# 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 Num | DF Denom | P |
|---|---|---|---|---|---|
| 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 = 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 = 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 Num | DF Denom | P |
|---|---|---|---|---|---|
| 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-value = 0.000) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

จากตารางที่ 4.2 พบว่าสมมติฐานหลัก $H_{0(Feed)}$ ถูกปฏิเสธดังนั้นจึงสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาว่าตัวใดที่มีส่วนสนับสนุนต่อการปฏิเสธ $H_{0(Feed)}$ นั้นซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งชุด (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 = 0.05 (ภาคผนวก ข ตารางที่ 17) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Feed = 0.02 กับ 0.06 มีผลต่อ $R_a$ อย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.6682

ที่ Feed = 0.02 กับ 0.1 มีผลต่อ $R_a$ อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0143

ที่ Feed = 0.06 กับ 0.1 มีผลต่อ $R_a$ อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0010

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

ที่ Feed = 0.02 กับ 0.06 มีผลต่อ Dimensional error อย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.9335

ที่ Feed = 0.02 กับ 0.1 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0001

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

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

ตารางที่ 4.3 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for Depth

**MANOVA for Depth**
**s = 2  m = -0.5  n = 49.0**

| Criterion | Test Statistic | F | DF Num | DF Denom | P |
|---|---|---|---|---|---|
| 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-value = 0.000) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

จากตารางที่ 4.3 พบว่าสมมติฐานหลัก $H_{0(Depth)}$ ถูกปฏิเสธดังนั้นจึงสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาว่าตัวใดที่มีส่วนสนับสนุนต่อการปฏิเสธ $H_{0(Depth)}$ นั้นซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งชุด (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 = 0.05 (ภาคผนวก ข ตารางที่ 21) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Depth = 0.1 กับ 0.2 มีผลต่อ $R_a$ อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0040

ที่ Depth = 0.1 กับ 0.3 มีผลต่อ $R_a$ อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0081

ที่ Depth = 0.2 กับ 0.3 มีผลต่อ $R_a$ อย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.9716

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

ที่ Depth = 0.1 กับ 0.2 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0029

ที่ Depth = 0.1 กับ 0.3 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0006

ที่ Depth = 0.2 กับ 0.3 มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.8942

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

4.1.2 การวิเคราะห์ผลค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน $R_a$ ด้วยเทคนิค ANOVA (มีดเซรามิก)

ตารางที่ 4.4 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 | 0.015159 | 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 | 1.018508 | | | | |

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

ผลจากการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.4 ทำการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %หรือที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ซึ่งค่า $F_{\alpha,v_1,v_2}$ จากตาราง F – ratio ที่ $\alpha = 0.05$ จะได้ค่า $F_{0.05,2,81} = 3.126$ มีเกณฑ์การตัดสินใจ คือถ้าค่า F – ratio มีค่ามากกว่า $F_{\alpha,v_1,v_2}$ 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

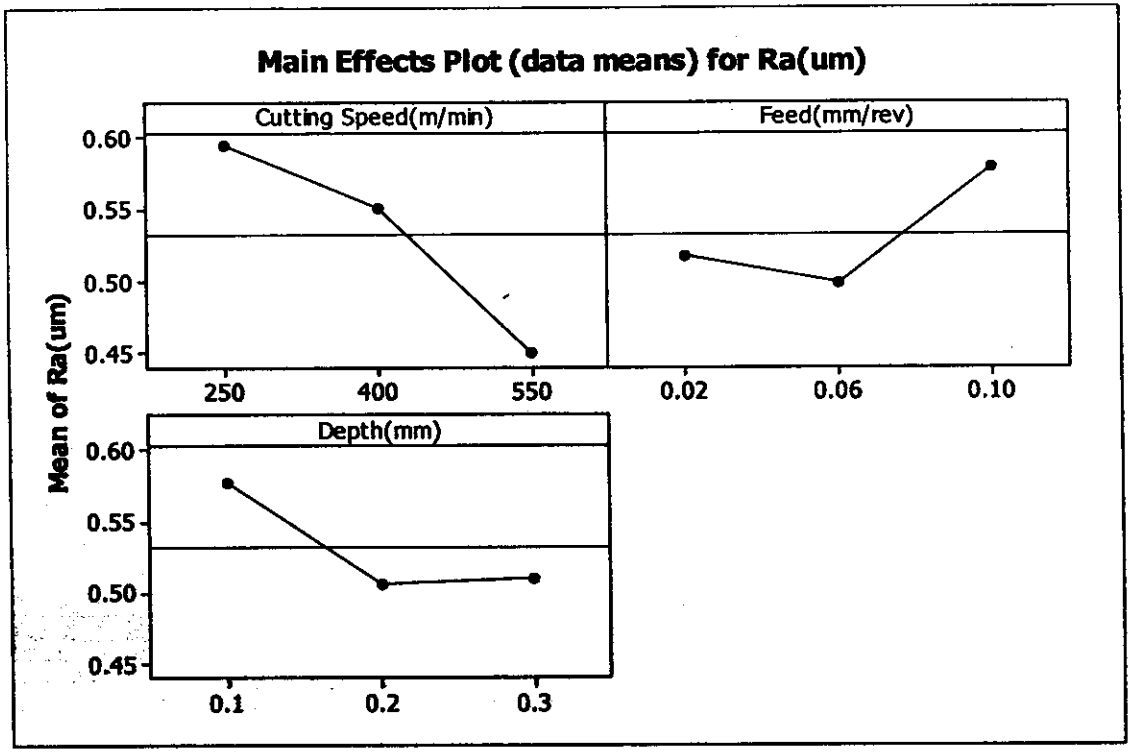
ค่า Interaction ระหว่าง Feed กับค่า Depth

