

การทำนายความหยาบผิวในงานกัดอะลูมิเนียมเกรด 6061-T6

โดยใช้วิธีทางสถิติ

Surface Roughness Prediction of 6061-T6 Aluminum Alloy in Milling Using Statistical Method

สมเสียง จันทาสี ศิริชัย ปั่นสมสกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของอะลูมิเนียมเกรด 6061-T6 และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายค่าความหยาบผิวของงานกัดด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบแนวตั้ง โดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเป็นแบบการทดลองโดยมีปัจจัยศึกษาได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก จากการทดลองพบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความหยาบผิวคือ ความเร็วรอบและอัตราป้อน โดยมีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อความหยาบผิว ผลจากการทดลองสามารถกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 100 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะป้อนลึก 1.0 มิลลิเมตร และเมื่อทดสอบสมมติฐานเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันสมการกับค่าที่ได้จากการแทนค่าสมการถดถอยที่สร้างขึ้น พบว่าค่าทั้งสองไม่แตกต่างกัน จึงสรุปว่าสมการถดถอยสามารถนำมาใช้เพื่อทำนายค่าความหยาบผิวของอะลูมิเนียมเกรด 6061-T6 ได้

คำสำคัญ : ความเร็วรอบ, อัตราป้อน, ระยะป้อนลึก, ความหยาบผิว, อะลูมิเนียมเกรด 6061-T6

Abstract

This research aims to study the factors affecting the surface roughness of 6061-T6 aluminum alloy and determine the regression model for predicting the surface roughness in precision milling process by CNC machine. The factorial designs of experiments were conducted on 3 factors. Three factors, namely spindle speed, feed rate and depth of cut were studied in the experimental design. The experimental results indicated that the significant factors were main effect of spindle speed and feed rate. Interaction factors that do not significantly affect to the surface roughness. The regression model was established and used to determine the minimum surface roughness with spindle speed of 2000 revolution per minute, feed rate of 100 millimeter per minute and depth of cut of 1.0 millimeter. After verification experiments, 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 : Spindle speed, Feed rate, Depth of cut, Surface roughness, 6061-T6 Aluminum alloy

1. บทนำ

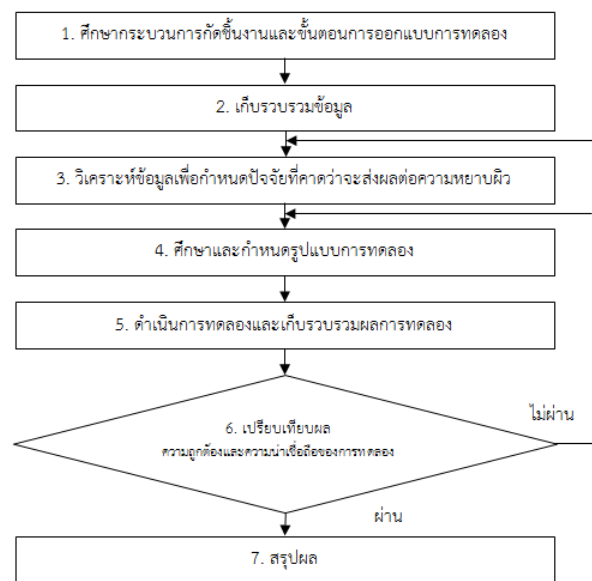
ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยเครื่องจักรสมัยใหม่ต้องมีความถูกต้องและความเที่ยงตรงสูงเป็นองค์ประกอบสำคัญ ความเที่ยงตรงวัดที่ความสำเร็จของชิ้นงานว่าอยู่ในช่วงพิสัยความเผื่อ (Tolerance) และความหยาบผิว (Surface roughness) ตามกำหนด ความหยาบผิวให้คำจำกัดความว่าเป็นความไม่เรียบที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ความหยาบผิวถูกกำหนด R_a หรือ R_z ในแบบงาน [1] วัสดุทำแม่พิมพ์ที่นิยมคือ อะลูมิเนียม เพราะอะลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา แข็งแรงและขึ้นรูปง่าย ฉะนั้นค่าความหยาบผิวในงานกัดแม่พิมพ์มีความสำคัญต่อความมั่นใจในการขึ้นรูปของแม่พิมพ์ ซึ่งต้องทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวก่อน จะได้ทำนายค่าความหยาบผิวของแม่พิมพ์ ทำให้การปฏิบัติงานได้สะดวกและง่ายขึ้น

