



การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดเฉือนในงานกัดอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 สมเสียง จันทาสี

The Effects of Machining Parameters on Milling of 6061-T6 Aluminum Alloy

Somsiang Chantasee

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Chonburi 20131 Thailand

Corresponding author. E-mail address: somsiang@eng.buu.ac.th

Received: 2 February 2016; Accepted: 27 April 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดเฉือนและสร้างสมการถดถอยทำนายค่าความหยาบผิวในงานกัดอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 โดยนำเทคนิคการออกแบบเซ็นทรัลคอมโพสิตแบบเฟสเซ็นเตอร์ และกำหนดระดับปัจจัยใช้วิธีการป็นขั้นด้วยเส้นทางที่ชันที่สุด ผลการศึกษาพบว่า ระยะป้อนลึกและอัตราป้อนมีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ และปัจจัยที่เหมาะสมให้ค่าความหยาบผิวต่ำสุด คือ อัตราป้อน 35.60 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะป้อนลึก 1.875 มิลลิเมตร ได้สมการถดถอยใช้ทำนายค่าความหยาบผิว ค่าความหยาบผิว = $0.0279616 + 0.0244447(\text{ระยะป้อนลึก}) - 4.76401 \times 10^{-4}(\text{อัตราป้อน}) + 8.22542 \times 10^{-6}(\text{อัตราป้อน}^2)$ เมื่อทดสอบสมมติฐานเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันสมการกับค่าที่ได้จากการแทนค่าสมการถดถอย พบว่าค่าทั้งสองไม่แตกต่างกัน ดังนั้นสมการถดถอยใช้ทำนายค่าความหยาบผิวของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 ได้

คำสำคัญ: ระยะป้อนลึก อัตราป้อน ความหยาบผิว อะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 การทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต

Abstract

This research aims to study factors affecting surface roughness and determine the regression model to predict surface roughness in CNC precision milling process of 6061-T6 aluminum alloy using a technique of central composite design face-centered. The study employed steepest ascent technique to identify levels of factors. The experimental results indicated that the significant factors were main effect of depth of cut and feed rate. The regression model was established and used to determine the minimum surface roughness with feed rate of 35.60 millimeter per minute and depth of cut of 1.875 millimeter. The regression model used to predict the surface roughness is expressed as $R_a = 0.0279616 + 0.0244447(\text{Depth of cut}) - 4.76401 \times 10^{-4}(\text{Feed rate}) + 8.22542 \times 10^{-6}(\text{Feed rate}^2)$. After experiment verification, the significance and validity of the models were confirmed. Therefore, it could be concluded that established regression model was the reliable tool to predict the surface roughness of 6061-T6 aluminum alloy.

Keywords: Depth of cut, Feed rate, Surface roughness, 6061-T6 Aluminum alloy, Central composite design

บทนำ

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยเครื่องจักรสมัยใหม่ต้องมีความถูกต้องและความเที่ยงตรงสูงเป็นองค์ประกอบสำคัญ ความเที่ยงตรงวัดที่ความสำเร็จของชิ้นงานว่าอยู่ในช่วงพิสัยความเผื่อ (Tolerance) และความหยาบผิว (Surface roughness) ตามกำหนด ความหยาบผิวให้ค่า

จำกัดความว่าเป็นความไม่เรียบที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ความหยาบผิวถูกกำหนด R_a หรือ R_z ในแบบงาน (Mold and Die Industry Development. Mold operational manual, repair and maintenance dies of Techniques) วัสดุทำแม่พิมพ์ที่นิยมคือ อะลูมิเนียม เพราะอะลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา แข็งแรงและขึ้นรูปง่าย ฉะนั้นค่าความหยาบผิวในงานกัดแม่พิมพ์มีความสำคัญต่อความมั่นใจในการ

