

บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการกัดเหล็กกล้า AISI 1045 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เครื่องกัด CNC วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ซึ่งมีค่าความแข็งระหว่าง 25- 30 HRC มีกัณฑ์อินเสิร์ตคาร์ไบด์ เครื่องทดสอบหาค่าความแข็ง เครื่องวัดหาค่าความขรุขระของพื้นผิว การวิจัยได้กำหนดตัวแปรในการทดลองคือ ตัวแปรต้นได้แก่สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อน (Heat treatment) ความเร็วตัด (Cutting) และอัตราป้อน (Feed Rate) โดยกำหนดความลึกในการป้อนเท่ากันที่ 0.5 มิลลิเมตร ส่วนตัวแปรตามได้แก่ ค่าความเรียบผิว (คุณภาพของผิวงาน) โดยเปรียบเทียบกับคุณภาพของผิวงานที่ได้จากการเจียรนัย ($R_a = 0.1 - 1.6 \mu m$) กำหนดให้สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อน 3 ระดับ คือ สภาพชิ้นงานปกติ ผ่านการอบอ่อน ผ่านการอบปกติ ความเร็วตัด 3 ระดับ คือ 380 , 420 , 460 ม./ นาที อัตราป้อน (Feed Rate) 3 ระดับคือ 100 , 140 และ 180 มม./นาที ชิ้นงานมีขนาดกว้าง 30 มม. หนา 25 มม. ยาว 100 มม. / ชิ้น ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผิวงานในการกัดเหล็กกล้า AISI 1045 ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยใช้ Factorial Design (3^3) ค่า สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ F – ratio และค่าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ในการศึกษาได้ทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) รวมชิ้นงาน 12 ชิ้น จากนั้นจึงได้ทดลองกับชิ้นงานตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้จนครบ 54 ชิ้น แล้วนำไปวัดค่าความเรียบผิว (คุณภาพของผิวงาน) เพื่อหาค่าอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของตัวแปรแต่ละตัวและค่าอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรทั้งสามโดยได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลของการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

การศึกษาดำเนินการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) เพื่อหาระดับของตัวแปรอิสระที่เหมาะสมกับการทดลองโดยกำหนดค่าระยะป้อนลึก (Deep Cut) 0.5 มิลลิเมตรเท่ากันทุกชิ้น ผลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า ค่าความเรียบผิวที่ได้อยู่ในขอบเขตของผิวงานที่ได้จากการเจียรนัย ($R_a = 0.1 - 1.6 \mu m$) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

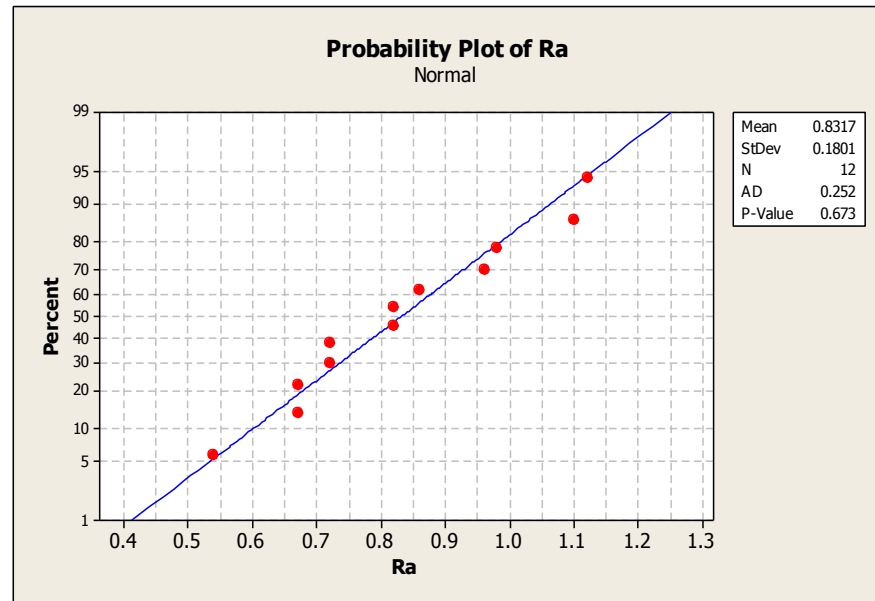
การทดลองเบื้องต้น ได้วางแผนการทดลองเบื้องต้นโดยกำหนดให้