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

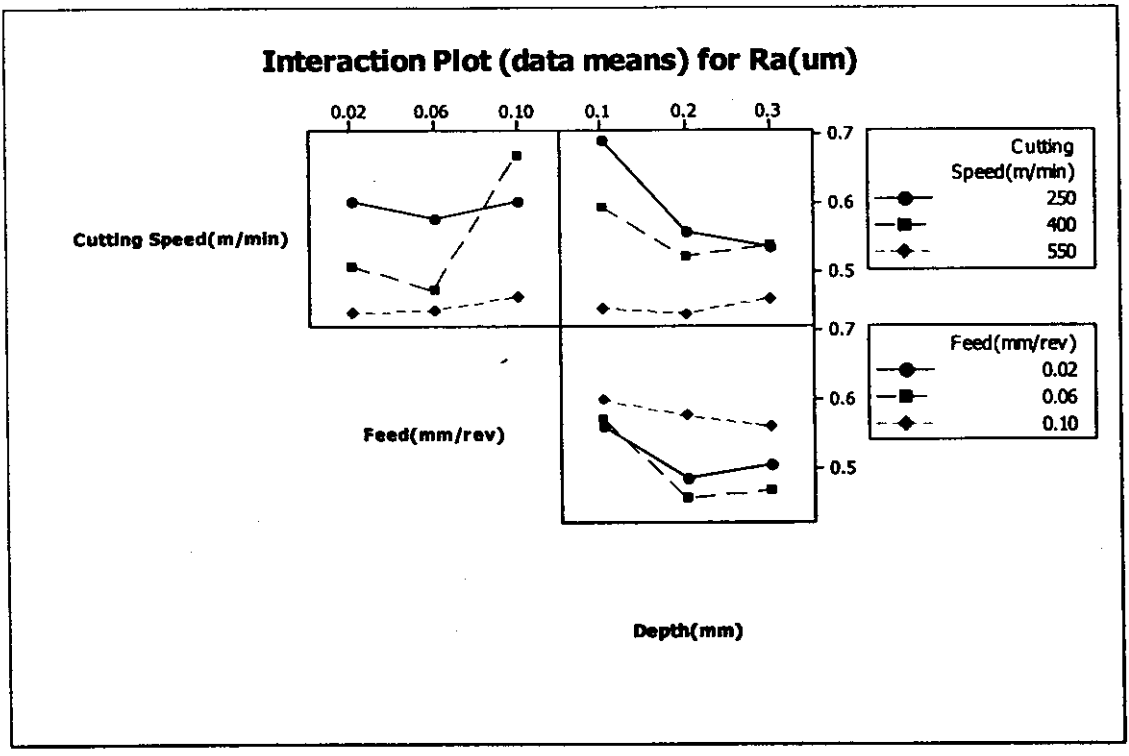
จากตารางที่ 4.4 ค่า F – ratio = 12.34 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,8,81}$ = 2.076 และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha$ = 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน $H_0$ สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed, Feed กับค่า Depth มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

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 $R_a$ พบว่า ที่ Cutting Speed = 250 ค่า $R_a$ = 0.594 ที่ 400 ค่า $R_a$ = 0.551 ที่ 500 ค่า $R_a$ = 0.449 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน สำหรับผลของ Feed พบว่า ที่ Feed = 0.02 ค่า $R_a$ = 0.517 ที่ 0.06 ค่า $R_a$ = 0.499 ที่ 0.10 ค่า $R_a$ = 0.579 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน 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 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน 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 $F_{\alpha,v_1,v_2}$ จากตาราง F – ratio ที่ $\alpha$ = 0.05 จะได้ค่า $F_{0.05,2,78}$ = 3.126 มีเกณฑ์การตัดสินใจคือถ้าค่า F – ratio มีค่ามากกว่า $F_{\alpha,v_1,v_2}$ 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