ชั้นรูปของแม่พิมพ์ ซึ่งต้องทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวก่อน จะได้ทำนายค่าความหยาบผิวของแม่พิมพ์ ทำให้การปฏิบัติงานได้สะดวกและง่ายขึ้น เครื่องจักรซีเอ็นซีต้องพิจารณาปัจจัย เช่น ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ให้สัมพันธ์กับเครื่องจักร จึงควบคุมคุณภาพผิวชิ้นงานสำเร็จได้ (Tragangoon, 2005) การตัดเฉือนอะลูมิเนียม พบว่าการปาดผิวอะลูมิเนียม ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวคือ อัตราป้อน (Kadirgama et al., 2009) และยังพบว่าอัตราป้อนมีอิทธิพลต่อความหยาบผิว ด้วยการวิเคราะห์ Response surface method และ Radian basis function network (Kadirgama et al., 2008) และความเร็วตัดมีอิทธิพลต่อความหยาบผิวเช่นกัน (Demir, 2009) และที่ความเร็วรอบต่ำ อัตราป้อนต่ำ มีแนวโน้มทำให้ผิวหยาบมากขึ้น แต่ถ้าเพิ่มความเร็วรอบสูง แนวโน้มความหยาบผิวคงที่ (Kuttolamadom, 2010) และการปาดผิวอะลูมิเนียมต้องใช้แรงตัดเพิ่มขึ้น (Liew, 2004) และอัตราป้อนและระยะป้อนลึกมีอิทธิพลต่อความหยาบผิว (Chantasee & Punsomsakul, 2014) จากงานวิจัยที่ศึกษาจะเห็นว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพความหยาบผิวที่ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน

ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดเฉือนและสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทำนายค่าความหยาบผิวของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6

วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัย มีขั้นตอนดังนี้

1. การทำวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของอะลูมิเนียมเกรด 6061-T6 ในการกัดด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี แล้วนำผลที่ได้จากการทดลองมาสร้างสมการถดถอย เพื่อทำนายความหยาบผิวของอะลูมิเนียมเกรด 6061-T6

2. เลือกผลตอบสนองสำหรับการใช้ในการออกแบบการทดลองของงานวิจัย โดยผลตอบสนองที่ทำการศึกษาคือ ความหยาบผิวของอะลูมิเนียม เกรด 6061-T6

3. กำหนดค่าปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อความหยาบผิวของอะลูมิเนียม เกรด 6061-T6 ในการกัดด้วยเครื่องซีเอ็นซี ซึ่งมีด้วยกัน 2 ปัจจัยคือ ระยะป้อนลึก (Depth of cut) และอัตราป้อน (Feed rate)

4. เลือกออกแบบการทดลองแบบแบบเซ็นทรัลคอมโพสิตแบบเฟสเซ็นเตอร์

5. กำหนดลำดับการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab version 16 เป็นแบบสุ่ม เพื่อเฉลี่ยผลของตัวแปรบกพร่องที่ควบคุมไม่ได้และทำการทดลองตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้

6. วิเคราะห์ผลจากการออกแบบการทดลองด้วยการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของการทดลองตามหลักการ $E_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ของผลการทดลอง และนำผลมาวิเคราะห์สมการถดถอย

7. อภิปรายและสรุปผล

สำหรับการออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิตแบบเฟสเซ็นเตอร์ กำหนด 2 ปัจจัย (Chantasee & Punsomsakul, 2014) คือ ระยะป้อนลึกและอัตราป้อน มีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง แต่แต่ละการทดลองมีการเพิ่มจุดกลางทำซ้ำ 4 ครั้ง ได้ทั้งหมด 20 การทดลอง

กำหนดระดับปัจจัยใช้วิธีการป็นขั้นด้วยเส้นทางที่ชันที่สุด (Steepest ascent) โดยคำนวณจุดต่างๆ ตามวิธีการป็นขั้นด้วยเส้นทางที่ชันที่สุด แล้วแปลงค่า A และ B ให้เป็นระยะป้อนลึกและอัตราป้อนตามลำดับ โดยเพิ่มระยะป้อนลึกครั้งละ 0.2 หน่วย และลดอัตราป้อนครั้งละ 0.2 หน่วย โดยความเร็วรอบคงที่ 1,250 รอบต่อนาที (Chantasee & Punsomsakul, 2014) เพื่อทำการทดลองอย่างต่อเนื่องครั้งละจุดในการหาค่าความหยาบผิว ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1



ตารางที่ 1 การทดลองวิธีปั่นขึ้นด้วยเส้นทางที่ชันที่สุด

ลำดับที่	Coded Variable		Variable		เวลา	Response
	A	C	ระยะป้อนลึก (mm.)	อัตราป้อน mm/min (mm/tooth)	(วินาที)	(y)
จุดเริ่มต้น	0	0	1.250	150		
1	0.2	-0.2	1.375	135 (0.036)	50	0.096
2	0.4	-0.4	1.500	120 (0.032)	55	0.095
3	0.6	-0.6	1.625	105 (0.028)	63	0.098
4	0.8	-0.8	1.750	90 (0.024)	73	0.085
5	1.0	-1.0	1.875	75 (0.020)	88	0.092
6	1.2	-1.2	2.000	60 (0.016)	110	0.072
7	1.4	-1.4	2.125	45 (0.012)	147	0.064
8	1.6	-1.6	2.250	30 (0.08)	220	0.069
9	1.8	-1.8	2.375	15 (0.04)	440	0.078

