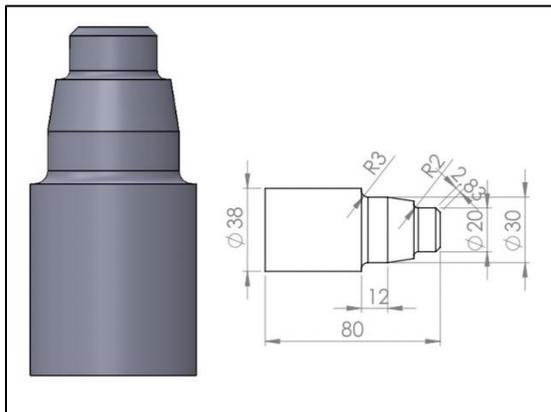
4, 5 ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการ Generate ออกมาเป็น G-Code และนำไปใส่ในเครื่องกลึงซีเอ็นซี และนำไปทำการขึ้นรูปของชิ้นงานเป็นลำดับถัดไป



ภาพที่ 4 ออกแบบชิ้นงานโดยโปรแกรม Solidworks

2.2.1 แบบที่ใช้สำหรับการทดลอง

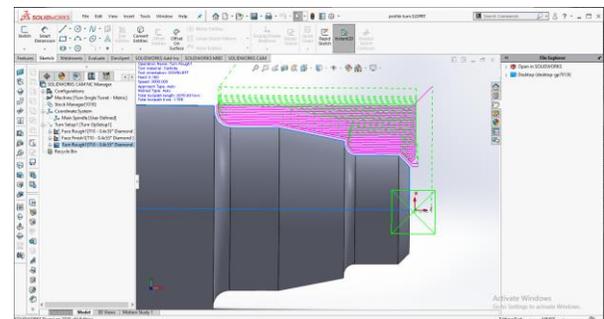
ภาพที่ 3 แสดงแบบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้



ภาพที่ 3 แบบชิ้นงานที่ใช้สำหรับการทดลอง

2.3 การเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองผู้วิจัยได้ใช้ออกแบบด้วยโปรแกรม Solidworks และทำการจำลองชิ้นงานขึ้นรูปการผลิตด้วยโปรแกรม SolidCAM ดังภาพที่



ภาพที่ 5 จำลองการผลิตด้วยโปรแกรม SolidCAM

2.4 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ

เนื่องจากการพัฒนาทางด้านวัสดุวิศวกรรมที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสูงขึ้นส่งผลให้การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีเป็นไปได้ยาก ผู้วิจัยจึงได้หาวิธีการที่เหมาะสมของระดับตัวแปร โดยทำการทดลองเบื้องต้นจากอ้างอิงของคู่มือที่มีความใกล้เคียงกับชนิดของชิ้นงานและความสามารถของ

บทความวิจัย (Research Article)

เครื่องกลึงซีเอ็นซีเพื่อให้ได้ลักษณะเฉพาะของการกลึงชิ้นงานตามต้องการ โดยมีค่าอ้างอิงของระดับความเร็วรอบของหัวจับ 2,000 รอบต่อนาที ระดับอัตราการป้อนของมีดกลึง 0.11 มิลลิเมตรต่อรอบ และระดับการป้อนลึก 0.3 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ โดยแบ่งปัจจัยต่างออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการป้อน และระยะป้อนลึก ดังตารางที่ 1 และทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ โดยทำการทดลองทั้งหมด 9 การทดลอง (L9) เพื่อศึกษาผลของค่าความเรียบผิว (Ra)

ตารางที่ 1 ตัวแปรและระดับที่ใช้ในการทดลอง

| ปัจจัยควบคุม | ระดับการทดลอง | | |
|--------------------------|---------------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที) | 1000 | 2000 | 3000 |
| อัตราการป้อน (มม.ต่อรอบ) | 0.06 | 0.11 | 0.16 |
| ระยะป้อนลึก (มม.) | 0.1 | 0.3 | 0.5 |

