

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว ในกระบวนการกัดอะลูมิเนียมผสม เกรด AA7075 ที่ผ่านการบ่มแข็ง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เครื่องกัดซีเอ็นซี ยี่ห้อ CHEVALIER รุ่น QP2026-L, เครื่องวัดความเรียบผิว (Surface Roughness Tester), เครื่องทดสอบหาค่าความแข็ง (Hardness Testing Machine), ดอกกัด (End Mill) ทำมาจากเหล็กกล้ารอบสูง (High Speed Steel) แบบ 2 คมตัด, ชิ้นงานแท่งอะลูมิเนียมผสม เกรด AA7075 ที่ผ่านการบ่มแข็ง ซึ่งมีค่าความแข็ง 173 HB ขนาด 60 x 150 x 20 มิลลิเมตร ตัวแปรต้นซึ่งประกอบด้วยระยะป้อนลึกในการกัด 3 ระดับ ได้แก่ 1.0 , 2.0 และ 3.0 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 3 ระดับ ได้แก่ 1500 , 2300 และ 3000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 100 , 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที ตัวแปรตาม คือ ความเรียบของผิวงาน โดยการใช้การวิเคราะห์ความเรียบของผิวงาน (R_a) โดยเปรียบเทียบกับคุณภาพของผิวงานที่ได้จากการขอบเขตของผิวงานจากการเจียรนัย ($R_a=0.1-1.6\mu\text{m}$) ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผิวงานในการกัดอะลูมิเนียมผสม เกรด AA7075 ที่ผ่านการบ่มแข็ง ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยใช้ Factorial Design แบบ 3^3 และทดลองซ้ำอีกครั้ง ค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ F – ratio และค่าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ระดับนัยสำคัญ 5% ($\alpha = .05$) ในการศึกษาได้ทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) รวมชิ้นงาน 12 ชิ้น จากนั้นจึงได้ทดลองกับชิ้นงานตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้จนครบ 54 ชิ้น แล้วนำไปวัดค่าความเรียบผิว (คุณภาพของผิวงาน) เพื่อหาค่าปัจจัยหลัก (Main Effect) ของตัวแปรแต่ละตัว และค่าปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรทั้งสาม โดยได้ผลการทดลองดังนี้

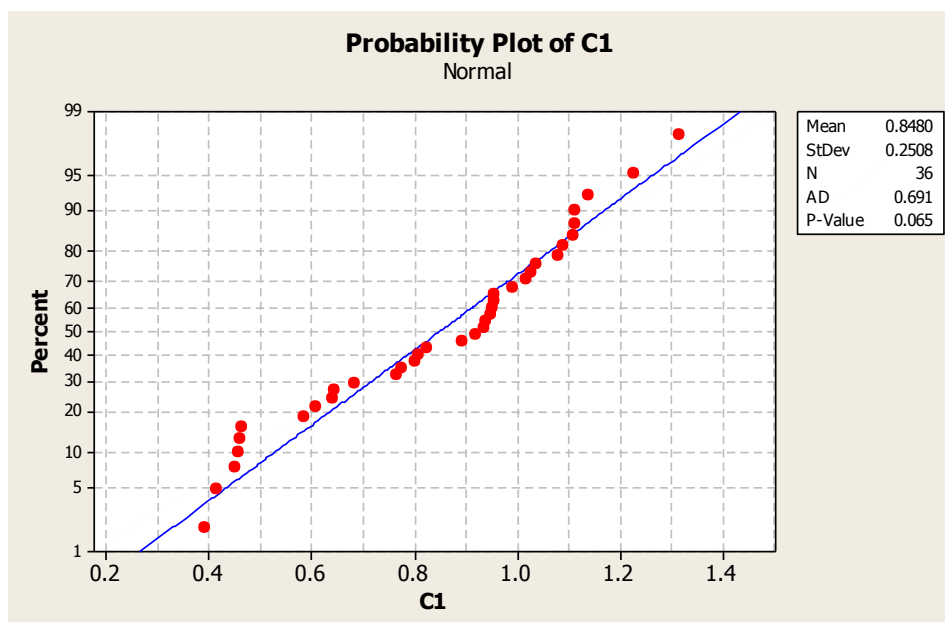
4.1 ผลของการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

การศึกษาดำเนินการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) เพื่อหาระดับของตัวแปรอิสระที่เหมาะสมกับการทดลอง ผลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ค่าความเรียบผิวที่ได้อยู่ในขอบเขตของผิวงานที่ได้จากกระบวนการเจียรนัย ($R_a=0.1-1.6\mu\text{m}$) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยความเรียบผิวจากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