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าความหยาบผิวของการทดลองมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มระยะป้อนลึกและลดอัตราป้อน จนถึงระยะป้อนลึกเท่ากับ 2.125 มิลลิเมตร และอัตราป้อนเท่ากับ 45 มิลลิเมตรต่อนาที หลังจากนั้นค่าความหยาบผิวเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นค่าความหยาบผิวน้อย

สุดเกิดที่ระยะป้อนลึก 2.125 มิลลิเมตร และอัตราป้อน 45 มิลลิเมตรต่อนาที เลือกใช้ค่าระยะป้อนลึกและอัตราป้อนนี้เป็นจุดกึ่งกลาง โดยเลือกช่วงของการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การกำหนดระดับปัจจัยในการทดลอง

ตัวแปร	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย	
		ต่ำ	สูง
A	ระยะป้อนลึก (มิลลิเมตร)	1.875	2.375
B	อัตราป้อน (มิลลิเมตรต่อนาที)	15	75

การออกแบบเซ็นทรัลคอมโพสิตแบบเฟสเซ็นเตอร์ ใช้วิเคราะห์ผลการทดลองโดยแผนการทดลอง มีการ

กำหนดระดับของปัจจัยได้ดังตารางที่ 3 และการหาขนาดตัวอย่างในการทดลองแสดงดังรูปที่ 1

ตารางที่ 3 แผนการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต

ตัวแปร	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
		-1	0	+1
A	ระยะป้อนลึก	1.875	2.125	2.375
B	อัตราป้อน	15	45	75

Power and Sample Size					
2-Level Factorial Design					
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.00895					
Factors: 2 Base Design: 2, 4					
Blocks: none					
Including a term for center points in model.					
Center Points	Reps	Total Runs	Power	Effect	
4	2	20	0.95	0.0172823	

รูปที่ 1 ผลการคำนวณหาขนาดตัวอย่าง

จากรูปที่ 1 ได้การทดลองซ้ำ 2 ครั้งต่อการทดลอง และมีค่า Effect อยู่ที่ 0.0172823 ถือว่ามีค่าน้อย ดังนั้นการทดลองมีประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อมูล

สำหรับการออกแบบการทดลองกำหนดให้มีลำดับชั้น การทดลองแบบสุ่ม ได้การทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง ดังตารางที่ 4

ผลการวิจัย

เมื่อดำเนินการทดลองแล้ว ผลการทดลองแสดงดัง ตารางที่ 4 จากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์มีดังนี้

ตารางที่ 4 การออกแบบการทดลองเซ็นทรัลคอมโพสิตและค่าเฉลี่ยความหยาบผิวที่วัดได้จากการทดลอง

ลำดับมาตรฐาน	ลำดับการทดลอง	ประเภทจุด	ระยะป้อนลึก (A) (มิลลิเมตร)	อัตราป้อน (B) (มิลลิเมตรต่อนาที)	ค่าความหยาบผิว (ไมโครเมตร)
20	1	0	2.125	45	0.069
14	2	1	2.375	75	0.101
18	3	-1	2.125	75	0.087
13	4	1	1.875	75	0.083
15	5	-1	1.875	45	0.069
4	6	1	2.375	75	0.099
12	7	1	2.375	15	0.071
6	8	-1	2.375	45	0.087
9	9	0	2.125	45	0.086
16	10	-1	2.375	45	0.086
7	11	-1	2.125	15	0.081
8	12	-1	2.125	75	0.088
10	13	0	2.125	45	0.064
11	14	1	1.875	15	0.068
5	15	-1	1.875	45	0.070
17	16	-1	2.125	15	0.082
2	17	1	2.375	15	0.073
1	18	1	1.875	15	0.071
19	19	0	2.125	45	0.069
3	20	1	1.875	75	0.084

การตรวจสอบ ε_{ij} ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

- 1) ตรวจสอบกระจายตัวแบบปกติของค่าเศษเหลือ
 - 2) ตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าเศษเหลือ
 - 3) ตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน
- รายละเอียดการตรวจสอบ 3 ขั้นตอน มีดังนี้

1. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

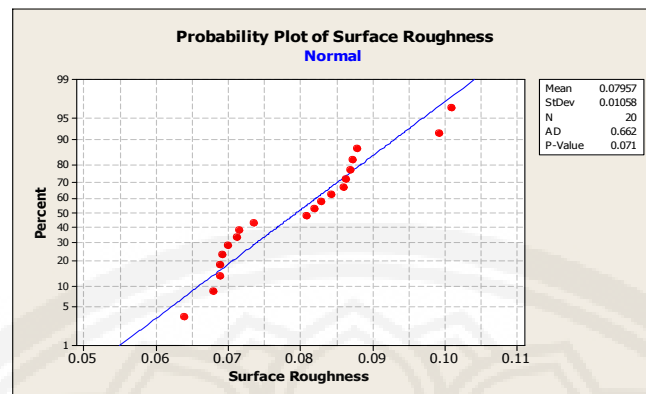
การวิเคราะห์โดยสมมติฐานรูปแบบของค่าเศษเหลือเป็นตามหลัก $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ คือ ค่าเศษเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และความแปรปรวนมีค่าคงที่ จึงทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้

1. ตรวจสอบกระจายตัวแบบปกติของค่าเศษเหลือ โดยแผนภาพความน่าจะเป็นได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง จึงทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยัน โดยตั้งสมมติฐานว่า

H_0 : ค่าเศษเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ค่าเศษเหลือไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

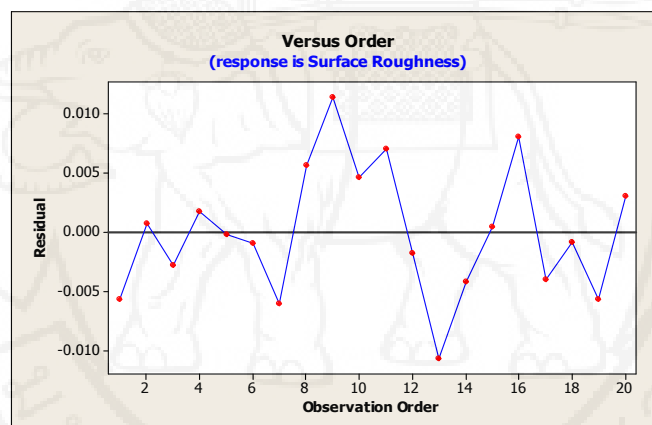
ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05



รูปที่ 2 การแจกแจงแบบปกติของค่าเศษเหลือ

จากรูปที่ 2 พบว่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับ
นัยสำคัญ ดังนั้นค่าเศษเหลือมีการกระจายตัวแบบปกติ

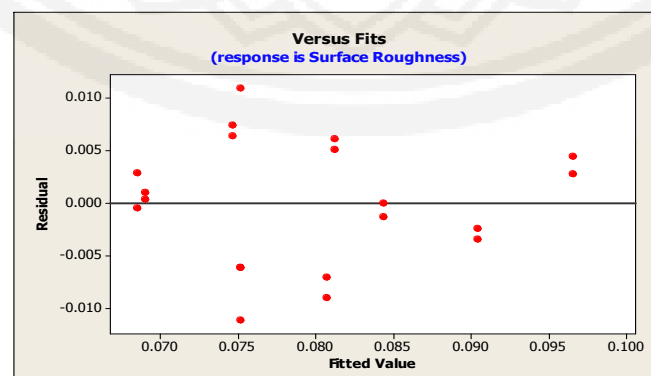
2. ตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าเศษเหลือ โดย
จากรูปที่ 3 พบว่าการกระจายตัวของค่าเศษเหลือไม่มี
ลักษณะเป็นแนวโน้ม แสดงว่ามีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 3 การกระจายตัวของค่าเศษเหลือเทียบกับ Observation order

3. ตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน โดย
จากรูปที่ 4 พบว่าความแปรปรวนของค่าเศษเหลือมี
ความเสถียร เนื่องจากรูปปร่างการกระจายของข้อมูลไม่มี

ลักษณะเป็นรูปแบบ แสดงว่าข้อมูลที่ได้มีความแปรปรวน
คงที่



รูปที่ 4 การกระจายตัวค่าเศษเหลือเทียบกับ Fitted value



ดังนั้นสามารถสรุปข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความ การวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อตรวจสอบ
ถูกต้องและเชื่อถือได้ ตามหลัก $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิว ได้ผลวิเคราะห์ดัง

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย

Response Surface Regression: Surface Roughness versus Depth of cut, Feed rate

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Surface Roughness

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.074631	0.002692	27.723	0.000
Depth of cut	0.003056	0.000919	3.323	0.005
Feed rate	0.003958	0.000919	4.305	0.001
Depth of cut*Depth of cut	0.000247	0.000737	0.335	0.743
Feed rate*Feed rate	0.001810	0.000737	2.455	0.028
Depth of cut*Feed rate	0.000844	0.000563	1.498	0.156