เครื่องจักรซีเอ็นซีต้องพิจารณาปัจจัย เช่น ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ให้สัมพันธ์กับเครื่องจักร จึงควบคุมคุณภาพผิวชิ้นงานสำเร็จได้ [2] ความหยาบผิวอะลูมิเนียมถูกนำเสนอใน [3] พบว่าการปาดผิวอะลูมิเนียม ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวคือ อัตราป้อน และใน [4] พบว่าอัตราป้อนมีอิทธิพลต่อความหยาบผิว ด้วยการใช้การวิเคราะห์ Response surface method และ Radian basis function network และใน [5] พบว่าความเร็วตัดมีอิทธิพลต่อความหยาบผิว และใน [6] พบว่าความเร็วรอบด้ามและอัตราป้อนตัดสูง มีแนวโน้มความหยาบผิวมากขึ้น แต่ถ้าเพิ่มความเร็วรอบสูง แนวโน้มความหยาบผิวดังที่ และใน [7] พบว่าการปาดผิวอะลูมิเนียมใช้แรงตัดเพิ่มขึ้น

จากงานวิจัยต่างๆ จะเห็นว่ามีการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิว ซึ่งพอสรุปได้ว่า ความเร็วรอบและอัตราป้อนตัด มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวงาน ดังนั้นคณะผู้วิจัยสนใจศึกษาความเร็วรอบและอัตราป้อนตัด ว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพความหยาบผิวงานจริงๆ หรือไม่ และสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทำนายค่าความหยาบผิว

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยได้ปฏิบัติตามขั้นตอนดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การวิจัยออกแบบการทดลองโดยสรุปดังนี้

1. การทำวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของอะลูมิเนียม เกรด 6061-T6 ในการกัด แล้วนำผลที่ได้จากการทดลองมาสร้างสมการถดถอยเพื่อทำนายความหยาบผิว
2. เลือกผลตอบสนอง (ตัวแปรตาม) สำหรับใช้ในการออกแบบแผนการทดลองของงานวิจัย โดยผลตอบสนองที่ทำการศึกษาคือ ความหยาบผิวของอะลูมิเนียม เกรด 6061-T6
3. กำหนดค่าปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อความหยาบผิวของอะลูมิเนียม เกรด 6061-T6 ในงานกัด ตัวแปรต้น 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ, อัตราป้อน และระยะป้อนลึก
4. ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3^3 ซึ่งปัจจัยแต่ละระดับมีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง
5. กำหนดลำดับการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab เป็นแบบสุ่ม เพื่อเฉลี่ยผลของตัวแปรปรวนที่ควบคุมไม่ได้และทำการทดลองตามแผนการทดลอง
6. วิเคราะห์ผลด้วยการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของการทดลองตามหลักการ $\bar{Y} \sim NID(0, \sigma^2)$ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และนำผลมาวิเคราะห์ตัวแบบสมการถดถอย สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายความหยาบผิวของอะลูมิเนียม เกรด 6061-T6

7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ โดยนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้อ 6 มาสรุปผลและข้อเสนอแนะ

กำหนดปัจจัยทดลอง ประกอบด้วย ความเร็วรอบ, อัตราป้อน และระยะป้อนลึก โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ, กลาง และสูง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและตัวแปรตอบสนองในการทดลอง

ปัจจัย (หน่วย)	ระดับของปัจจัย		
	ต่ำ	กลาง	สูง
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	750	1,375	2,000
อัตราป้อน (มิลลิเมตรต่อนาที)	100	250	400
ระยะป้อนลึก (มิลลิเมตร)	0.5	1.0	1.5
ตัวแปรตอบสนอง	ค่าความหยาบผิว		

การคำนวณหาขนาดของสิ่งตัวอย่าง เพื่อกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ Power of test ที่ร้อยละ 95 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0971 ไมโครเมตร ประมาณจาก [8] ดังรูปที่ 2

Power and Sample Size				
General Full Factorial Design				
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation =0.0971				
Factors: 3 Number of levels: 3, 3, 3				
Include terms in the model up through order: 3				
Not including blocks in model.				
Maximum Difference	Reps	Total Runs	Target Power	Actual Power
2	2	54	0.95	0.999775

