พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการตัดเฉือนสำหรับการกลึงเรียว

Optimization Parameters in Machining for Taper Turning

วีรพัฒน์ นามปัญญา[1*], เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป[2], สุดสาคร อินธิเดช[3]

WeerapathNampanya[1*], Keartisak Sriprateep[2], SudsakornInthidech[3]

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับดำเนินงานกลึงเรียวโดยการกลึงผ่านรอบเดียว ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ เกณฑ์เวลาการผลิตต่อชิ้นต่ำสุดและเกณฑ์ต้นทุนผลิตต่อชิ้นต่ำสุด โดยอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของการตัดเฉือนต่างๆ เช่น ความเร็วในการตัด อัตราการป้อน ความลึกในการตัด องศาการตัดเฉือนเรียว และ ความสามารถในการตัดเฉือน (ความเรียบผิว แรงในการตัดเฉือน กำลังงานในการตัดเฉือน) ผลการศึกษาพบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของเกณฑ์เวลาในการผลิตต่อชิ้นต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 1.05 นาทีต่อชิ้น ความเร็วตัดเท่ากับ213.45เมตรต่อนาที แรงในการตัดเท่ากับ 3.20KNกำลังงานในการตัดเท่ากับ 6.27KW และความเรียบผิวเท่ากับ 1.04 μmส่วนเกณฑ์ต้นทุนผลิตต่อชิ้นต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 36.60บาทต่อชิ้น ความเร็วตัดเท่ากับ 74.13เมตรต่อนาที แรงในการตัดเท่ากับ 4.40 KNกำลังงานในการตัดเท่ากับ 2.29 KW และความเรียบผิวเท่ากับ 2.43 μmหลังจากนั้นทดสอบตัดเฉือนชิ้นงานเรียวโดยใช้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดกับเครื่องกลึงอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถตัดเฉือนชิ้นงานได้ตามที่ต้องการ

คำสำคัญ: ความเหมาะสมที่สุด กลึงเรียว ตัวแปรในการตัดเฉือน

Abstract

The aim of this study is to determine the optimization parameters for taper turning operations. The turning is single pass method. The objective functions are the minimum unit production time criteria and minimum unit production cost criteria.The machining constrains are under various parameters such as cutting speed, feed rate, depth of cut, degree of taper machining and machining capabilities (surface roughness, cutting force, cutting power). The results of this study showed that the optimization of the minimum unit production time criteria is equal to 1.05 minutes per piece. The cutting speed is213.45meters per minute, the cutting force is 3.20 KN, the cutting power is 6.27KW and the surface roughness is 1.04 μm. The minimum unit production cost criteria is equal to 36.60 baht per piece. The cutting speed is74.13 meters per minute, the cutting force is4.40KN,thecutting

[1]*นิสิตปริญญาโท, [2,3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150*

[1]*M.Eng student, [2,3]Assistant Professor, Manufacturing Engineering Department, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham, Thailand, 44150.*

**Corresponding author,E-mail: wee.nampanya@gmail.com*

power is 2.29 KW and the surface roughness is 2.43 μm. And then, the optimum machining parameters were test the taper turning with CNC that can machine the appropriate workpiece.