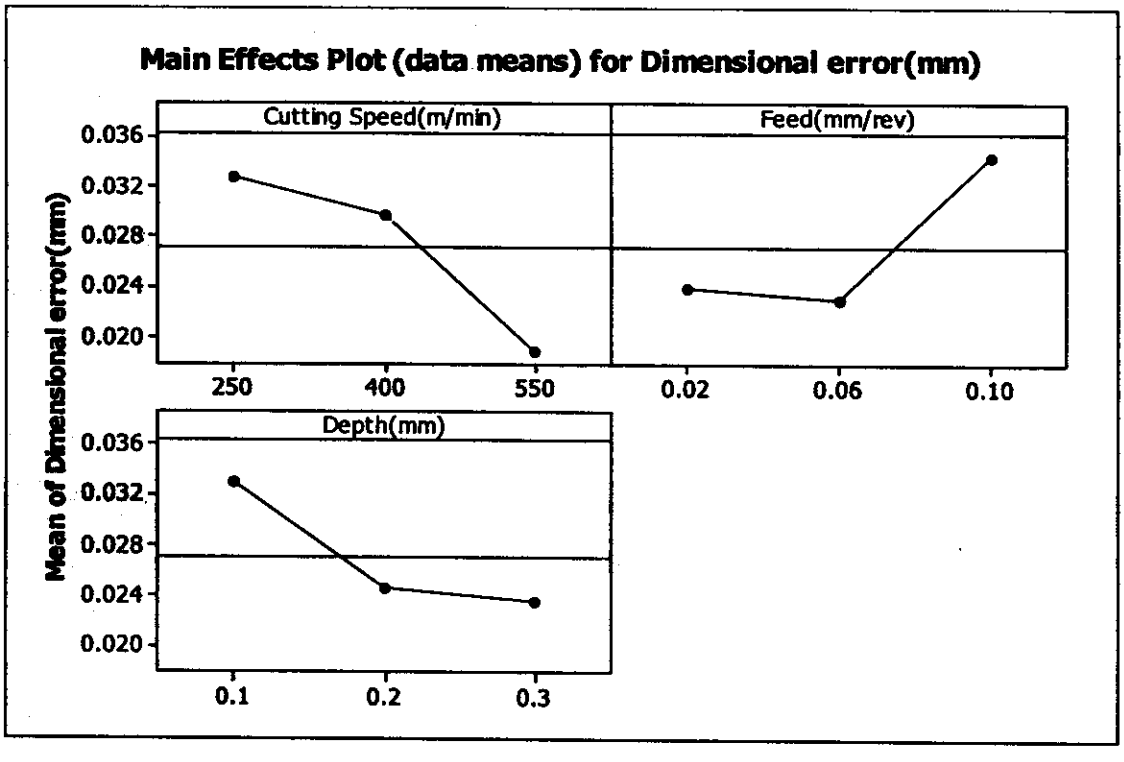
จากตารางที่ 4.5 ค่า F – ratio = 6.35 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,4,78}$ = 2.506 และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha$ = 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน $H_0$ สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Feed กับค่า Depth มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

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

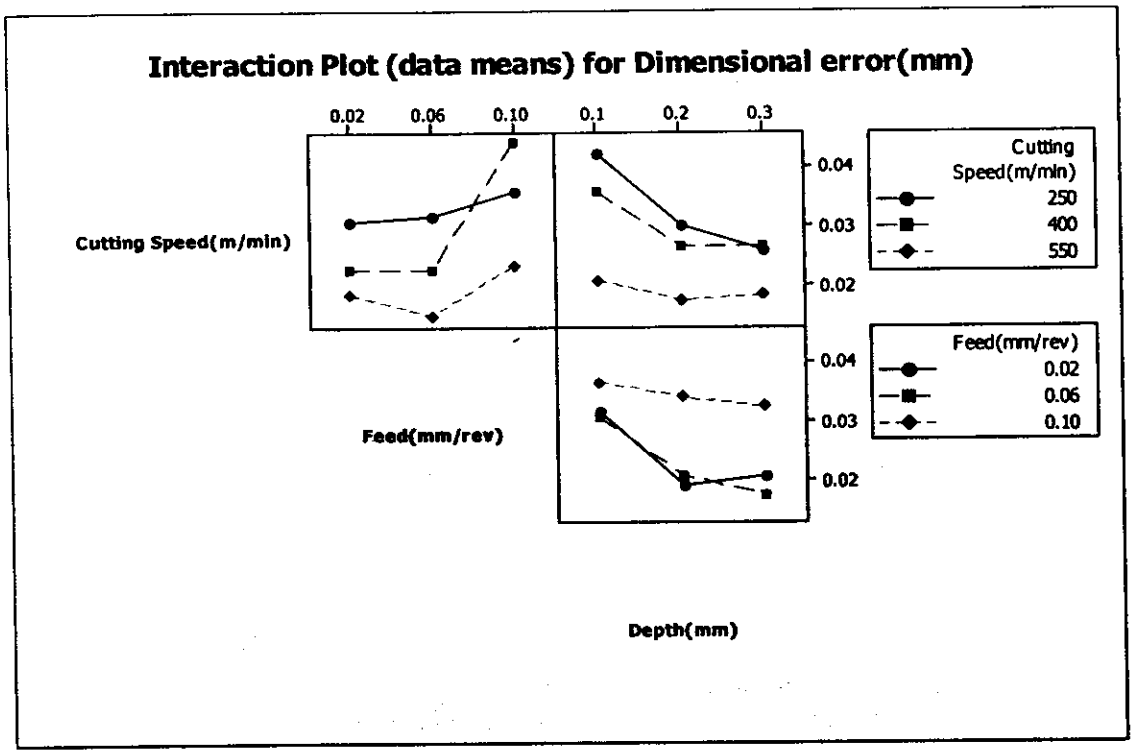
Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed, Feed และ Depth มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

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 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน 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 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน 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 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน สำหรับผลของ Cutting Speed*Feed พบว่าที่ Cutting Speed = 550 และ ที่ค่าFeed = 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(มีตคาร์ไบด์)

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 Num | DF Denom | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Wilks' | 0.66331 | 11.392 | 4 | 200 | 0.000 |
| Lawley-Hotelling | 0.50345 | 12.469 | 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-value = 0.000) และสถิติตัวอื่น ๆ ก็ให้ผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

จากตารางที่ 4.6 พบว่าสมมติฐานหลัก $H_{0(\text{Cutting Speed})}$ ถูกปฏิเสธดังนั้นจึงสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาว่าตัวใดที่มีส่วนสนับสนุนต่อการปฏิเสธ $H_{0(\text{Cutting Speed})}$ นั้นซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งชุด (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 = 0.05 (ภาคผนวก ข ตารางที่ 25) จากการทดสอบพบว่า

