



การศึกษาปัจจัยในการกัดชิ้นงานด้วยเม็ดมีด APMT1604PDER-M2 ที่มีผลต่ออายุการใช้งานของคมตัดและความเรียบผิว

บัญญัติ พันธุ์ประสิทธิ์เวช^{1*}, ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ² และวิชัย จันทรักษา³

The Study of Factors of Machining with Milling Tool Insert APMT1604PDER-M2 Affecting Life Time of Cutting Edge and Surface Roughness

Banyat Panprasitvech^{1*}, Patipat Hongsuwan² and Wichai Chantharaksa³

^{1,2,3} คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

^{1,2,3} Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Muang Nakhonpathom, Thailand 73000

* Corresponding author. E-mail address: otani1443@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยในการกัดชิ้นงานด้วยเม็ดมีด APMT1604 PDER-2M ที่มีผลต่ออายุการใช้งานของคมตัดและความเรียบผิว โดยทำการทดสอบการตัดเฉือนวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน(S45C) ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานของเม็ดมีดกัดที่สำคัญคือความเร็วรอบ อัตราการป้อนและความลึกการป้อน นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อคมตัดยังเกิดจากทิศทางการควบคุม ระยะในการป้อนตัดเฉือนงานด้านข้าง และการหล่อเย็น ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงทำการทดลองโดยควบคุมความเร็วรอบ อัตราการป้อน ความลึกการป้อนและได้กำหนดปัจจัยในการศึกษาทดลองโดยกำหนดปัจจัย 3 ประเภทคือระยะการป้อน(Overlap) ทิศทางควบคุมการกัด (Cut Direction) และน้ำหล่อเย็น (Coolant) ตัวแปรคือความเรียบผิวของงาน ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่กำหนดในมาตรฐานงานกัดความเรียบผิว (Ra) ≤ 1.6 ไมโครเมตร ใช้ความเร็วรอบคงที่ 960 รอบ/นาที โดยมีการกำหนดระดับปัจจัย 2 ระดับคือระยะการป้อน(Overlap) ที่ 2 มิลลิเมตรและ 4 มิลลิเมตร ทิศทางการเคลื่อนที่ตัดเฉือนแบบ(Climb Milling)และการเคลื่อนที่ตัดเฉือนแบบ(Conventional Milling) การปิดและเปิดน้ำหล่อเย็น จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานและความเรียบผิวงานคือระยะการป้อน(Overlap) ทิศทางควบคุมการกัด (Cut Direction) และการปิดเปิดน้ำหล่อเย็น มีผลต่ออายุการใช้งานของเม็ดมีดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดคือทิศทางการเคลื่อนที่การตัดเฉือนควรใช้แบบ(Climb Milling) ควรปิดน้ำหล่อเย็นและระยะการป้อน(Overlap) ที่ 2 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้อายุการใช้งานเม็ดมีดสามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมีคุณภาพความเรียบผิวงานที่ดีและมีอายุการใช้งานนานขึ้น

คำสำคัญ: ระยะการป้อน ทิศทางการควบคุมการกัด น้ำหล่อเย็น การกัดชิ้นงานด้วยเม็ดมีด ค่าความเรียบผิว อายุการใช้งานของคมตัด

Abstract

This study aimed to identify factors in the milling inserts APMT1604 PDER-2M affecting to the utilization duration of cutting by considering the test machining carbon steel (S45C) Factors affecting the utilization duration of cutting are wind speed, feed rate and feed depth .In addition, factors that affect the cutting are also occurring from direction, overlap and coolant. Therefore, this research is conducted by controlled experiments the cutting speed, feed rate, feed depth and determining three factors include overlap, cut direction and coolant. The smooth surface variable could define the standard of milling surface roughness (Ra) ≤ 1.6 micrometers which uses constant speed at 960 r/min by setting 2 level include overlap at 2 mm. and 4 mm. Moreover, setting climb milling, conventional milling, and coolant by controlling as closed and reopened are important to the utilization duration. The study found that the significant of cut direction, Overlap, and coolant on life time of cutting edge is 0.05. The best outcome can be achieved by using two millimeters overlap, climb milling and closed coolant.

Keywords: Overlap, Cut direction, Coolant, Milling tool inserts, Surface roughness, Lifetime of the cutting edge.



บทนำ

กระบวนการตัดเฉือนวัสดุด้วยความเร็วรอบสูงหรือเรียกว่า High Speed Machining (HSM) เข้ามามีบทบาทสูงในวงการผลิตชิ้นส่วน เนื่องจากความเที่ยงตรงสูงคุณภาพของผิวชิ้นงานดีและต้นทุนการผลิตที่ต่ำ (Wan, Liu, & Ai, 2006, pp. 459-463) ในอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์, แม่พิมพ์และการตัดเฉือนชิ้นสูงหรือเทคโนโลยีเครื่องมือตัด การตัดเฉือนงานกัดตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ การตัดเฉือนคมมีดตัด (Thamizhmani, & Hasan, 2003, pp. 401-405) มีหลายตัวแปรด้วยกันในการกัดด้วยเครื่องจักร CNC โดยการป้อนคำสั่งให้เครื่องจักรทำงานผลิตชิ้นงานใช้เวลา น้อยที่สุดแล้ว อีกสิ่งหนึ่งที่ต้องการคำนึงถึงคือคุณภาพของเม็ดมีดที่สามารถใช้งานได้ยาวนาน ไม่เช่นนั้นจะสูญเสียเวลาในการชดเชยโปรแกรมหรือเปลี่ยนเม็ดมีดใหม่เพื่อให้ชิ้นงานได้ขนาดตามความต้องการทั้งขนาดและคุณภาพผิว

อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรและเครื่องมือกลต่างๆจะพบว่ากระบวนการตัดเฉือนจากงานกัดก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญมาก จากการใช้และประยุกต์ในการกัดพบว่า (Jonathan Lin, 1994, pp. 125-154) อุณหภูมิการกัด ความเร็วตัด อัตราการป้อนทิศทางการควบคุมการกัดและตัวแปรต่างๆที่เลือกใช้มีผลต่อข้อจำกัดอายุการใช้งานของเม็ดมีดกัดซึ่งในกระบวนการกัดของเม็ดมีดที่ไม่ใช่สารหล่อเย็น (ทงศักดิ์ ลือจันดา, 2555, น. 108) จะส่งผลดี โดยจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่จะส่งผลต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นของเม็ดมีดกัดและแรงเสียดทานในการกัด ตัวแปรต่างๆเหล่านี้การที่จะทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำและได้คุณภาพผิวผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ซึ่งรวมไปถึงความคุ้มค่าของการใช้งานของเม็ดมีดกัดอย่างเต็มประสิทธิภาพ

จากการศึกษางานวิจัยพบว่าได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการตัดเฉือนวัสดุใน งานตัด งานกลึง งานไส งานเจาะ และงานกัดอย่างกว้างขวาง ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาถึงความสำคัญในการใช้เครื่องมือในการตัดเฉือนขึ้น รูป (Water, F. 1996, pp. 235-237) วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน (S45C) ด้วยเม็ดมีด APMT1604 PDER-2M เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานของเม็ดมีดกัดและความเรียบผิวในการกัดเหล็กกล้าคาร์บอน

(S45C) ด้วยเม็ดมีด APMT1604 PDER-2M ซึ่งจะสามารถทราบถึงอายุการใช้งานเม็ดมีดกัด ความเรียบผิวงาน การลดเวลาในกระบวนการผลิต การยืดอายุการใช้งานของเครื่องมืออุปกรณ์ ซึ่งสามารถคำนวณหาต้นทุนการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์เครื่องมือได้อย่างถูกต้อง สามารถเป็นแนวทางให้กับอุตสาหกรรมและองค์กรต่างๆ สถานศึกษา โดยทั่วไปที่จะได้นำข้อมูลพื้นฐานไปปรับใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในกระบวนการผลิตด้วยเครื่องจักรกล

วิธีการศึกษา

1. ศึกษาสภาพปัญหากระบวนการตัดเฉือนชนิดแบบการกัดผิวข้าง (Profile) จะศึกษาค่าของความหยาบละเอียดผิวงานหลังผ่านกระบวนการการตัดเฉือน (ปฏิพัทธ์ หงส์สุวรรณ, 2556, น. 125-139) โดยกำหนดเวลาการตรวจสอบผิวงานภายใต้การตัดเฉือนทุกๆ 10 นาที

2. สืบรวจงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและหาข้อมูลงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการกัดด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติซีเอ็นซี เพื่อให้ทราบถึงพารามิเตอร์ควบคุมในกระบวนการกัด การใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบกระบวนการกัดและการผลิตเช่นโปรแกรม (Solid Works, CAM) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับชิ้นงานที่ใช้ในการดำเนินงานเครื่องมือวัดความหยาบผิวงาน (Surface Roughness Testing) และการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial design) เพื่อทำการออกแบบการทดลองได้อย่างเหมาะสม (ประไพศรี สุกทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบุรย์, 2551, น. 38-43)

3. ศึกษากระบวนการทำงานและพารามิเตอร์ในการตัดเฉือนที่ต้องควบคุมการศึกษาระบวนการทำงานของกระบวนการกัดและพารามิเตอร์ในการตัดเฉือนที่ต้องควบคุมในกระบวนการกัดชนิดแบบกัดผิวข้าง (Profile) โดยใช้ความเร็วรอบ 960 รอบ/นาที อัตราการป้อน 350 มม./นาทีและความลึกในการตัดเฉือน 5 มิลลิเมตร. ซึ่ง



กำหนดจากมาตรฐานของเม็ดมีดกัด APMT1604 PDER-2M

3.1 การกำหนดค่าผลลัพธ์การทดลองงานวิจัยได้จากการตรวจสอบค่าความหยาบผิว Surface Roughness ไม่เกิน ($R_a \leq 1.6$ ไมโครเมตร ซึ่งเป็นมาตรฐานค่าความหยาบละเอียดงานกัด (บรรเลง ศรีนิล และ ประเสริฐ ก้วยสมบูรณ์, 2527, น. 90-91)

3.2 กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการตัดเนื้อที่ควบคุมในกระบวนการกัดรูปแบบชนิดกัดผิวข้าง (Profile) เป็นการกัดเนื้องานในลักษณะเส้นตรงที่ละแฉตามชั้นความลึกของแกน Z ดังนี้

น้ำหล่อเย็น Coolant น้ำหล่อเย็น เป็นชื่อเรียกกลุ่มของเหลว ส่วนมากเป็นพวกน้ำมันตัดหรือน้ำมันสบู ที่ใช้ในการหล่อลื่นหรือเพื่อลดความร้อนและการเสียดสี (ปฐวิ เพชรไพรินทร์, 2549, น. 22)

