

บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิจัยการวิจัยครั้งนี้ เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (Experiments Research) ที่มุ่งจะศึกษาผลของพารามิเตอร์กระบวนการกัดต่อสมบัติเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 (Duplex stainless steel) โดยใช้ดอกกัด HSS กัดเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อนและระยะป้อนลึก เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ เครื่องกัด CNC เครื่องวัดค่าความขรุขระของพื้นผิว การวิจัยได้กำหนดตัวแปรในการทดลองคือ ตัวแปรต้นได้แก่ความเร็วรอบ อัตราป้อนและความลึกในการป้อน ส่วนตัวแปรตามได้แก่ ค่าความเรียบผิว (คุณภาพของผิวงาน) และการสึกหรอของดอกกัดโดยเปรียบเทียบกับคุณภาพของผิวงานที่ได้จากการเจียรนัย ($Ra = 0.1 - 1.6 \mu m$) กำหนดให้ความเร็วรอบ 3 ระดับ คือ 775 , 825, 875 อัตราป้อน (Feed Rate) 3 ระดับคือ 6.5 , 7 และ 7.5 มม./รอบ และความลึกในการป้อน (Depth of Cut) 3 ระดับคือ 0.1, 0.2 และ 0.3 มม. ชิ้นงานมีความกว้างขนาด 50 มม. ยาว 100 มม.หนา 10 มม. / ชิ้น ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผิวงานและความสึกหรอในการผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยใช้ Factorial Design แบบ 3 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ ANOVA และค่าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ระดับนัยสำคัญ 5% ($Q = 0.05$) ในการศึกษาได้ทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) รวมชิ้นงาน 6 ชิ้น จากนั้นจึงได้ทดลองกับชิ้นงานตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้จนครบ 54 ชิ้น แล้วนำไปวัดค่าความเรียบผิว (คุณภาพของผิวงาน) และการสึกหรอ เพื่อหาค่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปรแต่ละตัวและค่าอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรทั้งสามโดยได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลของการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

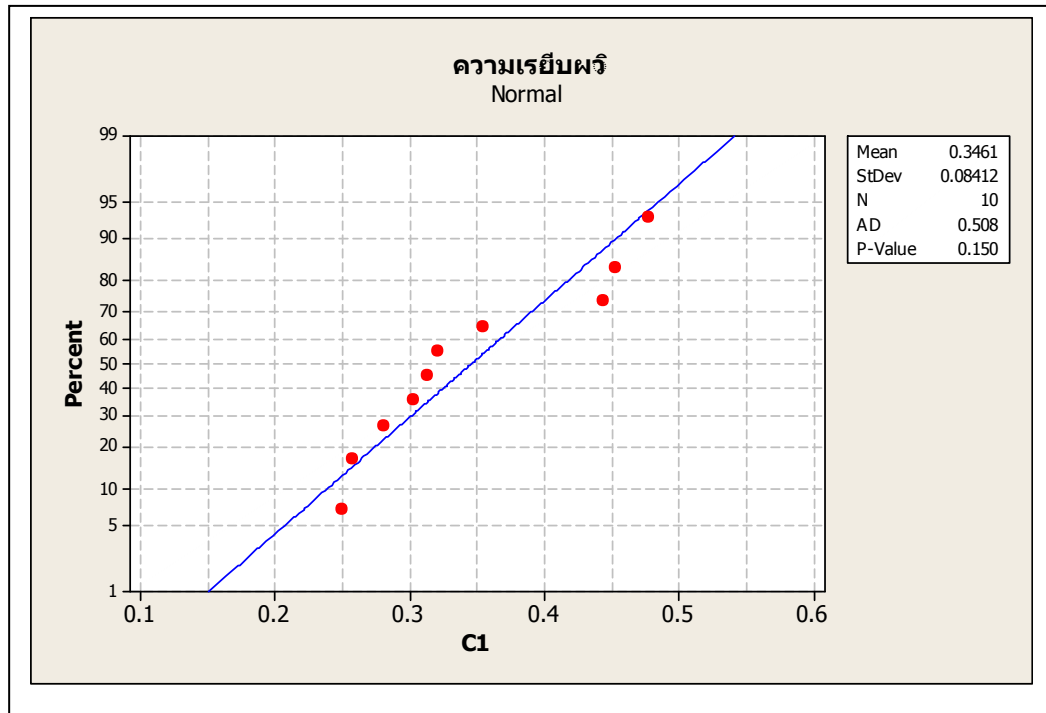
4.1.1 การดำเนินการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