ที่ Cutting Speed = 250 กับ 400 มีผลต่อ $R_a$ อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0180
ที่ Cutting Speed = 250 กับ 550 มีผลต่อ $R_a$ อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0395
ที่ Cutting Speed = 400 กับ 550 มีผลต่อ $R_a$ อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P-value = 0.0000

ลำดับที่สองทดสอบค่า Dimensional error เนื่องจาก Cutting Speed มี 3 ระดับ ดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่า คู่ไหนที่มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ = 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**

| | Test | | DF | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Criterion** | **Statistic** | **F** | **Num** | **Denom** | **P** |
| **Wilks'** | **0.57438** | **15.974** | **4** | **200** | **0.000** |
| **Lawley-Hotelling** | **0.73133** | **18.100** | **4** | **198** | **0.000** |
| **Pillai's** | **0.43119** | **13.886** | **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 $H_{0(\text{Feed})}$ นั้นซึ่งช่วงความเชื่อมั่นทั้งชุด (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 = 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 ดังนั้นจึงทดสอบรายคู่ว่าคู่ไหนที่มีผลต่อ Dimensional error อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ = 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 $H_{0(Feed)}$ มากที่สุด

ตารางที่ 4.8 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for Depth

**MANOVA for Depth**
**s = 2 m = -0.5 n = 49.0**

| Criterion | Test Statistic | F | DF Num | DF Denom | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Wilks' | 0.98240 | 0.446 | 4 | 288 | 0.775 |
| Lawley-Hotelling | 0.01788 | 0.443 | 4 | 198 | 0.778 |
| Pillai's | 0.01763 | 0.449 | 4 | 292 | 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 $F_{\alpha,v_1,v_2}$ จากตาราง F – ratio ที่ $\alpha = 0.05$ จะได้ค่า $F_{0.05,2,78} = 3.126$ มีเกณฑ์การตัดสินใจ คือถ้าค่า F – ratio มีค่ามากกว่า $F_{\alpha,v_1,v_2}$ 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

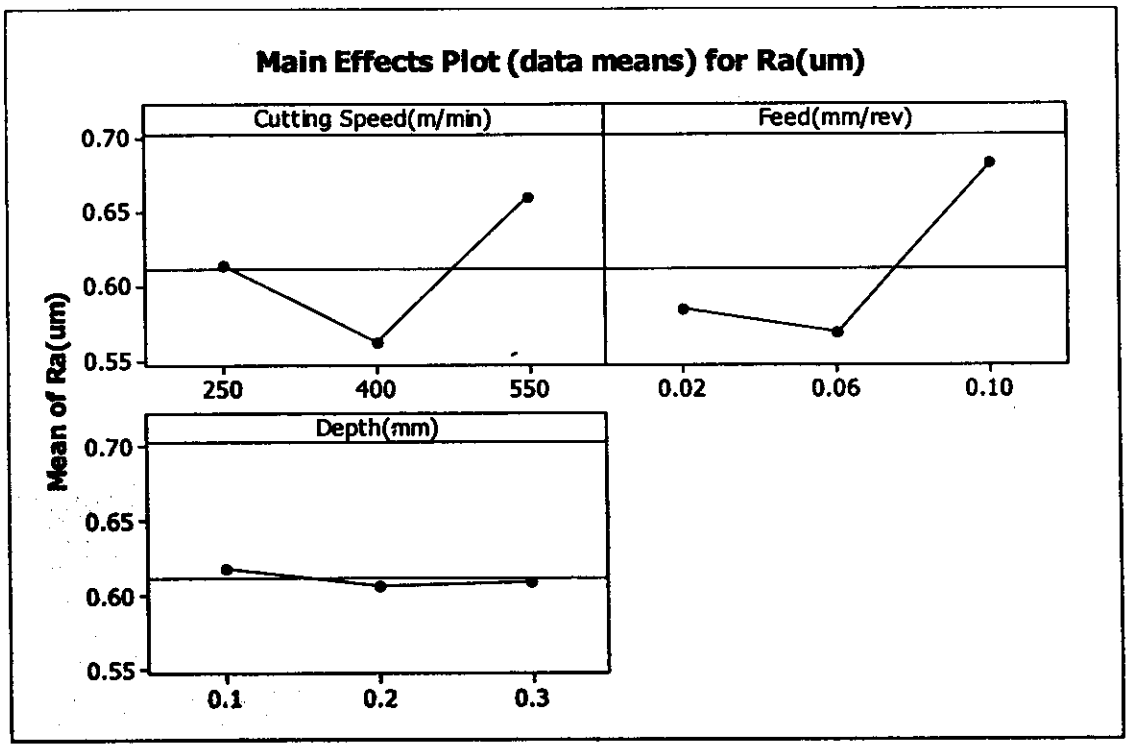
ค่า Interaction ระหว่าง Feed กับค่า Depth