1. ความแข็งวัสดุ 3 ระดับ สภาพปกติ อบอ่อน (Annealing) และ อบปกติ (Normalizing)
2. ความเร็วตัด 2 ระดับ ได้แก่ 380 และ 460 เมตรต่อนาที
3. อัตราป้อน 2 ระดับ ได้แก่ 100 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที

ตารางที่ 4.1 ค่าความเรียบผิวงานกลึง (μm) ที่วัดได้จากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

Heat Treatment of steels	ความเร็วตัด (ม./นาที)	อัตราป้อน(มม./นาที)					
		100		140		180	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Normal (สภาพปกติ)	380	0.86				1.12	
	420						
	460	0.72				0.96	
Annealing	380	0.67				0.82	
	420						
	460	0.54				0.72	
Normalizing	380	0.98				1.10	
	420						
	460	0.67				0.82	

เมื่อได้ค่าความเรียบผิวที่วัดได้จากการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของ สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อน ความเร็วตัด และอัตราป้อน ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ด้วยโปรแกรม Minitab ค่าความเรียบของผิวงานทุกระดับของพารามิเตอร์การกัดปาดผิวมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value มากกว่า .05 คือ .673 ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทดสอบการแจกแจงปกติของการทดลองเบื้องต้น

4.2 ผลของการทดลอง

จากผลการทดลองเบื้องต้น จึงได้กำหนดค่าตัวแปรในการทดลองจริง โดยกำหนดค่าระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร และตัวแปรอื่นๆดังนี้

1. ความแข็งวัสดุ 3 ระดับ สภาพปกติ ออบอ่อน (Annealing) และ ออบปกติ (Normalizing)
2. ความเร็วตัด 3 ระดับ ได้แก่ 380, 420 และ 460 เมตรต่อนาที
3. อัตราป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 100, 140 และ 180 มิลลิเมตรต่อนาที

ค่าความเรียบผิวที่ได้อยู่ในขอบเขตของผิวงานที่ได้จากการเจียรนัย ($Ra = 0.1 - 1.6 \mu m$) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลค่าเฉลี่ยความเรียบผิวงานกัด (μm) ที่วัดได้จากการทดลอง

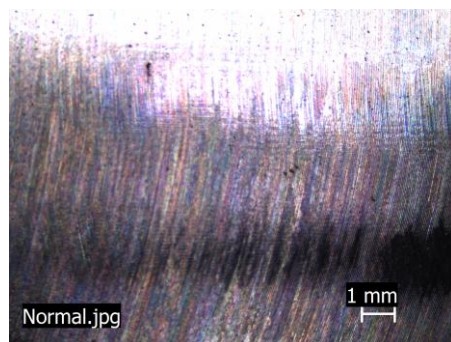
Heat Treatment of steels	ความเร็วตัด (ม./นาที)	อัตราป้อน(มม./นาที)					
		100		140		180	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Normal (สภาพปกติ)	380	0.86	0.48	0.57	0.61	1.12	0.82
	420	0.54	0.48	0.63	0.81	0.76	0.62
	460	0.72	0.68	0.59	0.78	0.66	0.71

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ข้อมูลค่าเฉลี่ยความเรียบผิวงานกัด (μm) ที่วัดได้จากการทดลอง

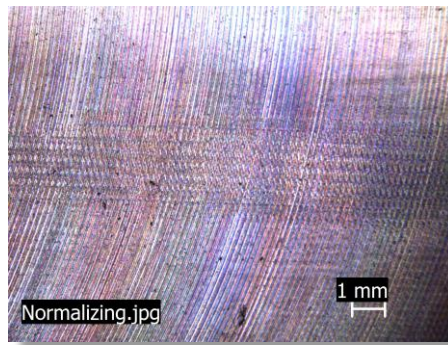
Heat Treatment of steels	ความเร็วตัด (ม./นาที่)	อัตราป้อน(มม./นาที่)					
		100		140		180	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Annealing	380	1.02	0.98	0.87	0.55	0.95	0.82
	420	0.64	0.43	0.51	0.38	0.47	0.41
	460	0.54	0.93	1.10	1.02	0.76	0.57
Normalizing	380	0.98	1.10	0.86	0.94	1.21	0.98
	420	0.41	0.38	0.55	0.64	0.72	0.56
	460	0.67	0.98	0.72	0.86	0.58	0.67