ระยะ ป้อนลึก (มม.)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	อัตราป้อน (มม./นาที)								
		100			140			180		
		Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃
1.0	1500	0.393	0.465	0.453				0.948	0.992	0.940
	3000	0.416	0.461	0.457				0.936	0.776	0.685
2.0	1500	0.584	0.823	0.640				0.766	0.646	0.607
	3000	0.892	0.807	0.801				1.316	1.109	1.111
3.0	1500	1.080	1.137	1.227				1.016	1.037	1.112
	3000	0.919	1.089	1.026				0.952	0.954	0.956

เมื่อได้ค่าความเรียบผิวที่วัดได้จากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของระยะป้อนลึก ความเร็วรอบ และอัตราป้อน ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Minitab) ค่าความเรียบผิวงานทุกระดับของพารามิเตอร์ในกระบวนการกัดอะลูมิเนียมผสม เกรด AA7075 ที่ผ่านการบ่มแข็ง มีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value เท่ากับ 0.065 ซึ่งมากกว่า α (.05) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการแจกแจงของข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

4.2 ผลของการทดลอง

ผลของการทดลองที่ได้จากการวัดค่าความเรียบผิว ในกระบวนการกัดอะลูมิเนียมผสม เกรด AA7075 ที่ผ่านการบ่มแข็ง จากการทดลองค่าเฉลี่ยความเรียบผิวของงานกัด (Ra) ตามเงื่อนไขการทดลองที่ได้ ออกแบบไว้ ดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลค่าความเรียบผิวจากผลการทดลอง ครั้งที่ 1

ตารางผลการทดลอง ครั้งที่ 1						
No.	ระยะป้อนลึก	ความเร็วรอบ	อัตราป้อน	ค่าความเรียบผิว		
				Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃
1	1.0	1500	100	0.393	0.465	0.453
2	1.0	1500	140	1.017	1.767	1.743
3	1.0	1500	180	0.948	0.992	0.940
4	1.0	2300	100	0.419	0.475	0.461
5	1.0	2300	140	1.389	1.726	1.581
6	1.0	2300	180	0.485	0.434	0.500
7	1.0	3000	100	0.416	0.461	0.457
8	1.0	3000	140	0.484	0.442	0.422
9	1.0	3000	180	0.936	0.776	0.685
10	2.0	1500	100	0.584	0.823	0.640
11	2.0	1500	140	1.568	1.566	1.502
12	2.0	1500	180	0.766	0.646	0.607
13	2.0	2300	100	0.527	0.601	0.717
14	2.0	2300	140	0.672	0.614	0.821
15	2.0	2300	180	1.198	1.126	1.134
16	2.0	3000	100	0.892	0.807	0.801
17	2.0	3000	140	1.090	1.015	0.885
18	2.0	3000	180	1.316	1.109	1.111
19	3.0	1500	100	1.080	1.137	1.227
20	3.0	1500	140	1.414	1.501	1.605
21	3.0	1500	180	1.016	1.037	1.112

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงข้อมูลค่าความเรียบผิวจากผลการทดลอง ครั้งที่ 1

ตารางผลการทดลอง ครั้งที่ 1						
No.	ระยะป้อนลึก	ความเร็วรอบ	อัตราป้อน	ค่าความเรียบผิว		
				Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃
22	3.0	2300	100	0.815	0.653	0.987
23	3.0	2300	140	0.967	0.983	0.933
24	3.0	2300	180	0.650	0.563	0.860
25	3.0	3000	100	0.919	1.089	1.026
26	3.0	3000	140	0.702	0.844	1.275
27	3.0	3000	180	0.952	0.954	0.956