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

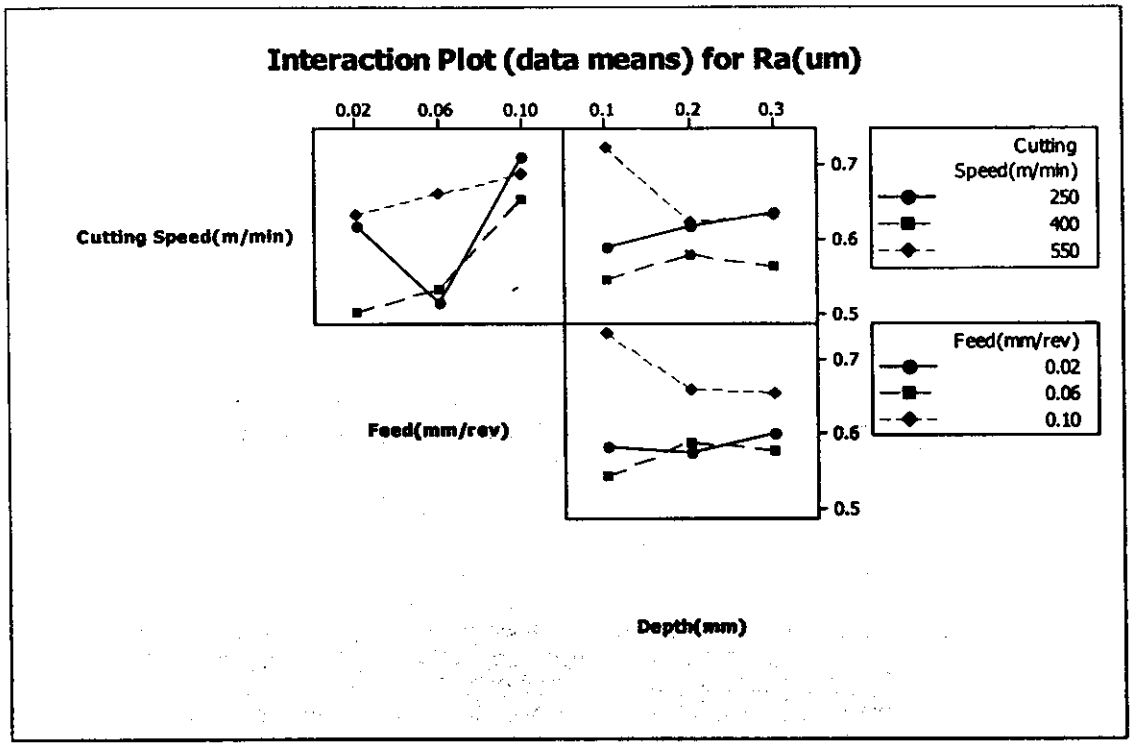
จากตารางที่ 4.9 ค่า F – ratio = 12.17 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,8,81}$ = 2.076 และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha$ = 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน $H_0$ สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed, Feed และ Depth มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว

จากตารางที่ 4.9 พบว่าอิทธิพลหลัก(Main effect)ทุกปัจจัยมีผลต่อค่าความขรุขระของพื้นผิว ยกเว้นDepth 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 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน 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 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน 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 ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน 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

จากตารางที่4.10 ทำการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%หรือที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha$ = 0.05 ซึ่งค่า $F_{\alpha,v_1,v_2}$ จากตาราง F – ratio ที่ $\alpha$ = 0.05 จะได้ค่า $F_{0.05,2,78}$ = 3.126 มีเกณฑ์การตัดสินใจ คือถ้าค่า F – ratio มีค่ามากกว่า $F_{\alpha,v_1,v_2}$ 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 มีผลต่อความความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

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

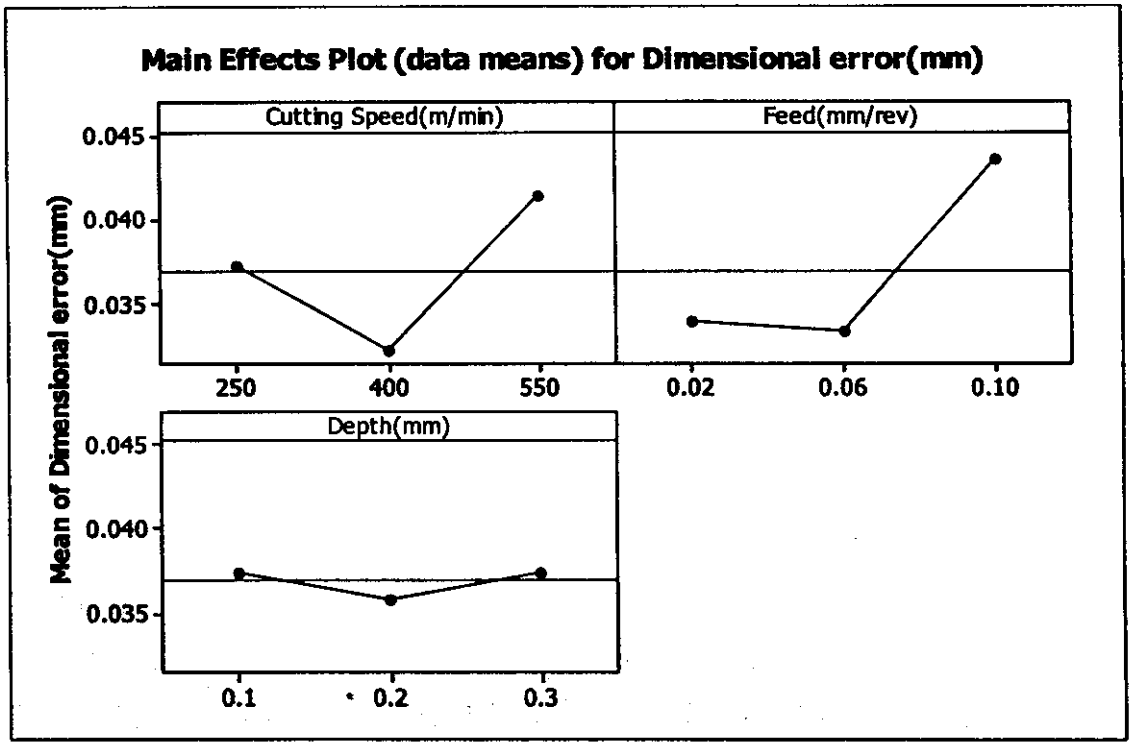
ค่า Interaction ระหว่าง Feed กับค่า Depth