S = 0.00637047 PRESS = 0.00101328

R-Sq = 73.29% R-Sq(pred) = 52.36%

R-Sq(adj) = 63.75%

Analysis of Variance for Surface Roughness

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.001559	0.001559	0.000312	7.68	0.001
Linear	2	0.001200	0.001200	0.000600	14.79	0.000
Depth of cut	1	0.000448	0.000448	0.000448	11.04	0.005
Feed rate	1	0.000752	0.000752	0.000752	18.53	0.001
Square	2	0.000268	0.000268	0.000134	3.30	0.067
Depth of cut*Depth of cut	1	0.000023	0.000005	0.000005	0.11	0.743
Feed rate*Feed rate	1	0.000244	0.000244	0.000244	6.02	0.028
Interaction	1	0.000091	0.000091	0.000091	2.25	0.156
Depth of cut*Feed rate	1	0.000091	0.000091	0.000091	2.25	0.156
Residual Error	14	0.000568	0.000568	0.000041		
Lack-of-Fit	3	0.000279	0.000279	0.000093	3.53	0.052
Pure Error	11	0.000290	0.000290	0.000026		
Total	19	0.002127				

Estimated Regression Coefficients for Surface Roughness using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.141507
Depth of cut	-0.0629862
Feed rate	-0.00141615
Depth of cut*Depth of cut	0.0158074
Feed rate*Feed rate	8.04246E-06
Depth of cut*Feed rate	0.000449983

จากตารางที่ 5 พบว่าระยะป้อนลึกและอัตราป้อนเป็น อิทธิพลต่อความหยาบผิว และเมื่อวิเคราะห์ความ
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิว เนื่องจากมีค่า P-
Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ปัจจัยร่วมอื่น ๆ ไม่มี
แปรปรวนอีกครั้ง โดยตัดปัจจัยร่วมที่ไม่มีผลต่อความ
หยาบผิวออก ได้ดังตารางที่ 6



ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยโดยตัดปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิว

Response Surface Regression: Surface Roughness versus Depth of cut, Feed rate

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Surface Roughness

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.075125	0.002277	32.988	0.000
Depth of cut	0.003056	0.000930	3.287	0.005
Feed rate	0.003958	0.000930	4.258	0.001
Feed rate*Feed rate	0.001851	0.000735	2.518	0.023

S = 0.00644125 PRESS = 0.000980651

R-Sq = 68.79% R-Sq(pred) = 53.90% R-Sq(adj) = 62.94%

Analysis of Variance for Surface Roughness

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	0.001463	0.001463	0.000488	11.76	0.000
Linear	2	0.001200	0.001200	0.000600	14.46	0.000
Depth of cut	1	0.000448	0.000448	0.000448	10.80	0.005
Feed rate	1	0.000752	0.000752	0.000752	18.13	0.001
Square	1	0.000263	0.000263	0.000263	6.34	0.023
Feed rate*Feed rate	1	0.000263	0.000263	0.000263	6.34	0.023
Residual Error	16	0.000664	0.000664	0.000041		
Lack-of-Fit	5	0.000374	0.000374	0.000075	2.84	0.069
Pure Error	11	0.000290	0.000290	0.000026		
Total	19	0.002127				

Estimated Regression Coefficients for Surface Roughness using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.0279616
Depth of cut	0.0244447
Feed rate	-4.76401E-04
Feed rate*Feed rate	8.22542E-06

สำหรับรูปแบบสมการเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ของผลตอบสนองกับตัวแปรอิสระ (Draper, N.R. 1981) ดังสมการ (1)

$$y = m \times \text{ระยะป้อนลึก} + n \times \text{อัตราป้อน} + C \quad (1)$$

เมื่อ y คือ ผลตอบสนอง, C, m และ n คือ ค่าคงที่

จากสมการ (1) สามารถเขียนได้สมการ (2)

$$y = \beta_0 x_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (2)$$

เมื่อ y คือ ผลตอบสนอง, $x_0 = 1$, $x_1 = \text{ระยะป้อนลึก}$, $x_2 = \text{อัตราป้อน}$, $\beta_0 = C$ และ β_1 และ β_2 คือ พารามิเตอร์ของตัวแบบ

รูปแบบสมการกำลังสอง สามารถเขียนได้ดังสมการ (3)

$$y'' = \beta_0 x_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{22} x_2^2 \quad (3)$$