ระยะการป้อน (Overlap) คือความกว้างที่ต้องการตัดเนื้อเนื้อโลหะออก และทิศทางการกัด (Cut Direction) เป็นการกำหนดทิศทางการกัด จะกำหนดตามการหมุนของมีดตัดในการเคลื่อนที่เข้าไปกัดชิ้นงานโดยปกติจะมีการเคลื่อนที่ชิ้นงาน (cw) มี 2 รูปแบบที่กำหนดคือ 1. กัดทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่แบบ (Climb Milling) เป็นการหมุนของมีดตัดจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ของ

การป้อนชิ้นงาน 2. กัดทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ (Conventional Milling) การหมุนของมีดตัดจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน (ปฏิพัทธ์ หงส์สุวรรณ, 2556, น. 125-139)

4. การออกแบบกระบวนการกัด ออกแบบขนาดของชิ้นงานที่จะทำการกัด คำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการกัด เมื่อได้ขนาดของชิ้นงานที่ต้องการ ก็จะเขียนรูปแบบของชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม Solid Works ในการออกแบบจากนั้นจึงใช้โปรแกรม Solid CAM ในการออกแบบกระบวนการกัด นำจีโค้ด (G-Code) ของกระบวนการกัดที่ได้จากโปรแกรม (Solid CAM) นำเข้าเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling) จากนั้นก็เริ่มกระบวนการกัด (ปฏิพัทธ์ หงส์สุวรรณ, 2556, น. 125-139)

5. การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial design) (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบุรย์, 2551, น. 38) เพื่อศึกษากระบวนการกัดที่มีประสิทธิภาพการกัดชนิดแบบกัดผิวข้าง (Profile) ซึ่งใช้ในกระบวนการกัดของเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling) โดยศึกษาอิทธิพลของปัจจัย 3 ประการ ที่มีผลต่อการสึกหรอของมีดกัด โดยกำหนดให้การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 1 แสดงตารางพารามิเตอร์และระดับของพารามิเตอร์ที่นำมาศึกษา

พารามิเตอร์	ระดับปัจจัย		หน่วย
	1	2	
ระยะการป้อน(Overlap)	2	4	MM
น้ำหล่อเย็น (Coolant)	Open	Off	
ทิศทางการกัด (Cut Direction)	Climb	Conventional	



ตารางที่ 2 แสดงตารางระดับพารามิเตอร์ที่กำหนดและการเก็บข้อมูลการทดลอง

ทิศทางควบคุมการกัด (Cut Direction)	น้ำหล่อเย็น (Coolant)	ระยะการป้อน (Overlap) (MM)	(Tool life1) (hour)	(Tool life2) (hour)	(Tool life3) (hour)
Climb	Off	2	TL1	TL2	TL3
Conventional	Off	2	TL4	TL5	TL6
Climb	Open	2	TL7	TL8	TL9
Conventional	Open	2	TL10	TL11	TL12
Climb	Off	4	TL13	TL14	TL15
Conventional	Off	4	TL16	TL17	TL18
Climb	Open	4	TL19	TL20	TL21
Conventional	Open	4	TL22	TL23	TL24

6. การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$SS_A = [a - (1) + ab - b + ac - c + abc - bc]^2 / 8n$$

$$SS_B = [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]^2 / 8n$$

$$SS_C = [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]^2 / 8n$$

$$SS_{AB} = [ab - a - b + (1) + abc - bc - ac + c]^2 / 8n$$

$$SS_{AC} = [(1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc]^2 / 8n$$

$$SS_{BC} = [(1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc]^2 / 8n$$

$$SS_{ABC} = [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)]^2 / 8n$$

ตารางที่ 3 แสดงตาราง ANOVA โดยโปรแกรมมินิแทบ (Minitab)

Source of Variation	Sum of Square	df.	Mean Square	F ₀	P-Value
A	SS _A	a - 1	MS _A = SS _A / a - 1	MS _A / MS _E	P-Value < α
B	SS _B	b - 1	MS _B = SS _B / b - 1	MS _B / MS _E	P-Value < α
C	SS _C	c - 1	MS _C = SS _C / c - 1	MS _C / MS _E	P-Value < α
AB	SS _{AB}	(a - 1) × (b - 1)	MS _{AB} = SS _{AB} / (a - 1) × (b - 1)	MS _{AB} / MS _E	P-Value < α
AC	SS _{AC}	(a - 1) × (c - 1)	MS _{AC} = SS _{AC} / (a - 1) × (c - 1)	MS _{AC} / MS _E	P-Value < α
BC	SS _{BC}	(b - 1) × (c - 1)	MS _{BC} = SS _{BC} / (b - 1) × (c - 1)	MS _{BC} / MS _E	P-Value < α
ABC	SS _{ABC}	(a - 1) × (b - 1) × (c - 1)	MS _{ABC} = SS _{ABC} / (a - 1) × (b - 1) × (c - 1)	MS _{ABC} / MS _E	P-Value < α
Error	SS _E	df _{Total} - ∑ df	MS _E = SS _E / df _{Total} - ∑ df		
Total	SS _{Total}	(a × b × c × n) - 1			

7. แสดงผลการตรวจสอบโดยสร้างกราฟจากโปรแกรมมินิแทบ(Minitab)เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ผลเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการทดลองในการตัดเฉือนชิ้นงาน