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

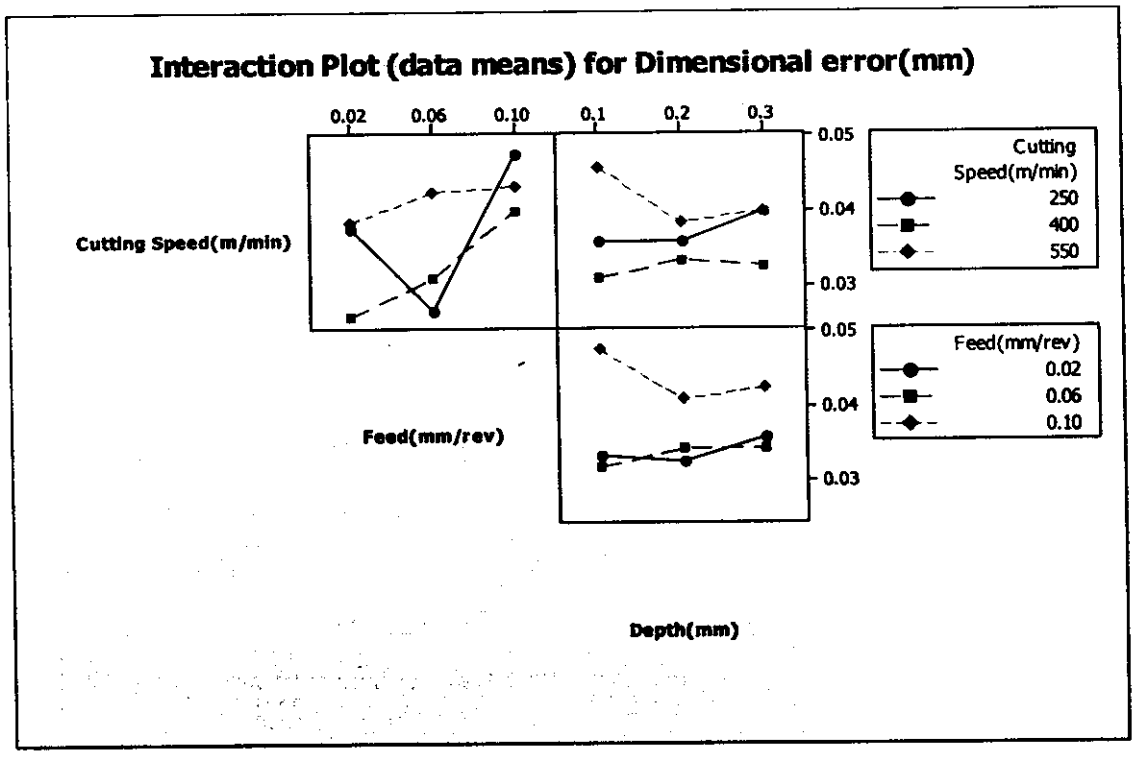
จากตารางที่ 4.10 ค่า F – ratio = 10.32 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,8,78}$ = 2.076 และค่า P-value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha$ = 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน $H_0$ สรุปได้ว่าค่า Interaction ระหว่างค่า Cutting Speed, Feed และ Depth มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

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 มีตคาร์ไบด์

ภาพประกอบที่ 4.8 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย(Interaction) ของทุกปัจจัยส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

จากตารางที่115 (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 การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักในการตัดกับความขรุขระของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานของใบมีดคาร์ไบด์และเซรามิก

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

1. รูปแบบสมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล ลำดับที่ 2 (quadratic)

1.1 สมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลของความขรุขระของพื้นผิว

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

โดยที่ $R_a$ = ความขรุขระของพื้นผิว($\mu$m)

$K_0$-$K_9$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

V = Cutting Speed (m/min)

F = Feed (mm/rev)

D = Depth (mm)

1.2 สมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลของความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

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

โดยที่ De = ความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน (mm)

$K_0$-$K_9$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

V = Cutting Speed (m/min)

F = Feed (mm/rev)

D = Depth (mm)

1.3 สมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

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

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 แสดงรูปแบบสมการแบบโพลิโนเมียล แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และค่า $R^2$ ของใบมีดเซรามิกและคาร์ไบด์

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

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

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

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

| ชนิดของใบมีด | รูปแบบของสมการ | $R^2$(%) |
|---|---|---|
| คาร์ไบด์ | $R_a = 3.1De^{4.9*10^{-1}}$ (4.18) | 43.5 |

จากตารางที่ 4.11 พบว่า สมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล ลำดับที่ 2 (quadratic)จะให้ค่า $R^2$ มากกว่าสมการความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ดังนั้น สมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างอิทธิพลของตัวแปรหลักในการกลึงเหล็กหล่อเทาด้วยใบมีดคาร์และเซรามิกที่มีผลต่อความขรุขระของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน จะใช้สมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล

### 4.2.2 การหาสมการความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างตัวแปรหลักในการตัดกับความขรุขระของพื้นผิวและความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานของใบมีดคาร์ไบด์และเซรามิก

ในการวิคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน กับ ตัวแปรหลักในการตัด และ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน กับ ตัวแปรหลักในการตัด ในรูปสมการอย่างง่ายซึ่งเป็นที่คุ้นเคย และยอมรับกันทั่วไปในวงการตัดวัสดุ (ศุภโชค, 2543) คือ

$$D_e = K_1 V^{a1} F^{b1} D^{c1} \quad \text{.....(4-7)}$$

และ $$R_a = K_2 V^{a2} F^{b2} D^{c2} \quad \text{..... (4-8)}$$

ผลจากการศึกษาพบว่าสมการดังในรูปแบบสมการที่ (4-7) และ (4-8) มีค่าดังต่อไปนี้

$$D_{e(ceramic)} = 1.59\ V^{-0.693}\ F^{0.201}\ D^{-0.329} \quad \text{..... (4-9)}$$

$$R\text{-}Sq = 47.6\%$$

$$D_{e(carbide)} = 0.026\ V^{0.132}\ F^{0.135}\ D^{0.034} \quad \text{..... (4-10)}$$

$$R\text{-}Sq = 14.1\%$$

$$R_{a(ceramic)} = 3.63\ V^{-0.331}\ F^{0.052}\ D^{-0.109} \quad \text{..... (4-11)}$$

$$R\text{-}Sq = 49.9\ \%$$

$$R_{a(carbide)} = 0.46\ V^{0.084}\ F^{0.078}\ D^{-0.004} \quad \text{..... (4-12)}$$

$$R\text{-}Sq = 16.3\ \%$$

## 4.3 การทดสอบสมการถดถอยเพื่อทำนายค่าความขรุขระของพื้นผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน

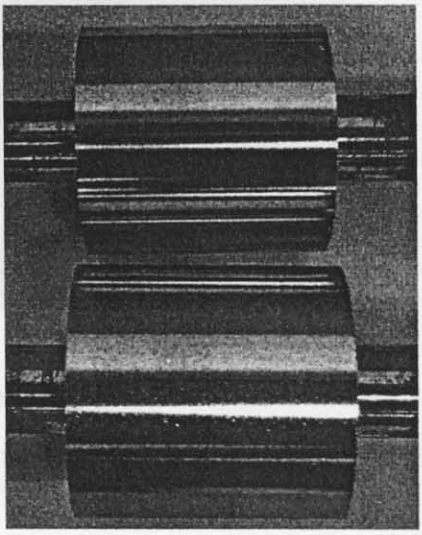
### 4.3.1 ทดสอบสอบความมีนัยสำคัญของสมการ

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

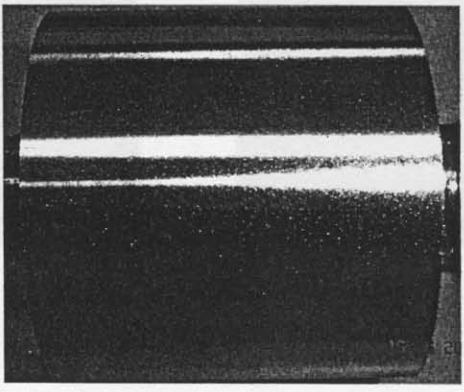
### 4.3.2 ทดสอบความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

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

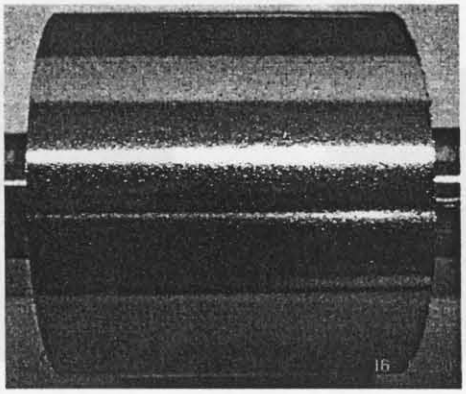
## 4.4 แสดงภาพถ่ายของชิ้นงานหลังการกลึงด้วยใบมีดเซรามิกและคาร์ไบด์



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



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



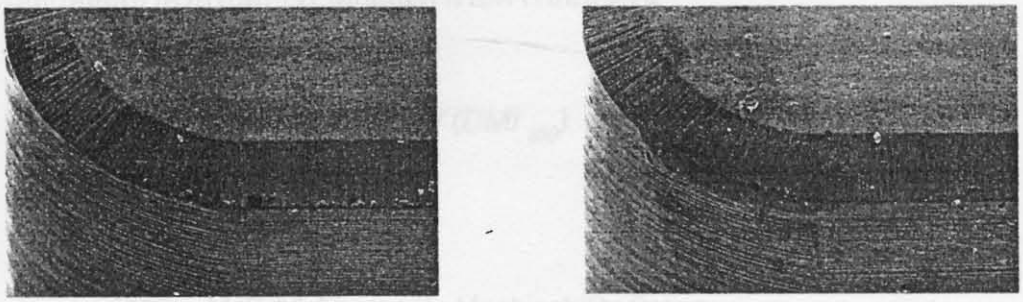
ภาพประกอบที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายชิ้นงานที่ผ่านการกลึงด้วยใบมีดคาร์ไบด์ ที่ Cutting Speed = 550 m/min, Feed = 0.1 mm/rev, Depth = 0.3 mm ค่าความขรุขระของพื้นผิว $R_a$ = 0.65 μm

