

บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิจัยการวิจัยครั้งนี้ เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (Experiments Research) ที่มุ่งจะศึกษาผลของพารามิเตอร์กระบวนการกัดต่อสมบัติ เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steels) AISI 316 โดยใช้ดอกกัด HSS กัด ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้แก่ความเร็วรอบ ความเร็วตัด และระยะป้อนลึก เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ เครื่องกัด CNC เครื่องวัดค่าความขรุขระของพื้นผิว การวิจัยได้กำหนดตัวแปรในการทดลองคือ ตัวแปรต้นได้แก่ความเร็วรอบ ความเร็วตัด และระยะป้อนลึก ส่วนตัวแปรตามได้แก่ ค่าความเรียบผิว (คุณภาพของผิวงาน) และการสึกหรอของดอกกัดโดยเปรียบเทียบกับคุณภาพของผิวงานที่ได้จากการเจียรนัย ($Ra = 0.1 - 1.6 \mu m$) กำหนดให้ โดยกำหนดให้ความเร็วรอบ (Speed) 3 ระดับ 700 , 750 และ 800 รอบต่อนาที อัตราป้อน (Feed Rate) 3 ระดับ คือ 120 , 130 และ 140 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะป้อนลึก (Depth of Cut) 3 ระดับคือ 0.7 , 0.8 และ 0.9 มิลลิเมตร ชิ้นงานมีขนาดความกว้าง 40 มิลลิเมตร ความยาว 100 มิลลิเมตร และความหนา 10 มิลลิเมตรจำนวน 54 ชิ้น ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผิวงานและความสึกหรอในการ ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยใช้ Factorial Design แบบ 3 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ ANOVA และค่าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ระดับนัยสำคัญ 5% ($Q = .05$) ในการศึกษาได้ทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) รวมชิ้นงาน 12 ชิ้น จากนั้นจึงได้ทดลองกับชิ้นงานตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้จนครบ 54 ชิ้น แล้วนำไปวัดค่าความเรียบผิว (คุณภาพของผิวงาน) และการสึกหรอ เพื่อหาค่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปรแต่ละตัวและค่าอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรทั้งสามโดยได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลของการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

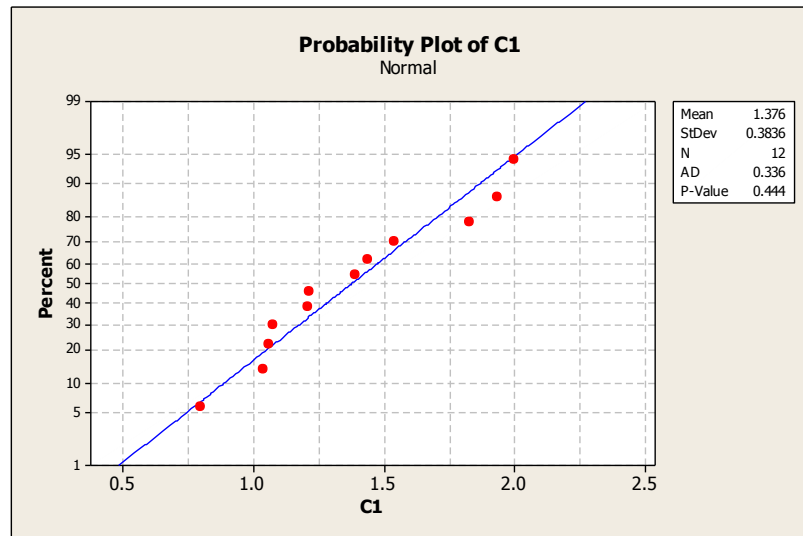
4.1.1 การดำเนินการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) เพื่อหาระดับของตัวแปรอิสระที่เหมาะสมกับการทดลอง ปัจจัยที่ศึกษาส่งผลต่อความเรียบผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steels) AISI 316 ผลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ค่าความเรียบผิวที่ได้อยู่ในขอบเขตของผิวงานที่ได้จากการเจียรนัย ($Ra = 0.1 - 1.6 \mu m$) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเบื้องต้นความเรียบผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steels) AISI 316