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ L-9 (3^3) Orthogonal Array

| ลำดับการทดลอง | ปัจจัยควบคุม | | | Min |
|---------------|--------------|--------------|-------------|----------------------|
| | ความเร็วรอบ | อัตราการป้อน | ระยะป้อนลึก | Ra (μm) |
| 1 | 1000 | 0.06 | 0.1 | |
| 2 | 1000 | 0.11 | 0.3 | |
| 3 | 1000 | 0.16 | 0.5 | |
| 4 | 2000 | 0.06 | 0.3 | |
| 5 | 2000 | 0.11 | 0.5 | |
| 6 | 2000 | 0.16 | 0.1 | |

| ลำดับการทดลอง | ปัจจัยควบคุม | | | Min |
|---------------|--------------|--------------|-------------|----------------------|
| | ความเร็วรอบ | อัตราการป้อน | ระยะป้อนลึก | Ra (μm) |
| 7 | 3000 | 0.06 | 0.5 | |
| 8 | 3000 | 0.11 | 0.1 | |
| 9 | 3000 | 0.16 | 0.3 | |

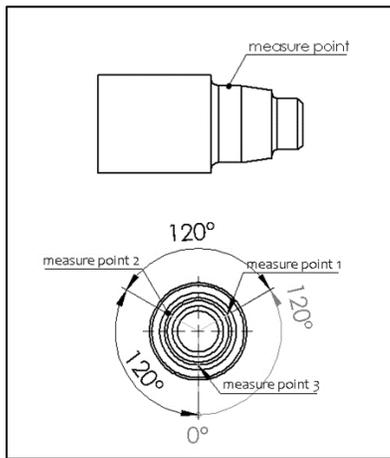
2.5 การวัดค่าความเรียบผิว

ในการวัดค่าความเรียบผิวผู้วิจัยได้ทำการวัดความเรียบผิวด้วยเครื่อง Profilo Meter ยี่ห้อ Mitutoyo Surf test SV – 3100 WB6163-460-0001/1 ดังแสดงในภาพที่ 6 ในการวัดความเรียบผิวของชิ้นงานนั้น จะทำการวัดชิ้นงานทั้งหมด 9 ชิ้น และเงื่อนไขในการกลึง 9 เงื่อนไข แล้วทำการวัดค่าความเรียบผิวของแต่ละชิ้น ทั้งหมด 3 จุด ดังภาพที่ 7 โดยในแต่ละจุดทำการวัด 2 ซ้ำ



ภาพที่ 6 เครื่องวัดความเรียบผิว Profilo Meter

บทความวิจัย (Research Article)



ภาพที่ 7 ตำแหน่งการวัดความเรียบผิว 3 จุด

2.6 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab

2.6.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรด้วยวิธี ทากูชิ

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองการขึ้นรูปชิ้นงาน ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีนี้ ผู้วิจัยได้นำเอาค่าความเรียบผิวมาทำการวิเคราะห์สัญญาณรบกวน (S/N Ratios) โดยค่าความเรียบผิวที่พิจารณาที่ “ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี” Smaller is better คือค่าที่ดีที่สุดดังสมการที่ 1

$$S / N = -10 \log \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \quad (1)$$

เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยในการทดลองด้วยเทคนิคทากูชิ สามารถทำการเปรียบเทียบผลของการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีได้ และสามารถนำเอาผลจากการวิเคราะห์มาใช้ในการกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิรูปที่ดีในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี การวิเคราะห์ปัจจัยใน

การทดลองด้วยวิธีทากูชิ โดยการใช้โปรแกรม Minitab 18

2.6.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย (ANOVA)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยการทดลองที่ส่งผลต่อกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรในขั้นตอนถัดไป โดยในการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้กำหนดปัจจัยในการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เป็นเทคนิคสถิติที่ใช้ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่าง ๆ โดยการแยกความแปรปรวนออกเป็นส่วนตัวอย่างต่าง ๆ เพื่อหาค่า F-statistic และทำการสรุปผลว่าความแตกต่างนี้มีความสำคัญหรือไม่ในการวิเคราะห์ข้อมูล ภายใน ANOVA มีสมการสำคัญที่เกี่ยวข้องดังนี้