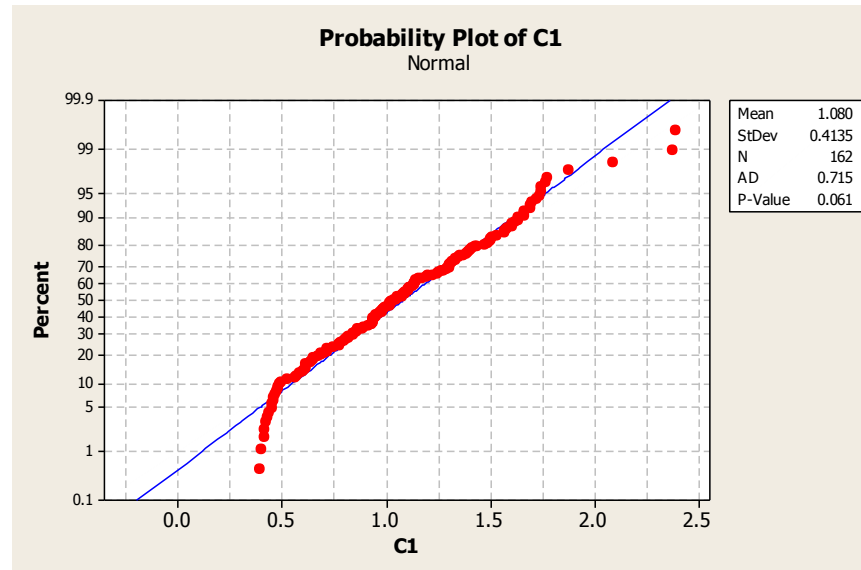
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลค่าความเรียบผิวจากผลการทดลอง ครั้งที่ 2

ตารางผลการทดลอง ครั้งที่ 2						
No.	ระยะป้อนลึก	ความเร็วรอบ	อัตราป้อน	ค่าความเรียบผิว		
				Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃
28	1.0	1500	100	0.613	0.612	0.718
29	1.0	1500	140	1.547	1.337	1.384
30	1.0	1500	180	1.602	1.874	1.510
31	1.0	2300	100	0.622	0.689	0.686
32	1.0	2300	140	1.694	1.634	1.664
33	1.0	2300	180	0.858	0.785	1.109
34	1.0	3000	100	1.050	1.335	1.738
35	1.0	3000	140	1.010	1.406	1.367
36	1.0	3000	180	1.058	1.134	1.201
37	2.0	1500	100	0.999	1.145	1.080
38	2.0	1500	140	1.351	1.355	1.146
39	2.0	1500	180	2.089	2.373	2.392
40	2.0	2300	100	0.780	0.745	0.721

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงข้อมูลค่าความเรียบผิวจากผลการทดลอง ครั้งที่ 2

ตารางผลการทดลอง ครั้งที่ 2						
No.	ระยะป้อนลึก	ความเร็วรอบ	อัตราป้อน	ค่าความเรียบผิว		
				Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃
41	2.0	2300	140	1.305	0.984	1.308
42	2.0	2300	180	0.933	0.936	0.936
43	2.0	3000	100	1.244	1.267	1.397
44	2.0	3000	140	1.159	1.053	1.085
45	2.0	3000	180	1.252	1.287	1.311
46	3.0	1500	100	1.023	0.840	1.107
47	3.0	1500	140	1.664	1.532	1.576
48	3.0	1500	180	0.493	0.401	0.569
49	3.0	2300	100	0.976	0.861	1.298
50	3.0	2300	140	1.620	1.700	1.773
51	3.0	2300	180	1.493	1.437	1.428
52	3.0	3000	100	0.690	0.778	0.867
53	3.0	3000	140	1.308	1.491	1.175
54	3.0	3000	180	0.939	1.318	1.470

เมื่อได้ค่าความเรียบผิวที่วัดได้จากการทดลอง แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของระยะป้อนลึก ความเร็วรอบ และอัตราป้อน ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (MINITAB) ค่าความเรียบผิวงานทุกระดับของพารามิเตอร์ในกระบวนการกัดอะลูมิเนียมผสม เกรดAA7075 ที่ผ่านการบ่มแข็ง มีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value เท่ากับ 0.061 ซึ่งมากกว่า α (.05) ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการแจกแจงของข้อมูลจากการทดลอง

4.3 ผลการวิเคราะห์การทดลองทางสถิติ

ผู้วิจัยได้นำค่าความเรียบผิว (Ra) ของชิ้นงานทดลองที่ได้ มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS) ด้วยเทคนิค ANOVA ทำการวิเคราะห์ที่นัยสำคัญ $\alpha = .05$ มีเกณฑ์ตัดสินใจคือ ถ้าค่า F - ratio มีค่ามากกว่า F α , v1 , v2 หรือเมื่อค่า Sig. < α จะปฏิเสธ Ho ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานทดลอง ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ANOVAของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวนกัก
(μm)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Ra