(ก) ความเรียบผิวงานละเอียดที่สุด = $0.38 \mu\text{m}$ ใช้ $V_c = 420$ ม./นาที่ และ $F = 140$ มม./นาที่
ชิ้นงานอบอ่อน (Annealing)



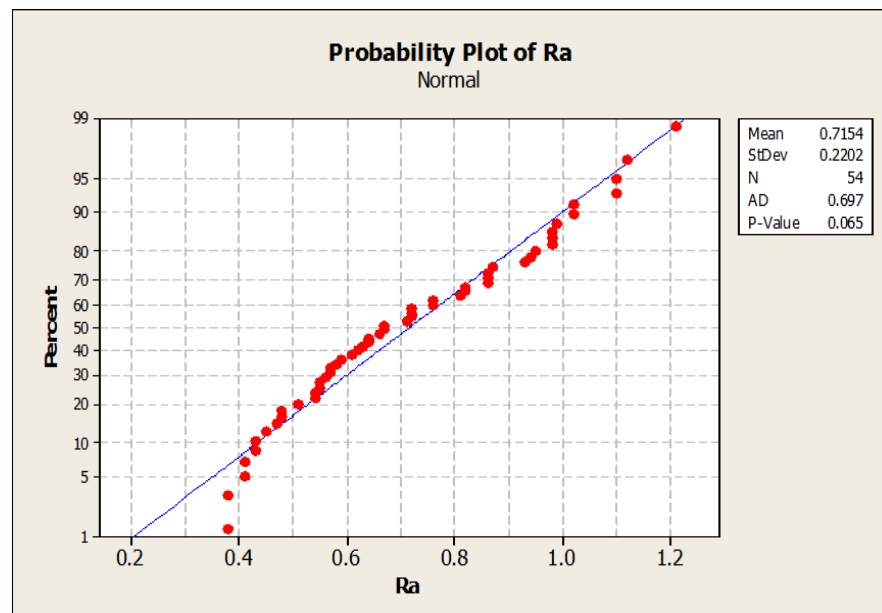
(ข) ความเรียบผิวงานละเอียดปานกลาง = $0.78 \mu\text{m}$ ใช้ $V_c = 460$ ม./นาที่ และ $F = 140$ มม./นาที่
ชิ้นงานสภาพปกติ (Normal)



(ค) ความเรียบผิวงานหยาบที่สุด = $1.21 \mu\text{m}$ ใช้ $V_c = 460$ ม./นาที่ และ $F = 180$ มม./นาที่
 ชิ้นงานอบปกติ(Normalizing)

รูปที่ 4.2 ความเรียบผิวงาน

เมื่อได้ค่าความเรียบผิวที่วัดได้จากการทดลอง แล้วนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงข้อมูลของสภาพความ
 แข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อน ความเร็วตัด และอัตราป้อน ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิว
 งาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ด้วยโปรแกรม Minitab ค่าความเรียบของผิวงานทุกระดับ
 ของพารามิเตอร์การกัดผิวมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่า P-Value มากกว่า .05 คือ .065 ดังแสดงใน
 รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.3 การทดสอบการแจกแจงปกติของการทดลอง

4.3 ผลการวิเคราะห์การทดลองทางสถิติ

ผู้วิจัยได้นำค่าความเรียบผิวของชิ้นทดลอง (R_a) ที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Spss) ด้วยเทคนิค ANOVA ทำการวิเคราะห์ที่นัยสำคัญ $\alpha = .05$ มีเกณฑ์ตัดสินใจคือ ถ้าค่า F - ratio มีค่ามากกว่า F_{α, v_1, v_2} จะปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นทดลอง ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.3 [22]

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวของงานกัด

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: R_a					
แหล่งความแปรปรวน	ผลรวม กำลังสอง (SS)	องศาความ เป็นอิสระ (df)	ค่าเฉลี่ย กำลังสอง (MS)	F	Sig.
Corrected Model	2.061(a)	26	.079	4.212	.000
Intercept	27.635	1	27.635	1468.343	.000
Heat treatment	.107	2	.054	2.847	.076
ความเร็วตัด	.929	2	.464	24.674	.000
อัตราป้อน	.014	2	.007	.361	.700
Heat treatment * ความเร็วตัด	.355	4	.089	4.710	.005
Heat treatment * อัตราป้อน	.154	4	.038	2.042	.117
ความเร็วตัด * อัตราป้อน	.268	4	.067	3.559	.019
Heat treatment * ความเร็วตัด * อัตราป้อน	.235	8	.029	1.563	.183
Error	.508	27	.019		
Total	30.204	54			
Corrected Total	2.569	53			

