

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว ในกระบวนการกัดเหล็กเครื่องมือ(AISI P20) ที่ผ่านการชุบแข็ง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เครื่องกัดซีเอ็นซี ยี่ห้อ MORI SEIKI รุ่น NV6000 DCG, เครื่องวัดความเรียบผิว (Surface Roughness Tester), เครื่องทดสอบหาค่าความแข็ง (Hardness Testing Machine), เม็ดมีดอินเสิร์ท(Insert)เป็นแบบคาร์ไบด์เคลือบผิว, ชิ้นงานแท่งเหล็กเครื่องมือ(AISI P20) ที่ผ่านการชุบแข็ง ซึ่งมีค่าความแข็ง 45 HRC ขนาด 50 x 150 x 20 มิลลิเมตร ตัวแปรต้นซึ่งประกอบด้วย ระยะป้อนลึกในการกัด 3 ระดับ ได้แก่ 0.25 ,0.50 และ 0.75 มิลลิเมตร ความเร็วตัด 3 ระดับ ได้แก่ 100 , 150 และ 200 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 0.15 , 0.20 และ 0.25 มิลลิเมตรต่อฟัน ตัวแปรตาม คือ ความเรียบของผิวงาน โดยใช้การวิเคราะห์ความเรียบของผิวงาน(Ra)โดยเปรียบเทียบกับคุณภาพของผิวงานจากการเจียรนัย ($Ra=0.1-1.6\mu m$) ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผิวงาน ในการกัดเหล็กเครื่องมือ(AISI P20) ที่ผ่านการชุบแข็ง ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยใช้ Factorial Design แบบ 3^3 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ F – ratio และค่าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ระดับนัยสำคัญ 5% ($\alpha = .05$) ในการศึกษาได้ทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) รวมชิ้นงาน 18 ชิ้น จากนั้นจึงได้ทดลองกับชิ้นงานตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้จนครบ 54 ชิ้น แล้วนำไปวัดค่าความเรียบผิว (คุณภาพของผิวงาน) เพื่อหาค่าปัจจัยหลัก (Main Effect)ของตัวแปรแต่ละตัว และค่าปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรทั้งสามโดยได้ผลการทดลองดังนี้

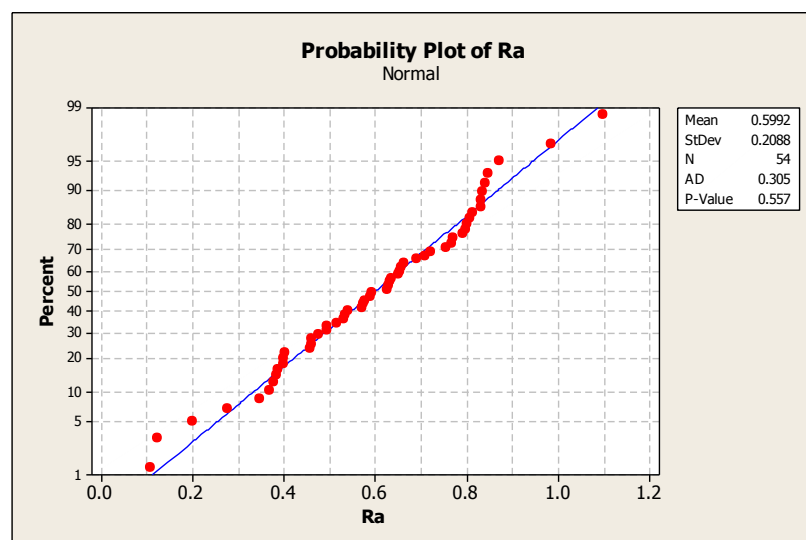
4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น

การศึกษาดำเนินการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) เพื่อหาระดับของตัวแปรอิสระที่เหมาะสมกับการทดลอง ผลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ค่าความเรียบผิวที่ได้อยู่ในขอบเขตของผิวงานที่ได้จากกระบวนการเจียรนัย ($Ra=0.1-1.6\mu m$) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยความเรียบผิวจากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

