

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง ใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบแผนการทดลอง และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MINITAB Release 14 ช่วยในการคำนวณค่าทางสถิติและทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง Factorial Design แบบ 3^3 โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ F-ratio และค่าระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือที่ระดับนัยสำคัญ 5 % ($\alpha = 0.05$) กำหนดค่าความเร็วตัด (A) มี 3 ระดับ คือ 250, 400 และ 550 m/min อัตราการป้อน (B) มี 3 ระดับคือ 0.02, 0.06 และ 0.1 mm/rev ความลึกในการตัด (C) มี 3 ระดับคือ 0.1, 0.2 และ 0.3 mm ผลตอบสนองเป็นค่าความขรุขระพื้นผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน โดยจะหาค่าอิทธิพลหลัก (Main effect) ของตัวแปรแต่ละตัว ค่าอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างตัวแปรสองตัว และค่าอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรทั้งสามตัว

เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้มีตัวแปรตาม 2 ตัวแปรคือ ความขรุขระพื้นผิว และ ความคลาดเคลื่อนขนาดชิ้นงาน ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค การวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณ MANOVA (Multivariate Analysis of Variance)

4.1.1 การวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค MANOVA (มีดเซรามิก)

ในการวิเคราะห์ได้กำหนดตัวแปรอิสระคือ ความเร็วตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัด และกำหนดตัวแปรตาม คือค่าความขรุขระพื้นผิว และค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

ตารางที่ 4.1 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for Cutting Speed

MANOVA for Cutting Speed
s = 2 m = -0.5 n = 49.0

Criterion	Test Statistic	F	DF		P
			Num	Denom	
Wilks'	0.46598	23.247	4	200	0.000
Lawley-Hotelling	1.13287	28.039	4	198	0.000
Pillai's	0.54015	18.685	4	202	0.000
Roy's	1.12113				

จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลของ Cutting Speed มีนัยสำคัญ (ค่า $\Lambda = 0.465$ และค่า $F = 23.247$ ซึ่งค่า P-value = 0.000) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

จากตารางที่ 4.1 พบว่าสมมติฐานหลัก $H_{0(\text{Cutting Speed})}$ ถูกปฏิเสธดังนั้นจึงสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาว่าตัวใดที่มีส่วนสนับสนุนต่อการปฏิเสธ $H_{0(\text{Cutting Speed})}$ นั้นซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งชุด (Simultaneous confidence intervals) ได้ใช้วิธีของ Tukey พบว่าตัวแปรที่มีผลคือ R_a และ Dimensional error ซึ่งลำดับแรกทดสอบค่า R_a ก่อนเนื่องจาก Cutting Speed มี 3 ระดับ ดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่า คู่ไหนที่มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ $\alpha = 0.05$ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 13) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Cutting Speed = 250 กับ 400 มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก P-value = 0.0457

ที่ Cutting Speed = 250 กับ 550 มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก P-value = 0.0000

ที่ Cutting Speed = 400 กับ 550 มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก P-value = 0.0000

ลำดับที่สองทดสอบค่า Dimensional error เนื่องจาก Cutting Speed มี 3 ระดับ ดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่า คู่ไหนที่มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ $\alpha = 0.05$ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 15) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Cutting Speed = 250 กับ 400 มีผลต่อ Dimensional error อย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.3670

ที่ Cutting Speed = 250 กับ 550 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0000

ที่ Cutting Speed = 400 กับ 550 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0000

ซึ่งจะสรุปได้ว่าค่า R_a มีผลต่อการปฏิเสธ $H_{0(\text{Cutting Speed})}$ มากที่สุด

ตารางที่ 4.2 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for Feed

MANOVA for Feed

s = 2 m = -0.5 n = 49.0

Criterion	Test Statistic	F	DF		P
			Num	Denom	
Wilks'	0.61017	14.009	4	200	0.000
Lawley-Hotelling	0.62822	15.549	4	198	0.000
Pillai's	0.39633	12.480	4	202	0.000
Roy's	0.61078				

จากตารางที่ 4.2 พบว่าผลของ feed มีนัยสำคัญ (ค่า $\Lambda = 0.610$ และ $F = 14.009$ ซึ่งค่า $P\text{-value} = 0.000$) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

จากตารางที่ 4.2 พบว่าสมมติฐานหลัก $H_{0(\text{Feed})}$ ถูกปฏิเสธดังนั้นจึงสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาว่าตัวใดที่มีส่วนสนับสนุนต่อการปฏิเสธ $H_{0(\text{Feed})}$ นั้นซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งหมด (Simultaneous confidence intervals) ได้ใช้วิธีของ Tukey พบว่าตัวแปรที่มีผลคือ R_a และ Dimensional error ซึ่งลำดับแรกทดสอบค่า R_a ก่อนเนื่องจาก Feed มี 3 ระดับ ดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่า คู่ไหนที่มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ $\alpha = 0.05$ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 17) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Feed = 0.02 กับ 0.06 มีผลต่อ R_a อย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.6682$

ที่ Feed = 0.02 กับ 0.1 มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.0143$

ที่ Feed = 0.06 กับ 0.1 มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.0010$

ลำดับที่สองทดสอบค่า Dimensional error เนื่องจาก Feed มี 3 ระดับ ดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่าคู่ไหนที่มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ $\alpha = 0.05$ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 19) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Feed = 0.02 กับ 0.06 มีผลต่อ Dimensional error อย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.9335$

ที่ Feed = 0.02 กับ 0.1 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.0001$

ที่ Feed = 0.06 กับ 0.1 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.0000$

ซึ่งสรุปได้ว่าค่า R_a และ Dimensional error มีผลต่อการปฏิเสธ $H_{0(\text{Feed})}$ เท่ากัน

ตารางที่ 4.3 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for Depth

MANOVA for Depth

s = 2 m = -0.5 n = 49.0

Criterion	Test		DF		P
	Statistic	F	Num	Denom	
Wilks'	0.69153	10.126	4	200	0.000
Lawley-Hotelling	0.43860	10.855	4	198	0.000
Pillai's	0.31364	9.392	4	202	0.000
Roy's	0.42085				

จากตารางที่ 4.3 พบว่าผลของ Depth มีนัยสำคัญ (ค่า $\Lambda = 0.610$ และ $F = 14.009$ ซึ่งค่า $P\text{-value} = 0.000$) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

จากตารางที่ 4.3 พบว่าสมมติฐานหลัก $H_{0(\text{Depth})}$ ถูกปฏิเสธดังนั้นจึงสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาว่าตัวใดที่มีส่วนสนับสนุนต่อการปฏิเสธ $H_{0(\text{Depth})}$ นั้นซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งหมด (Simultaneous confidence intervals) ได้ใช้วิธีของ Tukey พบว่าตัวแปรที่มีผลคือ R_a และ Dimensional error ซึ่งลำดับแรกทดสอบค่า R_a ก่อนเนื่องจาก Depth มี 3 ระดับ ดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่า คู่ไหนที่มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ $\alpha = 0.05$ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 21) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Depth = 0.1 กับ 0.2 มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.0040$

ที่ Depth = 0.1 กับ 0.3 มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.0081$

ที่ Depth = 0.2 กับ 0.3 มีผลต่อ R_a อย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.9716$

ลำดับที่สองทดสอบค่า Dimensional error เนื่องจาก Feed มี 3 ระดับ ดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่าคู่ไหนที่มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ $\alpha = 0.05$ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 23) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Depth = 0.1 กับ 0.2 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.0029$

ที่ Depth = 0.1 กับ 0.3 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.0006$

ที่ Depth = 0.2 กับ 0.3 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.8942$

ซึ่งสรุปได้ว่าค่า R_a และ Dimensional error มีผลต่อการปฏิเสธ $H_{0(\text{Feed})}$ เท่ากัน

4.1.2 การวิเคราะห์ผลค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน R_a ด้วยเทคนิค ANOVA (มีดเซรามิก)

ตารางที่ 4.4 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า R_a

Analysis of Variance for R_a , using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	3	0.015159	0.015159	0.005053	10.51	0.000
Cutting Speed	2	0.401772	0.401772	0.200886	417.95	0.000
Feed	2	0.128072	0.128072	0.064036	133.23	0.000
Depth	2	0.115267	0.115267	0.057633	119.91	0.000
Cutting Speed*Feed	4	0.149439	0.149439	0.037360	77.73	0.000
Cutting Speed*Depth	4	0.094678	0.094678	0.023669	49.24	0.000
Feed*Depth	4	0.029161	0.029161	0.007290	15.17	0.000
Cutting Speed*Feed*Depth	8	0.047461	0.047461	0.005933	12.34	0.000
Error	78	0.037491	0.037491	0.000481		
Total	107	1.018500				