รูปที่ 2 ผลการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่าง

จากรูปที่ 2 การทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวม 54 การทดลอง และค่าอำนาจการทดสอบที่ 0.999775 ซึ่งมากกว่าค่า 0.95 แสดงว่าค่าอำนาจการทดสอบมีประสิทธิภาพเพียงพอ และการทดลองของปัจจัยในตารางที่ 1 โดยการสุ่ม ได้ดังตารางที่ 2

ขอบเขตของงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย

- เครื่องกัดซีเอ็นซีแบบแนวตั้ง เครื่องหมายการค้า

CINCINNATI รุ่น ARROW 500

- ด้ามและเม็ดมีด เครื่องหมายการค้า SUMITOMO

รุ่น WGC3025EW และรุ่น SEET0903AGFN-L

- เครื่องวัดความหยาบผิว เครื่องหมายการค้า

MITUTOYO รุ่น SurfTest SV-500

การวัดความหยาบผิวโดยส่งชิ้นงานทดลองไปวัดค่าที่ศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดสำหรับอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยบูรพา

- วัสดุชิ้นงานทดลองคือ อะลูมิเนียมเกรด 6061-T6

- หมวดการกัดที่ใช้การทดลองเป็นหมวดการกัดปลดหน้าผิวชิ้นงาน

- น้ำมันหล่อเย็นที่ใช้เป็นสารหล่อเย็นแบบผสมน้ำ (Soluble oils)

3. ผลการวิจัย

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 และนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

3.1 ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

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

การตรวจสอบ ε_{ij} ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

- 1) ตรวจสอบกระจายตัวแบบปกติของค่าเศษเหลือ
- 2) ตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าเศษเหลือ
- 3) ตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

รายละเอียดการตรวจสอบทั้ง 3 ขั้นตอนมีดังนี้

1. ตรวจสอบกระจายตัวแบบปกติของค่าเศษเหลือ โดยแผนภาพความน่าจะเป็น พบว่าการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ดังรูปที่ 3 จึงทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันโดยตั้งสมมติฐาน

H_0 : ค่าเศษเหลือมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ค่าเศษเหลือไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

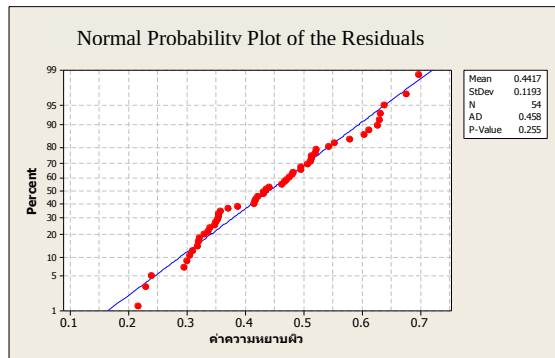
ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

รูปที่ 3 พบว่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ค่าเศษเหลือมีการกระจายตัวแบบปกติ

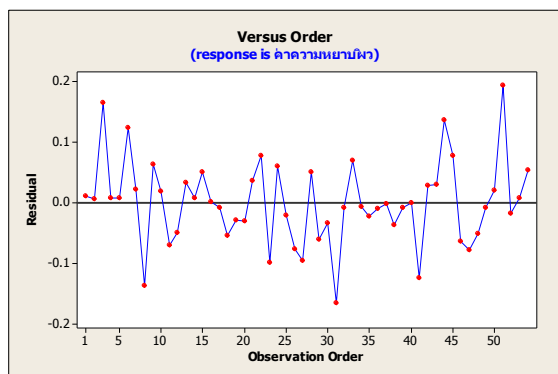
2. ตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าเศษเหลือ จากรูปที่ 4 พบว่าการกระจายตัวของค่าเศษเหลือไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้ม แสดงว่ามีความเป็นอิสระต่อกัน

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของความหยาบผิวชั้นงานที่วัดได้จากการทดลองและค่าทำนายจากสมการถดถอย