ได้ความสัมพันธ์ในรูปแบบการของค่าความหยาบผิว (R_a) กับระยะป้อนลึกและอัตราป้อน โดยสมการถดถอยได้ดังสมการ (4)

$$R_a = 0.0279616 + 0.0244447(\text{ระยะป้อนลึก}) - 4.76401 \times 10^{-4}(\text{อัตราป้อน}) + 8.22542 \times 10^{-6}(\text{อัตราป้อน}^2) \quad (4)$$

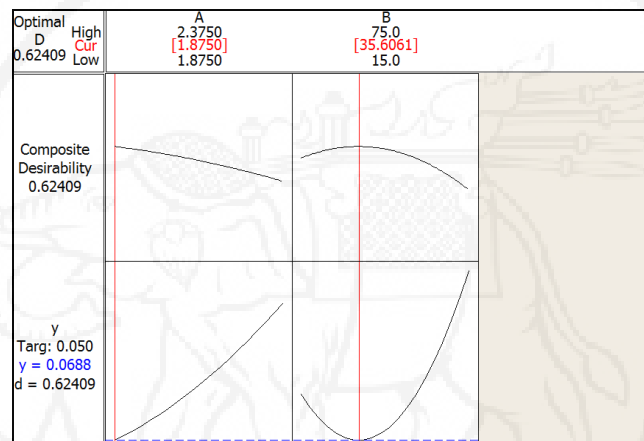
Lack of fit มีค่า P-Value เท่ากับ 0.069 มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ดังนั้นสมการถดถอยที่ได้มีความเหมาะสม

โดยทั่วไปเมื่อลดความเร็วตัดและระยะป้อนลึกในแนวแกนจะทำให้ค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น ส่วนถ้าเพิ่มอัตราป้อนและระยะป้อนลึกในแนวรัศมีจะช่วยให้ลดค่าความหยาบผิวให้ลดลง อัตราป้อนตัดจะเป็นปัจจัยที่มีสำคัญต่อค่าความหยาบผิว ด้วยเหตุนี้ถ้าจะให้ค่าความหยาบผิวที่ดี ควรลดความเร็วตัดและระยะป้อนลึกในแนวแกนอย่างช้าๆ, อัตราป้อนและระยะป้อนลึกในแนวรัศมีสูง (Kadirgama et al., 2008) เมื่อพิจารณาสมการถดถอยดังสมการที่ (4) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะป้อนลึกมีผลทำให้ค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเพิ่ม

อัตราป้อนตัดให้สูงขึ้นจะช่วยให้ลดค่าความหยาบผิวให้ลดลง บางส่วนสอดคล้องกันและบางส่วนไม่สอดคล้องกัน และเมื่อพิจารณาในส่วนของอัตราป้อนในการตัดเฉือนงานแล้ว จะเห็นอัตราป้อนมีส่วนสำคัญต่อค่าความหยาบผิวมาก เพราะงานวิจัยสอดคล้องกับผลงานของ Kadirgama ในปี 2008 และปี 2009 คือพบว่าอัตราป้อนมีอิทธิพลต่อความหยาบผิวเช่นเดียวกัน

3. การหาค่าสภาวะที่เหมาะสม

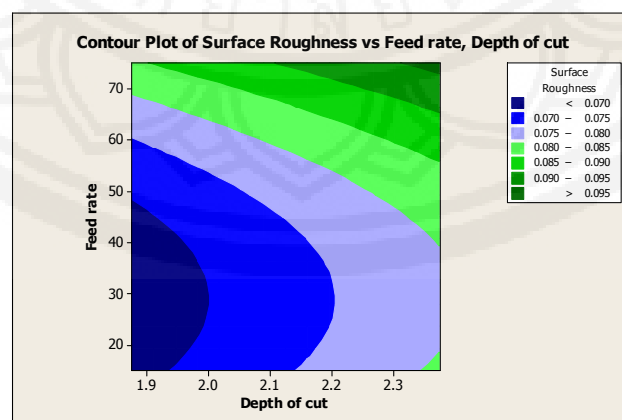
การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ Response optimizer คำนวณ ได้ผลแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อความหยาบผิวชิ้นงาน

เมื่อพิจารณารูปที่ 5 พบว่าระดับปัจจัยที่ให้ค่าความหยาบผิวต่ำสุดคือ ระยะป้อนลึก 1.875 มิลลิเมตร และอัตราป้อน 35.60 มิลลิเมตรต่อนาที

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะป้อนลึกและอัตราป้อนที่มีผลต่อความหยาบผิว แสดงดังในรูปที่ 6 และรูปที่ 7