S = 0.0219237 R-Sq = 96.32% R-Sq(adj) = 94.95%

ผลจากการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.4 ทำการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ซึ่งค่า F_{α, v_1, v_2} จากตาราง F-ratio ที่ $\alpha = 0.05$ จะได้ค่า $F_{0.05, 2, 81} = 3.126$ มีเกณฑ์การตัดสินใจคือถ้าค่า F-ratio มีค่ามากกว่า F_{α, v_1, v_2} จะปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Cutting Speed

จากตารางที่ 4.4 ค่า F-ratio = 417.95 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05, 2, 78} = 3.126$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Cutting Speed มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Feed

จากตารางที่ 4.4 ค่า F-ratio = 133.23 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05, 2, 78} = 3.126$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Feed มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Depth

จากตารางที่ 4.4 ค่า F - ratio = 119.91 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,2,78} = 3.126$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Depth มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed กับค่า Feed

จากตารางที่ 4.4 ค่า F - ratio = 77.73 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,4,78} = 2.506$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed กับค่า Feed มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed กับค่า Depth

จากตารางที่ 4.4 ค่า F - ratio = 49.24 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,4,78} = 2.506$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed กับค่า Depth มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

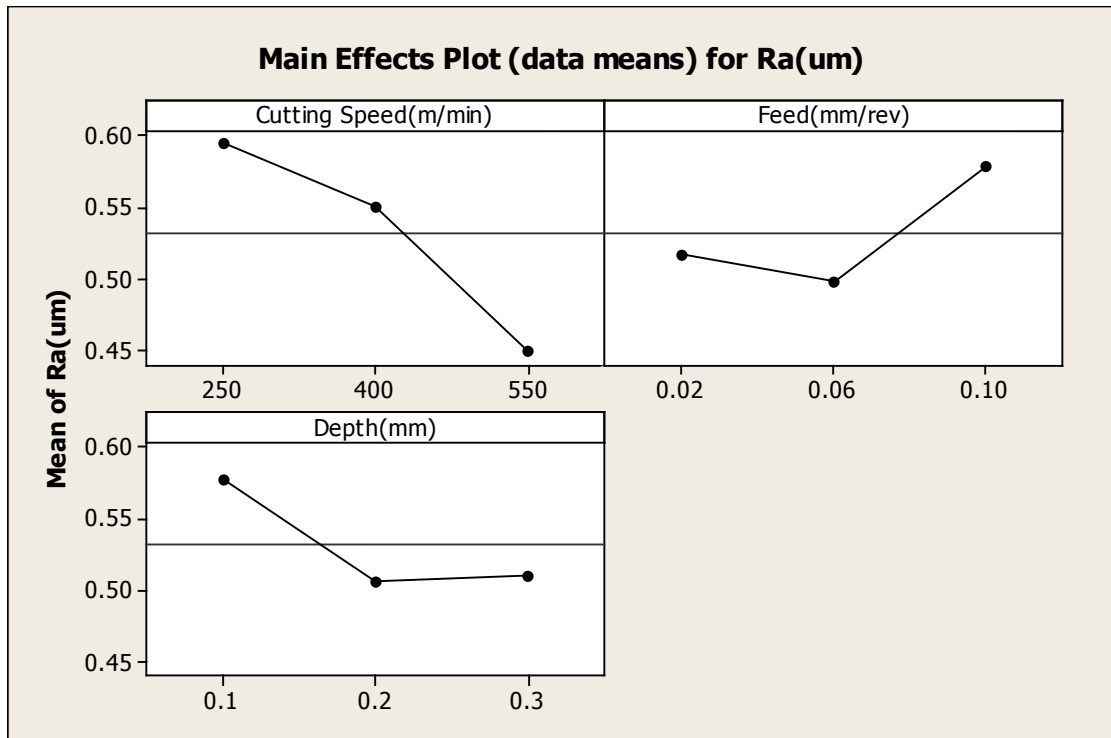
ค่า Interaction ระหว่าง Feed กับค่า Depth

จากตารางที่ 4.4 ค่า F - ratio = 15.17 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,4,78} = 2.506$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Feed กับค่า Depth มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed, Feed และ Depth

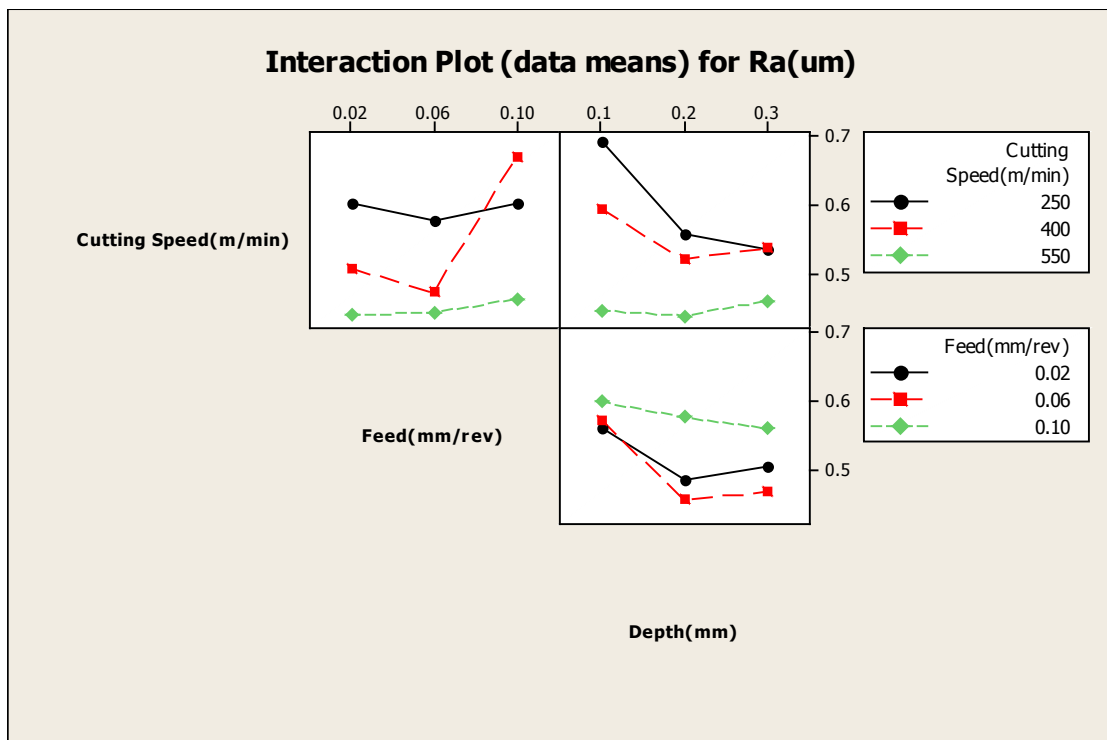
จากตารางที่ 4.4 ค่า F - ratio = 12.34 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,8,81} = 2.076$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed, Feed กับค่า Depth มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

จากตารางที่ 4.4 พบว่าอิทธิพลหลัก(Main effect)ทุกปัจจัยมีผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิว(R_a) ส่วนอิทธิพลร่วม(Interaction effect)ระหว่างปัจจัยของทุกปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวด้วย



ภาพประกอบที่ 4.1 แสดง Main Effects Plot for R_a มีดเซรามิก

จากภาพประกอบที่ 4.1 พบว่าเมื่อค่า Cutting Speed เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความขรุขระพื้นผิวลดลง แต่เมื่อค่า Feed เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความขรุขระพื้นผิวเพิ่มขึ้น และเมื่อค่า Depth เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความขรุขระพื้นผิวลดลงและมีแนวโน้มจะคงที่



ภาพประกอบที่ 4.2 แสดง Interaction Effects Plot for R_a มีดเซรามิก

ภาพประกอบที่ 4.2 พบว่าอิทธิพลร่วม (Interaction effects) ระหว่างปัจจัยของทุกปัจจัยส่งผลต่อความขรุขระของพื้นผิวโดยที่ Cutting Speed และ Feed โดยเมื่อปรับค่าทั้ง 2 เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความขรุขระเพิ่มขึ้นด้วย