เพื่อหาระดับของตัวแปรอิสระที่เหมาะสมกับการทดลอง ปัจจัยที่ศึกษาส่งผลกระทบต่อความเรียบผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 (Duplex stainless steel) ผลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ค่าความเรียบผิวที่ได้อยู่ในขอบเขตของผิวงานที่ได้จากการเจียรนัย ($Ra = 0.1 - 1.6 \mu m$) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเบื้องต้นความเรียบผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205
(Duplex stainless steel)

ความเร็ว รอบ ในการกัด (rpm/min)	ระยะป้อน ลึก (mm)	อัตราป้อน (mm/min)					
		6.5		7		7.5	
775	0.1	0.2498					
	0.2			0.4451			
	0.3					0.4551	
825	0.1	0.3207					
	0.2		0.4495			0.27639	
	0.3						
875	0.1	0.2775			0.3707		
	0.2						
	0.3		0.3873				0.3418

เมื่อได้ค่าความเรียบผิวที่วัดได้จากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้วยโปรแกรมทางสถิติ ค่าความเรียบของผิวงานทุกระดับของพารามิเตอร์การกัดมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value มากกว่า 0.05 คือ 0.150 ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟการทดสอบการแจกแจงปกติค่าความเรียบของผิวงานของการทดลองเบื้องต้น

4.1.2 การดำเนินการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

ปัจจัยที่ศึกษาส่งผลต่อการสึกหรอ ของ ดอกกัดเหล็กกล้ารอบสูง (High Speed Steel)

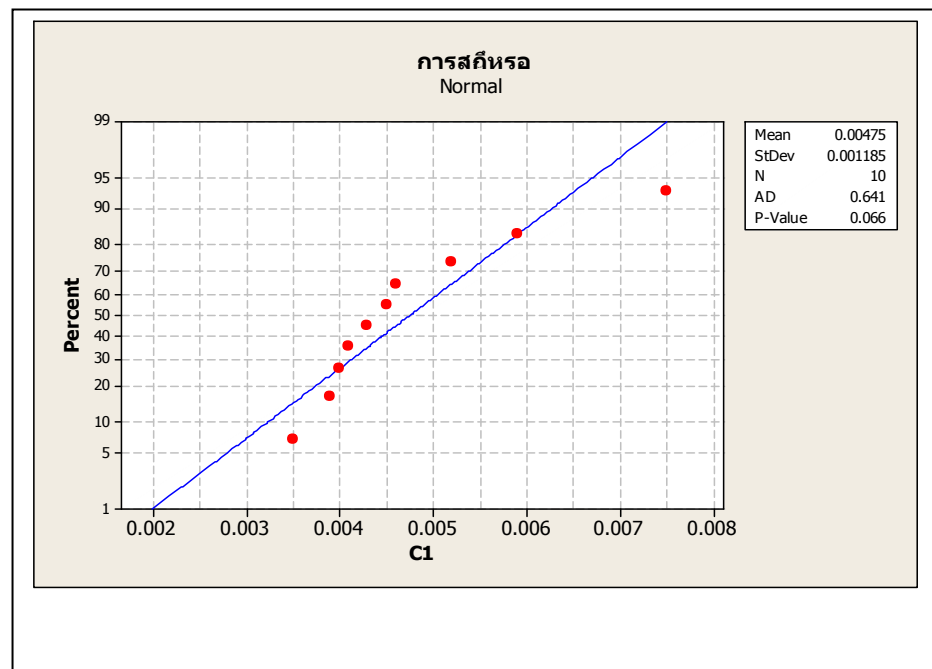
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเบื้องต้น การสึกหรอของดอกกัดเหล็กกล้ารอบสูง (High Speed Steel)