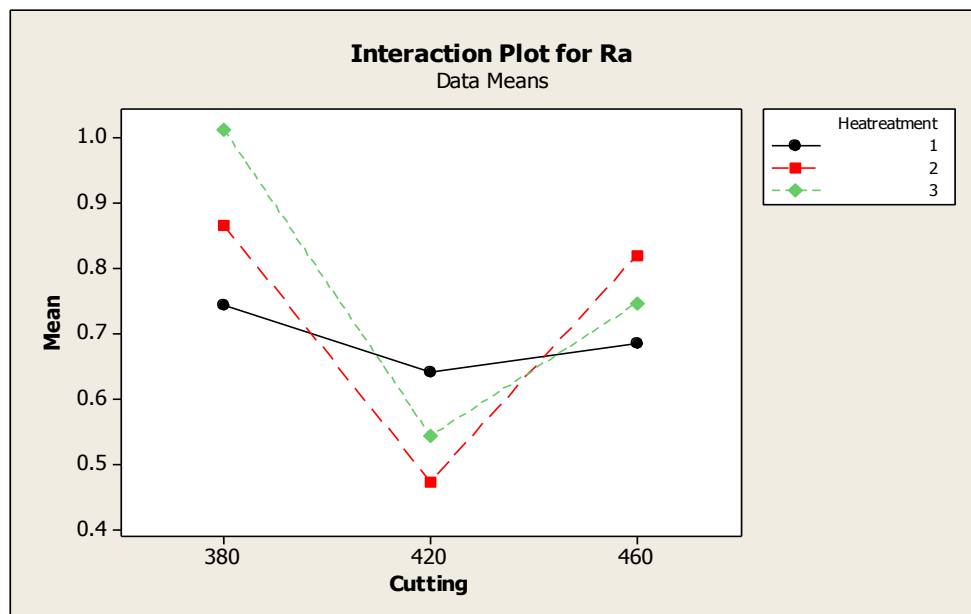
a R Squared = .802 (Adjusted R Squared = .612)

จากตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่า Sig. ที่ได้จากการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูล นำผลที่ได้ทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ของสภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อน ความเร็วตัด และอัตราป้อนพบว่าตัวแปรที่เป็นอิทธิพลหลัก (Main Effect) ส่งผลกระทบต่อความเรียบของผิวงานคือ ความเร็วตัด

มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงานอย่างมีนัยสำคัญที่ (α) .01 ตัวแปรที่เป็นอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ที่ส่งผลกระทบต่อความเรียบของผิวงาน คือสภาพความแข็งชิ้นงานมีความสัมพันธ์กับความเร็วตัด มีค่า $F(4, 27) = 4.710$ มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงานอย่างมีนัยสำคัญที่ (α) .01 และความเร็วตัดมีความสัมพันธ์กับอัตราป้อน ตัด มีค่า $F(4, 27) = 3.559$ มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงานอย่างมีนัยสำคัญที่ (α) .05 โดยที่ตัวแปรอื่นๆ ไม่มีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงาน

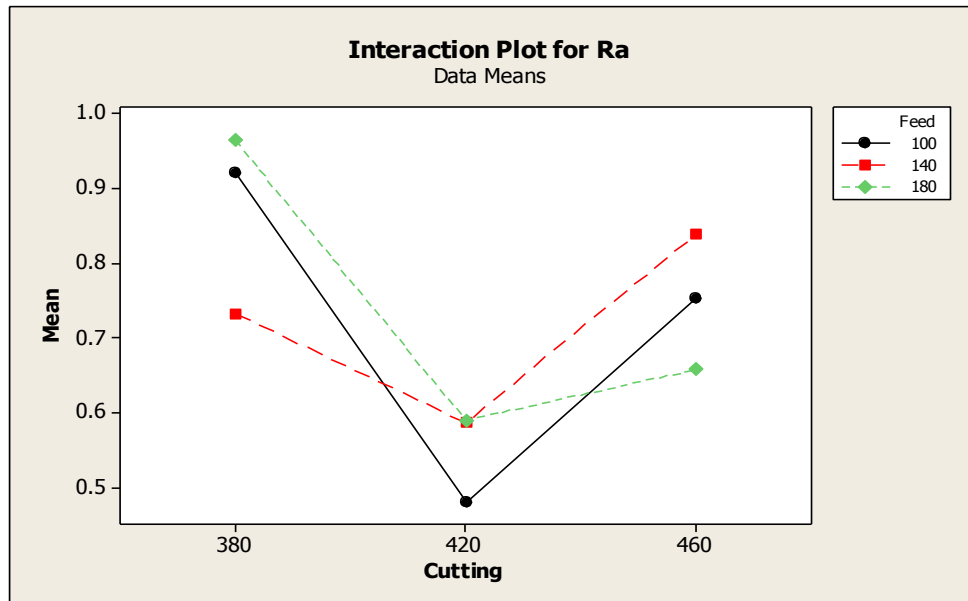
การวิเคราะห์หาปฏิริยาสัมพันธ์ (Interaction) หรืออิทธิพลร่วมของการทดลอง หลังจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร เพื่อหาค่าประมาณแบบช่วงของความเรียบผิวงานกีด Estimated Marginal Means of Ra แยกตามระดับของตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อความเรียบผิว ประกอบด้วยระดับของสภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อน 3 ระดับ ระดับความเร็วตัด 3 ระดับ และอัตราป้อน 3 ระดับ สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ดังนี้

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อความเรียบผิว ระหว่างสภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อนกับความเร็วตัด พบว่าค่าความเรียบผิว (R_a) ลดลงที่ต่ำสุด คือ สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน ใช้ความเร็วตัดในการกัดชิ้นงานที่ระดับ 420 ม./นาที่ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ $0.473 \mu m$ และ ค่าความเรียบผิว (R_a) ที่หยาบที่สุดคือ สภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบปกติ ใช้ความเร็วตัดในการกัดชิ้นงานที่ 380 ม./นาที่ มีค่าเฉลี่ยประมาณ $1.011 \mu m$ ดังรายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของตัวแปร ระหว่าง สภาพความแข็งชิ้นงาน ที่ผ่านการอบด้วยความร้อนกับความเร็วตัด

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อความเรียบผิว ระหว่างความเร็วตัดกับ อัตราป้อน พบว่าค่าความเรียบผิว (Ra) ลดลงเรื่อยๆ คือ การใช้ความเร็วตัดในการกัดชิ้นงานที่ระดับ 420 ม./นาทิจึงอัตราป้อน 100 มม./นาทิจึงมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.480 μm และ ค่าความเรียบผิว (Ra) ที่หยาบที่สุดคือ การใช้ความเร็วตัดในการกัดชิ้นงานที่ระดับ 380 ม./นาทิจึงอัตราป้อน 180 มม./นาทิจึงมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.965 μm ดังรายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของตัวแปร ระหว่างความเร็วตัดกับอัตราป้อน

4.4 การวิเคราะห์ Response Surface Regression

4.4.1 การหาความสัมพันธ์ของตัวแปร เพื่อใช้ในการพยากรณ์ ในการกัดเหล็กคาร์บอน AISI 1045 โดยค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน (Ra) เป็นตัวแปรตาม ส่วนสภาพความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อน ความเร็วตัดและอัตราป้อน เป็นตัวแปรต้นหรือตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ ถดถอยพหุคูณเพื่อทำนายความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น [24]

ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย	ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย มาตรฐาน	ค่า t	ระดับนัยสำคัญ
ความเร็วตัด	-0. 00192	0.000886	-2. 16	0. 035
ค่าคงที่	1.5202	0.3733	4.07	0. 000

$R^2 = 0. 083$, $SEE = 0. 21160$, $F = 4. 678$

*ระดับนัยสำคัญ 0.05

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq) มีค่าเท่ากับ 8.3% แสดงว่าสมการถดถอยนี้สามารถอธิบายการกระจายของความเรียบของผิวงานได้ดังนี้ คือ ความเร็วตัดมีอิทธิพลต่อความเรียบของผิวงานเพียง 8.3% ซึ่งน้อยมาก

จากตารางที่ 4.4 พบว่าตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความเร็วตัดอธิบายความแปรปรวนที่ส่งผลต่อความเรียบผิว ร้อยละ 8.30 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับความเรียบผิวพบว่า ตัวแปรความเร็วตัดเป็นตัวทำนายความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งเป็นตัวแปรที่สามารถทำนายค่าความเรียบผิวได้มากที่สุด [24]