จากตารางที่ 116 (ภาคผนวก ข) แสดงการวิเคราะห์ค่า Means ของ R_a พบว่าที่ Cutting Speed = 250 ค่า $R_a = 0.594$ ที่ 400 ค่า $R_a = 0.551$ ที่ 500 ค่า $R_a = 0.449$ ซึ่งพบว่ามี ความแตกต่างกัน สำหรับผลของ Feed พบว่าที่ Feed = 0.02 ค่า $R_a = 0.517$ ที่ 0.06 ค่า $R_a = 0.499$ ที่ 0.10 ค่า $R_a = 0.579$ ซึ่งพบว่ามี ความแตกต่างกัน และสำหรับผลของ Depth พบว่าที่ค่า Depth = 0.1 ค่า $R_a = 0.578$ ที่ 0.2 ค่า $R_a = 0.506$ ที่ 0.3 ค่า $R_a = 0.511$ ซึ่งพบว่ามี ความแตกต่างกัน สำหรับผลของ Cutting Speed*Feed พบว่าที่ Cutting Speed = 550 และ Feed = 0.02 ค่า $R_a = 0.440$ ซึ่งต่ำสุด สำหรับผลของ Cutting Speed*Depth พบว่าที่ Cutting Speed = 550 และ Depth = 0.2 ค่า $R_a = 0.439$ ซึ่งต่ำสุด สำหรับผลของ Feed *Depth พบว่าที่ Feed = 0.06 และ Depth = 0.3 ค่า $R_a = 0.467$ ซึ่งต่ำสุด และสำหรับผลของ Cutting Speed*Feed *Depth พบว่าที่ Cutting Speed = 550 Feed = 0.02 และ Depth = 0.2 ค่า $R_a = 0.420$ ซึ่งต่ำสุด

4.1.3 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนขนาดชิ้นงานด้วยเทคนิค ANOVA (มีดเซรามิก)

ตารางที่ 4.5 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า Dimensional error

Analysis of Variance for Dimensional Error, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	3	0.0000991	0.0000991	0.0000330	1.87	0.141
Cutting Speed	2	0.0038352	0.0038352	0.0019176	108.71	0.000
Feed	2	0.0029019	0.0029019	0.0014509	82.25	0.000
Depth	2	0.0019185	0.0019185	0.0009593	54.38	0.000
Cutting Speed*Feed	4	0.0014481	0.0014481	0.0003620	20.52	0.000
Cutting Speed*Depth	4	0.0006315	0.0006315	0.0001579	8.95	0.000
Feed*Depth	4	0.0004481	0.0004481	0.0001120	6.35	0.000
Cutting Speed*Feed*Depth	8	0.0007519	0.0007519	0.0000940	5.33	0.000
Error	78	0.0013759	0.0013759	0.0000176		
Total	107	0.0134102				

S = 0.00420001 R-Sq = 89.74% R-Sq(adj) = 85.92%

ผลจากการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.5 ทำการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ซึ่งค่า F_{α, v_1, v_2} จากตาราง F-ratio ที่ $\alpha = 0.05$ จะได้ค่า $F_{0.05, 2, 78} = 3.126$ มีเกณฑ์การตัดสินใจคือถ้าค่า F-ratio มีค่ามากกว่า F_{α, v_1, v_2} จะปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Cutting Speed

จากตารางที่ 4.5 ค่า F-ratio = 108.71 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05, 2, 78} = 3.126$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Cutting Speed มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

ค่า Feed

จากตารางที่ 4.5 ค่า F-ratio = 82.25 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05, 2, 78} = 3.126$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Feed มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

ค่า Depth

จากตารางที่ 4.5 ค่า F - ratio = 54.38 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,2,78} = 3.126$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Depth มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

ค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed กับค่า Feed

จากตารางที่ 4.5 ค่า F - ratio = 20.52 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,4,78} = 2.506$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed กับค่า Feed มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

ค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed กับค่า Depth

จากตารางที่ 4.5 ค่า F - ratio = 8.95 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,4,78} = 2.506$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed กับค่า Depth มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

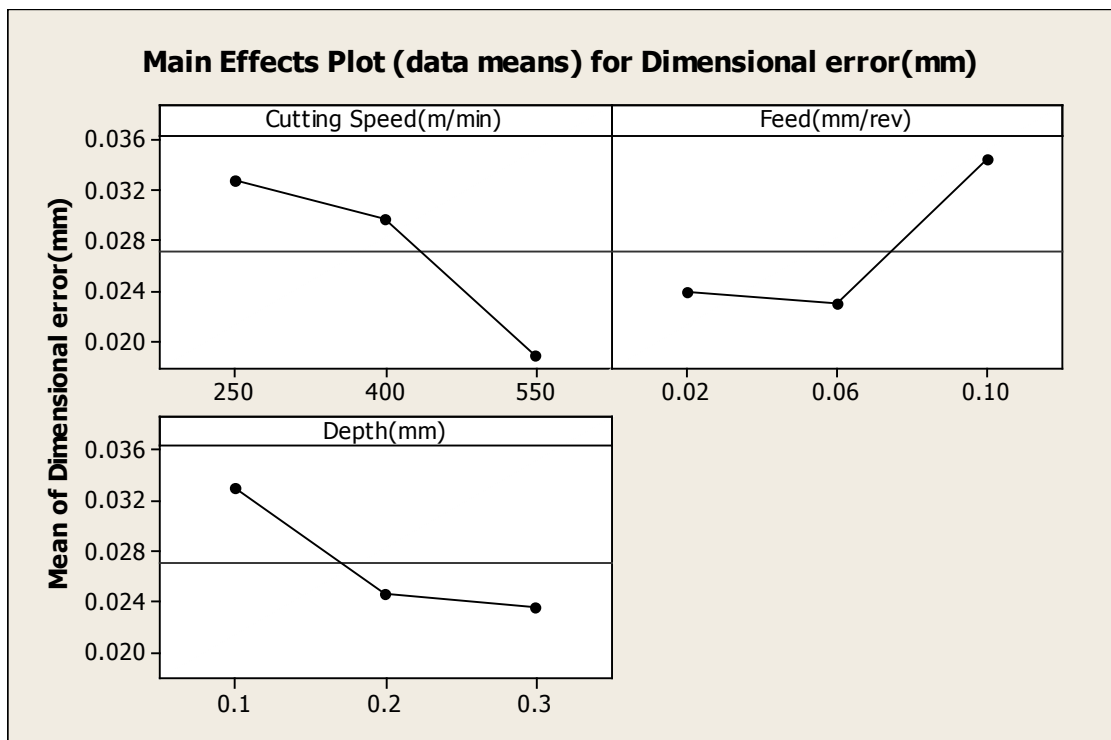
ค่า Interaction ระหว่าง Feed กับค่า Depth

จากตารางที่ 4.5 ค่า F - ratio = 6.35 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,4,78} = 2.506$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Feed กับค่า Depth มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

ค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed, Feed และ Depth

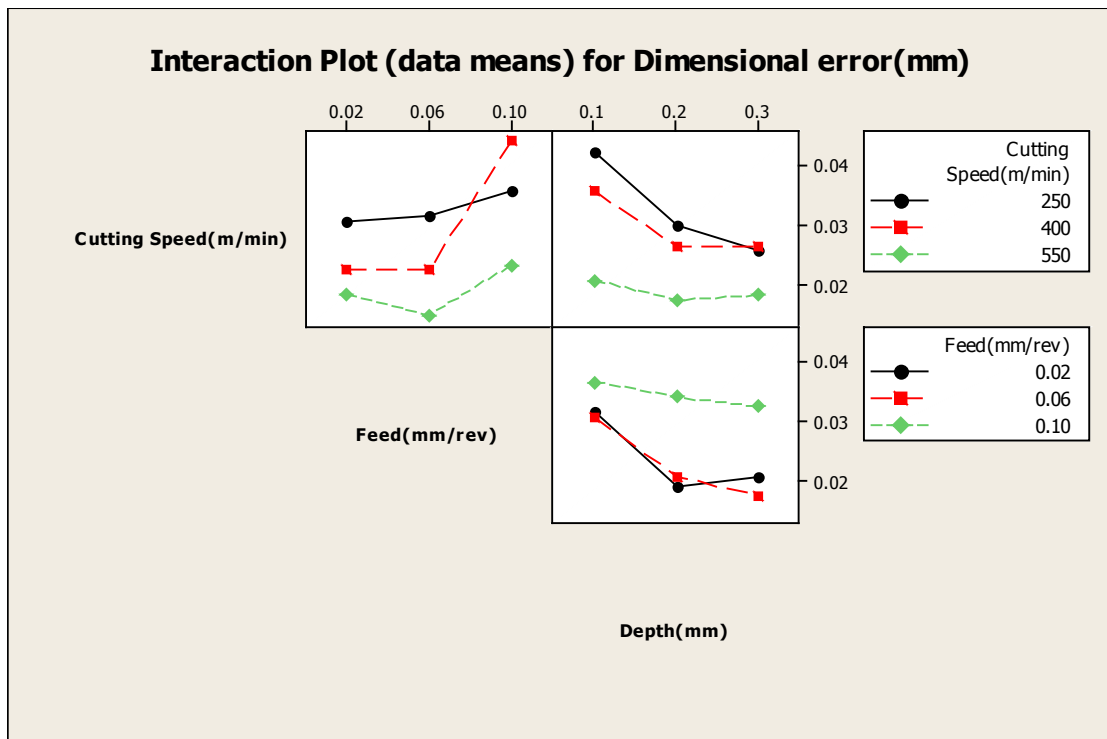
จากตารางที่ 4.5 ค่า F - ratio = 5.33 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,8,81} = 2.076$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed, Feed และ Depth มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