ความเร็ว รอบ ในการกัด (rpm)	ระยะป้อน ลึก (mm)	อัตราป้อน (mm/min)					
		120		130		140	
700	0.7	1.932					1.389
	0.8						
	0.9	1.215					0.799
750	0.7	1.436				1.537	
	0.8						
	0.9		1.076				1.208
800	0.7	1.059				1.827	
	0.8						
	0.9	1.038					1.996

เมื่อได้ค่าความเรียบผิวที่วัดได้จากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของความเร็วยรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้วยโปรแกรม Minitab ค่าความเรียบของผิวงานทุกระดับของพารามิเตอร์การกัดมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value มากกว่า .05 คือ 0.444 ดังแสดงในรูปที่

4.1



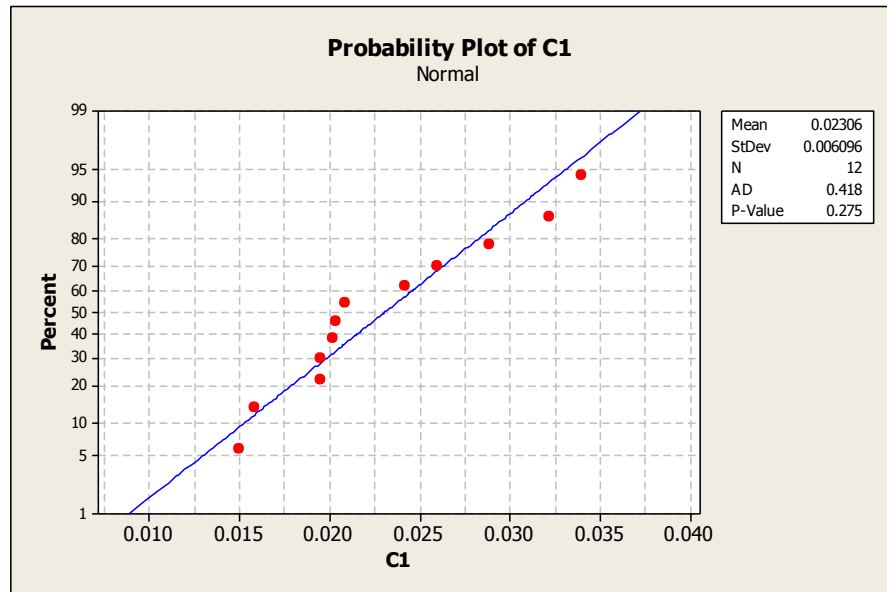
รูปที่ 4.1 กราฟการทดสอบการแจกแจงปกติค่าความเรียบของผิวงานของการทดลองเบื้องต้น

4.1.2 การดำเนินการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) ปัจจัยที่ศึกษาส่งผลต่อการสึกหรอ ของ ดอกกัด เหล็กความเร็วรอบสูง(High Speed Steel)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเบื้องต้น การสึกหรอของดอกกัดเหล็กความเร็วรอบสูง
(High Speed Steel)

ความเร็ว รอบ ในการกัด (rpm)	ระยะป้อน ลึก (mm)	อัตราป้อน (mm/min)					
		120		130		140	
700	0.7	0.0242					0.0322
	0.8						
	0.9	0.0150					0.0202
750	0.7	0.0195				0.0340	
	0.8						
	0.9		0.0209				0.0159
800	0.7	0.0260				0.0289	
	0.8						
	0.9	0.0204					0.0195

เมื่อได้ค่าการสึกหรอของดอกกัดที่วัดได้จากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอของดอกกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้วยโปรแกรม Minitab ค่าการสึกหรอของดอกกัดของพารามิเตอร์การกัดมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value มากกว่า .05 คือ 0.275 ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟการทดสอบการแจกแจงปกติค่าการสึกหรอของการทดลองเบื้องต้น