ผลการศึกษา

การทดลองการตัดเฉือนชิ้นงานโดยใช้เม็ดมิดกัต APMT1604 PDER-2M

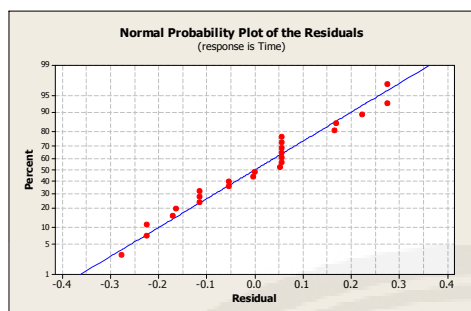
ผลจากการทดลองการกัดเหล็กกล้าคาร์บอน (S45C) ด้วยเม็ดมิดอิน APMT1604 PDER-2M ซึ่งกำหนดค่าความเรียบผิวงานไม่เกิน $(R_a) \leq 1.6$ ไมโครเมตร จากมาตรฐานความเรียบผิวงานกัด ใช้ความเร็วรอบ 960 รอบ/นาที อัตราการป้อน 350 มม./นาทีและความลึกในการตัดเฉือน 5 มิลลิเมตร. ซึ่งได้กำหนดตัวแปร ทิศทางการควบคุมการกัด การปิดเปิดน้ำหล่อเย็น และระยะการป้อน

ตารางที่ 4 ตารางแสดงอายุการใช้งานของมิดกัต

ทิศทางการควบคุมการกัด	น้ำหล่อเย็น	ระยะการป้อน (มม.)	เวลาครั้งที่ 1 ชม.	ความเรียบผิว Ra	เวลาครั้งที่ 2 ชม.	ความเรียบผิว Ra	เวลาครั้งที่ 3 ชม.	ความเรียบผิว Ra
งานกัดตาม Climb	ปิด	2	7.50	1.601	7.40	1.599	7.40	1.597
งานกัดทวน Conventional	ปิด	2	4.50	1.598	4.40	1.598	5.00	1.602
งานกัดตาม Climb	เปิด	2	1.50	1.598	2.00	1.610	2.00	1.605
งานกัดทวน Conventional	เปิด	2	1.40	1.602	1.50	1.588	1.50	1.598
งานกัดตาม Climb	ปิด	4	6.00	1.597	5.50	1.599	5.50	1.589
งานกัดทวน Conventional	ปิด	4	5.00	1.602	4.50	1.601	5.00	1.599
งานกัดตาม Climb	เปิด	4	1.20	1.598	1.50	1.587	1.50	1.594
งานกัดทวน Conventional	เปิด	4	1.00	1.598	0.50	1.594	1.00	1.601

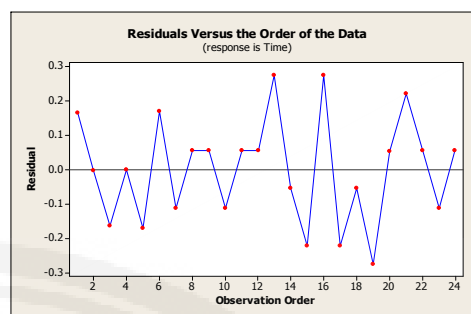
การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากผลการทดลองโดยใช้ การวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ซึ่งใช้ในการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) โดยพิจารณาจากรูปที่ 1 พบว่าค่าส่วนตกค้าง

(Residuals) มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง การตรวจสอบข้อสมมติฐานด้านการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล ผลที่ได้จากการทดลองจะกระทำได้โดยใช้การพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง (Residual)



รูปที่ 1 กราฟการกระจายตัวแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง

จากการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลการทดลองมีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นต่อไป



รูปที่ 2 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) เทียบกับ Observation Order

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของอายุการใช้งานของมิดกัตสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 14 มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยทั้งหมดโดยกำหนดนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ($\alpha = 0.05$)

Analysis of Variance for Time (Hour)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	121.370	13.5515	4.51716	129.56	0.000
A	1	8.773	5.7938	5.79380	166.17	0.000
B	1	110.468	9.1119	9.11187	261.33	0.000
C	1	2.130	3.2708	3.27082	93.81	0.000
2-Way Interactions	3	3.574	4.3855	1.46183	41.93	0.000

รูปที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

จากรูปที่ 3 แสดงข้อมูลที่วิเคราะห์ พบว่าได้ค่า $R^2 = 99.56\%$ และค่า $R^2_{adj} = 99.37\%$ (สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 99.37% หมายความว่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมด 100 หน่วย เป็นผลที่ได้มาจากความผันแปรของปัจจัยที่ทำการทดสอบ 99.37 หน่วย ส่วนที่เหลือเป็นความผันแปรที่มาจากปัจจัยอื่นๆ ที่ควบคุมไม่ได้) จึงเป็นค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ดี

การพิจารณาว่าควรจะนำสิ่งที่คาดไว้ในสมมติฐาน H_0 หรือ H_1 นั้นถ้าสิ่งที่คาดไว้มีเครื่องหมายเท่ากับ (คือมีเครื่องหมาย $\geq$ หรือ $\leq$ หรือ $=$) ให้ใส่ไว้ในสมมติฐาน H_0 ส่วน H_1 จะอยู่ในทิศทางตรงข้ามกับ H_0 แต่ถ้าสิ่งที่คาดไว้ไม่มีเครื่องหมายเท่ากับ (คือมีเครื่องหมาย $>$ หรือ $<$ หรือ $\neq$) ให้ใส่ไว้ในสมมติฐาน H_1 ส่วน H_0 จะอยู่ในทิศทางตรงข้ามกับใน H_1