ความเร็ว รอบ ในการกัด (rpm/min)	ระยะ ป้อนลึก (mm)	อัตราป้อน (mm/min)					
		6.5		7		7.5	
775	0.1	0.0075					
	0.2			0.0052			
	0.3					0.0035	
825	0.1	0.0051					
	0.2		0.0075			0.0046	
	0.3						

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการทดลองเบื้องต้น การสึกหรอของดอกกัดเหล็กกล้ารอบสูง
(High Speed Steel)

ความเร็ว รอบ ในการกัด (rpm/min)	ระยะ ป้อนลึก (mm)	อัตราป้อน (mm/min)					
		6.5		7		7.5	
775	0.1	0.0075					
	0.2			0.0052			
	0.3					0.0035	
825	0.1	0.0051					
	0.2		0.0075			0.0046	
	0.3						
875	0.1	0.0035			0.0016		
	0.2						
	0.3		0.0059				0.0037

เมื่อได้ค่าการสึกหรอของดอกกัดที่วัดได้จากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอของดอกกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้วยโปรแกรมทางสถิติ ค่าการสึกหรอของดอกกัดของพารามิเตอร์การกัดมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value มากกว่า 0.05 คือ 0.066 ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟการทดสอบการแจกแจงปกติค่าการสึกหรอของการทดลองเบื้องต้น

4.2 ผลของการทดลอง

4.2.1 ผลการทดลองที่ได้จากการทดลอง

คือค่าความเรียบผิวที่วัดได้จากการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่ได้ ออกแบบไว้ ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ค่าความเรียบผิวที่ได้อยู่ในขอบเขตของผิวงานที่ได้จากการเจียรนัย ($R_a = 0.1 - 1.6 \mu\text{m}$) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

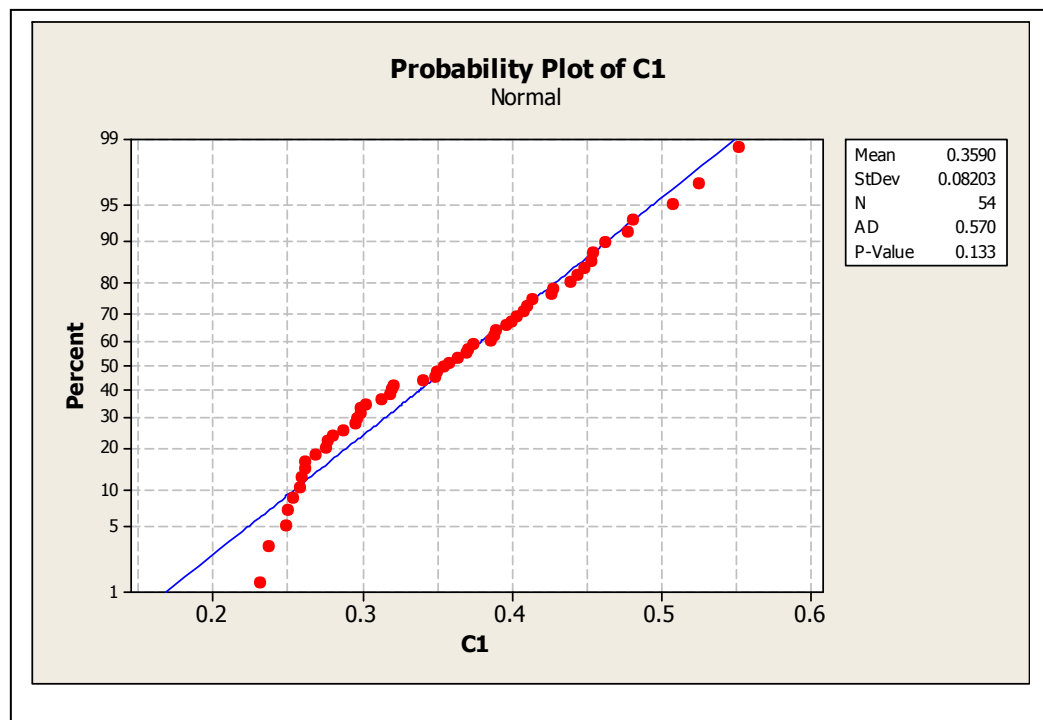
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองความเรียบผิวงานกัด (R_a) ที่วัดได้จากการทดลอง