Keywords: Optimization, Taper turning, Machining Parameters

บทนำ

ในกระบวนการตัดเฉือนชิ้นงาน มีบทบาทที่สำคัญในการผลิตที่มีการแข่งขันสูง[1] ภายใต้สภาวะต้นทุนของค่าแรงงานรวมทั้งค่าวัตถุดิบที่มีการปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด จึงมีความสำคัญมากเมื่อมีการนำมาใช้กับเครื่องมือกลที่ใช้การควบคุมเชิงตัวเลขของคอมพิวเตอร์ (CNC - Computer Numerical Control) แม้ว่าจะสามารถลดช่วงเวลานำ (Lead time) ลงมาได้ แต่เวลาในการตัดเฉือนก็เหมือนกับเครื่องมือกลแบบเดิม (Conventional machine Tool) ถ้าเลือกพารามิเตอร์ในการตัดค่าเดียวกัน เนื่องจากเครื่องจักรกลมีการลงทุนสูงในการตัดเฉือนด้วยเครื่องมือกลที่ใช้การควบคุมเชิงตัวเลขของคอมพิวเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกลึงแบบเดิม[2] ดังนั้นความต้องการทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการปฏิบัติงานกับเครื่องมือกลที่ใช้การควบคุมเชิงตัวเลขของคอมพิวเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อที่จะให้มีการคืนทุนเร็วที่สุดจึงเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในอันดับแรก ค่าที่เหมาะสมที่สุดจำเป็นต้องตรวจสอบก่อนที่จะทำการผลิตชิ้นส่วน การเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการดำเนินการกลึงเรียว เช่น ความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัด เป็นต้น ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับต้นทุนในการตัดโลหะ ในขั้นตอนของการกลึงเรียวนั้น ประกอบด้วยการกลึงเรียวผ่านแค่รอบเดียว (Single-pass) และการกลึงเรียวผ่านหลายรอบ (Multi-pass) ซึ่งวิธีกลึงเรียวผ่านแบบรอบเดียวนั้นจะทำการกลึงเรียวแค่รอบเดียวก็จะได้รูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงานตามที่ต้องการ กล่าวคือความลึกในการตัดจะต้องกำหนดค่าที่แน่นอน ส่วนกรณีการกลึงเรียวผ่านหลายรอบนั้น จะต้องกลึงเรียวหยาบก่อนและกลึงเรียวละเอียดในรอบสุดท้ายดังนั้นการศึกษาโมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับการดำเนินงานกลึงเรียวผ่านรอบเดียวจึงมีความจำเป็นสำหรับการตรวจสอบสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการตัดโลหะ ซึ่งความลึกในการตัดจะเป็นพารามิเตอร์ที่เพิ่มเข้ามา

ในการกลึงผ่านรอบเดียวและผ่านหลายรอบที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยอย่างแพร่หลายโดยมีรายงานในวารสารต่าง ๆเช่น เกณฑ์ต้นทุนผลิตต่อชิ้นต่ำสุด (Agapiou, 1992)[3, 4] เกณฑ์เวลาในการผลิตต่อชิ้นต่ำสุด Chen and Tsai (1996)[5], เกณฑ์ต้นทุนผลิตต่อชิ้นต่ำสุด Vijayakumar et al (2003)[6] และนอกจากนี้ยังได้มีการนำผลที่ดีที่สุดจากเกณฑ์ของเวลาในการผลิตต่อชิ้นต่ำสุดเพื่อนำไปใช้ในการจัดลำดับงานและวางแผนการผลิต เป็นต้น

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดำเนินการกลึงเรียวผ่านรอบเดียว โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์หาค่า ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด พร้อมกับใช้โปรแกรมสำเร็จรูปลินโกเวอร์ชั่น 6.0 เพื่อวิเคราะห์หาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด เพื่อจะได้นำผลที่ได้ไปทดลองตัดเฉือนชิ้นงานจริง ซึ่งเป็นผลดีต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมการตัดเฉือนในงานกลึงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ต่อไป

วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการดำเนินงานกลึงเรียวผ่านรอบเดียวโดยการวิเคราะห์เกณฑ์เวลาในการผลิตต่อชิ้นต่ำสุดและเกณฑ์ต้นทุนผลิตต่อชิ้นต่ำสุด ได้วางแผนดำเนินงานดังต่อไปนี้

รูปแบบการกลึงเรียว

กำหนดพิกัดของแบบจำลองลงในระนาบ x-z โดยระนาบดังกล่าวกำหนดจุดเริ่มต้นของตำแหน่งที่มีดกลึงเข้าตัดเฉือนชิ้นงานคือจุด (z_2, x_2) และ จุดสุดท้ายที่มีดกลึงเคลื่อนที่ออกจากการตัดเฉือนชิ้นงานคือจุด (z_1,x_1)โดยมีองศาของเรียว เป็นตัวกำหนดให้มีดกลึงเคลื่อนที่เอียงเป็นลักษณะของการกลึงเรียวดังภาพประกอบ 1 โดยมีสมการดังนี้

$$\theta = \tan^{-1}\frac{x_2 - x_1}{x_2 - x_1} \quad (1)$$

ดังนั้น เวลาการกลึงเรียวหาได้จาก

$$T_{ms} = \frac{\pi.D.L}{1000.V.f}\left|\frac{D_2{}^2 - D_1{}^2}{4\sin\theta}\right| \quad (2)$$