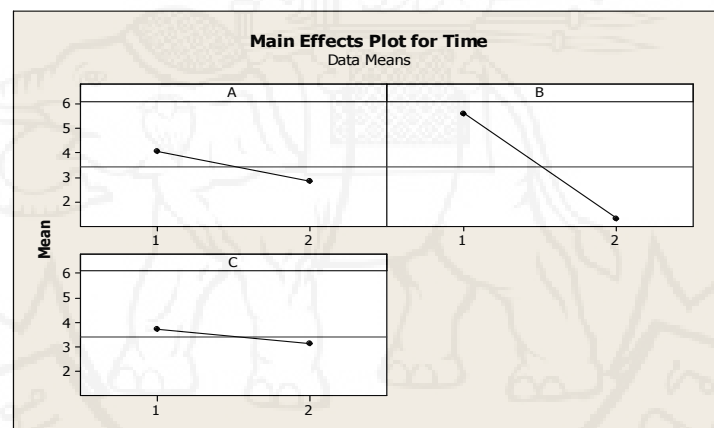
จะมีเครื่องหมายเท่ากับอยู่เสมอ (สายชล สันสมบูรณ์ ทอง, 2553, น. 262) โดยกำหนดไว้ $P\text{-Value} > 0.05$ จะยอมรับ H_0 ที่ 95% และถ้า $P\text{-Value} < 0.05$ จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ที่ 95% ของปัจจัยหลักทั้ง ทิศทางควบคุมการกัด, น้ำหล่อเย็น และ ระยะการป้อน (กำหนด $\alpha = 0.05$) เราจึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ทิศทางควบคุมการกัด (A), น้ำหล่อเย็น (B) และ ระยะการป้อน (C) มีผลต่ออายุการใช้งานของ มีดกัดอย่างมีนัยสำคัญ

ค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่าง ทิศทางควบคุมการกัด (A) กับ น้ำหล่อเย็น (B) มีค่าเท่ากับ $0.000 < \alpha$ (กำหนด $\alpha = 0.05$) เราจึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าปัจจัย

ร่วมระหว่าง ทิศทางควบคุมการกัด (A) กับ น้ำหล่อเย็น (B) มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกัดอย่างมีนัยสำคัญ

ค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างทิศทางควบคุมการกัด (A) กับ ระยะการป้อน (C) มีค่าเท่ากับ $0.000 < \alpha$ (กำหนด $\alpha = 0.05$) เราจึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าปัจจัยร่วมระหว่างทิศทางควบคุมการกัด (A) กับ ระยะการป้อน (C) มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกัดอย่างมีนัยสำคัญ

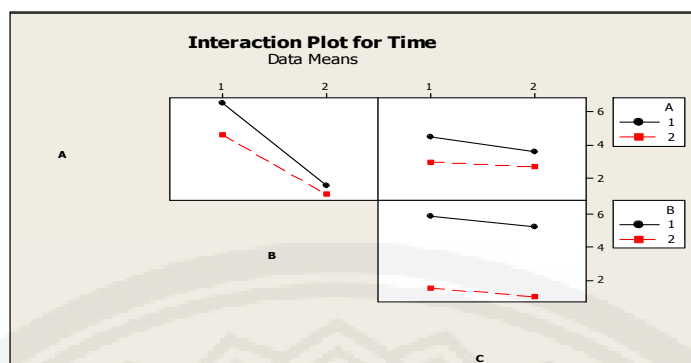
ค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างน้ำหล่อเย็น (B) กับ ระยะการป้อน (C) มีค่าเท่ากับ $0.000 > \alpha$ (กำหนด $\alpha = 0.05$) เราจึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าปัจจัยร่วมระหว่างน้ำหล่อเย็น (B) กับระยะการป้อน (C) มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกัดอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์จากอิทธิพลหลักจาก 3 ปัจจัย

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์จากอิทธิพลหลักจาก 3 ปัจจัย จากรูปที่ 4 ปัจจัยทิศทางควบคุมการกัดมีลักษณะกราฟชันลง ซึ่งหมายความว่าทิศทางควบคุมการกัดแบบ (Climb) ทำให้อายุการใช้งานของมีดกัดมากกว่าทิศทางควบคุมการกัดแบบ (Conventional) ปัจจัยน้ำหล่อเย็นมีลักษณะกราฟชันลงซึ่ง หมายความว่า การปิด

น้ำหล่อเย็น ทำให้อายุการใช้งานของมีดกัดมากกว่าการเปิดน้ำหล่อเย็น ปัจจัยระยะการป้อน (Overlap) มีลักษณะเส้นกราฟชันลง ซึ่งหมายความว่า ที่ระยะการป้อน 2 มิลลิเมตร ทำให้อายุการใช้งานของมีดกัดมากกว่าระยะการป้อน 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย

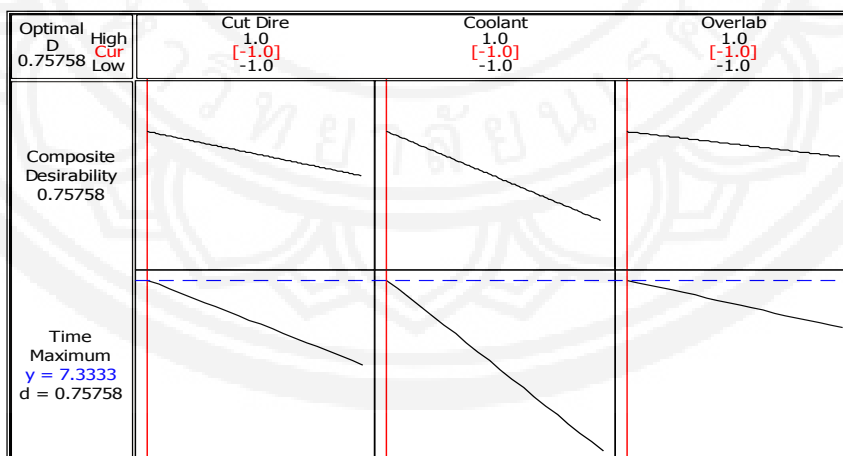
จากรูปที่ 5 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทิศทางควบคุมการกัด (A) กับน้ำหล่อเย็น (B) มีผลต่ออายุต่อการใช้งานของมิดกัตอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งทิศทางควบคุมการกัดแบบงานกัดตามและปิดน้ำหล่อเย็น จะทำให้อายุการใช้งานของมิดกัตมากกว่า ทิศทางควบคุมการกัดแบบงานกัดทวนและเปิดน้ำหล่อเย็น

อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทิศทางควบคุมการกัด (A) กับระยะการป้อน (C) มีผลต่ออายุต่อการใช้งานของมิดกัตอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งทิศทางควบคุมการกัดแบบงานกัดตามและระยะการป้อน 2 มิลลิเมตร จะทำให้อายุการใช้งานของมิดกัตมากกว่าทิศทางควบคุมการกัดแบบงานกัดทวนและระยะการป้อน 4 มิลลิเมตร

อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยระยะการป้อน (C) กับน้ำหล่อเย็น (B) มีผลต่ออายุต่อการใช้งานของมิดกัตอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งระยะการป้อน 2 มิลลิเมตรและปิดน้ำหล่อเย็นจะทำให้อายุการใช้งานของมิดกัตมากกว่าระยะการป้อน 4 มิลลิเมตรและเปิดน้ำหล่อเย็น

3. การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้อายุการใช้งานของมิดกัตที่มากที่สุด

โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 14 เลือกใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยที่ได้พิจารณาประกอบด้วยระยะการป้อน, ทิศทางควบคุมการกัดและน้ำหล่อเย็นดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟแสดงผลตอบสนองของปัจจัยที่เหมาะสม

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ จากข้อมูลในการทดลองครั้งนี้ ตัวแปรอิสระไม่ใช่ตัวแปรต่อเนื่องแต่เป็น ตัวแปรบ่งชี้ (Indicator Variables) ทั้งสามตัวแปร จึงใช้วิธีการแปลงค่าตัวแปร (Coded Data) โดยการสร้างตัวแปรอิสระใหม่ขึ้นมาแทนที่โดยใช้การแปลงค่าในรูป 0 และ 1 โดยจำนวนตัวแปรอิสระที่สร้างขึ้นจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนระดับหักด้วย 1 คือ

ทิศทางควบคุมการกัดมี 2 ลักษณะ ใช้ตัวแปรอิสระเพียงตัวแปรเดียวแทนได้นั้นคือ

X_1 { 0 แทน งานกัดตาม (Climb)
1 แทน งานกัดทวน (Conventional)

น้ำหล่อเย็นมี 2 ลักษณะ ใช้ตัวแปรอิสระเพียงตัวแปรเดียวได้นั้นคือ

X_2 { 0 แทน ปิดน้ำหล่อเย็น
1 แทน เปิดน้ำหล่อเย็น

ระยะการป้อน มี 2 ระยะ ใช้ตัวแปรอิสระเพียงตัวแปรเดียวได้นั้นคือ

X_3 { 0 แทน 2 มิลลิเมตร
1 แทน 4 มิลลิเมตร

โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 14 เลือกใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer มาการวิเคราะห์ผลการทดลองดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 สมการถดถอยกรณีไม่มีผลกระทบร่วม

ดังนั้น ตัวแบบ $E(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$

$$Y = 6.47 - 1.21 X_1 - 4.29 X_2 - 0.596 X_3$$

ได้ผลลัพธ์เป็นตาราง ANOVA และทดสอบค่า

สัมประสิทธิ์ β 's ดังรูปที่ 7

Regression Analysis: Y versus X1, X2, X3

The regression equation is
Time = 6.47 - 1.21 X₁ - 4.29 X₂ - 0.596 X₃

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6.4725	0.2322	27.88	0.000
Cut Direction	-1.2092	0.2322	-5.21	0.000
Coolant	-4.2908	0.2322	-18.48	0.000
Overlab	-0.5958	0.2322	-2.57	0.018

S = 0.568730 R-Sq = 94.9% R-Sq(adj) = 94.2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	121.370	40.457	125.08	0.000
Residual Error	20	6.469	0.323		
Total	23	127.839			

Source DF Seq SS

X ₁	1	8.773
X ₂	1	110.468
X ₃	1	2.130

รูปที่ 7 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยสมการกรณีไม่มีผลกระทบร่วม

จากรูปที่ 7 การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 14 พบว่าได้ค่า $R^2=94.9\%$ และค่า $R^2_{adj}=94.2\%$ จึงเป็นค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ดีจากค่า P-Value

ของ Regression มีค่าเท่ากับ $0.000 < \alpha$ (กำหนด $\alpha = 0.05$) เราจึงสามารถสร้างสมการถดถอยได้ อย่างมีนัยสำคัญ