จากตารางที่ 4.5 พบว่าอิทธิพลหลัก (Main effect) ทุกปัจจัยมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานส่วนอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างปัจจัยของทุกปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน



ภาพประกอบที่ 4.3 แสดง Main Effects Plot for Dimensional error มีดเซรามิก

จากภาพประกอบที่ 4.3 พบว่าเมื่อค่า Cutting Speed เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานลดลง แต่เมื่อค่า Feed เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานเพิ่มขึ้น และเมื่อค่า Depth เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานลดลง



ภาพประกอบที่ 4.4 แสดง Interaction Plot for Dimensional error มีดเซรามิก

ภาพประกอบที่ 4.4 พบว่า อิทธิพลร่วมของทุกปัจจัยส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานโดยที่ Depth และ Feed โดยเมื่อปรับค่าทั้ง 2 เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วย ส่วน Cutting Speed เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานลดลง

จากตารางที่ 116 (ภาคผนวก ข) แสดงการวิเคราะห์ค่า Means ของ Dimensional error พบว่า ที่ Cutting Speed ที่ 250 ค่า Dimensional error = 0.033 ที่ 400 ค่า Dimensional error = 0.03 ที่ 500 ค่า Dimensional error = 0.019 ซึ่งพบว่ามีค่าแตกต่างกัน สำหรับผลของ Feed พบว่า ที่ Feed = 0.02 ค่า Dimensional error = 0.024 ที่ 0.06 ค่า Dimensional error = 0.023 ที่ 0.10 ค่า Dimensional error = 0.034 ซึ่งพบว่ามีค่าแตกต่างกัน และสำหรับผลของ Depth พบว่าที่ Depth = 0.1 ค่า Dimensional error = 0.033 ที่ 0.2 ค่า Dimensional error = 0.025 ที่ 0.3 ค่า Dimensional error = 0.024 ซึ่งพบว่ามีค่าแตกต่างกัน สำหรับผลของ Cutting Speed*Feed พบว่าที่ Cutting Speed = 550 และ ที่ค่า Feed = 0.06 ค่า Dimensional error = 0.015 ซึ่งต่ำสุด สำหรับผลของ Cutting Speed*Depth พบว่าที่ Cutting Speed = 550 และ

Depth = 0.2 ค่า Dimensional error = 0.017 ซึ่งต่ำสุด สำหรับผลของ Feed *Depth พบว่าที่ Feed = 0.06 และ Depth = 0.3 ค่า Dimensional error = 0.017 ซึ่งต่ำสุด และสำหรับผลของ Cutting Speed*Feed *Depth พบว่าที่ Cutting Speed = 550 Feed = 0.02 และ Depth = 0.2 ค่า Dimensional error = 0.010 ซึ่งต่ำสุด

4.1.4 การวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค MANOVA(มิตคาร์ไบต์)

ตารางที่ 4.6 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for Cutting Speed

MANOVA for Cutting Speed
 $s = 2$ $m = -0.5$ $n = 49.0$

Criterion	Test Statistic	F	DF		P
			Num	Denom	
Wilks'	0.66331	11.392	4	200	0.000
Lawley-Hotelling	0.50345	12.460	4	198	0.000
Pillai's	0.33944	10.323	4	202	0.000
Roy's	0.49507				

จากตารางที่ 4.6 พบว่าผลของ Cutting Speed มีนัยสำคัญ (ค่า $\Lambda = 0.663$ และ ค่า $F = 11.392$ ซึ่งค่า $P\text{-value} = 0.000$) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

จากตารางที่ 4.6 พบว่าสมมติฐานหลัก $H_{0(\text{Cutting Speed})}$ ถูกปฏิเสธดังนั้นจึงสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาว่าตัวใดที่มีส่วนสนับสนุนต่อการปฏิเสธ $H_{0(\text{Cutting Speed})}$ นั้นซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งหมด (Simultaneous confidence intervals) ได้ใช้วิธีของ Tukey พบว่าตัวแปรที่มีผลคือ R_a และ Dimensional error ซึ่งลำดับแรก ทดสอบค่า R_a ก่อนเนื่องจาก Cutting Speed มี 3 ระดับ ดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่า คู่ไหนที่มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ $\alpha = 0.05$ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 25) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Cutting Speed = 250 กับ 400 มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.0180$

ที่ Cutting Speed = 250 กับ 550 มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.0395$

ที่ Cutting Speed = 400 กับ 550 มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $P\text{-value} = 0.0000$

ลำดับที่สองทดสอบค่า Dimensional error เนื่องจาก Cutting Speed มี 3 ระดับ ดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่า คู่ไหนที่มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ $\alpha = 0.05$ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 27) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Cutting Speed = 250 กับ 400 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0236

ที่ Cutting Speed = 250 กับ 550 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0001

ที่ Cutting Speed = 400 กับ 550 มีผลต่อ Dimensional error อย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.2593

ซึ่งสรุปได้ว่าค่า R_a มีผลต่อการปฏิเสธ $H_{0(\text{Cutting Speed})}$ มากที่สุด

ตารางที่ 4.7 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for Feed

MANOVA for Feed

s = 2 m = -0.5 n = 49.0

Criterion	Test Statistic	F	DF		P
			Num	Denom	
Wilks'	0.57438	15.974	4	200	0.000
Lawley-Hotelling	0.73133	18.100	4	198	0.000
Pillai's	0.43119	13.880	4	202	0.000
Roy's	0.71782				

จากตารางที่ 4.7 พบว่าผลของค่า feed มีนัยสำคัญ (ค่า $\Lambda = 0.57438$ และ $F = 15.974$ ซึ่งค่า P-value = 0.000) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

จากตารางที่ 4.7 พบว่าสมมติฐานหลัก $H_{0(\text{Feed})}$ ถูกปฏิเสธดังนั้นจึงสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาว่าตัวใดที่มีส่วนสนับสนุนต่อการปฏิเสธ $H_{0(\text{Feed})}$ นั้นซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งหมด (Simultaneous confidence intervals) ได้ใช้วิธีของ Tukey พบว่าตัวแปรที่มีผลคือ R_a และ Dimensional error ซึ่งลำดับแรกทดสอบค่า R_a ก่อนเนื่องจาก Feed มี 3 ระดับ ดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่า คู่ไหนที่มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ $\alpha = 0.05$ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 29) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Feed = 0.02 กับ 0.06 มีผลต่อ R_a อย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.6342

ที่ Feed = 0.02 กับ 0.1 มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0000

ที่ Feed = 0.06 กับ 0.1 มีผลต่อ R_a อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0000

ลำดับที่สองทดสอบค่า Dimensional error เนื่องจาก Feed มี 3 ระดับ ดังนั้นจึงทดสอบราย

คู่ว่าคู่อันไหนที่มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ $\alpha = 0.05$ (ภาคผนวก ข ตารางที่ 31) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Feed = 0.02 กับ 0.06 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0063

ที่ Feed = 0.02 กับ 0.1 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0000

ที่ Feed = 0.06 กับ 0.1 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0000

ซึ่งสรุปได้ว่าค่า Dimensional error มีผลต่อการปฏิเสธ $H_{0(\text{Feed})}$ มากที่สุด

ตารางที่ 4.8 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for Depth

MANOVA for Depth

s = 2 m = -0.5 n = 49.0

Criterion	Test Statistic	F	DF		P
			Num	Denom	
Wilks'	0.98240	0.446	4	200	0.775
Lawley-Hotelling	0.01788	0.443	4	198	0.778
Pillai's	0.01763	0.449	4	202	0.773
Roy's	0.01607				

จากตารางที่ 4.8 พบว่าผลของ Depth ไม่มีนัยสำคัญ (ค่า $\Lambda = 0.98240$ และ $F = 0.446$ ซึ่งค่า P-value = 0.775) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลอย่างไม่มีนัยสำคัญเช่นกัน

4.1.5 การวิเคราะห์ผลค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน R_a ด้วยเทคนิค ANOVA (มีดคาร์ไบด์)

ตารางที่ 4.9 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า R_a

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	3	0.000585	0.000585	0.000195	0.36	0.780
Cutting Speed	2	0.172274	0.172274	0.086137	160.49	0.000
Feed	2	0.278846	0.278846	0.139423	259.76	0.000
Depth	2	0.002980	0.002980	0.001490	2.78	0.068
Cutting Speed*Feed	4	0.124109	0.124109	0.031027	57.81	0.000
Cutting Speed*Depth	4	0.091793	0.091793	0.022948	42.76	0.000
Feed*Depth	4	0.064437	0.064437	0.016109	30.01	0.000
Cutting Speed*Feed*Depth	8	0.052274	0.052274	0.006534	12.17	0.000
Error	78	0.041865	0.041865	0.000537		
Total	107	0.829163				