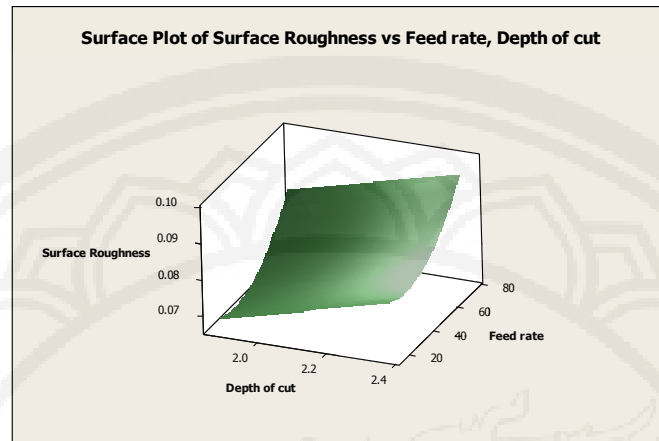


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะป้อนลึกและอัตราป้อนในรูปแบบ 2 มิติ



จากรูปที่ 6 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะป้อนลึก และอัตราป้อน จุดที่ทำให้ความหยาบผิวน้อยที่สุดคือ

บริเวณที่มีสีเข้มมากที่สุด ซึ่งจะหาค่าความหยาบผิวที่น้อยกว่า 0.07 ไมโครเมตร



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะป้อนลึกและอัตราป้อนในรูปแบบ 3 มิติ

จากรูปที่ 7 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะป้อนลึก และอัตราป้อน จุดที่ทำให้ความหยาบผิวน้อยที่สุดและเหมาะสมที่สุด คือ จุดที่ต่ำที่สุด

4. การยืนยันผลการทดลอง

การทดสอบยืนยันโดยแทนค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในสมการ (4) ได้ค่าเท่ากับ 0.0672

ไมโครเมตร ส่วนผลทดลองมีค่า 0.064 ไมโครเมตร พบว่าค่าทั้งสองมีค่าต่างกัน

ดังนั้นต้องยืนยันว่าค่าที่ได้จากสมการและค่าที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่างกันหรือไม่

4.1 การทดสอบยืนยันผลการทดลอง

การทดสอบยืนยันโดยทดลองกักงานชิ้นงานใหม่ โดยใช้สูตร (Taro Yamane, 1973) ดังนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (5)$$

$$n = \frac{20}{1 + 20(0.05)^2}$$

$$n = 19.0476 \approx 19 \text{ ชิ้นงาน}$$

ดังนั้นกักชิ้นงานทั้งหมด 19 ชิ้นงาน และได้ผลการทดลองดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผล

ลำดับ	ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผล (ไมโครเมตร)			
	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra _{avg}
1	0.0687	0.0698	0.0688	0.0691
2	0.0694	0.0698	0.06216	0.0671
3	0.0921	0.0645	0.0678	0.0748
4	0.0784	0.0668	0.0645	0.0699
5	0.0625	0.0697	0.0654	0.0659
6	0.0863	0.0865	0.0815	0.0848
7	0.0666	0.0691	0.0681	0.0679
8	0.0647	0.0621	0.059	0.0619
9	0.0621	0.0765	0.0726	0.0704
10	0.0548	0.0619	0.0698	0.0622
11	0.0656	0.0619	0.0691	0.0655
12	0.0759	0.0765	0.0765	0.0763
13	0.0624	0.0711	0.0745	0.0693
14	0.0731	0.0759	0.0789	0.0760
15	0.0658	0.0676	0.1000	0.0778
16	0.0709	0.0702	0.0791	0.0734
17	0.0602	0.0621	0.0681	0.0635
18	0.0681	0.0645	0.0687	0.0671
19	0.0632	0.0649	0.0652	0.0644
ความหยาบผิวเฉลี่ย				0.0698

4.2 ผลการตรวจสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

จากข้อมูลในตารางที่ 7 นำมาวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 8 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.383 มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ และมีค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวเท่ากับ 0.0698 ไมโครเมตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ด้วย Response optimizer แต่ยังสรุปไม่ได้ว่าสมการถดถอยที่สร้างขึ้นใช้งานได้จริง ดังนั้นต้องทำการทดสอบสมมติฐาน