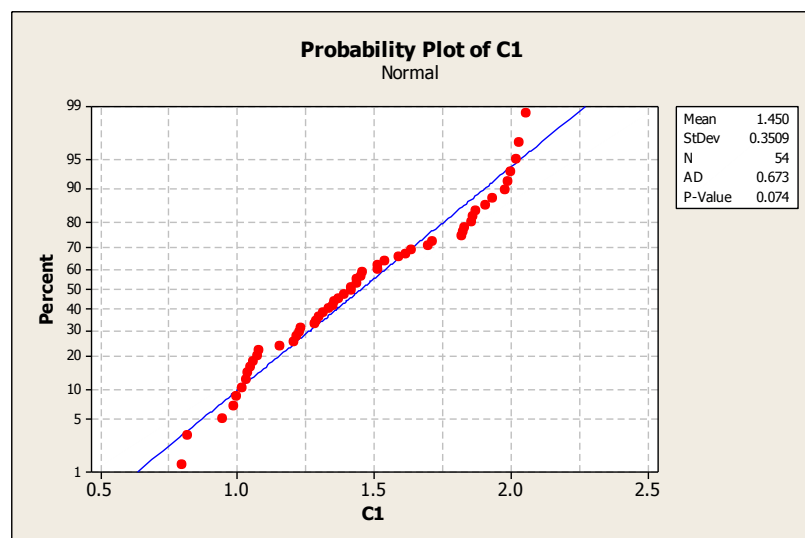
4.2 ผลของการทดลอง

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

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลค่าเฉลี่ยความเรียบผิวงานกัด (Ra) ที่วัดได้จากการทดลอง

ความเร็ว รอบ ในการกัด (rpm)	ระยะป้อน ลึก (mm)	อัตราป้อน (mm/min)					
		120		130		140	
700	0.7	1.932	1.852	1.591	1.415	1.458	1.389
	0.8	1.713	1.819	1.351	1.315	1.415	1.633
	0.9	1.215	1.857	0.997	1.031	0.821	0.799
750	0.7	1.436	1.513	1.371	1.357	1.537	1.436
	0.8	1.228	1.286	2.052	1.989	1.231	1.281
	0.9	1.018	1.076	0.989	1.049	1.156	1.208
800	0.7	1.059	1.078	1.336	1.298	1.827	1.979
	0.8	1.512	1.613	1.698	1.452	1.822	1.903
	0.9	1.038	0.946	2.029	1.868	2.019	1.996

เมื่อได้ค่าความเรียบผิวที่วัดได้จากการทดลอง แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของความเร็วนรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้วยโปรแกรม Minitab ค่าความเรียบของผิวงานทุกระดับของพารามิเตอร์การกัดมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value มากกว่า .05 คือ 0.074 ดังแสดงในรูปที่ 4.3



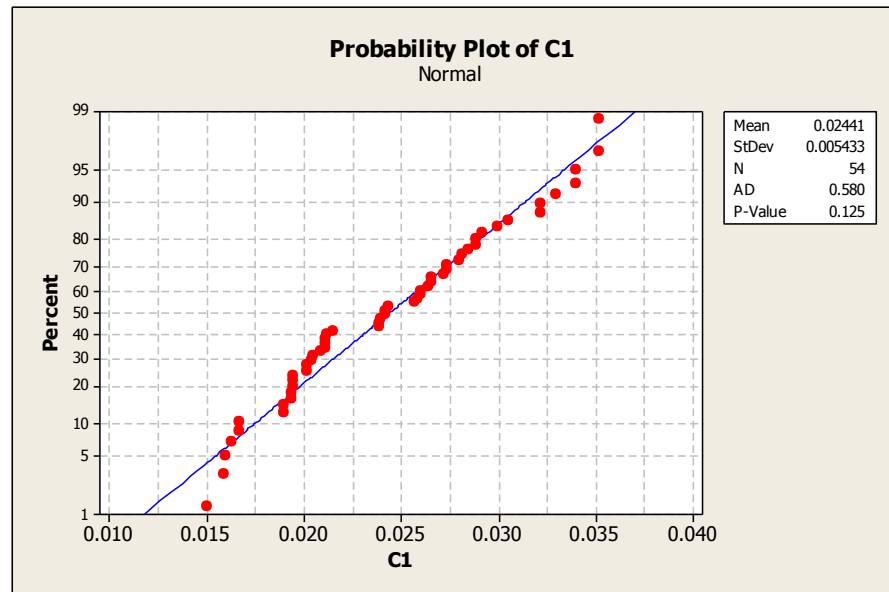
รูปที่ 4.3 กราฟการทดสอบการแจกแจงปกติค่าความเรียบของผิวงานของการทดลอง

4.2.2 ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองคือค่าการสึกหรอที่วัดได้จากการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองที่ได้ ออกแบบไว้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลการสึกหรอ ที่วัดได้จากการทดลอง