ความเร็ว รอบ ในการกัด (rpm/min)	ระยะ ป้อนลึก (mm)	อัตราป้อน (mm/min)					
		6.5		7		7.5	
775	0.1	0.2498	0.4784	0.2586	0.3141	0.3552	0.2808
	0.2	0.3212	0.4540	0.4451	0.3030	0.2620	0.4640
	0.3	0.3891	0.3197	0.5261	0.4007	0.4551	0.2886

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ผลการทดลองความเรียบผิวงานกัด (Ra) ที่วัดได้จากการทดลอง

ความเร็ว รอบ ในการกัด (rpm/min)	ระยะ ป้อนลึก (mm)	อัตราป้อน (mm/min)					
		6.5		7		7.5	
825	0.1	0.3207	0.2542	0.2319	0.2375	0.3752	0.2597
	0.2	0.3718	0.4495	0.2509	0.2619	0.27639	0.4273
	0.3	0.4084	0.2997	0.4817	0.2974	0.5527	0.3508
875	0.1	0.2775	0.2997	0.2964	0.3707	0.3586	0.4285
	0.2	0.2697	0.5084	0.4152	0.4407	0.3974	0.4040
	0.3	0.4118	0.3873	0.3652	0.3907	0.3498	0.3418

เมื่อได้ค่าความเรียบผิวที่วัดได้จากการทดลอง แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้วยโปรแกรมทางสถิติ ค่าความเรียบของผิวงานทุกระดับของพารามิเตอร์การกัดมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value มากกว่า .05 คือ 0.133 ดังแสดงในรูปที่ 4.