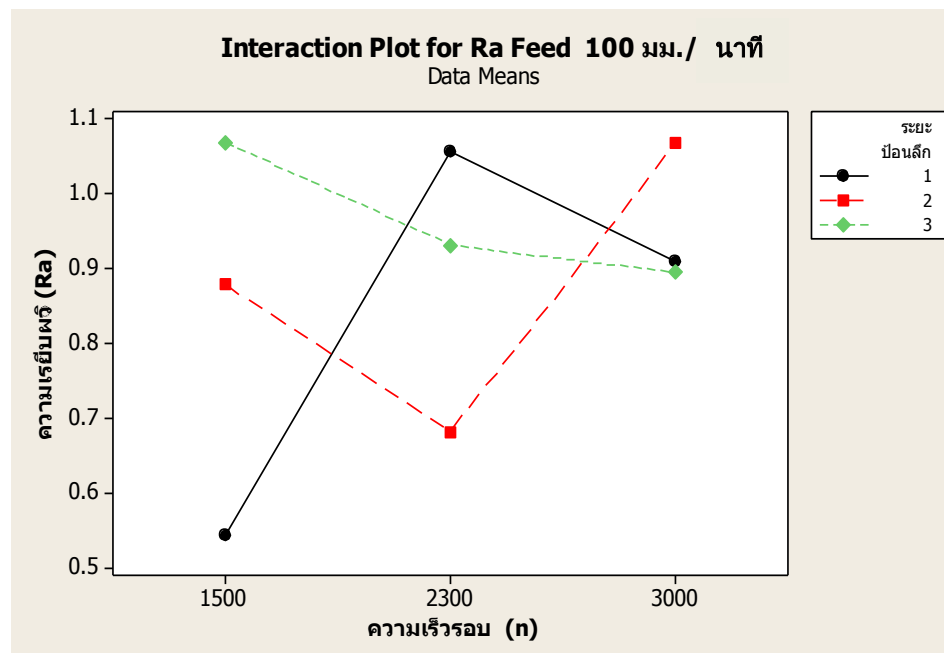
แหล่งความแปรปรวน	ผลรวม กำลังสอง (ss)	องศา ความเป็น อิสระ (df)	ค่าเฉลี่ย กำลัง (MS)	ค่า F	Sig.
Corrected Model	12.290(a)	26	.473	4.188	.000
Intercept	188.892	1	188.892	1673.411	.000
ระยะป้อนลึก	.072	2	.036	.321	.726
ความเร็วรอบ	.746	2	.373	3.305	.040
อัตราป้อน	3.760	2	1.880	16.655	.000
ระยะป้อนลึก * ความเร็วรอบ	1.215	4	.304	2.691	.034
ระยะป้อนลึก * อัตราป้อน	1.517	4	.379	3.360	.012
ความเร็วรอบ * อัตราป้อน	2.133	4	.533	4.724	.001
ระยะป้อนลึก * ความเร็วรอบ * อัตรา ป้อน	2.846	8	.356	3.152	.003
Error	15.239	135	.113		
Total	216.420	162			
Corrected Total	27.528	161			

a R Squared = .446 (Adjusted R Squared = .340)

4.4 วิเคราะห์หาความแปรปรวนของปัจจัย

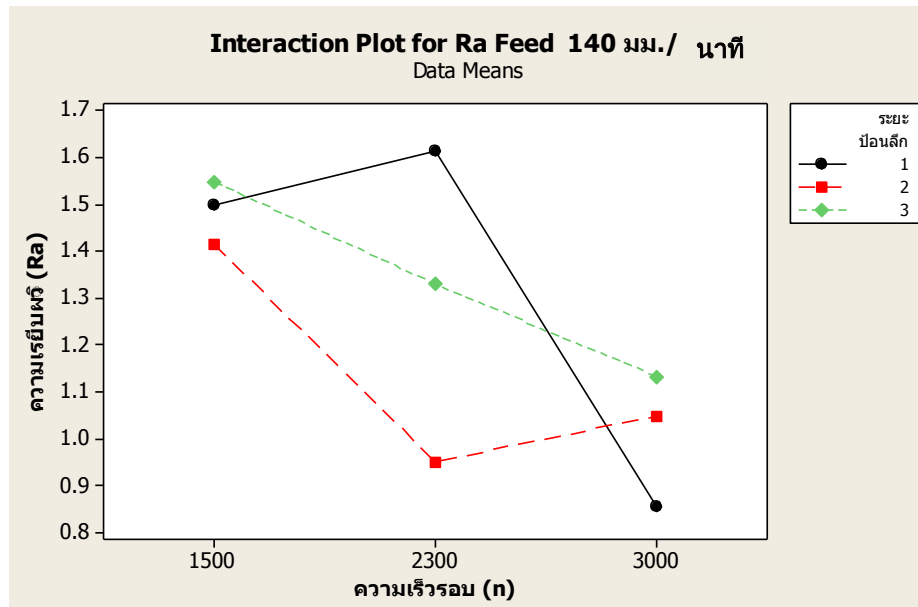
วิเคราะห์หาความแปรปรวนของปัจจัย ระยะป้อนลึก ความเร็วรอบ และอัตราป้อน ต่อความเรียบของผิวนกัก จากตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่า Sig. ที่ได้จากการวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูล นำผลที่ได้ทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ของระยะป้อนลึก ความเร็วรอบ และอัตราป้อน พบว่าปัจจัยที่ศึกษาทุกปัจจัย คือระยะป้อนลึก ความเร็วรอบ และอัตราป้อน เป็นปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วม (Interaction Effect)