และเวลาการปรับตั้งชิ้นงานบนเครื่องกลึงหาได้จาก

$$T_I = [t_c + (h_1 L + h_2)] \quad (3)$$

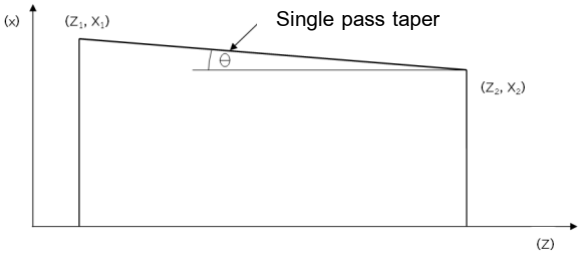

Figure 1 Single pass taper turning model

สมการเป้าหมาย

- เกณฑ์เวลาในการผลิตต่อชิ้นต่ำสุดคือ

$$T_p = T_{ms} + T_I + \frac{t_e}{t_p}T_{ms} \quad (4)$$

แทนค่าT_mจากสมการที่ (2) และ T_lจากสมการที่ (3) ดังนั้น

$$T_P = \left(\frac{\pi.D.L}{1000.V.f}\left|\frac{D_2{}^2 - D_1{}^2}{4\sin\theta}\right|\right) + [t_c + (h_1 L + h_2)] + \frac{t_e}{t_p}\left(\frac{\pi.D.L}{1000.V.f}\left|\frac{D_2{}^2 - D_1{}^2}{4\sin\theta}\right|\right) \quad (5)$$

ซึ่ง t_pคืออายุเครื่องมือตัด และ t_e/t_p คือ จำนวนของชิ้นงานที่สามารถผลิตได้ก่อนจะต้องเปลี่ยนหรือปรับมุมมีดตัดใหม่

- เกณฑ์ต้นทุนผลิตต่อชิ้นต่ำสุดดังนี้

$$UC = k_0 T_{ms} + k_0 T_I + k_0 \frac{t_e}{t_p}T_{ms} + \frac{k_t}{t_p}T_{ms} \quad (6)$$

แทนค่าTm จากสมการที่ (2) ดังนั้น

$$UC = k_o\left(\frac{\pi.D.L}{1000V.f}\left|\frac{D_2{}^2 - D_1{}^2}{4\sin\theta}\right|\right) + k_o[t_c + (h_1 L + h_2)] + k_o\frac{t_e}{t_p}\left(\frac{\pi.D.L}{1000.V.f}\left|\frac{D_2{}^2 - D_1{}^2}{4\sin\theta}\right|\right) + \frac{k_t}{t_p}\left(\frac{\pi.D.L}{1000.V.f}\left|\frac{D_2{}^2 - D_1{}^2}{4\sin\theta}\right|\right) \quad (7)$$

ข้อจำกัดการตัดเฉือน

- ความเร็วในการตัด (V) ช่วงของความเร็วตัดต่ำสุด (V_L) และความเร็วตัดสูงสุด (V_U) ดังนี้

$$V_L < V < V_U \quad (8)$$

- อัตราการป้อน (f)ช่วงของอัตราการป้อนต่ำสุด (f_L) และอัตราการป้อนสูงสุด (f_U) ดังนี้

$$f_L < f < f_U \quad (9)$$

- ความลึกในการตัด (d) ช่วงความลึกในการตัดต่ำสุด (d_L) และสูงสุด (d_U) ดังนี้

$$d_L < d < d_U \quad (10)$$

- อายุเครื่องมือตัด(tp) ช่วงของอายุเครื่องมือตัดต่ำสุด (T_L) และอายุเครื่องมือตัดสูงสุด (T_U)ดังนี้

$$T_L < t_p < T_U \quad (11)$$

- แรงในการตัด (F)กำหนดในเทอมของแรงที่มากที่สุด (F_U)ดังนี้

$$F = k_1 f^{\mu} d^{\nu} \le F_U \quad (12)$$

- กำลังงานในการตัด (P) ไม่เกินค่าที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้ (P_u) ของเครื่องมือกลโดย

$$P = \frac{FV}{6120\eta} = \frac{k_1 f^{\mu} d^{\nu} V}{6120\eta} \le P_U \quad (13)$$