ลำดับ มาตรฐาน	ลำดับ การทดลอง	A ระยะป้อนลึก (มิลลิเมตร)	B ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	C อัตราป้อน (มิลลิเมตร/นาที)	ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย วัดได้จากการทดลอง (ไมโครเมตร)	ค่าความหยาบผิว ที่ได้จากค่าทำนาย (ไมโครเมตร)
12	1	1.0	750	400	0.632	0.596
6	2	0.5	1375	400	0.431	0.486
26	3	1.5	2000	250	0.627	0.353
15	4	1.0	1375	400	0.482	0.489
25	5	1.5	2000	100	0.320	0.306
17	6	1.0	2000	250	0.603	0.324
5	7	0.5	1375	250	0.432	0.401
27	8	1.5	2000	400	0.240	0.401
13	9	1.0	1375	100	0.475	0.342
3	10	0.5	750	400	0.579	0.608
22	11	1.5	1375	100	0.217	0.367
18	12	1.0	2000	400	0.230	0.382
10	13	1.0	750	100	0.415	0.419
16	14	1.0	2000	100	0.318	0.265
4	15	0.5	1375	100	0.471	0.317
8	16	0.5	2000	250	0.421	0.294
19	17	1.5	750	100	0.496	0.507
11	18	1.0	750	250	0.354	0.416
14	19	1.0	1375	250	0.495	0.509
2	20	0.5	750	250	0.637	0.506
20	21	1.5	750	250	0.511	0.506
21	22	1.5	750	400	0.676	0.584
9	23	0.5	2000	400	0.336	0.363
1	24	0.5	750	100	0.441	0.409
24	25	1.5	1375	400	0.481	0.493
23	26	1.5	1375	250	0.353	0.430
7	27	0.5	2000	100	0.340	0.225
45	28	1.0	2000	400	0.330	0.382
28	29	0.5	750	100	0.321	0.409
37	30	1.0	750	100	0.349	0.419
53	31	1.5	2000	250	0.296	0.353
52	32	1.5	2000	100	0.305	0.306
49	33	1.5	1375	100	0.357	0.367
33	34	0.5	1375	400	0.419	0.486
32	35	0.5	1375	250	0.387	0.401
39	36	1.0	750	400	0.611	0.596
35	37	0.5	2000	250	0.417	0.294
47	38	1.5	750	250	0.437	0.506
43	39	1.0	2000	100	0.301	0.265
34	40	0.5	2000	100	0.310	0.225
44	41	1.0	2000	250	0.355	0.324
41	42	1.0	1375	250	0.553	0.416
29	43	0.5	750	250	0.697	0.509
54	44	1.5	2000	400	0.513	0.401
50	45	1.5	1375	250	0.507	0.430
40	46	1.0	1375	100	0.347	0.342
48	47	1.5	750	400	0.519	0.584
31	48	0.5	1375	100	0.370	0.317
42	49	1.0	1375	400	0.467	0.489
51	50	1.5	1375	400	0.522	0.493
36	51	0.5	2000	400	0.630	0.363
30	52	0.5	750	400	0.542	0.608
46	53	1.5	750	100	0.513	0.428
38	54	1.0	750	250	0.462	0.507

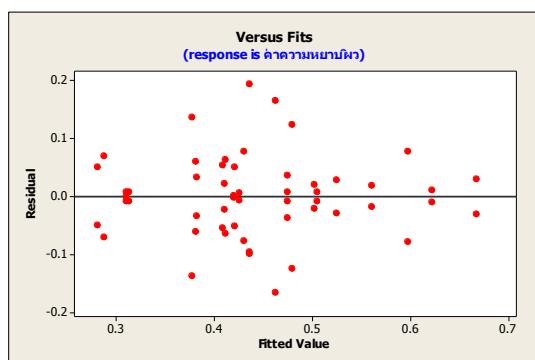


รูปที่ 3 การแจกแจงแบบปกติของค่าเศษเหลือ



รูปที่ 4 การกระจายตัวของค่าเศษเหลือ

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน
จากรูปที่ 5 พบว่าความแปรปรวนของค่าเศษเหลือมีความ
เสถียร เนื่องจากค่าความหนาผิวกระจายด้านบวกและ
ด้านลบสมดุลกัน



รูปที่ 5 การกระจายตัวค่าเศษเหลือเทียบกับ Fitted value

3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

วิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อตรวจสอบปัจจัยที่มี
อิทธิพลต่อค่าความหนาผิว ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย

General Linear Model: ค่าความหนาผิว versus Depth of Cut, Spindle Speed, Feed Rate						
Factor	Type	Levels	Values			
Depth of Cut	fixed	3	0.5, 1.0, 1.5			
Spindle Speed	fixed	3	750, 1375, 2000			
Feed Rate	fixed	3	100, 250, 400			

Analysis of Variance for ค่าความหนาผิว, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Depth of Cut	2	0.004789	0.002069	0.001034	0.11	0.897
Spindle Speed	2	0.149766	0.159971	0.079985	8.41	0.001
Feed Rate	2	0.130355	0.126318	0.063159	6.64	0.005
Depth of Cut*Spindle Speed	4	0.030183	0.029984	0.007496	0.79	0.543
Depth of Cut*Feed Rate	4	0.006672	0.006986	0.001746	0.18	0.945
Spindle Speed*Feed Rate	4	0.043418	0.047883	0.011971	1.26	0.310
Depth of Cut*Spindle Speed*Feed Rate	8	0.132113	0.132113	0.016514	1.74	0.135
Error	27	0.256705	0.256705	0.009508		
Total	53	0.754000				

S = 0.0975068 R-Sq = 65.95% R-Sq(adj) = 33.17%

จากตารางที่ 3 พบว่าความเร็วรอบและอัตราป้อนเป็น
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาผิว เนื่องจากมีค่า P-
Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ส่วนปัจจัยรวมไม่มี
อิทธิพล และผลการวิเคราะห์สมการถดถอยดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอย

General Regression Analysis: ค่าความหนาผิว versus Spindle Speed, Feed Rate						
Regression Equation						
ค่าความหนาผิว = 0.498392 - 0.000106934 (B) + 0.000353382 (C)						
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	0.498392	0.0470356	10.5961	0.000		
Spindle Speed	-0.000107	0.0000266	-4.0179	0.000		
Feed Rate	0.000353	0.0001110	3.1834	0.002		
Summary of Model						
S	0.0996488					
PRESS	0.567255					
R-Sq	32.83%					
R-Sq(pred)	24.77%					
Analysis of Variance						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	2	0.247576	0.247576	0.123788	12.4662	0.000039
Spindle Speed	1	0.146944	0.160306	0.160306	16.1437	0.000194
Feed Rate	1	0.100631	0.100631	0.100631	10.1342	0.002481
Error	51	0.506424	0.506424	0.009930		
Lack-of-Fit	6	0.077400	0.077400	0.012900	1.3531	0.254192
Pure Error	45	0.429024	0.429024	0.009534		
Total	53	0.754000				

ความสัมพันธ์ในรูปของสมการเชิงเส้นของค่าความ
หนาผิว (R_u) กับความเร็วรอบและอัตราป้อน โดย
สมการถดถอยแบบ Coded variable ได้ดังสมการ

$$R_u = 0.498392 - 0.000106934 (B) + 0.000353382 (C) \quad (1)$$

Lack of fit มี P-Value เท่ากับ 0.254192 มีค่ามากกว่า
ระดับนัยสำคัญ สมการถดถอยที่ได้มีความเหมาะสม
หากแปลงสมการถดถอยแบบ Coded variable เป็น
Actual variable เพื่อแทนค่าได้ง่ายขึ้น ได้ดังสมการ

$$R_u = 0.443244 - 0.0036315(A) - 1.56203 \times 10^{-4}(B) + 0.0008567(C) \\ + 4.94377 \times 10^{-5}(A*B) - 1.44319 \times 10^{-4}(A*C) - 1.60989 \times 10^{-7}(B*C) \quad (2)$$

เมื่อ A คือ ระยะป้อนลึก; B คือ ความเร็วรอบ; C คือ อัตราป้อน

3.3 การหาค่าสถานะที่เหมาะสม

การวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสม Response optimizer
คำนวณ ได้ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการกัด

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
ค่าความหยาบผิว	Minimum	0.1	0.1	1	1	1
Global Solution						
Depth of Cut	=	1.0				
Spindle Speed	=	2000				
Feed Rate	=	100				
Predicted Responses						
ค่าความหยาบผิว	=	0.328132				desirability = 0.746521
Composite Desirability = 0.74184						