S_i เป็นจำนวนของตัวอย่างในกลุ่มที่

S_n เป็นรวมของจำนวนตัวอย่างในทุกกลุ่ม

X_{ij} เป็นค่าของตัวแปรตามที่ i และ j (i คือหมายเลขกลุ่ม, j คือหมายเลขตัวอย่าง)

\bar{X}_i เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ i

\bar{X} เป็นค่าเฉลี่ยรวมของข้อมูลทั้งหมด

สมการ ANOVA สำหรับวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มจะมีดังนี้

$$SSB = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2 \quad (2)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \quad (3)$$

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad (4)$$

บทความวิจัย (Research Article)

โดยที่

k คือจำนวนกลุ่ม

SSB คือ ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม
(Between-group sum of squares)

SSE คือความแปรปรวนในกลุ่ม (Within-group
sum of squares)

SST คือความแปรปรวนทั้งหมด (Total sum of
squares)

หลังจากนั้นเราคำนวณค่า F-statistic ด้วย
สมการ

$$F = \frac{MSB}{MSE} \quad (5)$$

โดยที่

$$MSB = \frac{SSB}{k-1} \quad (6)$$

คือ ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม

$$MSE = \frac{SSE}{n-k} \quad (7)$$

คือ ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนในกลุ่ม

สุดท้ายทำการทดสอบค่า F-statistic ด้วยการ
เปรียบเทียบกับค่าคาดหวังจากการสุ่ม (Critical
value) หรือด้วยการคำนวณ p-value เพื่อตัดสินใจ
ว่าความแตกต่างระหว่างกลุ่มมีความสำคัญหรือไม่ใน
ระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ (อย่างมากใช้ระดับ
นัยสำคัญ 0.05) การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้
โปรแกรม Minitab 18

2.6.3 การทำนายผลค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีทากูชิ

ในการทำนายผลด้วยวิธีทากูชิ ผู้วิจัยได้ทำการ
หาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคทากูชิ และจาก

งานวิจัยของ Mandal [4] ได้แสดงสมการในการหา
ค่าความเรียบผิวในสมการที่ 8

$$Ra_{opt} = (S_a - T_{Ra}) + (F_b - T_{Ra}) + (D_c - T_{Ra}) + T_{Ra} \quad (8)$$

โดยที่

S = ความเร็วรอบ

F = อัตราการป้อน

D = ระยะป้อนลึก

a, b, c, d, e, f คือ ระดับของปัจจัยที่ดีที่สุด

T_{Ra} ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองของค่าความเรียบ
ผิว (R_a) ทุกค่า

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงงาน
ด้วยวัสดุเหล็กเหนียว ST37 ซึ่งใช้ความเร็วรอบ
1,000 2,000 และ 3,000 เมตรต่อนาที อัตราป้อน
มีดที่ 0.06, 0.11 และ 0.16 มิลลิเมตรต่อรอบ และ
กำหนดความลึกของการกลึงที่ 0.1, 0.3 และ 0.5
มิลลิเมตรซึ่งทำการทดลองโดยใช้วิธีการทางสถิติ
สำหรับการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผล
ด้วยโปรแกรม Minitab 18 แล้วทำการวัดค่าความ
เรียบผิวชิ้นงาน (R_a) ของเหล็กเหนียว ST37

3.1 ผลการวัดค่าความเรียบผิว

ในการวัดค่าความเรียบผิวของชิ้นงานนั้น ผู้วิจัย
ทำการวัดชิ้นงานทั้งหมด 9 ชิ้น ซึ่งในการวัดค่าความ
เรียบผิวจะวัดอยู่ 3 จุด ซึ่งแต่ละจุดจะทำการวัดซ้ำ 2
ซ้ำ และค่าที่ได้ทำการจดบันทึกลงในตารางที่ 1

บทความวิจัย (Research Article)

3.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.2.1 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรด้วยวิธีทากุชิ