ส่งผลกระทบต่อความเรียบของผิวงานกัดคือ ระยะป้อนลึก ความเร็วรอบ และอัตราป้อน มีค่า $F(8,135) = 3.152$ ส่งผลกระทบต่อความเรียบผิวของงานกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.01 การวิเคราะห์หาปฏิริยาสัมพันธ์ (Interaction) หรืออิทธิพลร่วมของการทดลอง หลังจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความเรียบผิวงานกัด Estimated Marginal Means of Ra แยกตามระดับของระยะป้อนลึก ระดับของความเร็วรอบ และระดับของอัตราป้อน สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ดังนี้ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 100 มม./นาท พบว่าค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ดีที่สุด คือ การใช้ความเร็วรอบในการกัดที่ 1500 รอบ/นาท และระยะป้อนลึกที่ระดับ 1.0 มม. ซึ่งมีค่าประมาณ $0.542 \mu\text{m}$ และค่าความเรียบผิว (Ra) ที่แย่ที่สุด คือ การใช้ความเร็วรอบในการกัดที่ 1500 รอบ/นาท และระยะป้อนลึกที่ระดับ 3.0 มม. ซึ่งมีค่าประมาณ $1.069 \mu\text{m}$ ดังรายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 4.3



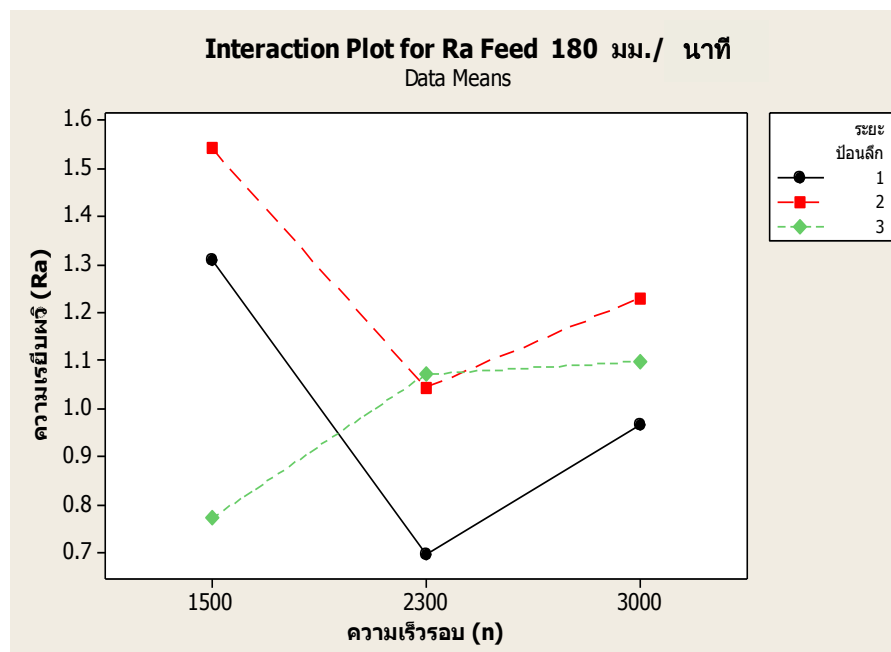
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 100 มม./นาท

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 140 มม./นาท พบว่าค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ดีที่สุด คือ การใช้ความเร็วรอบในการกัดที่ 3000 รอบ/นาท และระยะป้อนลึกที่ระดับ 1.0 มม. ซึ่งมีค่าประมาณ $0.855 \mu\text{m}$ และ ค่าความเรียบผิว (Ra) ที่แย่ที่สุด คือ การใช้ความเร็วรอบในการกัดที่ 2300 รอบ/นาท และระดับของการป้อนลึกที่ 1.0 มม. ซึ่งมีค่าประมาณ $1.615 \mu\text{m}$ ดังรายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 140 มม./นาที