ระยะป้อน ลึก (มม.)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	อัตราป้อน (มม./ฟัน)								
		0.15			0.20			0.25		
		Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃
0.25	100	0.278	0.108	0.346	0.378	0.402	0.458	0.840	0.575	0.370
	200	0.812	0.832	0.655	0.201	0.635	0.535	0.797	0.799	0.588
0.50	100	0.388	0.593	0.689	0.495	0.627	0.460	0.385	0.399	0.532
	200	0.709	0.649	0.657	0.756	0.515	0.871	0.983	0.399	1.098
0.75	100	0.124	0.845	0.771	0.834	0.540	0.832	0.791	0.572	0.808
	200	0.577	0.662	0.722	0.477	0.629	0.461	0.495	0.633	0.768

เมื่อได้ค่าความเรียบผิวที่วัดได้จากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของระยะป้อนลึก ความเร็วตัด และอัตราป้อน ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Minitab) ค่าความเรียบผิวงานทุกระดับของพารามิเตอร์ในกระบวนการกัดเหล็กเครื่องมือ (AISI P20) ที่ผ่านการชุบแข็ง มีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value เท่ากับ 0.557 ซึ่งมากกว่า α (.05) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการแจกแจงของข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

4.2 ผลของการทดลอง

ผลของการทดลองที่ได้จากการวัดค่าความเรียบผิว ในกระบวนการกัดเหล็กเครื่องมือ(AISI P20) ที่ผ่านการชุบแข็ง จากการทดลองค่าเฉลี่ยความเรียบผิวของงานกัด (Ra) ตามเงื่อนไขการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยค่าความเรียบผิวของงานกัด (Ra)

ตารางผลการทดลอง ครั้งที่ 1						
ค่าความเรียบผิว						
No.	ระยะป้อนลึก	ความเร็วตัด	อัตราป้อน	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃
1	0.25	100	0.15	0.278	0.108	0.346
2	0.25	100	0.20	0.378	0.402	0.458
3	0.25	100	0.25	0.840	0.575	0.370
4	0.25	150	0.15	0.375	0.549	0.343
5	0.25	150	0.20	0.353	0.960	0.734
6	0.25	150	0.25	0.520	0.673	1.200
7	0.25	200	0.15	0.812	0.832	0.655
8	0.25	200	0.20	0.201	0.635	0.535
9	0.25	200	0.25	0.797	0.799	0.588
10	0.50	100	0.15	0.388	0.593	0.689
11	0.50	100	0.20	0.495	0.627	0.460
12	0.50	100	0.25	0.385	0.399	0.532
13	0.50	150	0.15	0.370	0.284	0.584
14	0.50	150	0.20	0.553	0.492	0.572
15	0.50	150	0.25	0.690	0.650	1.120
16	0.50	200	0.15	0.709	0.649	0.657
17	0.50	200	0.20	0.756	0.515	0.871
18	0.50	200	0.25	0.983	0.399	1.098
19	0.75	100	0.15	0.124	0.845	0.771
20	0.75	100	0.20	0.834	0.540	0.832

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยค่าความเรียบผิวของงานกัด (Ra)

ตารางผลการทดลอง ครั้งที่ 1						
ค่าความเรียบผิว						
No.	ระยะป้อนลึก	ความเร็วตัด	อัตราป้อน	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃
1	0.25	100	0.15	0.278	0.108	0.346
21	0.75	100	0.25	0.791	0.572	0.808
22	0.75	150	0.15	0.617	0.405	0.444
23	0.75	150	0.20	0.650	0.710	0.657
24	0.75	150	0.25	0.457	0.953	0.865
25	0.75	200	0.15	0.577	0.662	0.722
26	0.75	200	0.20	0.477	0.629	0.461
27	0.75	200	0.25	0.495	0.633	0.768