รูปที่ 4.3 กราฟการทดสอบการแจกแจงปกติค่าความเรียบของผิวงานของการทดลอง

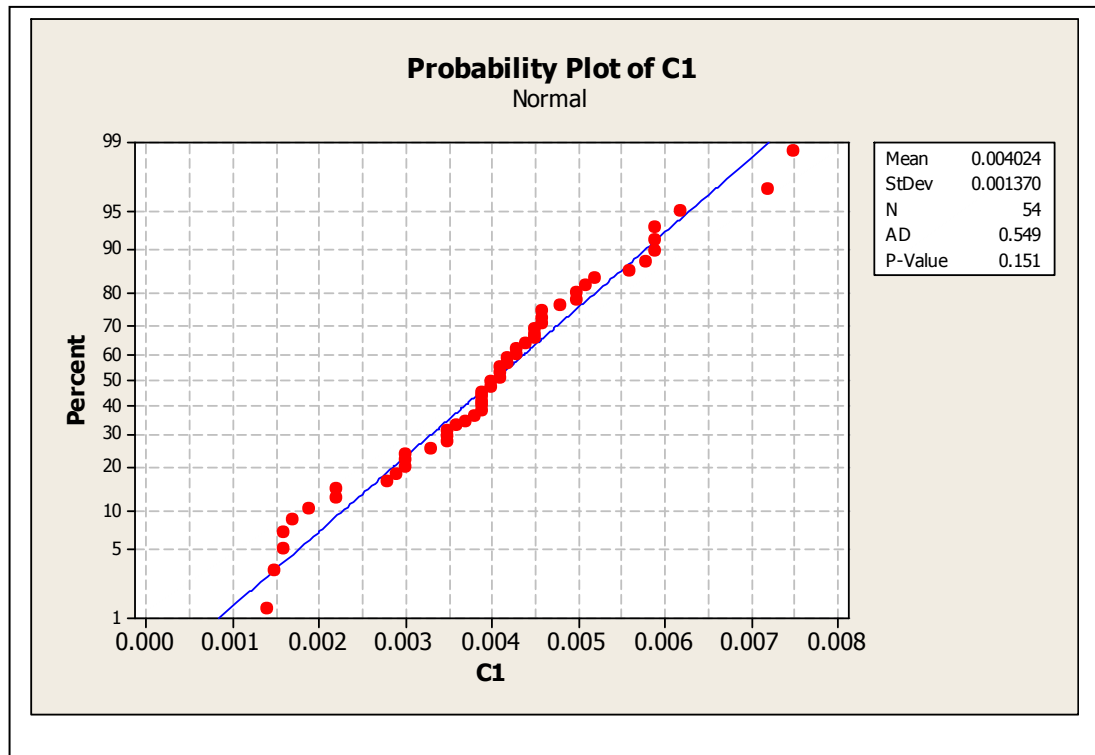
4.2.2 ผลการทดลองที่ได้จากการทดลอง

คือค่าการสึกหรอที่วัดได้จากการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่ได้ ออกแบบไว้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการสึกหรอของดอกกัด

ความเร็ว รอบ ในการกัด (rpm/min)	ระยะ ป้อนลึก (mm)	อัตราป้อน (mm/min)					
		6.5		7		7.5	
775	0.1	0.0075	0.0039	0.0041	0.0046	0.0059	0.0045
	0.2	0.0040	0.0043	0.0052	0.0035	0.0039	0.0035
	0.3	0.0030	0.0039	0.0016	0.0041	0.0035	0.0017
825	0.1	0.0051	0.0042	0.0030	0.0039	0.0050	0.0044
	0.2	0.0059	0.0075	0.0039	0.0041	0.0046	0.0059
	0.3	0.0045	0.0040	0.0043	0.0052	0.0035	0.0039
875	0.1	0.0035	0.0030	0.0039	0.0016	0.0041	0.0035
	0.2	0.0017	0.0051	0.0042	0.0030	0.0039	0.0050
	0.3	0.0044	0.0059	0.0041	0.0050	0.0043	0.0037

เมื่อได้ค่าการสึกหรอที่วัดได้จากการทดลอง แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้วยโปรแกรมทางสถิติ ค่าการสึกหรอทุกระดับของพารามิเตอร์การกัดมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value มากกว่า .05 คือ .151 ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟการทดสอบการแจกแจงปกติค่าการสึกหรอของการทดลอง

4.3 ผลการวิเคราะห์การทดลองทางสถิติ

ผู้วิจัยได้นำค่าความเรียบผิวของชิ้นทดลอง (R_a) ที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ด้วยเทคนิค ANOVA ทำการวิเคราะห์ของค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของงานกัด ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของงานกัด

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: ความเรียบผิว					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.161 ^a	26	.006	.857	.652
Intercept	6.961	1	6.961	961.650	.000
speed	.011	2	.006	.764	.475
depth	.058	2	.029	3.990	.030
feed	.003	2	.002	.222	.802
spee * depth	.015	4	.004	.529	.715
spee * feed	.021	4	.005	.717	.587
depth * feed	.018	4	.004	.605	.662
spee * depth * feed	.036	8	.004	.614	.758
Error	.195	27	.007		
Total	7.318	54			
Corrected Total	.357	53			