ความเร็วรอบในการกัด (rpm)	ระยะป้อนลึก (mm)	อัตราป้อน (mm/min)					
		120		130		140	
700	0.7	0.0242	0.0259	0.0266	0.0292	0.0330	0.0322
	0.8	0.0352	0.0340	0.0305	0.0285	0.0289	0.0274
	0.9	0.0150	0.0163	0.0282	0.0266	0.0211	0.0202
750	0.7	0.0195	0.0202	0.0239	0.0244	0.0340	0.0257
	0.8	0.0211	0.0190	0.0260	0.0274	0.0205	0.0211
	0.9	0.0212	0.0209	0.0194	0.0300	0.0167	0.0159
800	0.7	0.0260	0.0322	0.0240	0.0352	0.0289	0.0280
	0.8	0.0264	0.0215	0.0242	0.0239	0.0272	0.0195
	0.9	0.0204	0.0194	0.0160	0.0167	0.0190	0.0195

เมื่อได้ค่าการสึกหรอที่วัดได้จากการทดลอง แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของความเร็วรอบ ความเร็วตัด และระยะป้อนลึก ที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ด้วยโปรแกรมMinitab ค่าการสึกหรอทุกระดับของพารามิเตอร์การกัดมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value มากกว่า .05 คือ 0.125 ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟการทดสอบการแจกแจงปกติค่าการสึกหรอของการทดลอง

4.3 ผลการวิเคราะห์การทดลองทางสถิติ

4.3.1 ผู้วิจัยได้นำค่าความเรียบผิวของชิ้นทดลอง (R_a) ที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Spss) ด้วยเทคนิค ANOVA ทำการวิเคราะห์ของค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของงานกัด ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของงานกัด

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: R_a

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6.181 ^a	26	.238	18.635	.000
Intercept	113.503	1	113.503	8.897E3	.000
dept	.801	2	.400	31.373	.000
feed	.083	2	.041	3.244	.055

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของงานกัด

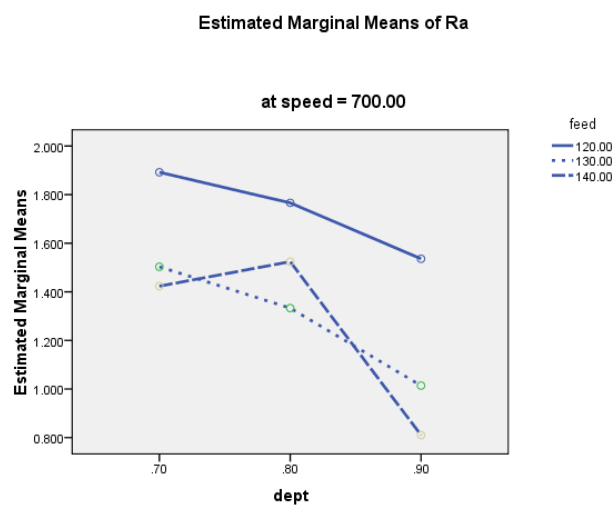
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Ra

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
speed	.524	2	.262	20.551	.000
dept * feed	.173	4	.043	3.386	.023
dept * speed	.880	4	.220	17.236	.000
feed * speed	2.471	4	.618	48.430	.000
dept * feed * speed	1.250	8	.156	12.245	.000
Error	.344	27	.013		
Total	120.029	54			
Corrected Total	6.526	53			

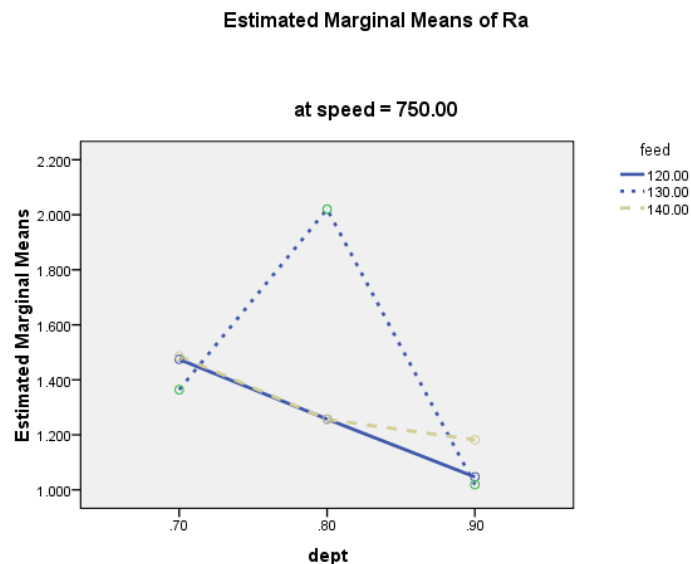
a. R Squared = .947 (Adjusted R Squared = .896)