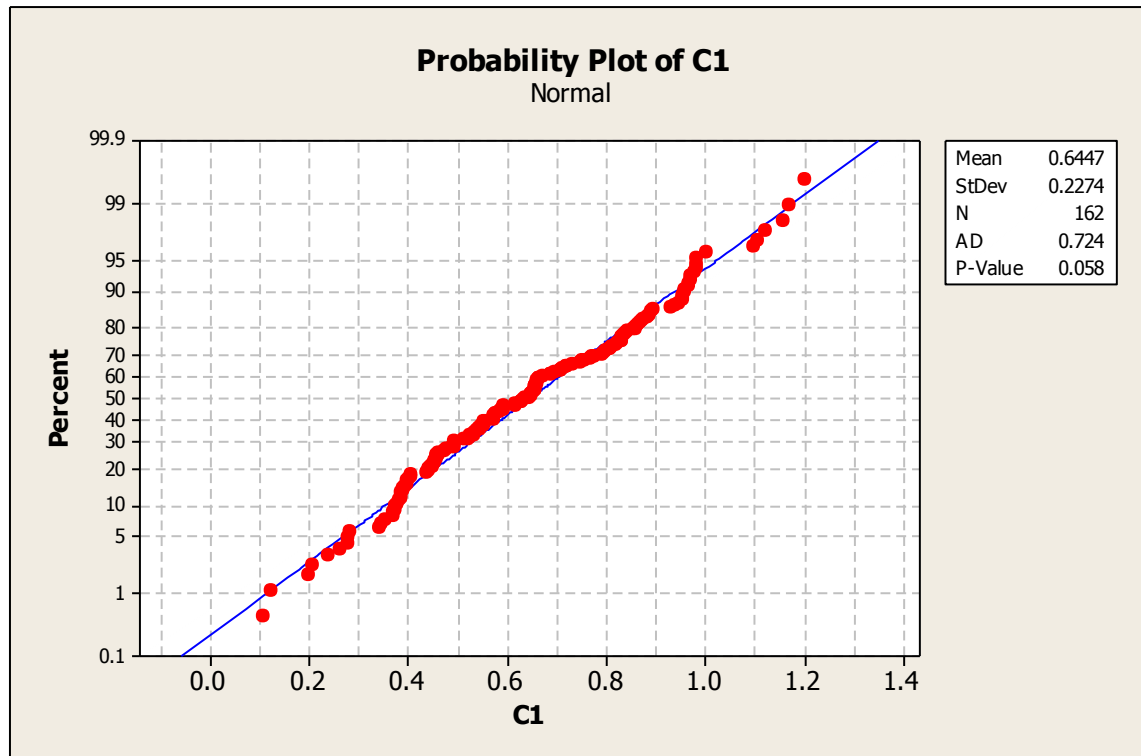
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเรียบผิวจากผลการทดลอง ครั้งที่ 2

ตารางผลการทดลอง ครั้งที่ 2						
ค่าความเรียบผิว						
No.	ระยะป้อนลึก	ความเร็วตัด	อัตราป้อน	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃
28	0.25	100	0.15	0.240	0.264	0.751
29	0.25	100	0.20	0.374	0.388	0.448
30	0.25	100	0.25	0.439	0.831	0.536
31	0.25	150	0.15	0.525	0.775	0.658
32	0.25	150	0.20	0.556	0.955	0.966
33	0.25	150	0.25	1.105	0.930	0.977
34	0.25	200	0.15	0.492	0.572	0.553
35	0.25	200	0.20	0.824	0.893	1.002
36	0.25	200	0.25	0.392	0.666	0.887
37	0.50	100	0.15	0.208	0.524	0.383
38	0.50	100	0.20	0.445	0.406	0.618
39	0.50	100	0.25	0.444	1.170	0.868
40	0.50	150	0.15	0.278	0.455	0.457

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงค่าความเรียบผิวจากผลการทดลอง ครั้งที่ 2

ตารางผลการทดลอง ครั้งที่ 2						
No.	ระยะป้อนลึก	ความเร็วตัด	อัตราป้อน	ค่าความเรียบผิว		
				Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃
41	0.50	150	0.20	0.546	0.874	0.972
42	0.50	150	0.25	0.897	0.982	0.981
43	0.50	200	0.15	0.663	0.884	0.389
44	0.50	200	0.20	0.453	0.820	0.861
45	0.50	200	0.25	0.832	0.953	0.657
46	0.75	100	0.15	0.475	0.394	0.809
47	0.75	100	0.20	0.451	0.947	0.859
48	0.75	100	0.25	0.856	0.546	0.748
49	0.75	150	0.15	0.488	0.553	0.594
50	0.75	150	0.20	0.643	0.969	0.593
51	0.75	150	0.25	0.660	0.695	1.184
52	0.75	200	0.15	0.714	0.654	0.662
53	0.75	200	0.20	0.576	0.661	0.721
54	0.75	200	0.25	0.966	0.938	0.960