S = 0.0231674 R-Sq = 94.95% R-Sq(adj) = 93.07%

ผลจากการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.9 ทำการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ซึ่งค่า F_{α, v_1, v_2} จากตาราง F - ratio ที่ $\alpha = 0.05$ จะได้ค่า $F_{0.05, 2, 78} = 3.126$ มีเกณฑ์การตัดสินใจคือถ้าค่า F - ratio มีค่ามากกว่า F_{α, v_1, v_2} จะปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Cutting Speed

จากตารางที่ 4.9 ค่า F - ratio = 160.49 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05, 2, 78} = 3.126$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Cutting Speed มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Feed

จากตารางที่ 4.9 ค่า F - ratio = 259.76 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05, 2, 78} = 3.126$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Feed มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Depth

จากตารางที่ 4.9 ค่า F - ratio = 2.78 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $F_{0.05,2,78} = 3.126$ และค่า P-value = 0.068 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Depth ไม่มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed กับค่า Feed

จากตารางที่ 4.9 ค่า F - ratio = 57.81 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,4,78} = 2.506$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed กับค่า Feed มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed กับค่า Depth

จากตารางที่ 4.9 ค่า F - ratio = 42.76 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,4,78} = 2.506$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed กับค่า Depth มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

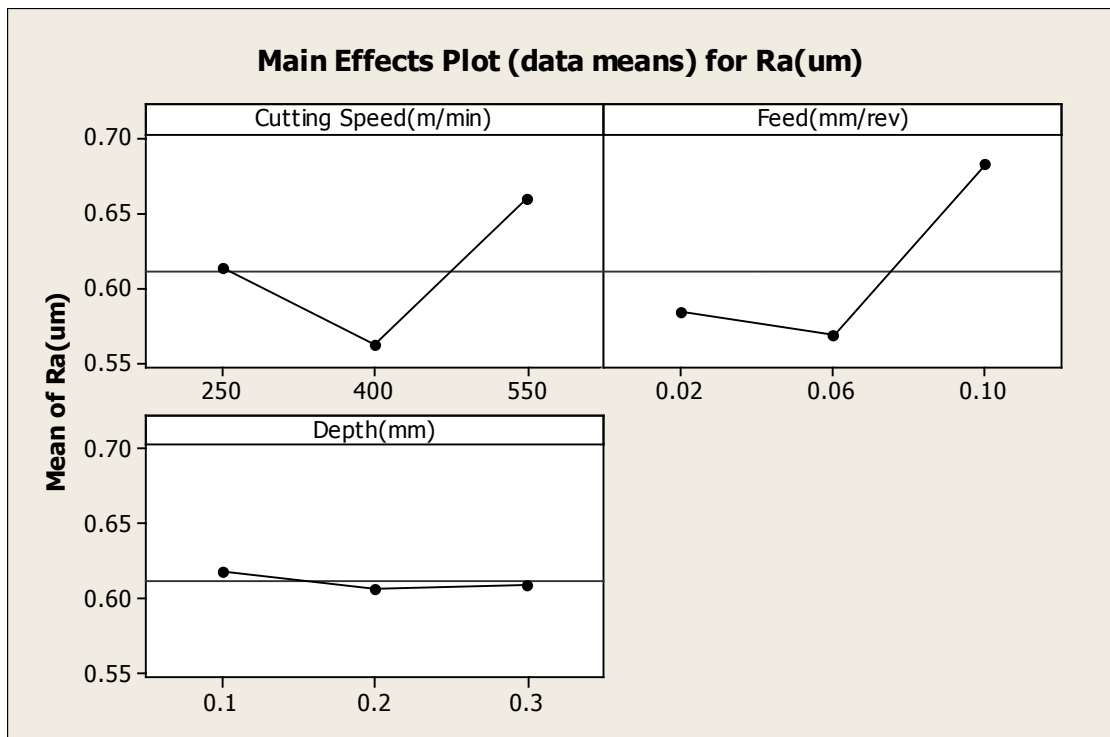
ค่า Interaction ระหว่าง Feed กับค่า Depth

จากตารางที่ 4.9 ค่า F - ratio = 30.01 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,4,81} = 2.506$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Feed กับค่า Depth มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

ค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed, Feed และ Depth

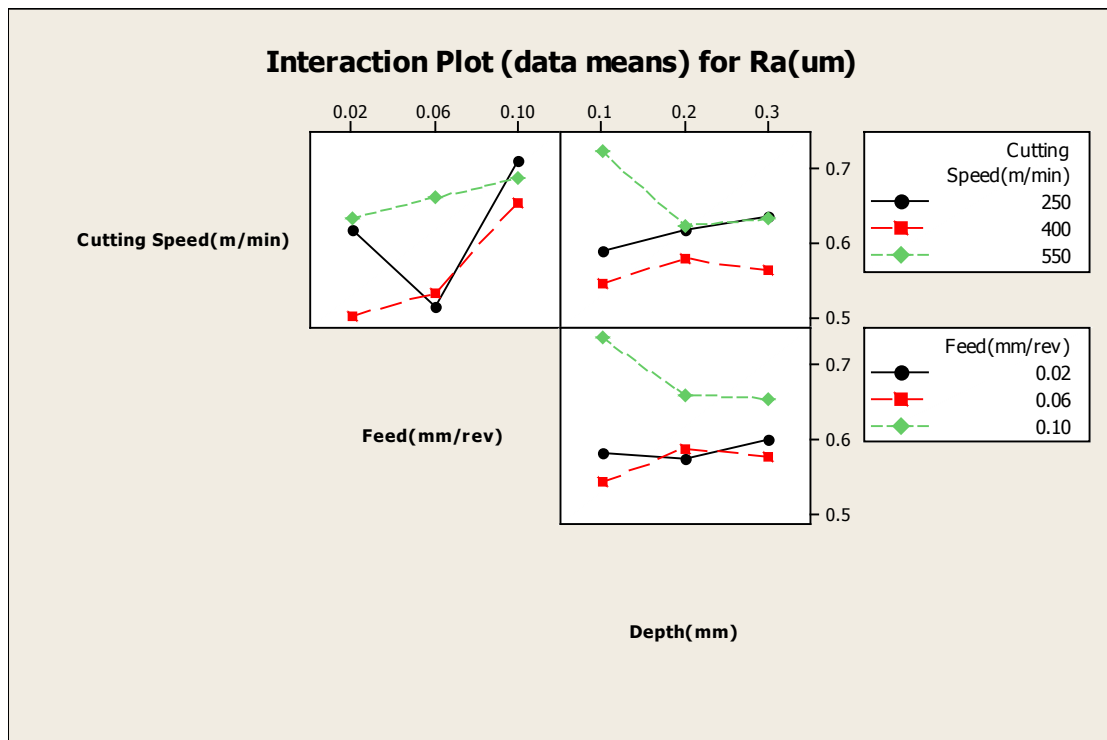
จากตารางที่ 4.9 ค่า F - ratio = 12.17 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,8,81} = 2.076$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed, Feed และ Depth มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

จากตารางที่ 4.9 พบว่าอิทธิพลหลัก(Main effect)ทุกปัจจัยมีผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิว ยกเว้น Depth ที่ไม่มีผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิว ส่วนอิทธิพลร่วม (Interaction effect)ระหว่างปัจจัยของทุกปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวด้วย



ภาพประกอบที่ 4.5 แสดง Main Effects Plot for R_a มีดคาร์ไบด์

จากภาพประกอบที่ 4.5 พบว่าเมื่อค่า Cutting Speed, Feed และ Depth เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่ 4.6 แสดง Interaction Plot for R_a มีดคาร์ไบด์

ภาพประกอบที่ 4.6 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย(Interaction) ของทุกปัจจัยส่งผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวโดยที่ Cutting Speed, Feed และ Depth เมื่อปรับค่าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวเพิ่มขึ้นด้วย

จากตารางที่ 115 (ภาคผนวก ข) แสดงการวิเคราะห์ค่า Means ของ R_a พบว่า Cutting Speed ที่ 250 ค่า $R_a = 0.613$ ที่ 400 ค่า $R_a = 0.562$ ที่ 500 ค่า $R_a = 0.659$ ซึ่งพบว่ามี ความแตกต่างกัน สำหรับผลของ Feed พบว่า Feed ที่ 0.02 ค่า $R_a = 0.584$ ที่ 0.06 ค่า $R_a = 0.568$ ที่ 0.10 ค่า $R_a = 0.683$ ซึ่งพบว่ามี ความแตกต่างกัน และสำหรับผลของ Depth พบว่า Depth ที่ 0.1 ค่า $R_a = 0.619$ ที่ 0.2 ค่า $R_a = 0.606$ ที่ 0.3 ค่า $R_a = 0.610$ ซึ่งพบว่ามี ความแตกต่างกัน สำหรับผลของ Cutting Speed*Feed พบว่าที่ Cutting Speed = 250 และ Feed = 0.06 ค่า $R_a = 0.513$ ซึ่งต่ำสุด สำหรับผลของ Cutting Speed*Depth พบว่าที่ Cutting Speed = 400 และ Depth = 0.1 ค่า $R_a = 0.545$ ซึ่งต่ำสุด สำหรับผลของ Feed *Depth พบว่าที่ Feed = 0.06