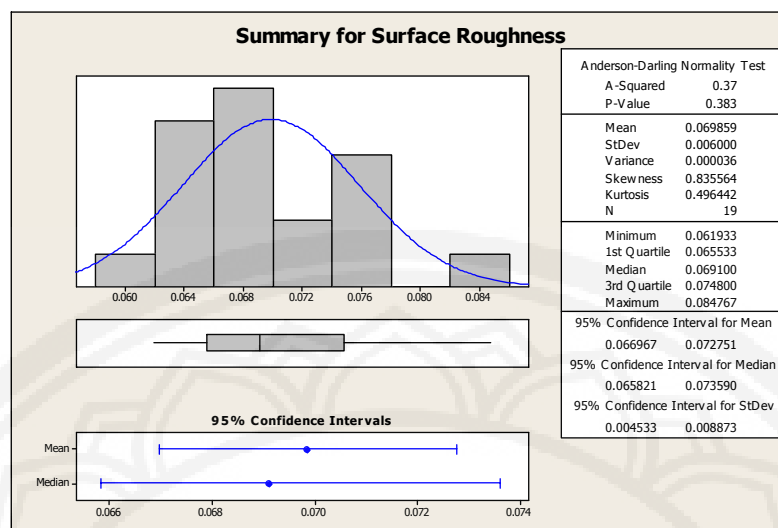
4.3 การทดสอบสมมติฐานการยืนยันสมการถดถอย

การตั้งสมมติฐานเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ดังนั้น
H₀: ค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผล ไม่มีความแตกต่างกันกับค่าความหยาบผิวที่ได้จากการแทนค่าระดับปัจจัยในสมการถดถอย

H₁: ค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผล มีความแตกต่างกันกับค่าความหยาบผิวที่ได้จากการแทนค่าระดับปัจจัยในสมการถดถอย

โดยนำผลในตารางที่ 7 มาทดสอบ One-Sample T-test ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8



รูปที่ 8 ผลจากการทดลองยืนยันผลการทดลอง

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ด้วย One-Sample T-test

One-Sample T-test : Surface Roughness

Test of $\mu = 0.0672$ vs not = 0.0672

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
19	0.06986	0.00600	0.00138	(0.06697, 0.07275)	1.93	0.069

จากตารางที่ 8 ค่า P-Value เท่ากับ 0.069 มากกว่าระดับนัยสำคัญ จึงยอมรับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผลไม่มีความแตกต่างกันกับค่าความหยาบผิวที่ได้จากการแทนค่าของระดับปัจจัย แสดงว่าสมการถดถอยใช้ทำนายค่าความหยาบผิวได้

สรุปผลการวิจัย

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดเฉือนและค่าความหยาบผิว คือ อัตราป้อนและระยะป้อนลึก ส่วนปัจจัยอื่นไม่มีอิทธิพล สำหรับระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ อัตราป้อน 45.60 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะป้อนลึก 1.875 มิลลิเมตร ซึ่งจะให้ค่าความหยาบผิวต่ำสุด และสมการถดถอยที่ใช้ทำนายค่าความหยาบผิวในการกัดอะลูมิเนียมผสมเกรด 6061-T6 ได้ดังสมการ (4)

เอกสารอ้างอิง

Chantasee, S., & Punsomsakul, S. (2014). Surface roughness prediction of 6061-T6 aluminum alloy in

milling using regression model. *KKU Res. J.*, 19(2), 293-304.

Demir, H., & Gündüz, S. (2009). The effects of aging on machinability of 6061 aluminum alloy. *Materials & Design*, 30, 1480-1483.

Draper, N. R., & Smith, H. (1981). *Applied Regression Analysis*. New York: Wiley.

Kadrigama, K., Noor, M. M., Rahman, M. M., Rejab, M. R. M., Haron, C. H. C., & Abou-El-Hossein, K. A. (2009). Surface roughness prediction model of 6061-T6 aluminium alloy machining using statistical method. *European Journal of Scientific Research*, 25(2), 250-256.

Kadrigama, K., Noor, M. M., Zuki, N. M. N.M., Rahman M. M., Rejab, M. R. M., Daud, R., &



- Abou-El-Hossein, K. A. (2008). Optimization of surface roughness in end milling on mould aluminium alloys using response surface method and radian basis function network. *Jordan journal of mechanical and industrial engineering*, 2, 209-214.
- Liew, W. Y. H. (2004). The effect of air in the machining of aluminium alloy. *Tribology letters*, 17(1), 41-49.
- Kuttolamadam, M., Hamzehlouia, S., & Mears, L. (2010). Effect of machining feed on surface roughness in cutting 6061 aluminum. *SAE International journal of materials and manufacturing*, 3(1), 108-119.
- Mold and Die Industry Development. (2007). *Mold operational manual, repair and maintenance dies of Techniques*. Chonburi: Thai-German Institute.
- Tragangoon, C. (2005). *CNC Technology*. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan).
- Yamane, T. (1973). *Statistics: An Introductory Analysis*. New York: Harper and Row Publication.