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยความเรียบผิวที่วัดได้จากการทดลอง แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของระยะป้อนลึก ความเร็วตัด และอัตราป้อน ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Minitab) ค่าความเรียบผิวงานทุกระดับของพารามิเตอร์ในกระบวนการกัดเหล็กเครื่องมือ(AISI P20) ที่ผ่านการชุบแข็ง มีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value เท่ากับ 0.058 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_1, v_1, v_2 จะปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานทดลอง ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ANOVAของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวงานกัด (μm)

Tests of Between-Subjects Effects					
แหล่งความแปรปรวน	ผลรวมกำลังสอง	องศา ความเป็นอิสระ	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	ค่า F	Sig.
Corrected Model	2.971(a)	26	.114	2.975	.000
Intercept	66.287	1	66.287	1725.824	.000
ระยะป้อนลึก	.121	2	.060	1.571	.212
ความเร็วตัด	.625	2	.313	8.142	.000
อัตราป้อน	1.207	2	.603	15.707	.000
ระยะป้อนลึก * ความเร็วตัด	.546	4	.136	3.551	.009
ระยะป้อนลึก * อัตราป้อน	.008	4	.002	.054	.994
ความเร็วตัด * อัตราป้อน	.297	4	.074	1.930	.109
ระยะป้อนลึก * ความเร็วตัด * อัตราป้อน	.168	8	.021	.546	.820
Error	5.185	135	.038		
Total	74.444	162			
Corrected Total	8.156	161			

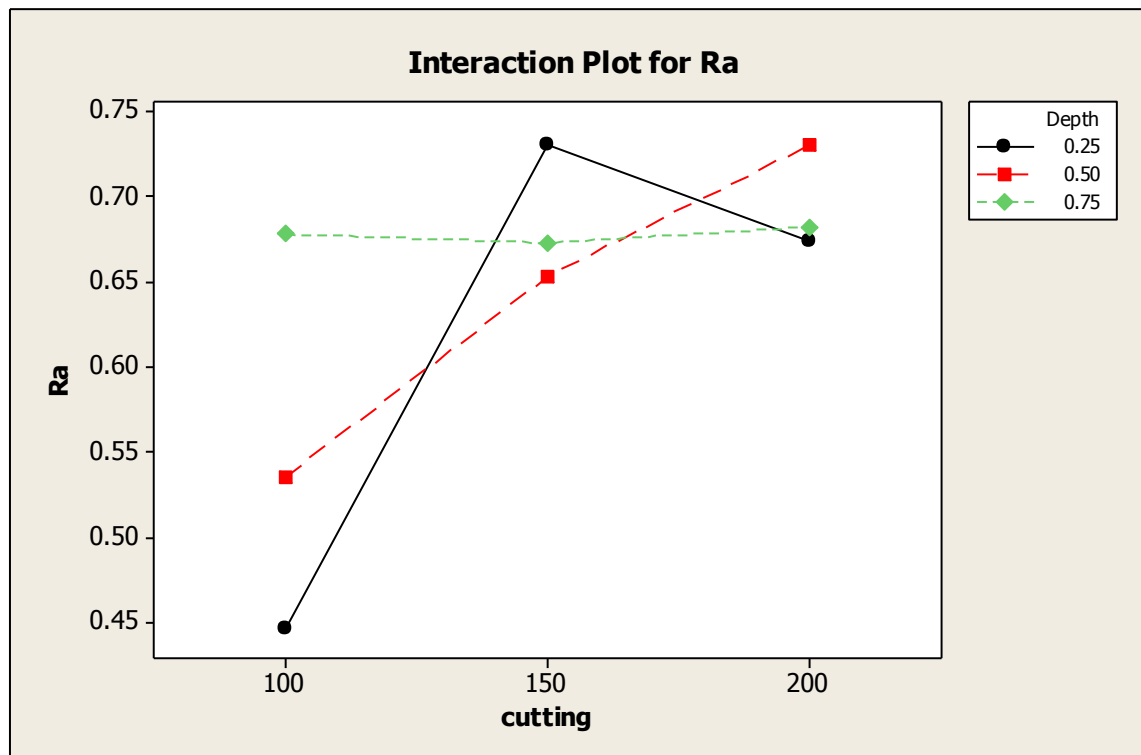
Dependent Variable: Ra

a R Squared = .364 (Adjusted R Squared = .242)