จากการศึกษาพบว่าความเร็วรอบ อัตราป้อน ระยะป้อนลึก ส่งผลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01



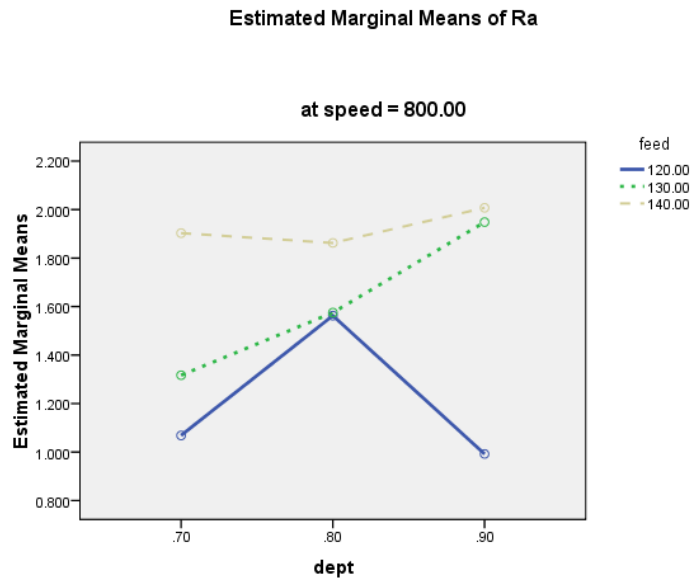
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อความเรียบในการใช้ความเร็วรอบที่ 700 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.5 ในการศึกษาพบว่า ระดับอัตราป้อนที่ 120 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที กับ ความลึกในการกัด 0.7 มิลลิเมตร จะส่งผลให้เกิดความเรียบผิวหยาบสูงสุด และ ใช้ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที อัตราป้อน 140 มิลลิเมตรต่อนาที กับ ความลึกในการกัด 0.9 มิลลิเมตรจะส่งผลให้เกิดความเรียบผิวหยาบต่ำสุด



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อความเรียบในการใช้ความเร็วรอบที่ 750 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.6 ในการศึกษาพบว่า ระดับอัตราป้อนที่ 130 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาาที กับ ความลึกในการกัด 0.8 มิลลิเมตร จะส่งผลให้เกิดความเรียบผิวหยาบสูงสุด และ ใช้อัตราป้อนที่ 130 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที กับ ความลึกในการกัด 0.9 มิลลิเมตร จะส่งผลให้เกิดความเรียบผิวหยาบต่ำสุด



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อความเรียบในการใช้ความเร็วรอบที่ 800 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.7 ในการศึกษาพบว่า ระดับอัตราป้อนที่ 140 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที กับ ความลึกในการกัด 0.9 มิลลิเมตร จะส่งผลให้เกิดความเรียบผิวหยาบสูงสุด และ ใช้อัตราป้อนที่ 120 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที กับ ความลึกในการกัด 0.9 มิลลิเมตร จะส่งผลให้เกิดความเรียบผิวหยาบต่ำสุด

4.3.1 ผู้วิจัยได้นำค่าการสึกหรอของดอกกัด ที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Spss) ด้วยเทคนิค ANOVA ทำการวิเคราะห์ของค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อการสึกหรอดอกกัดของงานกัด ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อการสึกหรอของดอกกัด