เมื่อพิจารณาตารางที่ 5 พบว่าระดับปัจจัยให้ค่าความหยาบผิวน้อยที่สุดคือ ระยะป้อนลึก 1.0 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที และอัตราป้อน 100 มิลลิเมตรต่อนาที ระดับปัจจัยนี้นำไปทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง

3.4 ยืนยันผลการทดลอง

การทดสอบยืนยันโดยแทนค่าระดับปัจจัยในสมการ (2) พบว่ามีค่า 0.265 ไมโครเมตร ส่วนผลทดลองมีค่า 0.301 ไมโครเมตร พบว่าค่าทั้งสองมีค่าต่างกัน ดังนั้นต้องยืนยันว่าค่าที่ได้จากสมการและค่าที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่างกันหรือไม่

3.4.1 การทดสอบยืนยันผลการทดลอง

การทดสอบยืนยันโดยทดลองกัดงานใหม่ จำนวนจำนวนกัฒขึ้นงานใหม่ โดยวิเคราะห์ความไว กำหนดค่าความแตกต่างที่ต้องการตรวจจับเท่ากับ 0.1 ไมโครเมตร ผลการคำนวณดังรูปที่ 6

Power and Sample Size		
1-Sample t Test		
Testing mean = null (versus not = null)		
Calculating power for mean = null + difference		
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.0975		
Difference	Sample Size	Power
0.1	5	0.417714
0.1	6	0.526443
0.1	7	0.621771
0.1	8	0.702369
0.1	9	0.768730
0.1	10	0.822251
0.1	11	0.864696
0.1	12	0.897886
0.1	13	0.923528
0.1	14	0.943131
0.1	15	0.957978

รูปที่ 6 ผลลัพธ์การคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab

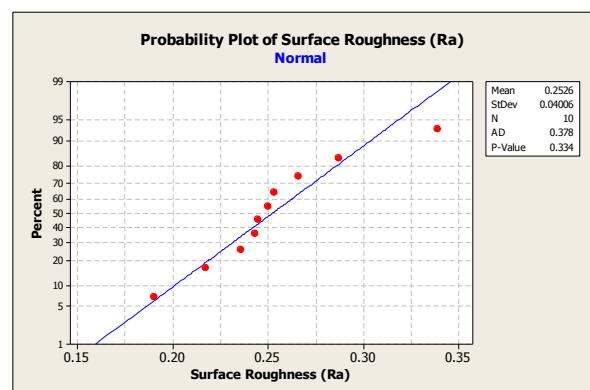
จากรูปที่ 6 เมื่อพิจารณาจำนวนตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง ให้ค่าอำนาจในการทดสอบเท่ากับ 0.822251 (ร้อยละ 82.23) ก็เพียงพอ และทำการทดลองได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าความหยาบผิวจากการทดลองเพื่อยืนยันผล

ลำดับการทดลอง	ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัด (ไมโครเมตร)			R_{avg}
	Ra_1	Ra_2	Ra_3	
1	0.275	0.301	0.285	0.287
2	0.310	0.155	0.244	0.236
3	0.125	0.201	0.245	0.190
4	0.223	0.311	0.195	0.243
5	0.315	0.402	0.299	0.339
6	0.216	0.317	0.218	0.250
7	0.188	0.256	0.315	0.253
8	0.331	0.211	0.256	0.266
9	0.227	0.259	0.249	0.245
10	0.173	0.195	0.284	0.217

3.4.2 ผลการตรวจสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ข้อมูลตารางที่ 6 นำมาวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 7 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.334 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ ค่าความหยาบผิวที่ได้จากสมการและการแทนค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมลงในสมการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ยังสรุปไม่ได้ว่าสมการทดลองที่สร้างขึ้นใช้งานได้จริง ดังนั้นต้องทำการทดสอบสมมติฐาน เพื่อยืนยันสมการทดลอง



รูปที่ 7 ผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

3.4.3 การทดสอบสมมติฐานการยืนยันสมการทดลอง

นำผลในตารางที่ 6 มาทดสอบ ได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ด้วย One-Sample T-test

One-Sample T: Surface Roughness (Ra)							
Test of $\mu = 0.265$ vs not = 0.265							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
Surface Roughness (Ra)	10	0.2526	0.0401	0.0127	(0.2239, 0.2813)	-0.98	0.353