4.4 วิเคราะห์หาความแปรปรวนของปัจจัย

วิเคราะห์หาความแปรปรวนของปัจจัย ระยะป้อนลึก ความเร็วตัด และอัตราป้อน ต่อความเรียบของผิวงานกัด จากตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่า Sig. ที่ได้จากการวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูล นำผลที่ได้ทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ของระยะป้อนลึก ความเร็วตัด และอัตราป้อน พบว่าปัจจัยที่ศึกษามีปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่ส่งผลกระทบต่อความเรียบผิวคือ ความเร็วตัดมีค่า $F(2, 135) = 8.142$ และอัตราป้อนมีค่า $F(2, 135) = 15.707$ ส่งผลกระทบต่อความเรียบของผิวงานกัด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยปัจจัยร่วม(Interaction Effect) ที่ส่งผลกระทบต่อความเรียบผิวคือ ระยะป้อนลึก และ

ความเร็วตัดมีค่า $F=3.551$ ส่งผลกระทบต่อความเรียบของผิวงานกัด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ดังนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่ระดับของอัตราป้อน 0.15 มม./นาท พบว่าค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ดีที่สุด คือ การใช้ความเร็วตัดในการกัดที่ 100 ม./นาท และระยะป้อนลึกที่ระดับ 0.25 มม. ซึ่งมีค่าประมาณ $0.331 \mu\text{m}$ และ ค่าความเรียบผิว (Ra) ที่แย่ที่สุด คือ การใช้ความเร็วตัดในการกัดที่ 150 ม./นาท และระยะป้อนลึกที่ระดับ 0.25 มม. ซึ่งมีค่าประมาณ $0.732 \mu\text{m}$ ดังรายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 อิทธิพลร่วมของระยะป้อนลึกและความเร็วตัดต่อความเรียบผิว

ตารางที่ 4.5 ความแตกต่างความเร็วตัด ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวงานโดยวิธี LSD