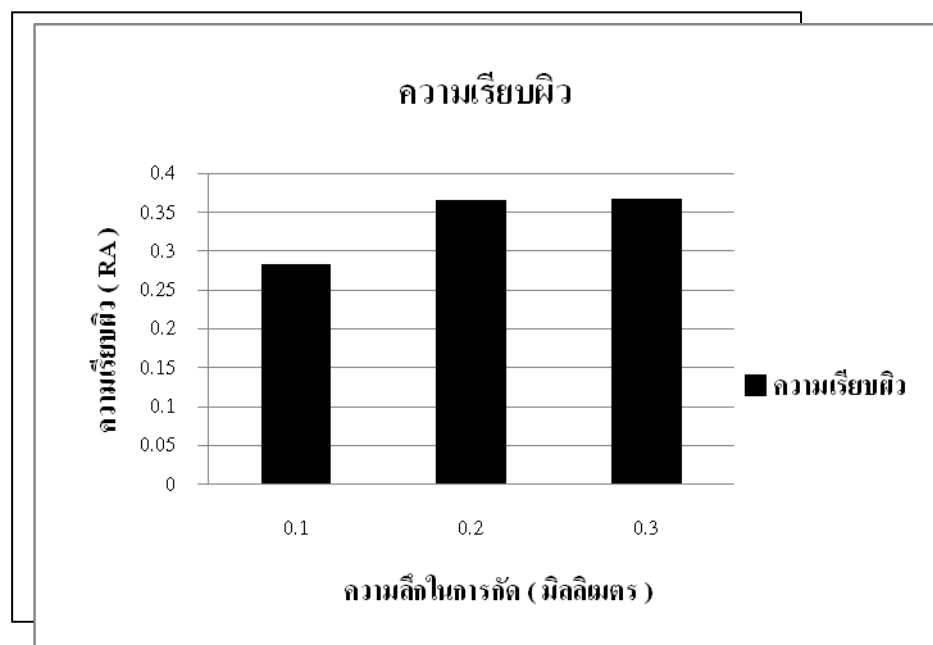
a. R Squared = .452 (Adjusted R Squared = -.076)

จากการศึกษา พบว่า อิทธิพลหลัก ด้านความลึกในการป้อนกัด ส่งผลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางวิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่โดยวิธี LSD ต่อความเรียบผิว

Multiple Comparisons						
ความเรียบผิว						
LSD						
(I) ความลึก ในการกัด	(J) ความ ลึกในการกัด	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0.1	0.2	-.059755 [*]	.0283605	.045	-.117946	-.001564
	0.3	-.076097 [*]	.0283605	.012	-.134288	-.017906
0.2	0.1	.059755 [*]	.0283605	.045	.001564	.117946
	0.3	-.016342	.0283605	.569	-.074533	.041849
0.3	0.1	.076097 [*]	.0283605	.012	.017906	.134288
	0.2	.016342	.0283605	.569	-.041849	.074533
Based on observed means.						
The error term is Mean Square(Error) = .007.						
0.2					0.569	
0.3						

* มีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความแตกต่างของระดับความลึก ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน

การวิเคราะห์ของระดับความลึก พบว่าความลึกในการปักใน ระดับ 0.1 มิลลิเมตรส่งผลต่อความเรียบผิวที่แตกต่างระหว่างความลึกในการปักในระดับ 0.2 และ 0.3 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่.05 ตามตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.4

4.3.2 ผู้วิจัยได้นำค่าการสึกหรอที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ด้วยเทคนิค ANOVA ทำการวิเคราะห์ของค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อการสึกหรอของดอกกัด ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อการสึกหรอของดอกกัด

