

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ii
สารบัญ	iii
สารบัญตาราง	v
สารบัญภาพ	viii
Abstract	xiii
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1-1
1.2 งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	1-2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1-9
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย	1-9
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	1-10
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	2-1
2.1 ความขรุขระของพื้นผิว (Surface roughness)	2-1
2.2 การวัดค่าความขรุขระพื้นผิว	2-2
2.3 หลักการพื้นฐานของการตัดโดยใช้ใบมีด	2-6
2.4 ใบมีดเซรามิก	2-9
2.5 เกณฑ์ในการตัดสินใจว่าคมมีดหมดอายุ	2-10
2.6 ประเภทของการตัด	2-11
2.7 การออกแบบการทดลอง	2-12
2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปร	2-30
2.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปรกรณีหลายแฟกเตอร์	2-33
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	3-1
3.1 ชิ้นงานและใบมีดตัด	3-1
3.2 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	3-3
3.3 วิธีการทดลอง	3-6

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผลการทดลอง	4-1
4.1 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 1	4-1
4.1.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองวัดค่า $R_g$	4-1
4.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองวัดค่าความกลาดเคลื่อนขนาด	4-6
4.2 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 1	4-8
4.2.1 การวิเคราะห์ผล ด้วยเทคนิค MANOVA	4-8
4.2.2 การวิเคราะห์ผลวัดค่า $R_g$ ด้วยเทคนิค ANOVA	4-10
4.2.3 การวิเคราะห์ผลความกลาดเคลื่อนขนาดด้วยเทคนิค ANOVA	4-11
4.2.4 การวิเคราะห์การสึกหรอของไบมีดเซรามิก	4-14
4.3 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 2	4-17
4.3.1 การวิเคราะห์ผล ด้วยเทคนิค MANOVA	4-17
4.3.2 การวิเคราะห์ผลวัดค่า $R_g$ ด้วยเทคนิค ANOVA	4-19
4.3.3 การวิเคราะห์ผลความกลาดเคลื่อนขนาดด้วยเทคนิค ANOVA	4-20
4.3.4 การวิเคราะห์ผลความสัมพันธ์จากการทดลองตอนที่ 2	4-23
4.4 การทดลองเพื่อยืนยันผล	4-23
4.5 การวิเคราะห์ผลการศึกษา	4-27
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	5-1
5.1 สรุปผลการวิจัย	5-1
5.2 ข้อเสนอแนะ	5-2
บรรณานุกรม	R-1
ภาคผนวก	A-1
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกผลการทดลอง	A-2
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ผลการทดลอง (กราฟจากการวิเคราะห์ข้อมูล)	A-39
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ผลภาพไบมีด	A-81

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงข้อมูลสำหรับการทดลองปัจจัยเดียว	2-17
2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Fix Effect Model ตัวแปรเดียว	2-19
2.3 เมตริกซ์การออกแบบ (Design Matrix)	2-21
2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ $2^k$	2-22
2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลอง 3 ปัจจัย แบบ Fixed Effect	2-26
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย	2-29
2.7 รูปแบบข้อมูลการวิเคราะห์แบบ MCRF-IJ	2-34
2.8 MANOVA Table สำหรับแบบแผน MCRF-IJ	2-36
3.1 แสดงการกำหนดค่าตัวแปรสำหรับการทดลองเบื้องต้น	3-6
3.2 แสดงการกำหนดค่าตัวแปรสำหรับการทดลองครั้งที่ 1	3-7
3.3 แสดงการกำหนดค่าตัวแปรสำหรับการทดลองครั้งที่ 2	3-8
3.4 แสดงการสุ่มเลือกสถานะการตัด	3-9
4.1 สรุปผลการทดลองครั้งที่ 1 วัดค่า $R_a$	4-1
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า $R_a$	4-3
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Dimensional error	4-6
4.4 การวิเคราะห์ MANOVA for speed	4-8
4.5 แสดงตาราง MANOVA for feed	4-9
4.6 การวิเคราะห์ ความแปรปรวนของค่า $R_a$	4-10
4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากลาดเคลื่อนขนาด	4-11
4.8 การวิเคราะห์ค่า Means ของ $R_a$ และ Dimensional error	4-13
4.9 แสดงตาราง MANOVA for feed	4-17
4.10 การวิเคราะห์ MANOVA for speed	4-18
4.11 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA for $R_a$	4-19
4.12 การวิเคราะห์ ANOVA for Dimensional error	4-20
4.13 แสดง Least squares Means for $R_a$	4-22