Multiple Comparisons

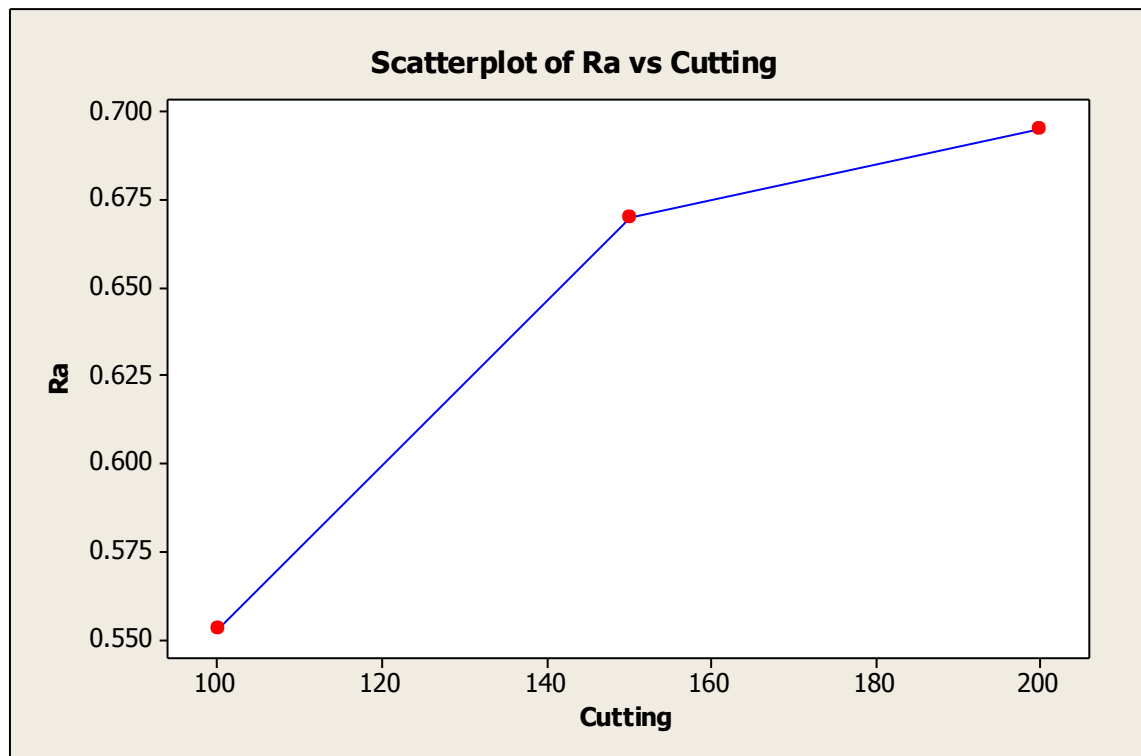
Dependent Variable: RA

LSD

(I) ความเร็ว ตัด	(J) ความเร็ว ตัด	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
100	150	-.11746(*)	.037717	.002	-.19206	-.04287
	200	-.14256(*)	.037717	.000	-.21715	-.06796
150	100	.11746(*)	.037717	.002	.04287	.19206
	200	-.02509	.037717	.507	-.09968	.04950
200	100	.14256(*)	.037717	.000	.06796	.21715
	150	.02509	.037717	.507	-.04950	.09968

Based on observed means.

* The mean difference is significant at the .05 level.



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความแตกต่างของความเร็วตัดต่อความเรียบผิว

จากตารางที่ 4.5 ความเร็วตัด มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน จากการทดสอบความแปรปรวนพบว่า มีค่าเฉลี่ยของระดับความเร็วตัด อย่างน้อยหนึ่งคู่ที่แตกต่างจากคู่อื่น ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ว่ามีคู่ใดบ้างที่ต่างกัน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ LSD (Least Significant Difference) ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของระดับความเร็วตัด พบว่าอัตราส่วนความเร็วตัด ที่ 100 ม./นาที่ คู่กับ 150 ม./นาที่ มีความแตกต่างต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .01 และอัตราส่วนความเร็วตัด ที่ 100 ม./นาที่ คู่กับ 200 ม./นาที่ มีความแตกต่างต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ.01

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่อัตราส่วนความเร็วตัด 100 ม./นาที่, 150 ม./นาที่, 200 ม./นาที่ พบว่าค่าความเรียบผิว (R_a) ที่ดีที่สุด คือ ความเร็วตัด 100 ม./นาที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.6 ความแตกต่างอัตราป้อน ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวงานโดยวิธี LSD