ค่าความเรียบพื้นผิว (Ra) ได้ถูกวัดผ่านการออกแบบทดลองสำหรับแต่ละปัจจัยควบคุมโดยใช้เทคนิคทากุชิ โดยการปรับปรุงปัจจัยควบคุมที่วัดได้ถูกนำเสนอในรูปแบบอัตราสัญญาณต่อเสียง (S/N) ค่าที่ต่ำที่สุดของความเรียบผิวเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และลดค่าในการผลิต ดังนั้นสมการ ยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is

better) ถูกใช้ในการคำนวณอัตราสัญญาณต่อเสียง (S/N) ในตารางที่ 2 แสดงค่า S/N ratios สำหรับการสังเกตความเรียบของพื้นผิว (Ra) ที่ดีที่สุดของการทดสอบด้วยการกลึง (CNC Lathe) ค่าเฉลี่ยของความเรียบผิวถูกคำนวณเป็น 1.776 ไมครอน ค่าเฉลี่ยของอัตราสัญญาณต่อเสียง (S/N) สำหรับความเรียบผิว (Ra) ถูกคำนวณเป็น -4.7129 dB การวิเคราะห์ผลของแต่ละปัจจัยควบคุม (ความเร็วรอบ อัตราการป้อน และระยะป้อนลึก) ต่อความเรียบของ

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าความเรียบของผิว (Ra)

| ลำดับที่ | ความเร็วรอบ | อัตราการป้อน | ระยะป้อนลึก | ค่าเฉลี่ยจุดที่ 1 | ค่าเฉลี่ยจุดที่ 2 | ค่าเฉลี่ยจุดที่ 3 | ค่าเฉลี่ยทั้ง 3 จุด |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 1000 | 0.06 | 0.1 | 1.920 | 1.650 | 1.690 | 1.690 |
| 2 | 1000 | 0.11 | 0.3 | 1.695 | 1.696 | 1.910 | 1.699 |
| 3 | 1000 | 0.16 | 0.5 | 1.852 | 1.822 | 1.835 | 1.835 |
| 4 | 2000 | 0.06 | 0.3 | 1.129 | 1.053 | 1.207 | 1.129 |
| 5 | 2000 | 0.11 | 0.5 | 1.283 | 1.248 | 1.257 | 1.257 |
| 6 | 2000 | 0.16 | 0.1 | 2.494 | 2.447 | 2.327 | 2.447 |
| 7 | 3000 | 0.06 | 0.5 | 1.387 | 1.460 | 1.432 | 1.432 |
| 8 | 3000 | 0.11 | 0.1 | 2.118 | 2.153 | 2.157 | 2.153 |
| 9 | 3000 | 0.16 | 0.3 | 2.350 | 2.320 | 2.344 | 2.344 |
| ค่าเฉลี่ยทุกการทดลอง | | | | | | | 1.776 |

พื้นผิวได้รับการดำเนินการด้วยตาราง 'S/N response table' แสดงในตาราง 3 ตารางนี้ที่สร้างขึ้นโดยใช้เทคนิคทากุชิ แสดงระดับควบคุมที่เหมาะสมสำหรับค่าความเรียบพื้นผิวที่เหมาะสม ค่าระดับของตัวแปรควบคุมสำหรับ ความเรียบผิว (Ra) ที่ระบุในตาราง 3 และกราฟในภาพที่ 8 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยควบคุมสำหรับการลดค่าความเรียบผิวสามารถหาได้ง่ายจากกราฟเหล่านี้ ระดับที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละปัจจัยควบคุมถูก

พบโดยใช้อัตราสัญญาณต่อเสียงสูงสุดในระดับของปัจจัยควบคุมนั้น ระดับและค่า S/N ratios สำหรับปัจจัยที่ให้ค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ดีที่สุดได้รับการระบุเป็นปัจจัยความเร็วรอบ ที่ระดับ 2 มีค่า S/N ratios = -3.604 ปัจจัยอัตราการป้อน ที่ระดับ 1 มีค่า S/N ratios = -2.908 และ ปัจจัยระยะป้อนลึก ที่ระดับ 3 มีค่า S/N ratios = -3.458 กล่าวคือค่าความเรียบผิว (Ra) ที่เหมาะสมสูงสุดได้จากพารามิเตอร์ ความเร็วรอบ (Speed₂) ที่ 2,000 รอบ