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 180 มม./นาที พบว่าค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ดีที่สุด คือ การใช้ความเร็วรอบในการกัดที่ 2300 รอบ/นาที และระดับของการป้อนลิคที่ 1.0 มม. ซึ่งมีค่าประมาณ $0.695 \mu\text{m}$ และ ค่าความเรียบผิว (Ra) ที่แย่ที่สุด คือ การใช้ความเร็วรอบในการกัดที่ 1500 รอบ/นาที และระดับของการป้อนลิคที่ 2.0 มม./รอบ ซึ่งมีค่าประมาณ $1.542 \mu\text{m}$ ดังรายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 4.5



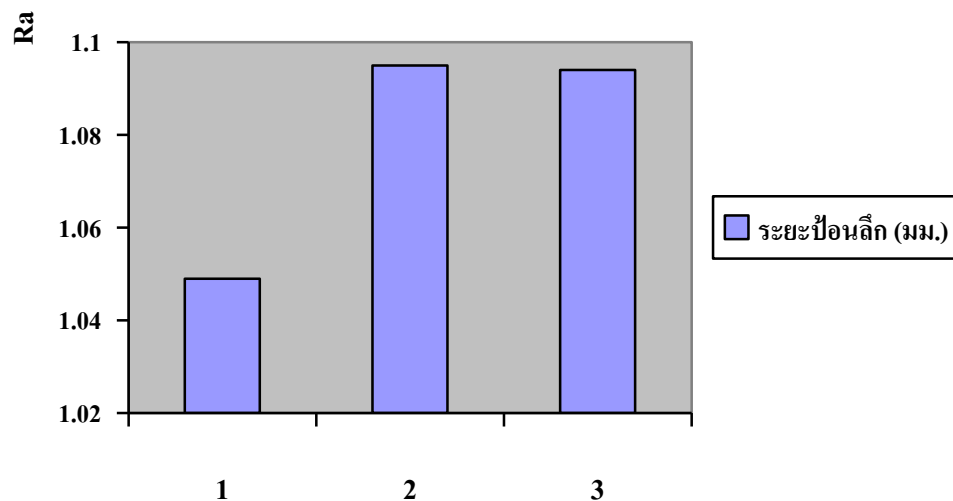
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 180 มม./นาที

วิเคราะห์ปัจจัยร่วมของ ระยะป้อนลึก ความเร็วรอบ และอัตราป้อน ที่ส่งผลกระทบต่อความเรียบของผิวงาน พบว่า ความเร็วรอบที่ระดับ 1500 รอบ/นาที อัตราป้อน 100 มม./ นาที และระยะป้อนลึก 1 มม. ให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานที่ดีที่สุดเฉลี่ย เท่ากับ $0.542\ \mu\text{m}$ ส่วนที่ความเร็วรอบที่ระดับ 2300 รอบ/นาที อัตราป้อน 140 มม./ นาที และระยะป้อนลึก 1 มม. ให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานที่แย่ที่สุดเฉลี่ย เท่ากับ $1.615\ \mu\text{m}$

ค่าเฉลี่ยความเรียบผิวของแต่ละปัจจัยหลัก

1. ระยะป้อนลึก

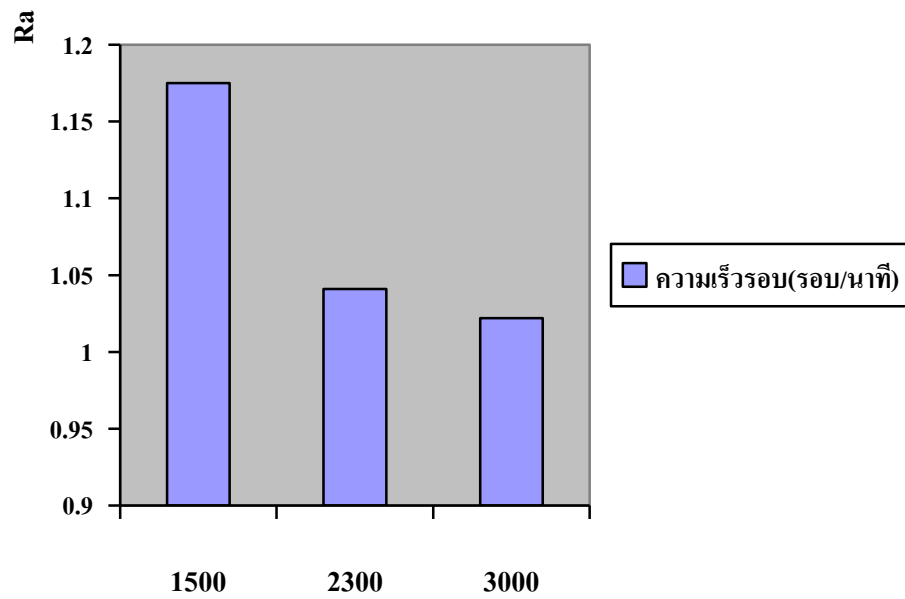
- ระยะป้อนลึกที่ระดับ 1.0 มิลลิเมตร ค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ย $1.049\ \mu\text{m}$
- ระยะป้อนลึกที่ระดับ 2.0 มิลลิเมตร ค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ย $1.095\ \mu\text{m}$
- ระยะป้อนลึกที่ระดับ 3.0 มิลลิเมตร ค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ย $1.094\ \mu\text{m}$