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.14 แสดง Least squares Means for Dimensional error	4-22
4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่า $R_s$	4-24
4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนขนาด	4-25
ผก.1 ผลการทดลองตอนที่ 1	A-2
ผก.2 ผลการทดลองตอนที่ 2	A-5
ผก.3 ผลการทดลองตอนที่ 3	A-24
ผข. 2.1 การวิเคราะห์ MANOVA for Speed	A-54
ผข. 2.2 SSCP Matrix (adjusted) for speed	A-54
ผข. 2.3 Eigen Analysis for speed	A-55
ผข. 2.4 แสดงตาราง MANOVA for feed	A-55
ผข. 2.5 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for feed	A-56
ผข. 2.6 แสดง Eigen Analysis for feed	A-56
ผข. 2.7 แสดง Tukey 95.0% Simultaneous Confidence Interval for $R_s$	A-57
ผข. 2.8 แสดง Tukey Simultaneous Test for $R_s$	A-57
ผข. 2.9 แสดง Tukey 95.0% Simultaneous Confidence Interval for Dim. error	A-58
ผข. 2.10 แสดง Tukey Simultaneous Tests for Dimensional error	A-58
ผข. 2.11 การวิเคราะห์ ความแปรปรวนของค่า $R_s$	A-59
ผข. 2.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนขนาด	A-59
ผข. 2.13 การวิเคราะห์ค่า Means ของ $R_s$ และ Dimensional error	A-60
ผข. 2.14 การวิเคราะห์ Regression Analysis : $R_s$ versus feed , speed	A-60
ผข. 2.15 การวิเคราะห์ Regression Analysis : Dim. error versus feed , speed	A-61

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 3.1 แสดงการวิเคราะห์ MANOVA for feed	A-70
ผข. 3.2 การวิเคราะห์ Eigen Analysis for feed	A-70
ผข. 3.3 การวิเคราะห์ SSCP Matrix (adjusted) for feed	A-71
ผข. 3.4 Tukey 95.0% Simultaneous CI Response $R_g$ All Pairwise of feed	A-71
ผข. 3.5 การวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_g$ All Pairwise of Feed	A-72
ผข. 3.6 การวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of Feed	A-72
ผข. 3.7 Tukey Simultaneous Response Dim. error All Pairwise of feed	A-73
ผข. 3.8 การวิเคราะห์ MANOVA for speed	A-73
ผข. 3.9 แสดง SSCP Matrix(adjusted) for speed	A-74
ผข. 3.10 แสดง Eigen Analysis for speed	A-74
ผข. 3.11 Tukey 95.0% Simultaneous CI Response $R_g$ All Pairwise of speed	A-75
ผข. 3.12 การวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_g$ All Pairwise of speed	A-75
ผข. 3.13 การวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of speed	A-76
ผข. 3.14 การวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of speed	A-76
ผข. 3.15 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA for $R_g$	A-77
ผข. 3.16 การวิเคราะห์ ANOVA for Dimensional error	A-77
ผข. 3.17 แสดง Least squares Means for $R_g$	A-78
ผข. 3.18 แสดง Least squares Means for Dimensional error	A-78
ผข. 3.19 การวิเคราะห์ Regression Analysis : $R_g$ versus feed , speed	A-79
ผข. 3.20 การวิเคราะห์ Regression Analysis: Dimensional error & feed , speed	A-79