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ได้สมการพยากรณ์ความเรียบผิว ดังนี้

$$\text{ความเรียบผิว} = 1.52 + (-0.00192) \text{ ความเร็วตัด}$$

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าพยากรณ์ความเรียบผิวงานกัดที่ได้จากสมการถดถอย

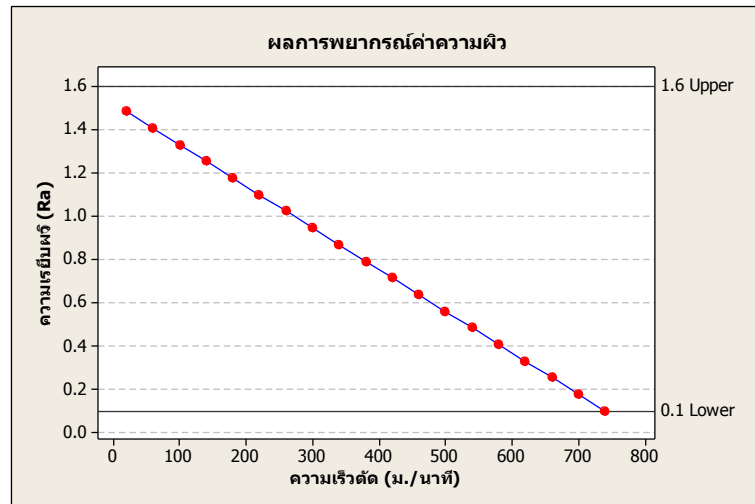
ความเร็วตัด (ม./นาที)	ค่าความเรียบผิว(Ra) จาก การทดลอง	ค่าความเรียบผิว(Ra) ที่ได้ จากการพยากรณ์
20	-	1.482
60	-	1.405
100	-	1.328
140	-	1.251
180	-	1.213
220	-	1.136

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แสดงค่าพยากรณ์ความเรียบผิวงานกัดที่ได้จากสมการถดถอย

ความเร็วตัด (ม./นาท)	ค่าความเรียบผิว(Ra) จาก การทดลอง	ค่าความเรียบผิว(Ra) ที่ได้ จากการพยากรณ์
260	-	1.059
300	-	0.944
340	-	0.867
380	0.767	0.790
420	0.719	0.714
460	0.659	0.637
500	-	0.637
540	-	0.483
580	-	0.368
620	-	0.291
660	-	0.214
700	-	0.138
740	-	0.099

4.4.2 ผลการพยากรณ์ค่าความเรียบของผิวงาน

จากสมการถดถอย “ค่าความเรียบผิว = $1.52 + (-0.00192) \text{ ความเร็วตัด}$ ” นำผลการพยากรณ์ค่าความเรียบของผิวงานมาเปรียบเทียบกับค่าทดสอบจริง โดยกำหนดให้อัตราป้อนคงที่ที่ 140 มิลลิเมตรต่อนาที โดยทำการลดและเพิ่มความเร็วตัดจนกระทั่งค่าความเรียบผิวเกินขอบเขตระหว่าง 0.1 - 1.6 ไมครอน แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงผลการพยากรณ์ค่าความเรียบของผิวงาน

จากรูปที่ 4.6 เมื่อทำการพยากรณ์โดยการกำหนดช่วงของความเร็วตัด คือทำการลดและเพิ่มความเร็วตัดครั้งละ 40 เมตรต่อนาที ช่วงความเร็วตัดต่ำสุดคือ 20 เมตรต่อนาที และช่วงความเร็ว สูงสุดคือ 740 เมตรต่อนาที ผลจากการพยากรณ์ปรากฏว่าเมื่อลดความเร็วตัดต่ำสุดค่าความเรียบผิวที่ได้จากการพยากรณ์ยังอยู่ในขอบเขตที่กำหนด และเมื่อเพิ่มความเร็วตัดสูงสุดที่ 740 เมตร/นาที ผลปรากฏว่าค่าความเรียบผิวที่ได้จากการพยากรณ์เท่ากับ $0.099 \mu\text{m}$ ซึ่งอยู่นอกขอบเขตการยอมรับคุณภาพของผิวงานที่ได้จากการเจียรนัย ($Ra = 0.1 - 1.6 \mu\text{m}$)