- อุณหภูมิระหว่างมีดตัดกับชิ้นงาน (Q) ดังนี้

$$Q = k_2 V^{\tau} f^{\phi} d^{\delta} \le Q_U \qquad (14)$$

- ความเรียบผิวของชิ้นงาน (*SR*) ดังนี้

$$\frac{f^2}{8R} \le SR_U \qquad (15)$$

การหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด

จากการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ รวมทั้งวิเคราะห์ข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกลึงเรียวแล้ว จากนั้นก็สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ สมการเป้าหมายตามเกณฑ์เวลาในการผลิตต่ำสุด (สมการที่ 5) และเกณฑ์ต้นทุนการผลิตต่อชิ้นต่ำสุด (สมการที่ 7) ซึ่งทั้งสองเป้าหมายนี้อยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ (สมการที่ 8-15) ขั้นตอนต่อมาคือการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมลินโกเวอร์ชั่น6.0 ช่วยในการแก้ปัญหาโดยใช้วิธี Linear Optimization และใช้ Minimum Functionซึ่งผลที่ได้จากการหาค่านี้ จะได้ตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดตามเงื่อนไขที่กำหนด

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

การทดลองหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการกลึงเรียวผ่านรอบเดียวเพื่อหาเกณฑ์เวลาการผลิตต่อชิ้นต่ำสุดและเกณฑ์ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด

ค่าตัวแปรที่กำหนด

ข้อมูลที่ใช้เป็นกรณีศึกษานี้ แสดงใน Table 1 – 3 ซึ่งใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกลึงเรียว

Table 1 Workpiece andcutting toolresearch

Parameter	Value
Materials	carbon steelS45C
Length	l = 300 (mm.)
Diameter, ø	D2= 50 (mm.)
Diameter, ø	D1= 40 (mm.)
Tool materials	Cemented Carbide
Nose radius	R= 1.2 (Degree)

Table 2 Variables used in the research

Variables (Unit)	Meaning
TC (min)	Minimumunit production time.
UC (baht)	Minimum unit production cost.
f(mm/rev)	Feed Rate
V(m./min)	Cutting Speed
F (N)	Forceinmachining
P (Kw)	Power
SR (μm)	Surface

Table 3 Control variablesin research

Parameter	Value
Overhead cost	k_o = 32 (bath/unit)
Cost of cutting edge	k_t = 80 (bath/edge)
Atthecutting tool	t_e = 1.50 (min/cut edge)
Life ofcutting tools	t_p = 25 min
Minimum and maximumageof cutting tools	T_L = 25 min, T_U = 45 min
Temperaturebetweencuttingtheworkpiece	Q_U = 1000 ºc
Timeconstantof thecutting toolmoves	h_1 = 0.01min
Cuttingtimeconstant ofmotion	h_2= 0.3 min
Depth ofcut	d_L= 1 mm., d_U= 6 mm.
minimum and maximumfeed	f_L=0.1 mm/rev f_U= 0.9 mm/rev.
Minimum and maximumcutting speed	V_L= 50 m./min V_U= 500m./min
Tool replacement life	T_R= 240 min
surface roughness	SR_U= 10 μm
Force	*FU* = 5000N
Power	*PU* =200 Kw

ผลการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ผลลัพธ์การคำนวณค่าที่เหมาะสมที่สุดของเวลาและต้นทุนในการกลึงเรียวผ่านรอบเดียวขึ้นอยู่กับฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์คือ ค่าที่เหมาะสมที่สุดของเกณฑ์เวลาในการผลิตต่อชิ้นต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 1.05 นาทีต่อชิ้น