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ยของปัจจัยความเร็วรอบ

2. ความเร็วรอบ

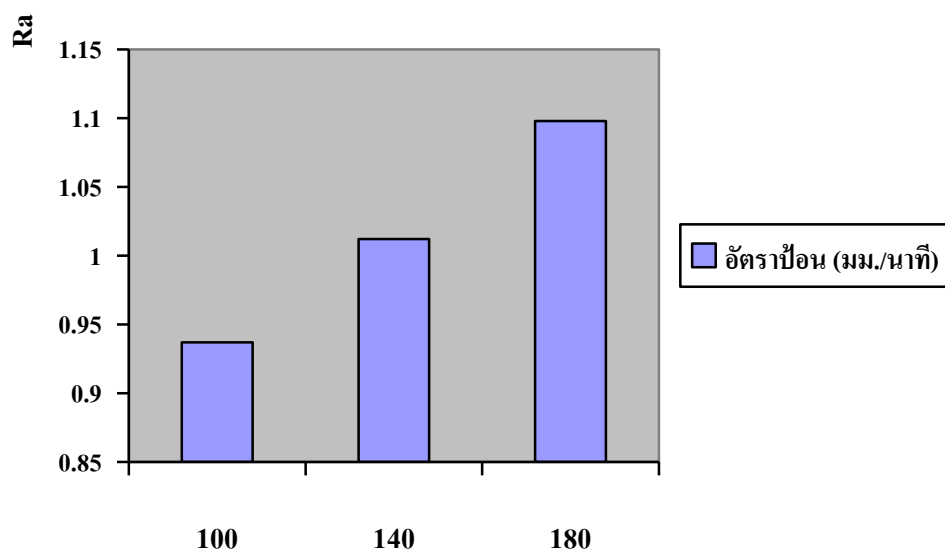
- ความเร็วรอบที่ระดับ 1500 รอบ/นาที ค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ย $1.175\ \mu\text{m}$
- ความเร็วรอบที่ระดับ 2300 รอบ/นาที ค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ย $1.041\ \mu\text{m}$
- ความเร็วรอบที่ระดับ 3000 รอบ/นาที ค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ย $1.022\ \mu\text{m}$



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ยของปัจจัยความเร็วรอบ

3. อัตราป้อน

- อัตราป้อนที่ระดับ 100 มม./นาที ค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ย $0.937\mu\text{m}$.
- อัตราป้อนที่ระดับ 140 มม./นาที ค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ย $1.012\mu\text{m}$.
- อัตราป้อนที่ระดับ 180 มม./นาที ค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ย $1.098\mu\text{m}$.



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความเรียบของผิวงานเฉลี่ยของปัจจัยอัตราป้อน

4.4 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

ระหว่างตัวแปรในกระบวนการกัดอะลูมิเนียมผสม เกรด AA 7075 ที่ผ่านการบ่มแข็ง ในการทดลอง เพื่อศึกษาค่าความเรียบผิวของชิ้นงานในการกัด โดยกำหนดให้ค่าระยะป้อนลึกในการกัด 3 ระดับ ได้แก่ 1.0, 2.0 และ 3.0 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 3 ระดับ ได้แก่ 1500, 2300 และ 3000 รอบต่อนาที อัตราป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที ในการพยากรณ์ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานสามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.5 สมการถดถอยระหว่างความเร็วรอบ, อัตราป้อนกับความเรียบของผิวงานกัด