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่	หน้า
1.1 โครงสร้างทางแมคโครของไม้	1-3
1.2 ความแข็งของไม้	1-5
1.3 แสดงการตัดในในระนาบ TR-plan และการเกิดเศษ	1-5
1.4 แสดงการตัดตามขวางเกรน ในระนาบ LT-plane หรือ LR-plane และการเกิดเศษ	1-6
1.5 แสดงการตัดขนานเกรน ในระนาบ LT-plane หรือ LR-plane และการเกิดเศษ	1-6
2.1 ตัวอย่างพื้นผิวสำเร็จ	2-1
2.2 การแบ่งเส้นขอบของพื้นผิวเป็นอีลีเมนต์ย่อยๆ	2-3
2.3 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับกันร่องต่ำสุด $R_{max}$	2-4
2.4 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับกันร่องต่ำสุดหน้าค่าแรก $R_z$	2-5
2.5 แสดงความขรุขระพื้นผิวแบบ 3 มิติ	2-5
2.6 แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของใบมีดกลึง	2-6
2.7 แสดงใบมีดที่ทำมาจากวัสดุต่างชนิดกัน	2-7
2.8 การออกแบบเชิงแพททอเรียล 2 ปัจจัย	2-20
2.9 แสดงการออกแบบเชิงแพททอเรียล	2-20
2.10 แสดง Normal Q-Q plot	2-32
2.11 แสดง Histogram plot	2-32
3.1 แสดงไม้ยางพาราแบบต่อประสาน	3-1
3.2 แสดงชิ้นงานไม้ยางพาราที่ผ่านการกลึง	3-1
3.3 แสดงเม็ดมีดเซรามิก	3-2
3.4 แสดงด้ามมีด SANDVIK	3-2
3.5 แสดงเครื่องกลึงที่ใช้ทดลอง Mashstroy Troyan	3-3
3.6 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM.	3-3
3.7 แสดงเครื่องวัดความขรุขระพื้นผิว Mitutoyo	3-4
3.8 แสดงเครื่องวัดความชื้น Testo	3-4
3.9 แสดงไมโครมิเตอร์ Mitutoyo	3-5

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3.10 แสดงเครื่องกลึง Harrison M350	3-5
3.11 ลักษณะการกลึงชิ้นงาน	3-7
3.12 แสดงการหาค่า Sample size (r) การทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 1	3-8
3.13 แสดงการหา Sample size (n) การทดลองตอนที่ 2 ครั้งที่ 2	3-9
3.14 แสดงการวัดค่าความขรุขระพื้นผิว	3-10
3.15 แสดงการกำหนดจุดวัดชิ้นงาน	3-10
4.1 แสดง Main Effects Plot for $R_a$	4-5
4.2 แสดง Interaction Plot for $R_a$	4-5
4.3 แสดง Main effect plot for Dimensional error	4-7
4.4 แสดง Interaction plot for Dimensional error	4-7
4.5 แสดง Main effect plot for $R_a$	4-10
4.6 แสดง Interaction plot for $R_a$	4-11
4.7 แสดง Main effect plot for Dimensional error	4-12
4.8 แสดง Interaction plot for Dimensional error	4-12
4.9 ไม่มีขีดเรามาภิก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า	4-14
4.10 ไม่มีขีดเรามาภิหลังตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า	4-14
4.11 แสดงเวลางานกลึงต่อ 1 ชิ้น ใน 9 สภาวะการตัด	4-15
4.12 แสดงเวลางานกลึงต่อ 20 ชิ้น ใน 9 สภาวะการตัด	4-15
4.13 แสดงการกำหนดจุดวัด 3 จุด	4-16
4.14 แสดงจุดที่ทำการวัดทั้ง 3 จุด	4-16
4.15 แสดงการเกิดตำหนิของเนื้อไม้	4-16
4.16 แสดง Main Effect plot for $R_a$	4-19
4.17 แสดง Interaction plot for $R_a$	4-20
4.18 แสดง Main effect plot for Dimensional error	4-21
4.19 แสดง interaction plot for Dimensional error	4-21
4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าความขรุขระพื้นผิว	4-26