จากตารางที่ 7 ค่า P-Value เท่ากับ 0.353 มากกว่าระดับนัยสำคัญ จึงยอมรับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผลไม่มีความแตกต่างกับค่าความหยาบผิวที่ได้จากการแทนค่าของระดับปัจจัย แสดงว่าสมการทดลองใช้ทำนายค่าความหยาบผิวได้

4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะดังนี้

4.1 สรุปผลการวิจัย

1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวงาน ได้แก่ ความเร็วรอบและอัตราป้อน ส่วนปัจจัยอื่นไม่มีอิทธิพลจากผลดังกล่าว งานวิจัยนี้มีผลสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมา จึงสรุปได้ว่า ความเร็วรอบและอัตราป้อนมีอิทธิพลหลักต่อความหยาบผิว

2. สมการทำนายค่าความหยาบผิวของการกัดอะลูมิเนียมเกรด 6061-T6 ได้คือ

$$R_a = 0.443244 - 0.0036315(A) - 1.56203 \times 10^{-4}(B) + 0.0008567(C) + 4.94377 \times 10^{-5}(A*B) - 1.44319 \times 10^{-4}(A*C) - 1.60989 \times 10^{-7}(B*C)$$

เมื่อ A คือ ระยะป้อนลึก ; B คือ ความเร็วรอบ ; C คือ อัตราป้อน

3. ระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 100 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะป้อนลึก 1.0 มิลลิเมตร

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq) ต่ำ แสดงว่ายังมีเงื่อนไขที่ไม่ได้ควบคุมอยู่มาก แนวทางแก้ไขคือออกแบบการทดลองเพิ่ม โดยเพิ่มจำนวนการทดลองซ้ำ

2. สมการถดถอยที่ได้แม้จะมีความเหมาะสมกับข้อมูล พิจารณาค่า Lack of fit มีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แต่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq และ R-Sq(adj)) มีค่าต่ำ สมการถดถอยที่ประมาณขึ้นยังไม่เหมาะสมกับข้อมูลเท่าที่ควร จึงควรออกแบบการทดลองในลักษณะที่ให้ความแม่นยำสูง เช่น Linear+Square, Full-Quadratic เป็นต้น

3. กำหนดตัวแปรของเครื่องมือตัด เช่น มุมคายเศษ และมุมหลบ เป็นต้น ตัวแปรอาจส่งผลต่อความหยาบผิว

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Mold and Die Industry Development, Mold Operational Manual, Repair and Maintenance Dies of Techniques, Chonburi: Thai-German Institute.

- [2] Chalie Tragangoon, CNC Technology, Technology Promotion Association (Thailand-Japan), 2005.
- [3] K.Kadirgama, M.M Noor, M.M.Rahman, M.R.M. Rejab, Haron, CHC & Abou-El-Hossein, KA, "Surface Roughness Prediction Model of 6061-T6 Aluminium Alloy Machining Using Statistical Method," European Journal of Scientific Research, Vol.25, pp.250-256, January, 2009.
- [4] K.Kadirgam, M.M.Noar, N.M.Zuki.N.M, M.M. Rahman, M.R.M. Rejab, R. Daud, K.A.Abou-El-Hossein, "Optimization of Surface Roughness in End Milling on Mould Aluminium Alloys (AA6061-T6) Using Response Surface Method and Radian Basis Function Network," Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, Vol.2, No.4, pp.209-214, December, 2008.
- [5] Halil Demir, Süleyman Gündüz, "The Effects of Aging on Machinability of 6061 Aluminum Alloy," Materials & Design, Vol.30, No.4, pp.1480-1483, May, 2009.
- [6] Mathew A. Kuttolamadom, Sina Hamzehlouia, M. Laine Mears, "Effect of Machining Feed on Surface Roughness in Cutting 6061 Aluminum," SAE International Journal of Materials and Manufacturing, Vol.3, No.1, pp.108-119, 2010.
- [7] W.Y.H. Liew, "The Effect of Air in the Machining of Aluminium Alloy," Tribology Letters, Vol.17, No.1, pp.41-49, July, 2004.
- [8] S. Chantasee and S. Punsomsakul, "Surface Roughness Prediction of 6061-T6 Aluminum Alloy in Milling Using Regression Model," KKU Research Journal, Vol.19, No.2, pp.293-304, 2014.