และ Depth = 0.1 ค่า $R_a = 0.541$ ซึ่งต่ำสุด และสำหรับผลของ Cutting Speed*Feed *Depth พบว่าที่ Cutting Speed = 400 Feed = 0.06 และ Depth = 0.1 ค่า $R_a = 0.450$ ซึ่งต่ำสุด

4.1.6 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนขนาดชิ้นงาน ด้วยเทคนิค ANOVA (มีดคาร์ไบด์)

ตารางที่ 4.10 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า Dimensional error

Analysis of Variance for Dimensional error, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	3	0.0000546	0.0000546	0.0000182	1.21	0.310
Cutting Speed	2	0.0015167	0.0015167	0.0007583	50.54	0.000
Feed	2	0.0024056	0.0024056	0.0012028	80.16	0.000
Depth	2	0.0000667	0.0000667	0.0000333	2.22	0.115
Cutting Speed*Feed	4	0.0016111	0.0016111	0.0004028	26.84	0.000
Cutting Speed*Depth	4	0.0004833	0.0004833	0.0001208	8.05	0.000
Feed*Depth	4	0.0003444	0.0003444	0.0000861	5.74	0.000
Cutting Speed*Feed*Depth	8	0.0012389	0.0012389	0.0001549	10.32	0.000
Error	78	0.0011704	0.0011704	0.0000150		
Total	107	0.0088917				

S = 0.00387360 R-Sq = 86.84% R-Sq(adj) = 81.94%

ผลจากการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.10 ทำการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ซึ่งค่า F_{α, v_1, v_2} จากตาราง F-ratio ที่ $\alpha = 0.05$ จะได้ค่า $F_{0.05, 2, 78} = 3.126$ มีเกณฑ์การตัดสินใจคือถ้าค่า F-ratio มีค่ามากกว่า F_{α, v_1, v_2} จะปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายถึงตัวแปรนั้น ๆ มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

ค่า Cutting Speed

จากตารางที่ 4.10 ค่า F-ratio = 50.54 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05, 2, 78} = 3.126$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Cutting Speed มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

ค่า Feed

จากตารางที่ 4.10 ค่า F - ratio = 80.16 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,2,78} = 3.126$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Feed มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

ค่า Depth

จากตารางที่ 4.10 ค่า F - ratio = 2.22 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $F_{0.05,2,78} = 3.126$ และค่า P-value = 0.678 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Depth ไม่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

ค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed กับค่า Feed

จากตารางที่ 4.10 ค่า F - ratio = 26.84 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,4,78} = 2.506$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed กับค่า Feed มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

ค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed กับค่า Depth

จากตารางที่ 4.10 ค่า F - ratio = 8.05 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $F_{0.05,4,78} = 2.506$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed กับค่า Depth มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

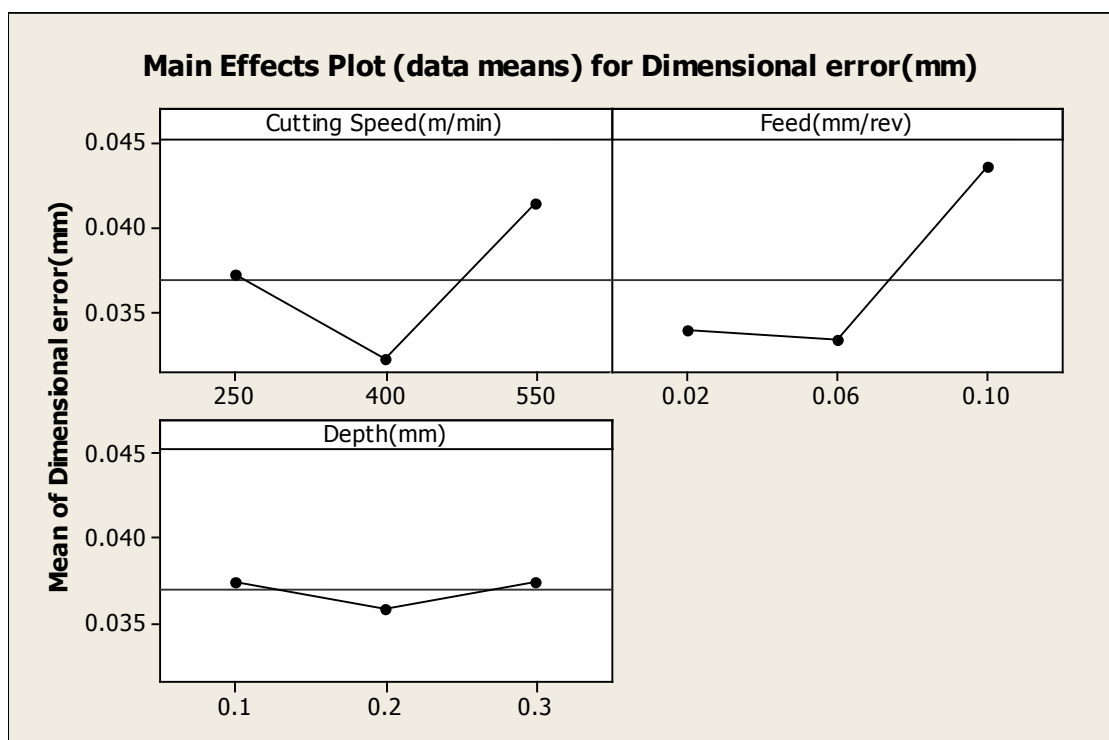
ค่า Interaction ระหว่าง Feed กับค่า Depth

จากตารางที่ 4.10 ค่า F - ratio = 5.74 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,4,78} = 2.506$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Feed กับค่า Depth มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

ค่า Interaction ระหว่าง Cutting Speed, Feed และ Depth

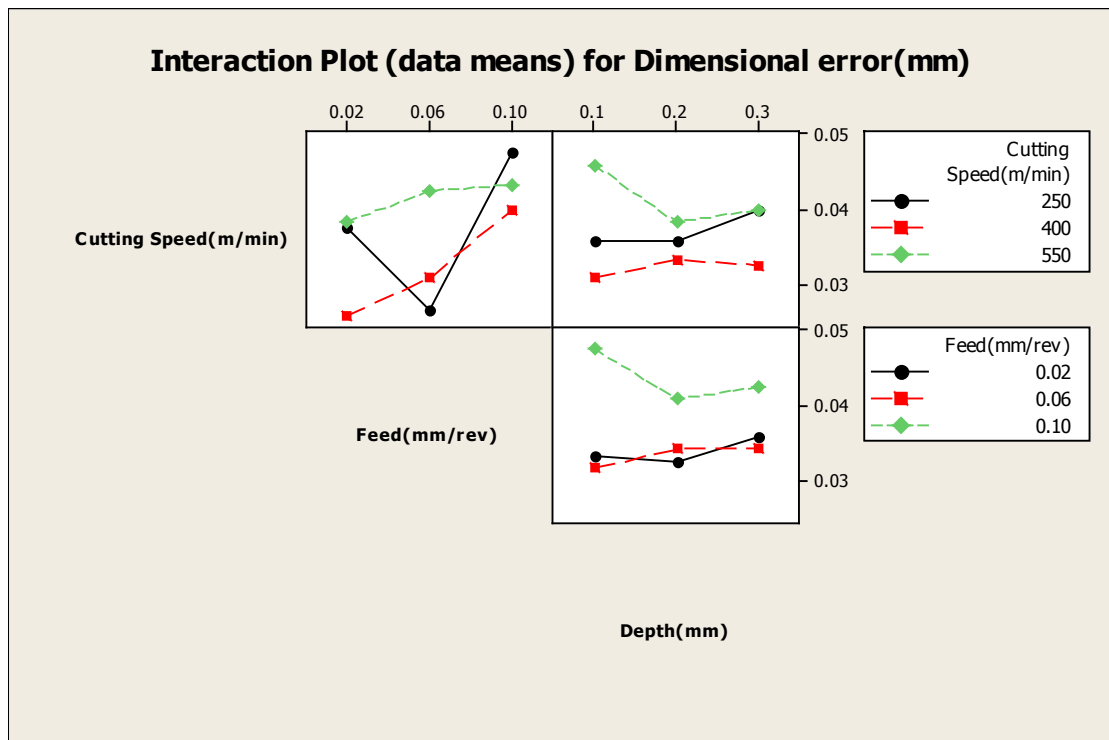
จากตารางที่ 4.10 ค่า F - ratio = 10.32 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,8,78} = 2.076$ และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed, Feed และ Depth มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