บทความวิจัย (Research Article)

ต่อนาที ที่อัตราการป้อน (Feed₁) 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะป้อนลึก (Depth₃) 0.5 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 8

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย (ANOVA)

เป็นวิธีการสถิติที่ใช้ในการกำหนดผลกระทบแต่ละอันดับของตัวแปรควบคุมทั้งหมดในการออกแบบการทดลอง ในการวิจัยนี้ ANOVA ถูกใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของความเร็วรอบ อัตราการป้อนมี และระยะป้อนลึกของชิ้นงาน ผลการวิเคราะห์ ANOVA สำหรับค่าความเรียบผิวแสดงในตาราง 4 การวิเคราะห์นั้นถูกดำเนินการที่ระดับ

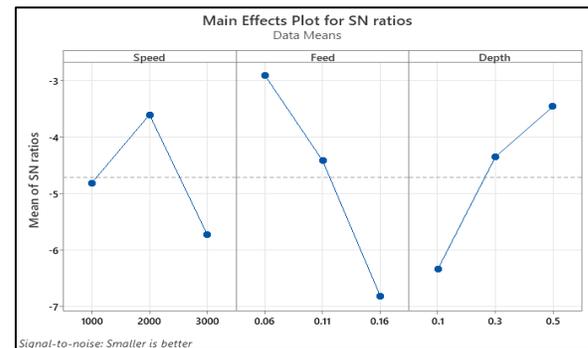
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรด้วยวิธีทาทุชิ ของค่าความเรียบผิว (Ra)

| ลำดับ | Speed | Feed | Depth | ความเรียบผิว Ra | S/N Ratios for Ra |
|--------|-------|------|-------|-----------------|-------------------|
| 1 | 1000 | 0.06 | 0.1 | 1.690 | -4.555 |
| 2 | 1000 | 0.11 | 0.3 | 1.699 | -4.601 |
| 3 | 1000 | 0.16 | 0.5 | 1.835 | -5.272 |
| 4 | 2000 | 0.06 | 0.3 | 1.129 | -1.053 |
| 5 | 2000 | 0.11 | 0.5 | 1.257 | -1.986 |
| 6 | 2000 | 0.16 | 0.1 | 2.447 | -7.770 |
| 7 | 3000 | 0.06 | 0.5 | 1.432 | -3.115 |
| 8 | 3000 | 0.11 | 0.1 | 2.153 | -6.660 |
| 9 | 3000 | 0.16 | 0.3 | 2.344 | -7.399 |
| เฉลี่ย | | | | 1.776 | -4.712 |

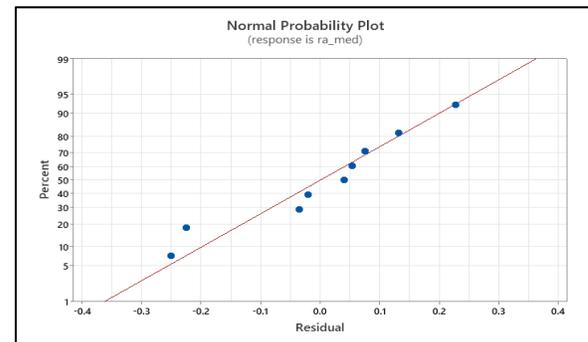
ตารางที่ 3 ตารางผลตอบสนอง S/N Ratios ของค่าความเรียบผิว (Ra)

| Response Table for Signal to Noise Ratios | | | |
|---|-------|--------|--------|
| Smaller is better | | | |
| Level | Speed | Feed | Depth |
| 1 | -4.81 | -2.908 | -6.329 |

| Response Table for Signal to Noise Ratios | | | |
|---|--------|--------|--------|
| Smaller is better | | | |
| 2 | -3.604 | -4.416 | -4.351 |
| 3 | -5.725 | -6.814 | -3.458 |
| Delta | 2.121 | 3.906 | 2.871 |
| Rank | 3 | 1 | 2 |