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: wear					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.210E-5 ^a	26	1.619E-6	.763	.754
Intercept	.001	1	.001	411.784	.000
spee	6.459E-7	2	3.230E-7	.152	.860
depth	1.672E-5	2	8.361E-6	3.937	.032
feed	7.591E-6	2	3.796E-6	1.787	.187
spee * depth	5.059E-6	4	1.265E-6	.596	.669
spee * feed	2.316E-6	4	5.791E-7	.273	.893
depth * feed	4.056E-6	4	1.014E-6	.478	.752
spee * depth * feed	5.713E-6	8	7.141E-7	.336	.944
Error	5.734E-5	27	2.124E-6		
Total	.001	54			
Corrected Total	9.944E-5	53			

a. R Squared = .423 (Adjusted R Squared = -.132)

จากการศึกษาพบว่า อิทธิพลหลัก ด้านความลึกในการปัก ส่งผลต่อการสึกหรออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่ ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตารางวิเคราะห์ความแตกต่างรายคู่วิธี LSD ต่อการสึกหรอ

Multiple Comparisons						
wear						
LSD						
(I) ความสึก ในการกัด	(J) ความสึก ในการกัด	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0.1	0.2	.000617	.0004857	.215	-.000380	.001613
	0.3	.001361*	.0004857	.009	.000364	.002358
0.2	0.1	-.000617	.0004857	.215	-.001613	.000380
	0.3	.000744	.0004857	.137	-.000252	.001741
0.3	0.1	-.001361*	.0004857	.009	-.002358	-.000364
	0.2	-.000744	.0004857	.137	-.001741	.000252

Based on observed means.

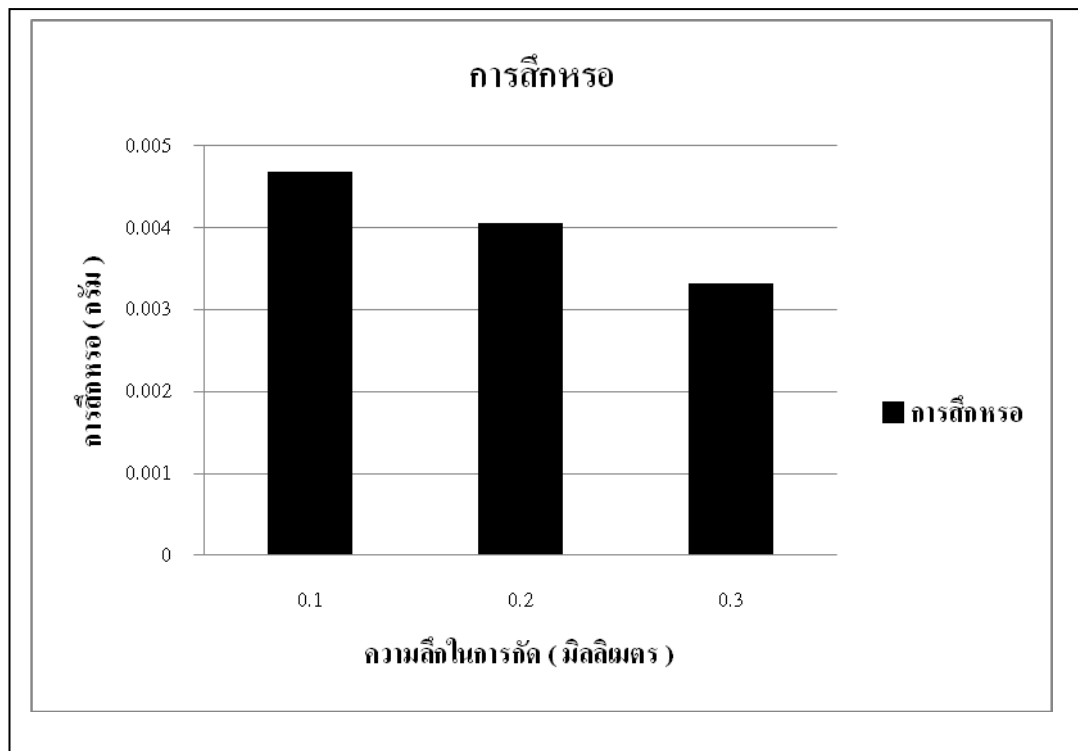
The error term is Mean Square(Error) = 2.12E-006.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 4.9 สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความสึกในการป้อนกัดที่ระดับต่างๆ