## 4.5 แสดงภาพถ่ายของใบมีดที่ใช้กลึงชิ้นงาน

(ก)

(ข)

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

## 4.6 การวิเคราะห์สมการต้นแบบสำหรับประเมินค่าอัตราความง่ายในการตัดเหล็กหล่อเทาด้วยใบมีดเซรามิกและคาร์ไบด์

จากรายงานผลการวิจัยเรื่อง Aggregate indicators to assess the machinability of gray cast iron using CBN and Ceramic cutting toos [15] ซึ่งมีการนำเสนอรูปแบบการประเมินความง่ายในการตัดเหล็กหล่อเทาเมื่อใช้ใบมีด CBN เปรียบเทียบกับ ใบมีดเซรามิก โดยสมการต้นแบบที่นำเสนอ [15] คือ

$$AMR_{ij(k)} = \alpha(PMI_{ij(k)}) + \beta(WMI_{ij(k)}) + \delta(RMI_{ij(k)}) + \gamma(DMI_{ij(k)}) \quad \ldots (4\text{-}13)$$

และ $\alpha + \beta + \delta + \gamma = 1$

โดยที่ AMR คือ Aggregate Machinability Rating

WMI คือ Tool Wear Machinability Indicator

RMI คือ Surface Roughness Machinability Indicator

PMI คือ Cutting Power Machinability Indicator

DMI คือ Dimensional Stability Machinability Indicator

i, j คือ วัสดุใบมีดชนิด i ที่นำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับ วัสดุใบมีดชนิด j

k คือ คือระดับความละเอียดของการตัด เช่น การตัดหยาบ การตัดละเอียด เป็นต้น

นั่นคือ ผลจากการวิจัยนี้สามารถกำหนดสมการต้นแบบสำหรับประเมินความง่ายในการกลึงเหล็กหล่อเทาด้วยใบมีดเซรามิกและคาร์ไบด์ เขียนได้ดังนี้

$$AMR_{ij(k)} = \delta(RMI_{ij(k)}) + \gamma(DMI_{ij(k)}) \quad \text{..... (4-14)}$$

และ $\delta + \gamma = 1$

โดยที่ AMR คือ Aggregate Machinability Rating

RMI คือ Surface Roughness Machinability Indicator

DMI คือ Dimensional Stability Machinability Indicator

i, j คือ วัสดุใบมีด ( i คือ วัสดุใบมีดคาร์ไบด์, j คือ วัสดุใบมีด เซรามิก)

k คือ คือระดับความละเอียดของการตัด เช่น การตัดหยาบ การตัดละเอียด (k =1 เป็นการกลึงละเอียด, k =2 เป็นการกลึงกึ่งหยาบ-กึ่งละเอียด k =3 เป็นการกลึงหยาบ)

$$AMR_{ij(1)} = \delta(1.447) + \gamma(1.592) \quad \text{..... (4-15)}$$

และ $\delta + \gamma = 1$

$$AMR_{ij(2)} = \delta(1.38) + \gamma(1.552) \quad \text{..... (4-16)}$$

และ $\delta + \gamma = 1$

$$AMR_{ij(3)} = \delta(1.318) + \gamma(1.597) \quad \text{..... (4-17)}$$

และ $\delta + \gamma = 1$

กรณีค่า RMI และ DMI มีค่าสูงกว่า 1 หมายความว่า เมื่อใช้วัสดุใบมีดคาร์ไบด์( i ) กลึงตัดชิ้นงานเหล็กหล่อเทา จะมีความง่ายในการตัดน้อยกว่าการตัดด้วย วัสดุใบมีด เซรามิก ( j ) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ วัสดุใบมีดเซรามิกให้ประสิทธิภาพในการกลึงตัดที่ดีกว่าในสภาวะการตัดเดียวกัน

ค่า RMI และ DMI มีค่าเท่ากับ 1 หรือใกล้เคียง 1 หมายความว่า เมื่อใช้วัสดุใบมีดคาร์ไบด์ ( i ) กลึงตัดชิ้นงานเหล็กหล่อเทา จะมีความง่ายในการตัดใกล้เคียงกับการตัดด้วย วัสดุใบมีด

เซรามิก ( j ) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ วัสดุใบมีดเซรามิกให้ประสิทธิภาพในการกลึงตัดในระดับเดียวกันกับการตัดด้วย วัสดุใบมีดคาร์ไบด์ในสภาวะการตัดเดียวกัน

ถ้าค่า RMI และ DMI มีค่าน้อยกว่า 1 หมายความว่า เมื่อใช้วัสดุใบมีดคาร์ไบด์ ( i ) กลึงตัดชิ้นงานเหล็กหล่อเทา จะมีความง่ายในการตัดสูงกว่าการตัดด้วย วัสดุใบมีดเซรามิก ( j ) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ วัสดุใบมีดเซรามิกให้ประสิทธิภาพในการกลึงตัดที่ด้อยกว่าในสภาวะการตัดเดียวกัน

จากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้ พบว่าค่า $RMI_{ij(k)}$ และ $DMI_{ij(k)}$ ให้ค่าสูงกว่า 1 ในทุกสภาวะการตัด ซึ่งหมายความว่า ในช่วงของความเร็วตัด อัตราการป้อนมีด และ ความลึกในการตัดที่ใช้ในการทดลองนี้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของชิ้นงานที่ได้จากการใช้มีดเซรามิกดีกว่าการใช้มีดคาร์ไบด์