ภาพที่ 8 กราฟแสดงผลตอบสนอง S/N Ratios ของค่าความเรียบผิว (Ra)



ภาพที่ 9 กราฟแสดงการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability) ของค่าความเรียบผิว (Ra)

ระดับความเชื่อมั่น 95% ความสำคัญของตัวแปรควบคุมใน ANOVA ถูกกำหนดโดยการเปรียบเทียบค่า P ของแต่ละตัวแปร ค่า P-value มี

บทความวิจัย (Research Article)

หน้าที่ในการประเมินความสำคัญของค่า F-statistic หรือค่า F ที่ได้จากการทดสอบ ANOVA ว่ามันมีค่ามากพอที่จะสรุปว่ามีผลกระทบจริง ๆ ของตัวแปรควบคุมต่อตัวแปรตามหรือไม่ ถ้าค่า P-value น้อยกว่าระดับความสำคัญที่กำหนด (ตั้งแต่ 0.05 หรือน้อยกว่า) แปลว่ามีความสำคัญทางสถิติ จากตาราง 4 พบว่าค่า P-value ของตัวแปร อัตราการป้อน (Feed) และระยะป้อนลึก (Depth) มีผลต่อความเรียบผิว โดยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ และตารางที่ 5 แสดงค่าความเชื่อมั่นของข้อมูลการทดลอง R-sq เท่ากับ 88.76% และสมการทำนายความเรียบผิว ดังสมการที่ 9

ดังนั้นตัวแปรที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อความเรียบผิวคือ อัตราการป้อนมีดกลึง (Feed) รองลงมาคือ ระยะป้อนลึก (Depth) ในกราฟภาพที่ 9 แสดงการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability) ของค่าความเรียบผิว (Ra)

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความเรียบผิว (Ra)

| Source | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|------------|----|---------|---------|---------|---------|
| Regression | 3 | 1.54273 | 0.51424 | 13.16 | 0.008 |
| Speed | 1 | 0.08284 | 0.08284 | 2.12 | 0.205 |
| Feed | 1 | 0.94010 | 0.94010 | 24.06 | 0.004 |
| Depth | 1 | 0.51979 | 0.51979 | 13.30 | 0.015 |
| Error | 5 | 0.19537 | 0.03907 | | |
| Total | 8 | 1.73811 | | | |

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์สมการถดถอยของค่าความเรียบผิว (Ra)

| S | R-sq | R-sq (adj) | R-sq (pred) |
|----------|--------|------------|-------------|
| 0.197672 | 88.76% | 82.02% | 57.73% |

$$\text{สมการสัมประสิทธิ์การถดถอยทำนายความเรียบผิว (Ra)} \quad Ra = 1.112 + 0.000117 * \text{Speed} + 7.92 * \text{Feed} - 1.472 * \text{Depth} \quad (9)$$

3.2.3 การทำนายผลค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีทากูชิ

ในการทำนายผลค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีทากูชินั้น ทางผู้วิจัยใช้สมการที่ 8 สำหรับหาค่าที่เหมาะสมของค่าความเรียบผิว (Ra) มีค่า 0.984 ไมครอน (μm) ซึ่งค่าที่คำนวณได้จากผลการทดลองถูกนำมาแสดงในตารางผลตอบสนอง Means สำหรับค่าความเรียบผิว (Ra) ตารางที่ 6 และเมื่อนำไปแทนในสมการที่ 8 จะได้ค่าของความเรียบผิวจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ ที่ความเร็วรอบของหัวจับ 2,000 รอบต่อนาที อัตราการป้อนมีดกลึง 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะกินลึก 0.5 มิลลิเมตรต่อ โดยค่าที่คำนวณได้ถูกแสดงไว้ใน ตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ตารางผลตอบสนอง Means สำหรับค่าความเรียบผิว (Ra)

| Level | ความเร็วรอบ | อัตราการป้อน | ระยะป้อนลึก |
|-------|-------------|--------------|-------------|
| 1 | 1.741 | 1.417 | 2.096 |
| 2 | 1.611 | 1.703 | 1.724 |
| 3 | 1.976 | 2.208 | 1.508 |
| Delta | 0.365 | 0.792 | 0.589 |
| Rank | 3 | 1 | 2 |