Multiple Comparisons

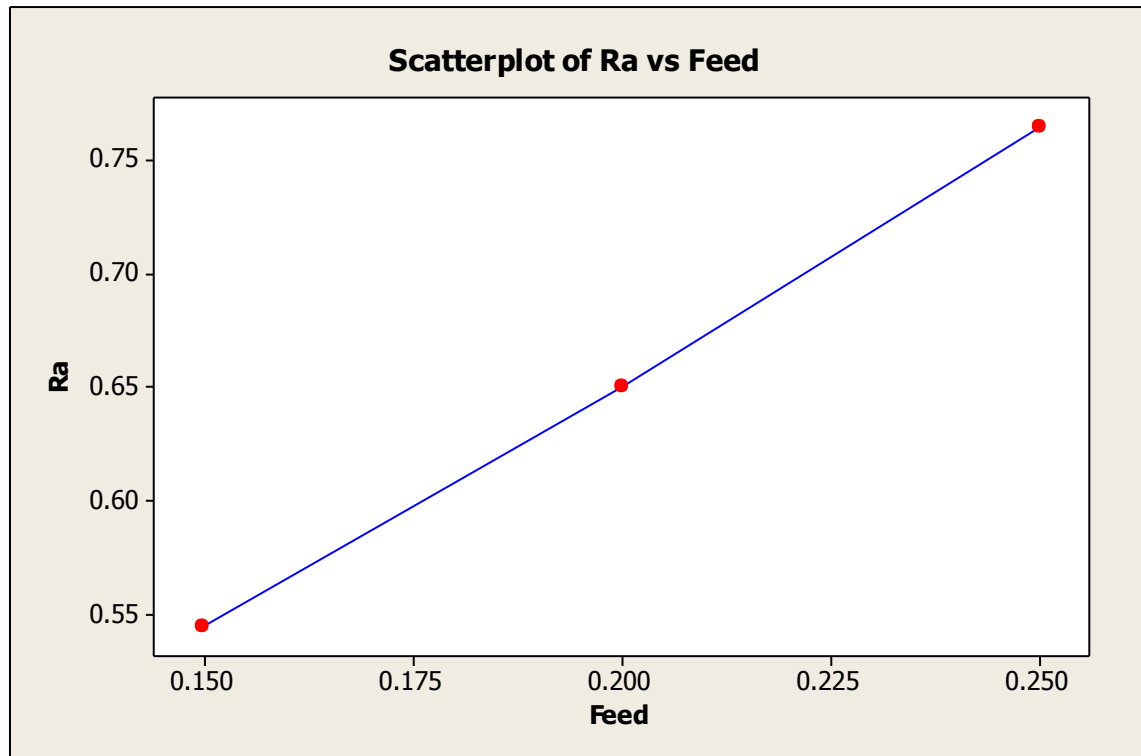
Dependent Variable: RA

LSD

(I) อัตรา ป้อน	(J) อัตรา ป้อน	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.15	.20	-.10752(*)	.037717	.005	-.18211	-.03293
	.25	-.21139(*)	.037717	.000	-.28598	-.13680
.20	.15	.10752(*)	.037717	.005	.03293	.18211
	.25	-.10387(*)	.037717	.007	-.17846	-.02928
.25	.15	.21139(*)	.037717	.000	.13680	.28598
	.20	.10387(*)	.037717	.007	.02928	.17846

Based on observed means.

* The mean difference is significant at the .05 level.



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟความแตกต่างของอัตราป้อนต่อความเรียบผิว

จากตารางที่ 4.6 อัตราป้อน มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน จากการทดสอบความแปรปรวนพบว่า มีค่าเฉลี่ยของระดับอัตราป้อน อย่างน้อยหนึ่งคู่ที่แตกต่างจากคู่อื่น ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาคู่ใดบ้างที่ต่างกัน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ LSD (Least Significant Difference) ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของระดับอัตราป้อนพบว่าอัตราป้อนทุกคู่ มีความแตกต่างต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .01

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดลองที่อัตราป้อนที่ 0.15 มม./ฟัน , 0.20 มม./ฟัน และ 0.25 มม./ฟัน พบว่าค่าความเรียบผิว (Ra) ที่ดีที่สุด คือ อัตราป้อนที่ 0.15 มม./ฟัน ดังรูปที่ 4.5

4.5 ผลการวิเคราะห์การถดถอย

การทดลองเพื่อศึกษาค่าความเรียบผิวของชิ้นงานในการกัดเหล็กเครื่องมือที่ผ่านการชุบแข็ง AISI P20 โดยกำหนดให้ค่าระยะป้อนลึก มี 3 ระดับคือ 0.25 , 0.50 และ 0.75 มิลลิเมตร ความเร็วตัด มี 3 ระดับคือ 100 , 150 และ 200 เมตร./นาที และอัตราป้อนคือ 0.15 , 0.20 , 0.25 มิลลิเมตร/ฟัน ในการพยากรณ์ค่าความเรียบของผิวงานพบว่า ปัจจัยหลัก คือ ความเร็วตัดและอัตราป้อนที่มีความสัมพันธ์กับความเรียบของผิวงานกัด ซึ่งสามารถพยากรณ์ค่าความเรียบของผิวงานกัดได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สมการถดถอยระหว่างอัตราป้อนกับความเรียบของผิวงานกัด

Regression Equation

$$Ra = 0.0031 + 2.11(\text{feed}) + 0.00143(\text{cutting})$$

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย	ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย มาตรฐาน	ค่า t	ระดับนัยสำคัญ
ความเร็วตัด	0.071	0.259	3.692*	.000
อัตราป้อน	0.106	0.385	5.474*	.000
ค่าคงที่	0.286	-	5.027*	.000

$R^2=0.215$, $SEE=0.200643$, $F= 21.800$, $R=0.464$

* มีนัยสำคัญที่ระดับ .01

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ตัวแปรอิสระที่ส่งผลได้แก่ อัตราป้อน อธิบายความแปรปรวนของความเรียบผิวได้ร้อยละ 21.5 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับความเรียบผิวพบว่า ความเร็วตัดและอัตราป้อนเป็นตัวทำนายความเรียบผิวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ได้สมการพยากรณ์ความเรียบผิว ดังนี้