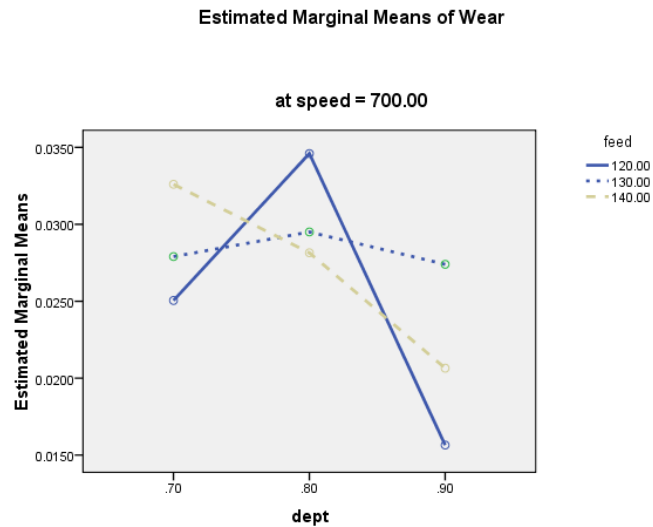
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Wear

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	26	5.129E-5	5.991	.000
Intercept	.032	1	.032	3.757E3	.000
dept	.001	2	.000	30.245	.000
feed	4.972E-5	2	2.486E-5	2.904	.072
speed	.000	2	8.575E-5	10.016	.001
dept * feed	.000	4	3.346E-5	3.908	.012
dept * speed	.000	4	3.993E-5	4.664	.005
feed * speed	5.596E-5	4	1.399E-5	1.634	.195
dept * feed * speed	.000	8	3.061E-5	3.576	.006
Error	.000	27	8.561E-6		
Total	.034	54			
Corrected Total	.002	53			

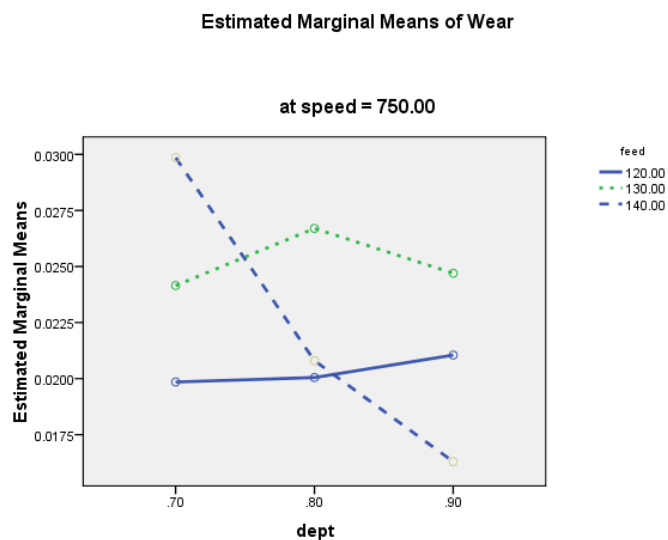
a. R Squared = .852 (Adjusted R Squared = .710)

จากการศึกษาพบว่าความลึก ความเร็วรอบ ในการป้อนกัด ส่งผลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ดังตารางที่ 4.6



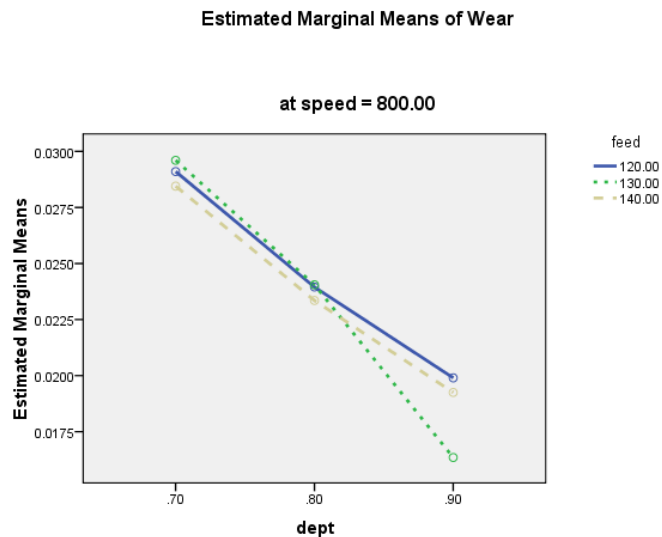
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อการสึกหรอของดอกกัดในการใช้ความเร็วรอบ 700 รอบ/นาที