ความเร็วตัดเท่ากับ213.45 เมตรต่อนาที แรงในการตัดเท่ากับ 3200 N กำลังงานในการตัดเท่ากับ 6.27 KW และความเรียบผิวเท่ากับ 1.04 μmส่วนเกณฑ์ต้นทุนผลิตต่อชิ้นต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 36.60บาทต่อชิ้น ความเร็วตัดเท่ากับ 74.13 เมตรต่อนาที แรงในการตัดเท่ากับ 4400 N กำลังงานในการตัดเท่ากับ 2.29 KW และความเรียบผิวเท่ากับ 2.43 μmดังแสดงในตาราง4และ5โดยวิธีการใช้โปรแกรมลินโกเวอร์ชั่น 6.0 เพื่อใช้แก้ปัญหาเชิงเส้นซึ่งกำหนดความลึกในการกลึงให้เท่ากับ 1 (มม.) และค่าอัตราการป้อนตัดเฉือนคงที่ความเร็วและประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุดจะถูกจำกัดด้วยเทคโนโลยีรวมถึงความเร็วที่ตัด, อัตราการป้อนตัด, แรงในการตัด, และกำลังตามสภาพของเครื่องกลึงอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ค่าตัวแปรของต้นทุนการผลิตและเวลาการผลิตต่อชิ้นที่เหมาะสมที่สุดจะแตกต่างกันคือความเร็วตัดเฉือน (v), อัตราการป้อน (f),แรงในการตัดเฉือน (F) , กำลังในการตัดเฉือนและความเรียบผิว

Table 4 Analysis ofminimum unit production time

time (min)	Velocity(m/min)	Feed (mm/rev)	Force (N)	Power (KW)	Surface (μm)
1.05	213.45	0.1	3200	6.27	1.04

Table 5 Analysis ofminimum unit production cost

cost (bath)	Velocity(m/min)	Feed (mm/rev)	Force (N)	Power (KW)	Surface (μm)
33.60	74.13	0.15	4400	2.29	2.43

การทดลองกลึงเรียวด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ

การทดลองกลึงชิ้นงานกับเครื่องกลึงซีเอ็นซีเพื่อทดสอบค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยการนำค่าที่ได้จากตารางที่4และ 5มาทดลองกับเครื่องกลึงอัตโนมัติค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดจะถูกป้อนบนเครื่องจักรความลึกในการตัดเฉือนความเร็วในการตัดและอัตราการป้อนถูกนำมาใช้เพื่อตัดเฉือนชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบ แสดงในรูปที่2 และ 3จากการวิเคราะห์ผลการทดลองกลึงชิ้นงาน พบว่าพื้นผิวชิ้นงานจะมีความเรียบผิวใกล้เคียงกันแต่ค่าความเรียบผิวของค่าความเหมาะสมของเกณฑ์เวลาต่อชิ้นต่ำสุดจะมีความละเอียดมากกว่าเกณฑ์ค่าความเหมาะสมของต้นทุนการผลิตต่อชิ้นต่ำสุด เนื่องจากอัตราการป้อนตัดเฉือนของเกณฑ์เวลาต่อชิ้นต่ำสุดจะมีค่าความละเอียดมากกว่า คืออยู่ที่ 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบความยาวของชิ้นงานก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลให้เวลาการผลิตและต้นทุนการผลิตต่ำสุดมีความแตกต่างอัตราเรียวมีผลกับมีดตัดเนื่องจากการตัดชิ้นงานไม่เต็มพื้นที่หน้าตัดซึ่งมีผลกระทบต่อแรงในการตัดเฉือนและกำลังในการตัดเฉือนแรงในการตัดเฉือนและกำลังในการตัดเฉือนจะต้องสัมพันธ์กับความเร็วตัดและอัตราการป้อนตัดผลของค่าที่เหมาะสมที่สุดนี้จะเน้นที่เครื่องกลึงอัตโนมัติอย่างไรก็ตามสามารถที่จะประยุกต์ใช้กับเครื่องกลึงแบบดังเดิมและเครื่องมือกลชนิดอื่นๆที่มีการทำงานคล้ายคลึงกันโดยนำหลักการนี้ไปใช้แบบเดียวกันได้