ความสึกในการ ป้อนกัดที่ระดับ	0.1	0.2	0.3
0.1		0.215	*
0.2			0.137
0.3			

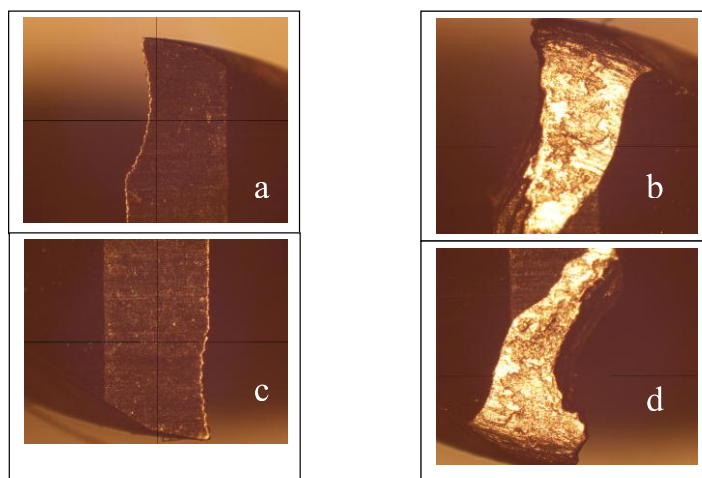
* มีนัยสำคัญที่ระดับ .05



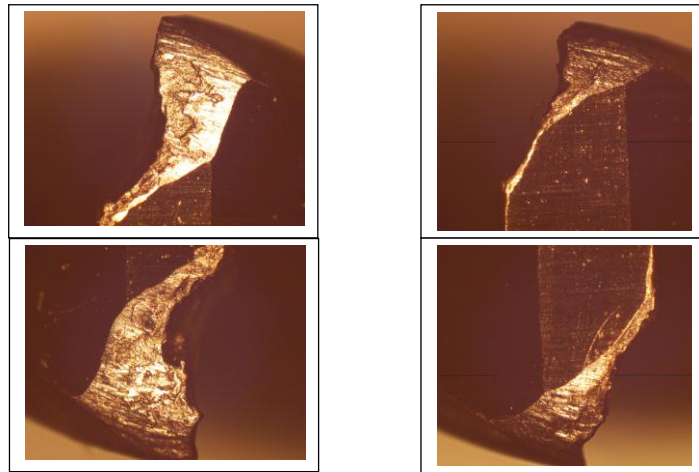
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความแตกต่างของระดับความลึก ที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอ

การวิเคราะห์ของระดับความลึกจากตารางที่ 4.6 พบว่าความลึกระดับ 0.1 มิลลิเมตรส่งผลต่อการสึกหรอที่แตกต่างระหว่างความลึก 0.3 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ตามตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.6

ผลการสึกหรอของดอกกัดเมื่อผ่านกระบวนการกัด



รูปที่ 4.7 แสดงการสึกหรอของดอกกัด



รูปที่ 4.7 (ต่อ) แสดงการสึกหรอของดอกกัด

- a. คมตัดที่ไม่มีการสึกหรอของดอกกัด เป็นดอกกัดที่ยังไม่ผ่านกระบวนการกัด
- b. การสึกหรอของคมตัดดอกกัดในระดับความลึกที่ 0.1 โดยมีค่าการสึกหรอเฉลี่ยที่ 0.0046 กรัม
- c. การสึกหรอของคมตัดดอกกัดในระดับความลึกที่ 0.2 โดยมีค่าการสึกหรอเฉลี่ยที่ 0.004 กรัม
- d. การสึกหรอของคมตัดดอกกัดในระดับความลึกที่ 0.3 โดยมีค่าการสึกหรอเฉลี่ยที่ 0.0033 กรัม