จากตารางที่ 4.10 พบว่าอิทธิพลหลัก(Main effect)ทุกปัจจัยมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานยกเว้น Depth ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย(Interaction effect)ของทุกปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน



ภาพประกอบที่ 4.7 แสดง Main Effects Plot for Dimensional error มีดคาร์ไบด์

จากภาพประกอบที่ 4.7 พบว่าเมื่อค่า Cutting Speed, Feed และ Depth เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบที่ 4.8 แสดง Interaction Plot for Dimensional error มีดคาร์ไบด์

ภาพประกอบที่ 4.8 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย(Interaction) ของทุกปัจจัยส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

จากตารางที่ 115 (ภาคผนวก ข) แสดงการวิเคราะห์ค่า Means ของ Dimensional error พบว่า ที่ Speed = 250 ค่า Dimensional error = 0.037 ที่ 400 ค่า Dimensional error = 0.032 ที่ 500 ค่า Dimensional error = 0.041 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน สำหรับผลของ Feed พบว่า ที่ Feed = 0.02 ค่า Dimensional error = 0.034 ที่ 0.06 ค่า Dimensional error = 0.033 ที่ 0.10 ค่า Dimensional error = 0.044 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน และสำหรับผลของ Depth พบว่าที่ Depth = 0.1 ค่า Dimensional error = 0.038 ที่ 0.2 ค่า Dimensional error = 0.036 ที่ 0.3 ค่า Dimensional error = 0.038 ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน สำหรับผลของ Cutting Speed*Feed พบว่าที่ค่า Cutting Speed = 250 และที่ค่า Feed = 0.06 ค่า Dimensional error

= 0.027 ซึ่งต่ำสุด สำหรับผลของ Cutting Speed*Depth พบว่าที่ Cutting Speed = 400 และ Depth = 0.1 ค่า Dimensional error = 0.031 ซึ่งต่ำสุด สำหรับผลของ Feed *Depth พบว่าที่ Feed = 0.06 และ Depth = 0.1 ค่า Dimensional error = 0.032 ซึ่งต่ำสุด และสำหรับผลของ Cutting Speed*Feed *Depth พบว่าที่ Cutting Speed = 400 Feed = 0.06 และ Depth = 0.1 ค่า Dimensional error = 0.022 ซึ่งต่ำสุด

4.2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักในการตัดกับความขรุขระของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

4.2.1 การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักในการตัดกับความขรุขระของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานของใบมีดคาร์และเซรามิก

จากการทดลองเป็นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหลักในการกลึงเหล็กหล่อเทาด้วยใบมีดคาร์และเซรามิกที่มีผลต่อความขรุขระของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานพบว่าตัวแปรเหล่านั้นสามารถอธิบายความผันแปรของความขรุขระของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานได้ดี โดยพิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งมีค่าสูงมาก ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะทำการหาสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างตัวแปรหลักในการตัดกับความขรุขระของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานของใบมีดคาร์และเซรามิกแต่ละการทดลอง ซึ่งจะใช้โปรแกรม MINITAB Release 14 ช่วยในการคำนวณและประมวลผลทางสถิติ โดยจะทำการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ดังกล่าวใน 2 รูปแบบ ดังนี้

1. รูปแบบสมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล ลำดับที่ 2 (quadratic)

1.1 สมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลของความขรุขระของพื้นผิว

$$R_a = K_0 + K_1V + K_2F + K_3D + K_4V^2 + K_5F^2 + K_6D^2 + K_7V*F + K_8V*D + K_9F*D \quad (4.1)$$

โดยที่ R_a = ความขรุขระของพื้นผิว(μm)

K_0 - K_9 = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

V = Cutting Speed (m/min)

F = Feed (mm/rev)

D = Depth (mm)

1.2 สมการความสัมพันธ์แบบพหุนามของความสัมพันธ์ของขนาดชิ้นงาน

$$De = K_0 + K_1V + K_2F + K_3D + K_4V^2 + K_5F^2 + K_6D^2 + K_7V^*F + K_8V^*D + K_9F^*D \quad (4.2)$$

โดยที่ De = ความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน (mm)

K_0 - K_9 = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

V = Cutting Speed (m/min)

F = Feed (mm/rev)

D = Depth (mm)

1.3 สมการความสัมพันธ์แบบพหุนามสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

$$R_a = K_0 + K_1De + K_2De^2 \quad (4.3)$$

โดยที่ฟังก์ชันตัวแปรเหมือนกับสมการที่ (4.1) - (4.2)

2. รูปแบบสมการความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

2.1 สมการความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียลของความขรุขระของพื้นผิว

$$\ln(R_a) = K_0 + K_1 \ln V + K_2 \ln F + K_3 \ln D + K_4 \ln V^*F + K_5 \ln V^*D + K_6 \ln F^*D + K_7 \ln V^*F^*D$$

หรือ

$$R_a = e^{K_0} V^{K_1} F^{K_2} D^{K_3} V^*F^{K_4} V^*D^{K_5} F^*D^{K_6} V^*F^*D^{K_7} \quad (4.4)$$

โดยที่ฟังก์ชันตัวแปรเหมือนกับสมการที่ (4.1)

2.2 สมการความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียลของความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

$$\ln(R_a) = K_0 + K_1 \ln V + K_2 \ln F + K_3 \ln D + K_4 \ln V^*F + K_5 \ln V^*D + K_6 \ln F^*D + K_7 \ln V^*F^*D$$

หรือ

$$De = e^{K_0} V^{K_1} F^{K_2} D^{K_3} V^* F^{K_4} V^* D^{K_5} F^* D^{K_6} V^* F^* D^{K_7} \quad (4.5)$$

โดยที่ฟังก์ชันตัวแปรเหมือนกับสมการที่ (4.2)

2.3 สมการความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียลสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

$$\ln(R_a) = K_0 + K_1 \ln(De)$$

หรือ

$$R_a = e^{K_0} (De)^{K_1} \quad (4.6)$$

โดยที่ฟังก์ชันตัวแปรเหมือนกับสมการที่ (4.1) - (4.2)

เมื่อนำผลการทดลองมาประมวลผลทางสถิติเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ทั้ง 2 รูปแบบแล้ว จะทำการเปรียบเทียบค่า R^2 ของสมการทั้ง 2 รูปแบบ เพื่อหาว่าสมการความสัมพันธ์รูปแบบใดที่มีความเหมาะสมมากกว่ากัน ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงรูปแบบสมการแบบพหุนามเชิงเส้น แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และค่า R^2 ของใบมีด เซรามิกและคาร์ไบด์

ชนิดของใบมีด	รูปแบบของสมการ	R^2 (%)
เซรามิก	a) แบบพหุนามเชิงเส้น ลำดับที่ 2 (quadratic) $R_a = 1.03 - 7.5 \cdot 10^{-5} V - 3.6 F - 3.1 D - 1 \cdot 10^{-6} V^2 + 31 F^2 + 3.8 D^2 + 1 \cdot 10^{-3} V^* F + 2.8 \cdot 10^{-3} V^* D + 1.3 F^* D \quad (4.7)$	72.2
	$De = 6.8 \cdot 10^{-1} + 4.5 \cdot 10^{-5} V - 4.1 \cdot 10^{-1} V - 3.1 \cdot 10^{-1} D - 1.7 \cdot 10^{-7} V^2 + 3.8 F^2 + 3.6 \cdot 10^{-1} D^2 + 2.4 \cdot 10^{-4} V^* D + 4.2 \cdot 10^{-1} F^* D \quad (4.8)$	70
	$R_a = 0.4 - 0.3 De + 1.3 \cdot 10^2 De^2 \quad (4.9)$	81.4