3.2 สมการถดถอยกรณีที่มีผลกระทบร่วม

$$\text{ดังนั้น ตัวแบบ } E(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3 + \beta_6 X_2 X_3$$

$$Y = 7.02 - 2.21 X_1 - 5.10 X_2 - 0.986 X_3 + 1.41 X_1 X_2 + 0.585 X_1 X_3 + 0.195 X_2 X_3$$

Regression Analysis: Time versus X1, X2, X3, X1*X2, X1*X3, X2*X3					
The regression equation is					
Time = 7.02 - 2.21 X1 - 5.10 X2 - 0.986 X3 + 1.41 X1*X2 + 0.585 X1*X3 + 0.195 X2*X3					
Predictor	Coef	SECoef	T	P	
Constant	7.0213	0.2229	31.50	0.000	
X1	-2.2092	0.2918	-7.57	0.000	
X2	-5.0958	0.2918	-17.46	0.000	
X3	-0.9858	0.2918	-3.38	0.004	
X1*X2	1.4150	0.3370	4.20	0.001	
X1*X3	0.5850	0.3370	1.74	0.101	
X2*X3	0.1950	0.3370	0.58	0.570	
S = 0.412694 R-Sq = 97.7% R-Sq(adj) = 96.9%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	124.944	20.824	122.27	0.000
Residual Error	17	2.895	0.170		
Total	23	127.839			
Source	DFSeq	SS			
X1	1	8.773			
X2	1	110.468			
X3	1	2.130			
X1*X2	1	3.003			
X1*X3	1	0.513			
X2*X3	1	0.057			

รูปที่ 8 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยสมการกรณีที่มีผลกระทบร่วม

ได้ผลลัพธ์เป็นตาราง ANOVA และทดสอบค่า t ที่ได้จากค่า P-Value ของ Regression มีค่าเท่ากับ สัมประสิทธิ์ β 's จากรูปที่ 8 พบว่าได้ค่า $R^2=97.7\%$ และค่า $R^2_{adj}=96.9\%$ จึงเป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยได้อย่างมีนัยสำคัญ

4. การยืนยันผลการทดลอง
จากรูปที่ 7 จะได้ระดับของพารามิเตอร์ที่ทำให้
อายุของมีดกัดมากที่สุดคือเลือกใช้ทิศทางควบคุมการกัด
แบบงานกัดตาม (climb) ปิดน้ำหล่อเย็นและระยะการ
ป้อนที่ 2 มิลลิเมตร ดังนั้นจะได้

$$X_1 = 0$$

$$X_2 = 0$$

$$X_3 = 0$$

แทนค่า $X_1 = 0, X_2 = 0, X_3 = 0$ ในสมการถดถอยกรณีที่มีผลกระทบร่วม

$$Y = 7.02 - 2.21 X_1 - 5.10 X_2 - 0.986 X_3 + 1.41 X_1 X_2 + 0.585 X_1 X_3 + 0.195 X_2 X_3$$

$$Y = 7.02 - 2.21 (0) - 5.10 (0) - 0.986 (0) + 1.41 (0*0) + 0.585 (0*0) + 0.195 (0*0)$$

$$Y = 7.02 \text{ ชั่วโมง}$$

ตารางที่ 5 ตารางแสดงอายุการใช้งานของมิดกัตและพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ทิศทางควบคุมการกัด	น้ำหล่อเย็น	เวลาครั้งที่ 1	ความเรียบผิว	เวลาครั้งที่ 2	ความเรียบผิว	เวลาครั้งที่ 3	ความเรียบผิว
		ชม.	Ra	ชม.	Ra	ชม.	Ra
งานกัดตาม Climb	ปิด	7.50	1.601	7.40	1.599	7.40	1.597

จากตารางที่ 5 อายุของมิดกัตที่ระดับของพารามิเตอร์ที่ทิศทางควบคุมการกัดแบบงานกัดทวนปิดน้ำหล่อเย็นและระยะการป้อนที่ 2 มิลลิเมตรมีค่าเท่ากับ

จะเห็นได้ว่า อายุของมิดกัตที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับอายุของมิดกัตที่ได้จากสมการถดถอยกรณีที่มีผลกระทบร่วม

สรุปผลและอภิปรายผลการศึกษา

การศึกษาปัจจัยในการกัดชิ้นงานด้วยเม็ดมิด APMT1604 PDER-2M ที่มีผลต่ออายุการใช้งานของคมตัด โดยทำการทดสอบการตัดเนื้อวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน (S45C) โดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) ได้ผลวิเคราะห์ค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีการแจกแจงแบบปกติ สัดส่วนตกค้าง (Residuals) มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent) ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน (Variance stability)

ผลการศึกษาวิจัยสถานะที่เหมาะสมของผลการทดลอง ทิศทางควบคุมการกัด, น้ำหล่อเย็นและระยะการป้อนมีผลต่ออายุการใช้งานของมิดกัตอย่างมีนัยสำคัญ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทิศทางควบคุมการกัดกับน้ำหล่อเย็นมีผลต่ออายุต่อการใช้งานของมิดกัต ซึ่งทิศทางควบคุมการกัดแบบงานกัดตามและปิดน้ำหล่อเย็น จะทำให้อายุการใช้งานของมิดกัตมากกว่า ทิศทางควบคุมการ

กัดแบบงานกัดทวนและเปิดน้ำหล่อเย็น อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทิศทางควบคุมการกัดกับระยะการป้อนมีผลต่ออายุต่อการใช้งานของมิดกัต ซึ่งทิศทางควบคุมการกัดแบบงานกัดตามและระยะการป้อน 2 มิลลิเมตร จะทำให้อายุการใช้งานของมิดกัตมากกว่าทิศทางควบคุมการกัดแบบงานกัดทวนและระยะการป้อน 4 มิลลิเมตร อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยระยะการป้อนกับน้ำหล่อเย็นมี