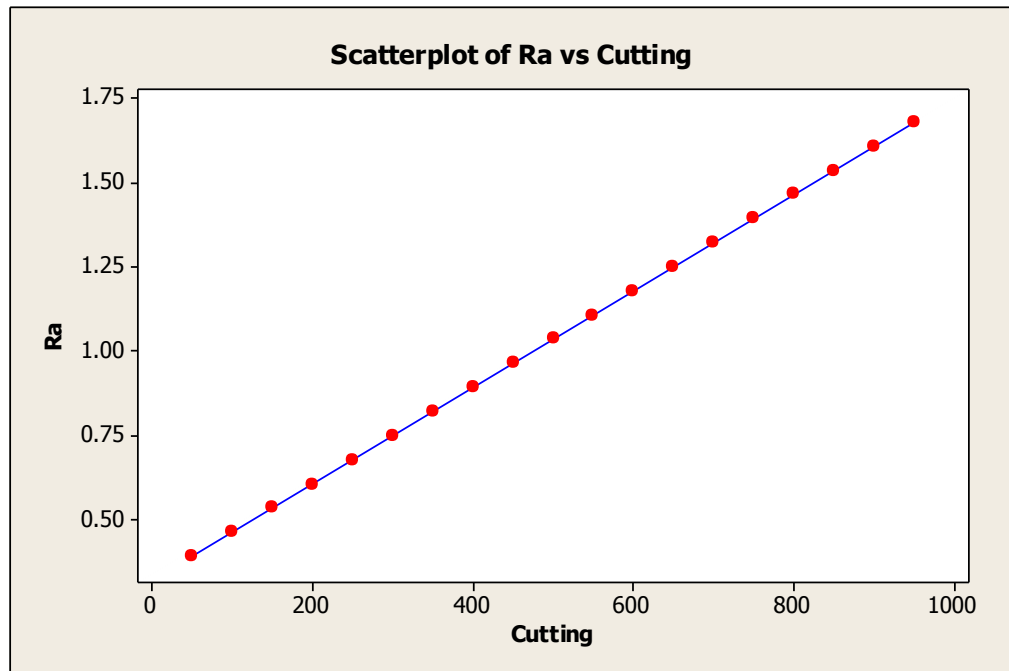
$$Ra = 0.0031 + 2.11(\text{feed}) + 0.00143(\text{cutting})$$

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าพยากรณ์ความเรียบผิวงานกัดที่ได้จากสมการถดถอย โดยกำหนดอัตราป้อนคงที่ 0.15 มิลลิเมตร/ฟัน

ความเร็วตัด (ม./นาท.)	ค่าความเรียบผิว จากการทดลอง	ค่าความเรียบผิว จากการพยากรณ์
50	-	0.3911
100	0.4550	0.4626
150	0.4863	0.5341
200	0.6135	0.6056
250	-	0.6771
300	-	0.7486

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงค่าพยากรณ์ความเรียบผิวงานกัดที่ได้จากสมการถดถอย โดยกำหนดอัตรา
ป้อนคงที่ 0.15 มิลลิเมตร/ฟัน

ความเร็วตัด (ม./นาที)	ค่าความเรียบผิว จากการทดลอง	ค่าความเรียบผิว จากการพยากรณ์
350	-	0.8201
400	-	0.8916
450	-	0.9631
500	-	1.0346
550	-	1.1061
600	-	1.1776
650	-	1.2491
700	-	1.3206
750	-	1.3921
800	-	1.4636
850	-	1.5351
900	-	1.6066
950	-	1.6781



รูปที่ 4.6 ค่าความเรียบของผิวงานกัดที่ได้จากการพยากรณ์

จากรูปที่ 4.6 เมื่อทำการพยากรณ์โดยกำหนดช่วงของความเร็วตัด คือถ้าทำการลดความเร็วตัดลง ผลการพยากรณ์ปรากฏว่า ค่าความเรียบผิวต่ำลง และเมื่อเพิ่มความเร็วตัด ค่าความเรียบผิวจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