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ชนิดของ ใบมีด	รูปแบบของสมการ	R ² (%)
เซรามิก	b) แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล $R_a = 1.5V^{-3.1 \times 10^4} F^{-1.8 \times 10^4} D^{-5.2 \times 10^3} V * F^{2 \times 10^4} V * D^{7.6 \times 10^3} F * D^{-6.1 \times 10^3} V * F * D^{3.8 \times 10^3} \quad (4.10)$	69.3
	$De = -1.4V^{-6.8 \times 10^4} F^{-4.3 \times 10^4} D^{-1.3 \times 10^3} V * F^{-4 \times 10^4} V * D^{4 \times 10^4} F * D^{-1.5 \times 10^3} V * F * D^{1.8 \times 10^4} \quad (4.11)$	62.2
	$R_a = 1.7De^{3.2 \times 10^{-1}} \quad (4.12)$	65.5
คาร์ไบด์	a) แบบพหุนามในเมเยล ลำดับที่ 2 (quadratic) $R_a = 7.9 \times 10^{-1} - 1.9 \times 10^{-3} V - 1.7F + 9.4 \times 10^{-1} D + 3 \times 10^{-6} V^2 + 40.7F^2 + 8.1 \times 10^{-1} D^2 - 1.7 \times 10^{-3} V * F - 2.3 \times 10^{-3} V * D - 6.2F * D \quad (4.13)$	66
	$De. = 6 \times 10^{-2} - 1.9 \times 10^{-4} V - 1.1 \times 10^{-1} F + 2.8 \times 10^{-2} D + 3.1 \times 10^{-7} V^2 + 3.4F^2 + 1.7 \times 10^{-1} D^2 - 2.1 \times 10^{-4} V * F - 1.7 \times 10^{-4} V * D - 4.7 \times 10^{-1} F * D \quad (4.14)$	51
	$R_a = 0.3 + 6.6 De. + 2.9 \times 10^1 De^2 \quad (4.15)$	81.5
	b) แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล $R_a = 0.3V^{4.8 \times 10^3} F^{-2 \times 10^4} D^{1.6 \times 10^4} V * F^{1.9 \times 10^4} V * D^{-1.7 \times 10^4} F * D^{8.4 \times 10^3} V * F * D^{-7.8 \times 10^3} \quad (4.16)$	57.6
	$De = 1.5 \times 10^{-2} V^{6.4 \times 10^3} F^{-2.6 \times 10^4} D^{2.9 \times 10^4} V * F^{3.2 \times 10^4} V * D^{-2.3 \times 10^4} F * D^{9.4 \times 10^3} V * F * D^{-1.5 \times 10^4} \quad (4.17)$	43.5

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ชนิดของ ไบมีด	รูปแบบของสมการ	R ² (%)
คาร์ไบด์	$R_a = 3.1De^{4.9 \times 10^{-1}}$ (4.18)	43.5

จากตารางที่ 4.11 พบว่า สมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล ลำดับที่ 2 (quadratic) จะให้ค่า R² มากกว่าสมการความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ดังนั้น สมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างอิทธิพลของตัวแปรหลักในการกลึงเหล็กหล่อเทาด้วยไบมีดคาร์และเซรามิกที่มีผลต่อความขรุขระของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน จะใช้สมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล

4.3 การทดสอบสมการถดถอยเพื่อทำนายค่าความขรุขระของพื้นผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

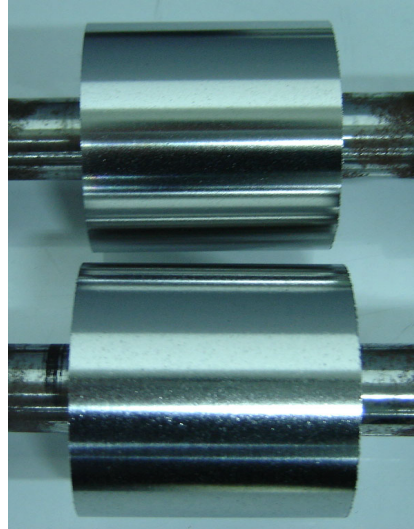
4.3.1 ทดสอบความมีนัยสำคัญของสมการ

เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าจริงที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยทำการสุ่มสภาวะการตัดที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด (ดูภาคผนวก ง ตารางที่ 5-8) เพื่อนำข้อมูลมาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยทำการ ทดสอบ Paired Samples T-Test ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและ การทำนายพบว่า ค่าทั้งสองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัย-
สำคัญ($\alpha = 0.05$)

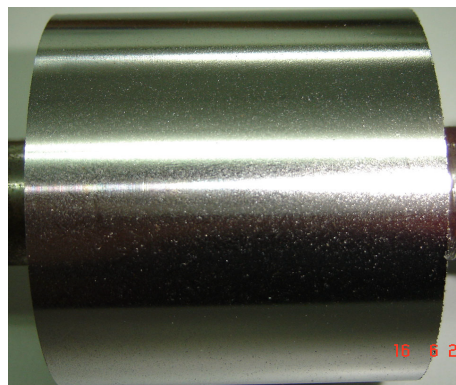
4.3.2 ทดสอบความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์หรือความแม่นยำในการพยากรณ์โดยจะพิจารณาจากค่าที่ได้จากการทดลองใกล้เคียงกับค่าพยากรณ์มากที่สุด หรือมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด การวัดความคลาดเคลื่อนสามารถวัดได้จากค่า MAD และ MSE จากการทดสอบความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์พบว่า ค่า MAD และ MSE (ดูภาคผนวก ง ตารางที่ 9-11) มีค่าต่ำแสดงว่าการพยากรณ์ให้ความแม่นยำและค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้($\pm 10\%$)

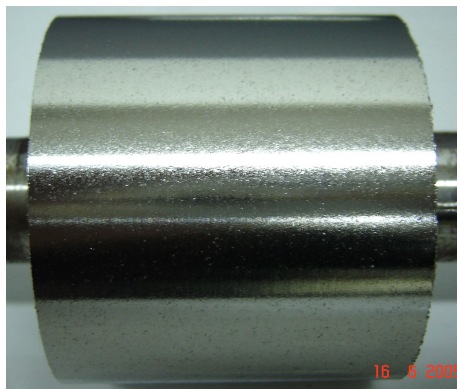
4.4 แสดงภาพถ่ายของชิ้นงานหลังการกลึงด้วยไบมีดเซรามิกและคาร์ไบด์



ภาพประกอบที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายชิ้นงานที่ผ่านการกลึงด้วยไบมีดเซรามิก(บน)และคาร์ไบด์ (ล่าง)ที่ Cutting Speed = 550 m/min, Feed = 0.1 mm/rev, Depth = 0.3 mm

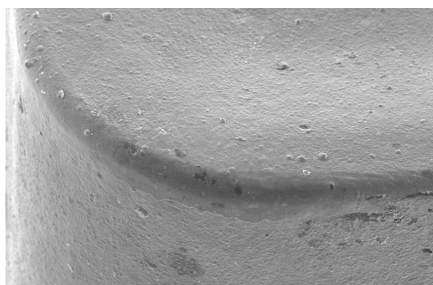


ภาพประกอบที่ 4.10 แสดงภาพถ่ายชิ้นงานที่ผ่านการกลึง ด้วยไบมีดเซรามิก ที่ Cutting Speed = 550 m/min, Feed = 0.1 mm/rev, Depth = 0.3 mm ค่าความขรุขระของพื้นผิว $R_a = 0.45 \mu\text{m}$

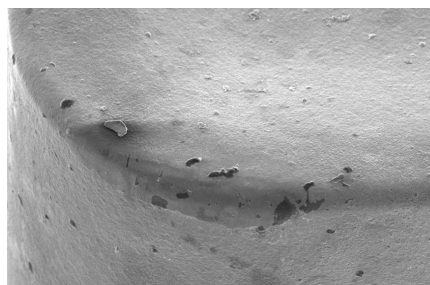


ภาพประกอบที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายชิ้นงานที่ผ่านการกลึงด้วยไบมีดคาร์ไบด์ ที่ Cutting Speed = 550 m/min, Feed = 0.1 mm/rev, Depth = 0.3 mm ค่าความขรุขระของพื้นผิว $R_a = 0.65 \mu\text{m}$

4.5 แสดงภาพถ่ายของไบมีดที่ใช้กลึงชิ้นงาน

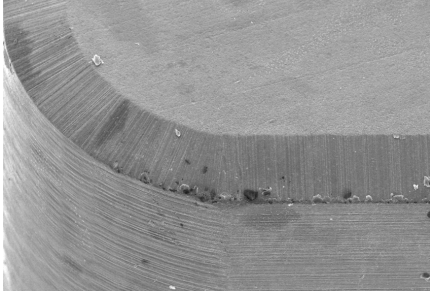


(ก)

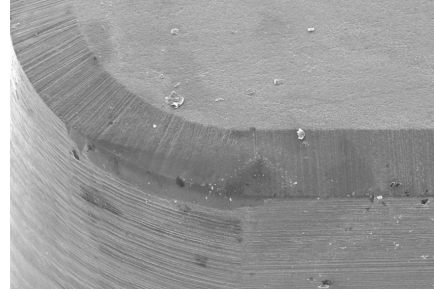


(ข)

ภาพประกอบที่ 4.12 แสดงภาพถ่ายไบมีดคาร์ไบด์ก่อนตัด (ก) หลังตัด (ข) ที่กำลังขยาย 100 เท่าที่ Cutting Speed = 550 m/min, Feed = 0.1 mm/rev, Depth = 0.3 mm



(ก)



(ข)

ภาพประกอบที่ 4.13 แสดงภาพถ่ายไมโครสโคปก่อนตัด (ก) หลังตัด (ข) ที่กำลังขยาย 100 เท่าที่ Cutting Speed = 550 m/min, Feed = 0.1 mm/rev, Depth = 0.3 mm