General Regression Analysis: Ra versus Speed, Feed

Regression Equation

$$Ra = 0.984237 - 0.000103323(\text{Speed}) + 0.00235556(\text{Feed})$$

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย	ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยมาตรฐาน	ค่า t	ระดับนัยสำคัญ
ความเร็วรอบ	-.076	-.151	-1.964	.051
อัตราป้อน	.094	.187	2.424*	.016
ค่าคงที่	1.044		9.125	.000

$R^2=0.058$, $SEE=0.403913$, $F=4.868$, $R=.240$

* มีนัยสำคัญที่ระดับ .05

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ตัวแปรอิสระที่ส่งผลได้แก่ ความเร็วรอบ และอัตราป้อน อธิบายความแปรปรวนของความเรียบผิวได้ร้อยละ 5.8 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับความเรียบผิวพบว่าความเร็วรอบ และอัตราป้อน เป็นตัวทำนายความเรียบผิวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ได้สมการพยากรณ์ความเรียบผิว ดังนี้

$$Ra = 0.984237 - 0.000103323(\text{Speed}) + 0.00235556(\text{Feed})$$

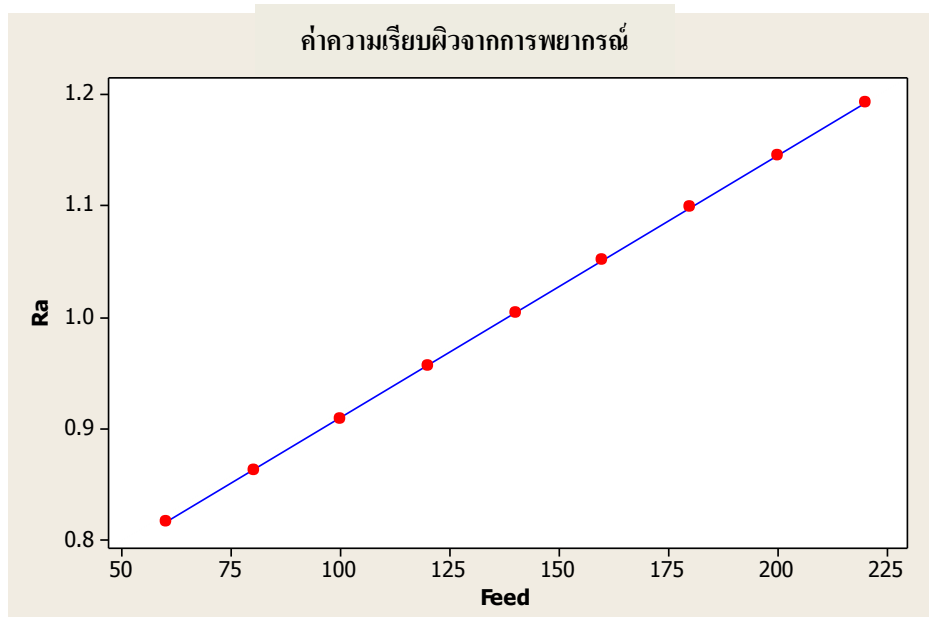
เมื่อ Speed = ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

Feed = อัตราป้อน (มม./นาที)

จากผลการทดลองนำผลการพยากรณ์ค่าความเรียบผิวงานมาเปรียบเทียบกับค่าทดสอบจริง โดยกำหนดให้ความเร็วรอบที่ระดับ 3000 รอบ/นาที เป็นค่าคงที่ และเพิ่มหรือลดระดับของอัตราป้อน เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าความเรียบผิวงาน

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าพยากรณ์ความเรียบผิวงานกัณฑ์ที่ได้จากผลการทดลอง

อัตราป้อน (mm./min)	ค่าความเรียบผิว จากการทดลอง	ค่าความเรียบผิว จากการพยากรณ์
60	-	0.816
80	-	0.863
100	0.957	0.909
120	-	0.956
140	1.012	1.004
160	-	1.051
180	1.098	1.098
200	-	1.145
220	-	1.192



รูปที่ 4.9 ค่าความเรียบของผิวงานกัณฑ์ที่ได้จากการพยากรณ์

จากรูปที่ 4.9 เมื่อทำการพยากรณ์โดยกำหนดช่วงของอัตราป้อนคือทำการลดอัตราป้อนและเพิ่มอัตราป้อนครั้งละ 20 มิลลิเมตรต่อนาที และกำหนดให้ความเร็วรอบที่ระดับ 3000 รอบ/นาที เป็นค่าคงที่ ผลการพยากรณ์ปรากฏว่าค่าความเรียบผิวต่ำลงจากการลดอัตราป้อน และเมื่อเพิ่มอัตราป้อนค่าความเรียบผิวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