ตารางที่ 7 การพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของค่าความเรียบผิว (Ra) ด้วยวิธีทากูชิ

| พารามิเตอร์ที่เหมาะสม | ค่าที่คำนวณได้ |
|-----------------------|----------------|
| S_2 | 2000 |
| F_1 | 0.06 |
| D_3 | 0.5 |
| T_{Ra} | 1.776 |
| $S_2 - T_{Ra}$ | 1.611 |

บทความวิจัย (Research Article)

| พารามิเตอร์ที่เหมาะสม | ค่าที่คำนวณได้ |
|-----------------------|----------------|
| F_1-T_{Ra} | 1.417 |
| D_3-T_{RA} | 1.508 |
| Ra_{opt} | 0.984 |

* หมายเหตุ สมการที่ใช้ในการคำนวณ (4)

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มุ่งหมายที่จะศึกษาและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปเหล็ก ST37 โดยใช้เครื่องจักรซีเอ็นซีกลึง (CNC Lathe) เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางด้านความเรียบผิวของชิ้นงาน เนื่องจากความเรียบผิวเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการใช้งานและความทนทานของชิ้นงาน การวิจัยนี้ใช้วิธีทากูชิในการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผล โดยพิจารณาปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ หัวจับที่ 1,000 2,000 และ 3,000 เมตรต่อนาที อัตราป้อนมีดที่ 0.06, 0.11 และ 0.16 มิลลิเมตรต่อรอบ และกำหนดความลึกของการกลึงที่ 0.1, 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร การทดลองได้ดำเนินการโดยวัดค่าความเรียบผิวของชิ้นงานหลังจากการกลึง ในการวิเคราะห์ผล งานวิจัยใช้การวิเคราะห์ค่า S/N ratios เพื่อวัดความผันผวนและความคงเส้นคงวาของกระบวนการ นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความสำคัญของแต่ละปัจจัยต่อค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 0.06 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร ในการขึ้นรูปเหล็ก ST37 ที่จะทำให้ได้ความเรียบผิวที่ดีที่สุดอยู่ที่ 0.984 ไมครอน ผลของงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในการผลิตชิ้นงานที่ต้องการ

ความเรียบผิวที่ดี นอกจากนี้ งานวิจัยยังสามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ทำให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาดในด้านคุณภาพและเพิ่มความสามารถของการแข่งขันในอุตสาหกรรมได้ดียิ่งขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Rathod, M. Chopra, P. Chaurasiya, and U. S. Vidhate, "Optimization of Tool Life, Surface Roughness and Production Time in CNC Turning Process Using Taguchi Method and ANOVA," *Annals of Data Science*, vol. 10, 2022, doi: 10.1007/s40745-022-00423-7.
- [2] K. M and D. M., "Analysis of tool vibration and surface roughness during turning process of tempered steel samples using Taguchi method," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, vol. 235, no. 5, pp. 1429-1438, 2021, doi: 10.1177/09544089211001976.
- [3] F. Susac, F. Stan, C. Fetecau, and I. Besliu, "Prediction and Optimization of Surface Roughness and Cutting Force in Turning of UHMWPE by Using Taguchi Method, Response Surface Methodology and Neural Networks," in *Proceedings of the ASME 2020 15th International Manufacturing Science and Engineering Conference. Volume 2: Manufacturing*

บทความวิจัย (Research Article)

*Processes; Manufacturing Systems;
Nano/Micro/Meso Manufacturing;
Quality and Reliability, Virtual, Online,
September 3 2020: ASME, p.
V002T06A035, doi:
<https://doi.org/10.1115/MSEC2020-8534>.*

- [4] N. Mandal, B. Doloi, B. Mondal, and R. Das, "Optimization of flank wear using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) cutting tool: taguchi method and regression analysis," *Measurement*, vol. 44, pp. 2149– 2155, 2011.