จากรูปที่ 4.8 ในการศึกษาพบว่า ระดับอัตราป้อนที่ 120 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที กับ ความลึกในการกัด 0.8 มิลลิเมตรจะส่งผลให้เกิดการสึกหรอของดอกกัดสูงสุด และ ใช้อัตราป้อนที่ 120 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที กับ ความลึกในการกัด 0.9 มิลลิเมตรจะส่งผลให้เกิดการสึกหรอของดอกกัด ต่ำสุด



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อการสึกหรอของดอกกัดในการใช้ความเร็วรอบ 750 รอบ/นาที

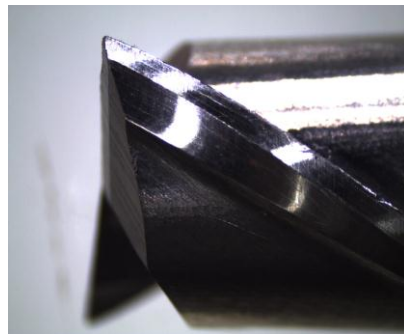
จากรูปที่ 4.9 ในการศึกษาพบว่า ระดับอัตราป้อนที่ 140 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ความเร็วรอบ 750 รอบต่อนาที กับ ความลึกในการกัด 0.7 มิลลิเมตร จะส่งผลให้เกิดการสึกหรอของดอกกัดสูงสุด และ ใช้ อัตราป้อนที่ 120 มิลลิเมตรต่อนาที ความเร็วรอบ 750 รอบ/ต่อนาที กับ ความลึกในการกัด 0.9 มิลลิเมตร จะส่งผลให้เกิดการสึกหรอของดอกกัดต่ำสุด



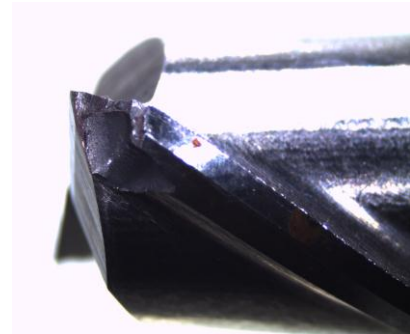
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อการสึกหรอของดอกกัดในการใช้ความเร็วรอบ 800 รอบ/นาที

จากรูปที่ 4.10 ในการศึกษาพบว่า ระดับอัตราป้อนที่ 130 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที กับ ความลึกในการกัด 0.7 มิลลิเมตร จะส่งผลให้เกิดการสึกหรอของดอกกัดสูงสุด และ อัตราป้อนที่ 130 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที กับ ความลึกในการกัด 0.9 มิลลิเมตร จะส่งผลให้เกิดการสึกหรอของดอกกัดต่ำสุด

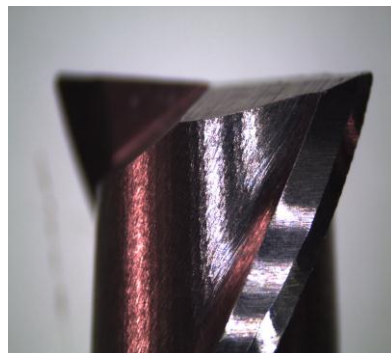
4.4 การตรวจสอบผลการสึกหรอมหาภาพของดอกกัด HSS ชนิด 2 คมตัด ด้วย กล้องจุลทรรศน์ (Stereo Microscope) กำลังขยาย 10 เท่า หรือ 190 Pixels



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.11 รูปถ่ายการสึกหรอของดอกกัด HSS ชนิด 2 คมตัด

(ก) ภาพดอกกัดก่อนการทดลอง

(ข) ภาพการสึกหรอของดอกกัดที่ปลายมีด ระยะป้อนลึก 0.7 มม.ค่าการสึกหรอเฉลี่ยที่ 0.0274 กรัม

(ค) ภาพดอกกัดก่อนการทดลอง

- (ง) ภาพการสีกรของดอกกัคที่ฝิวหลบ ระยะป้อนลึก 0.8 มม. ค่าการสีกรเฉลี่ยที่ 0.0257 กรัม
- (จ) ภาพดอกกัคก่อนการทดลอง
- (ฉ) ภาพการสีกรของดอกกัคที่ฝิวหลบ ระยะป้อนลึก 0.9 มม. ค่าการสีกรเฉลี่ยที่ 0.0201 กรัม