จากการสังเกตการตัดเฉือนชิ้นงานจริงโดยใช้เครื่องกลึงอัตโนมัติเมื่อกลึงเรียวจากเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กไปหาเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่หรือจากD1 ไปหาD2 พบว่าลักษณะของการเคลื่อนที่ของชุดเครื่องมือตัดเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างสม่ำเสมอตามอัตราการป้อนไม่สั่นสะเทือนในชิ้นงานความเรียบผิวของชิ้นงานมีความเรียบและความมันวาว

Figure 2 Minimum unit production cost

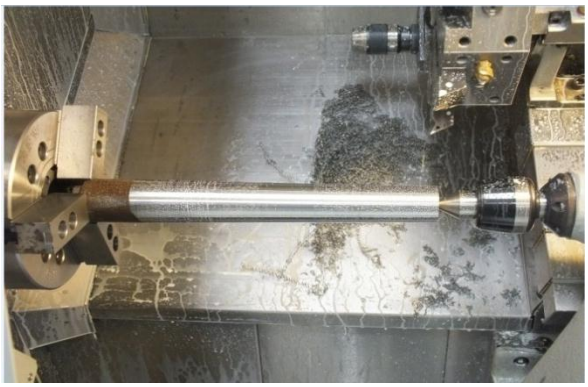

Figure 3 Minimumunit production time

บทสรุป

การวิจัยในครั้งนี้ได้อธิบายถึงวิธีการหาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกลึงชิ้นงาน โดยปรับปรุงประสิทธิภาพของค่าตัวแปรในการดำเนินงานกลึงเรียว โดยใช้เกณฑ์เวลาผลิตต่อชิ้นต่ำสุดและเกณฑ์ต้นทุนต่อชิ้นต่ำสุด ซึ่งเกณฑ์ต่างๆ จะอยู่ภายใต้เงื่อนไข ขึ้นกับประสิทธิภาพของเครื่องจักร ซึ่งใช้โปรแกรมลินโกเวอร์ชั่น6.0 ในการคำนวณหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาในการกลึงเรียว ดังนั้นเกณฑ์เวลาในการผลิตต่อชิ้นต่ำสุด คือ 1.05 นาที และเกณฑ์ต้นทุนการผลิตต่อชิ้นต่ำสุด คือ 36.60 บาทต่อชิ้น ในการออกแบบและเขียนโปรแกรมด้วยโปรแกรมลินโกเวอร์ชั่น 6.0 กำหนดความลึกในการกลึงเท่ากับ 1 (มม.) และ ค่าอัตราการป้อนตัดเฉือนคงที่ตามพารามิเตอร์ รวมถึงความเร็วที่ตัด, แรงในการตัด, และกำลังในการตัดเฉือนตามสภาพของเครื่องกลึงอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารอ้างอิง

1. กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ และเลอศักดิ์ สุมาลย์. (2546)การปรับปรุงคุณภาพงานหล่อนิเกิล อลูมิเนียมบรอนซ์ โดยวิธีการของทากูชิ. รายงานโครงการศึกษา คอ.บ. ภาควิชาครุศาสตร์ อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป, การตัดเฉือนด้วยเครื่องมือกล.พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2555.
3. Agapiou JS. The optimization of machining operations based on a combined criterion, Part-1: The use of combined objectives in single pass operations. Transactions of the ASME Journal of Engineering for Industry 1992 I; 114: 500–507.
4. Agapiou JS. The optimization of machining operations based on a combined criterion, Part-2: Multipass operations. Transactions of the ASME Journal of Engineering for Industry 1992 II; 114: 508–513.
5. Chen MC, Tsai DM. A simulated annealing approach for optimization of multi-pass turning operations.International Journal of Production Research 1996; 34: 2803–2825.
6. Vijayakumar K, Prabhaharan G, Asokan P, Saravanan R. Optimization of multi-pass turning operations using ant colony system. International Journal of Machine Tools & Manufacture 2003; 43: 1633-1639.