ผลต่ออายุต่อการใช้งานของมิดกัต ซึ่งระยะการป้อน 2 มิลลิเมตรและปิดน้ำหล่อเย็นจะทำให้อายุการใช้งานของมิดกัตมากกว่าระยะการป้อน 4 มิลลิเมตรและเปิดน้ำหล่อเย็น

จากผลการทดลองพบว่าสถานะที่เหมาะสมของอายุการใช้งานและความเรียบผิวงาน การทดลองเม็ดมิด APMT1604 PDER-2M ที่ดีที่สุด ควรเลือกใช้ทิศทางควบคุม การกัดแบบกัดตาม (climb) ปิดน้ำหล่อเย็นและระยะการป้อนที่ 2 มิลลิเมตร จึงจะทำให้อายุการใช้งานของเม็ดมิดกัตมากที่สุดและจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุสมการถดถอยกรณีไม่มีผลกระทบร่วมอย่างมีนัยสำคัญ

$$Y = 6.47 - 1.21 X_1 - 4.29 X_2 - 0.596 X_3$$

สมการถดถอยกรณีที่มีผลกระทบร่วมอย่างมีนัยสำคัญ

$$Y = 7.02 - 2.21 X_1 - 5.10 X_2 - 0.986 X_3 + 1.41 X_1 * X_2 + 0.585 X_1 * X_3 + 0.195 X_2 * X_3$$

การทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้น้ำหล่อเย็นมีผลต่อการตัดเนื้อชิ้นงาน เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นในการตัดเนื้อและความเย็นของน้ำหล่อเย็น ทำให้สารเคลือบผิวเม็ดมิดเกิดการแตกร้าวและหลุดเร็วขึ้น เนื่องจากวิธีการตัดเนื้อที่ไม่ต่อเนื่อง สังเกตได้จากคมตัดปลายเม็ดมิดเกิดการสึกหรอและการแตกร้าวของปลายเม็ดมิดที่เกิดจากการตัดเนื้อที่ไม่ต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับงานตัดเนื้อเหล็กหล่อ FCD400 โดยใช้น้ำมันหล่อเย็น (ศิริชัย ต่อสกุล, 2552, น. 56-57) จะพบความแตกต่างของผลการทดลอง คือผลของค่าความเรียบผิวงานดีและอายุการใช้งานของเม็ดมิดดีขึ้น จากจากการใช้น้ำมันหล่อเย็น โดยการใช้กระบวนการตัดเนื้อที่ต่อเนื่อง

ระยะการป้อน มีผลต่ออายุการใช้งานของมิดกัตและความเรียบของผิวงาน ในกระบวนการตัดเนื้อโลหะ ซึ่งจะเกิดความร้อนที่บริเวณคมตัดเนื้อ จึงทำให้เกิดการสึกหรอบริเวณคมตัดเม็ดมิดและเกิดแรงเสียดทาน



ค่อนข้างสูง ยิ่งเพิ่มปริมาณหรือระยะการป้อนให้มากขึ้นก็จะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเม็ดมีด สอดคล้องงานวิจัย(ปวุฒิ เพชรไพรินทร์ม, 2549, น. 65) ความเร็วรอบ ระยะการป้อน สารหล่อเย็นมีผลต่อความเรียบผิวและอายุการใช้งานอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ทิศทางการกัด มีผลต่อความเรียบผิวงานและอายุการใช้งานของเม็ดมีดกัด (สมรรถ ธานี, 2528, น. 59) ทิศทางการกัดแบบเม็ดมีดกัดหมุนทิศทางการตรงข้ามกับทิศทางการป้อนชิ้นงาน (Conventional) Up milling ความเรียบผิวที่ได้นั้นไม่ดีเท่ากรณีทิศทางการตัดเฉือนแบบ(climb) Down milling

กิตติกรรมประกาศ

การทำงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาที่ดี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ที่กรุณาให้แนวคิดคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกตลอดจนแก้ปัญหาต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ทงศักดิ์ ลือจันดา. (2555). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานของเม็ดมีดกัดและความเรียบผิวในงานกัดเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 1304. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

บรรเลง ตรีนิล และประเสริฐ กวีสมนบุญ. (2527). ตารางโลหะ. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตพระนครเหนือ.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพฑูรย์. (2551). การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปวุฒิ เพชรไพรินทร์ม. (2549). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความ เรียบผิวและความลึกหรือของคมตัดในการกัดทองเหลือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ปฏิพัทธ์ หงส์สุวรรณ. (2556). การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตชิ้นพื้นฐาน. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริชัย ต่อสกุล. (2552). การศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นที่มีผลต่ออายุการใช้งานของเม็ดมีดตัดในขบวนการกลึงเหล็กหล่อ FCD400. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

สมรรถ ธานี. (2528). งานกัด (Milling Machine Work). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์รุ่งเรืองกิจ.

สายชล สันสมบุญทอง. (2553). สถิติวิศวกรรม (Engineering Statistics). กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักท์.

Jonathan Lin, S. C. (1994). Computer Numerical Control from Programming to networking, Manufacturing Engineer, 73(3), 125-154.

Thamizhmani, S., & Hasan, S. (2003). Analyses of Roughness Forces and wear in Turning Gray Cast Iron. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 17(1-2), 401-405.

Wan, Y., Liu, Z. Q., & Ai, X. (2006). Experiment, Research on High-Speed Machining Pearlite Gray Cast iron. Key Engineering Materials, 2006(315-316), 459-463.

Water, F. (1996). Fundamentals of Manufacturing for Engineers, London: UCL Press Limited.