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนขนาด	4-26
ผข. 1.1 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า $R_s$	A-39
ผข. 1.2 แสดง Histogram plot ของค่า $R_s$	A-39
ผข. 1.3 แสดงความคงที่ของค่าความแปรปรวนของค่า $R_s$	A-40
ผข. 1.4 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า $R_s$	A-40
ผข. 1.5 แสดง Main Effects Plot ของค่า $R_s$	A-41
ผข. 1.6 แสดง Interaction Plot ของค่า $R_s$	A-41
ผข. 1.7 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า Dimensional Error	A-42
ผข. 1.8 แสดง Histogram plot ของข้อมูลของค่า Dimensional Error	A-42
ผข. 1.9 แสดงความคงที่ของความแปรปรวนของค่า Dimensional Error	A-43
ผข. 1.10 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า Dimensional Error	A-43
ผข. 1.11 แสดง Main Effect Plot ของค่า Dimensional Error	A-44
ผข. 1.12 แสดง Interaction Plot ของค่า Dimensional Error	A-44
ผข. 2.1 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า $R_s$	A-47
ผข. 2.2 แสดง Histogram plot ของข้อมูลของค่า $R_s$	A-47
ผข. 2.3 แสดงความคงที่ของความแปรปรวนของค่า $R_s$	A-48
ผข. 2.4 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า $R_s$	A-48
ผข. 2.5 แสดง Main Effects Plot ของค่า $R_s$	A-49
ผข. 2.6 แสดง Interaction Plot ของค่า $R_s$	A-49
ผข. 2.7 แสดง Test for Variances ของค่า $R_s$	A-50
ผข. 2.8 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า Dimensional Error	A-50
ผข. 2.9 แสดง Histogram plot ของค่า Dimensional Error	A-51
ผข. 2.10 แสดงความคงที่ของความแปรปรวนของค่า Dimensional Error	A-51
ผข. 2.11 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า Dimensional Error	A-52
ผข. 2.12 แสดง Main Effects Plot ของค่า Dimensional Error	A-52



## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ผข. 2.13 แสดง Interaction Plot ของค่า Dimensional Error	A-53
ผข. 2.14 แสดง Test for Equal Variances ของค่า Dimensional Error	A-52
ผข. 3.1 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า $R_g$	A-63
ผข. 3.2 แสดง Histogram plot ของค่า $R_g$	A-63
ผข. 3.3 แสดงความคงที่ของความแปรปรวนของค่า $R_g$	A-64
ผข. 3.4 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า $R_g$	A-64
ผข. 3.5 แสดง Main Effects Plot ของค่า $R_g$	A-65
ผข. 3.6 แสดง Interaction Plot ของค่า $R_g$	A-65
ผข. 3.7 แสดง Test for Equal Variances ของค่า $R_g$	A-66
ผข. 3.8 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า Dimensional Error	A-66
ผข. 3.9 แสดง Histogram plot ของค่า Dimensional Error	A-67
ผข. 3.10 แสดงความคงที่ของความแปรปรวน ของค่า Dimensional Error	A-67
ผข. 3.11 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า Dimensional Error	A-68
ผข. 3.12 แสดง Main Effects Plot ของค่า Dimensional Error	A-68
ผข. 3.13 แสดง Interaction Plot ของค่า Dimensional Error	A-69
ผข. 3.14 แสดง Test for Equal Variances ของค่า Dimensional Error	A-69
ผค. 1 ไบมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 เท่าและ 500 เท่า ของสภาวะการตัดที่ 1	A-81
ผค. 2 ไบมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 1	A-81
ผค. 3 ไบมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 2	A-82
ผค. 4 ไบมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500เท่า สภาวะการตัดที่ 2	A-82

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ผค. 5 ไบโอมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 3	A-83
ผค. 6 ไบโอมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 3	A-83
ผค. 7 ไบโอมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 4	A-84
ผค. 8 ไบโอมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 4	A-84
ผค. 9 ไบโอมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 5	A-85
ผค. 10 ไบโอมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 5	A-85
ผค. 11 ไบโอมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 6	A-86
ผค. 12 ไบโอมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 6	A-86
ผค. 13 ไบโอมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 7	A-87
ผค. 14 ไบโอมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 7	A-87
ผค. 15 ไบโอมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 8	A-88
ผค. 16 ไบโอมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 8	A-88
ผค. 17 ไบโอมีดเซรามิกก่อนตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 9	A-89
ผค. 18 ไบโอมีดเซรามิกหลังตัดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า สภาวะการตัดที่ 9	A-89