

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(iii)
สารบัญตาราง	(v)
สารบัญรูปภาพ	(xvi)
บทคัดย่อ	(xviii)
ABSTRACT	(xix)
บทที่	3-1
1 บทนำ	1-1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1-1
1.2 งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	1-2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1-3
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย	1-4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	1-4
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	2-1
2.1 หลักการพื้นฐานของการตัดโดยใช้ใบมีด	2-1
2.2 ความรุนแรงของพื้นผิว	2-12
2.3 เหล็กหล่อเทา	2-16
2.4 ความสามารถในการตัด	2-21
2.5 การออกแบบการทดลอง	2-22
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปร	-
2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปรกรณีหลายแฟคเตอร์	2-36
3 วิธีการวิจัย	2-40
3.1 ซึ้นงานและใบมีดตัด	3-1
3.2 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	3-1
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง	3-3
	3-5

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	4-1
4.2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักในการตัดกับความขรุขระของพื้นผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานในการกลึงเหล็กหล่อเทา	4-24
4.3 การทดสอบสมการถดถอยเพื่อทำนายค่าความขรุขระของพื้นผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน	4-29
4.4 แสดงภาพถ่ายของชิ้นงานหลังการกลึงด้วยใบมีดเซรามิกและคาร์ไบด์	4-30
4.5 แสดงภาพถ่ายของใบมีดที่ใช้กลึงชิ้นงาน	4-31
4.6 การวิเคราะห์สมการต้นแบบสำหรับประเมินค่าอัตราความง่ายในการตัด	4-32
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	5-1
5.1 สรุปผลการวิจัย	5-1
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	5-3
5.3 ข้อเสนอแนะ	5-3
บรรณานุกรม	R-1
ภาคผนวก	ก-1
ก. ตารางบันทึกผลการทดลอง	ก-1
ข. ตารางการวิเคราะห์ข้อมูล	ข-1

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แนวทางการเลือกใช้ใบมีดเซรามิกตัดโลหะในกลุ่มเหล็ก	2-8
2.2 แสดงมาตรฐานเหล็กหล่อเทา ASTM A48 มาตรฐานเหล็กหล่อเทา JIS G5501	2-19
2.3 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อเทา ASTM 247 และ JIS G5501	2-19
2.4 ตารางแสดงข้อมูลสำหรับการทดลองปัจจัยเดียว	2-26
2.5 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Fix Effect Model ตัวแปรเดียว	2-28
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลอง 3 ปัจจัย แบบ Fixed Effect	2-31
2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย แบบบล็อกบริบูรณ์เชิงสุ่ม	2-36
2.8 รูปแบบข้อมูลการวิเคราะห์แบบ MCRF-IJ	2-41
2.9 MANOVA Table สำหรับแบบแผน MCRF-IJ	2-42
3.1 แสดงการออกแบบการทดลองจากโปรแกรม MINITAB	3-11
3.2 แสดงสถานะการทดลองของใบมีดเซรามิก	3-14
3.3 แสดงสถานะการทดลองของใบมีดคาร์ไบด์	3-14
4.1 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for cutting speed	4-1
4.2 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for feed	4-2
4.3 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for depth	4-3
4.4 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า $R_s$	4-5
4.5 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า Dimensional error	4-9
4.6 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for cutting speed	4-13
4.7 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for feed	4-14

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.8 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for depth	4-15
4.9 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า $R_s$	4-16
4.10 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า Dimensional error	4-20
4.11 แสดงรูปแบบสมการแบบโพลิโนเมียล เอ็กซ์โปเนนเชียล และค่า $R^2$ ของไบมิตเซรามิกและคาร์ไบด์	4-26
ผก.1 ผลการทดลองค่าความขรุขระของพื้นผิวที่ผ่านการกลึงด้วยไบมิต คาร์ไบด์	n-1
ผก.2 ผลการทดลองค่าความขรุขระของพื้นผิวที่ผ่านการกลึงด้วยไบมิต เซรามิก	n-10
ผก.3 ผลการทดลองค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานที่ผ่านการ กลึงด้วย ไบมิตคาร์ไบด์	n-18
ผก.4 ผลการทดลองค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานที่ผ่านการ กลึงด้วย ไบมิตเซรามิก	n-26
ผข.1 แสดงการวิเคราะห์ MANOVA for cutting speed (มิตเซรามิก)	ข-1
ผข.2 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for cutting speed (มิตเซรามิก)	ข-1
ผข.3 แสดง Eigen Analysis for cutting speed (มิตเซรามิก)	ข-1
ผข.4 แสดงตาราง MANOVA for feed (มิตเซรามิก)	ข-2
ผข.5 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for feed (มิตเซรามิก)	ข-2
ผข. 6 แสดง Eigen Analysis for feed (มิตเซรามิก)	ข-2
ผข. 7 แสดงตาราง MANOVA for depth (มิตเซรามิก)	ข-3
ผข. 8 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for depth (มิตเซรามิก)	ข-3
ผข. 9 แสดง Eigen Analysis for depth (มิตเซรามิก)	ข-3
ผข. 10 แสดงตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า $R_s$ (มิตเซรามิก)	ข-4

## สารบัญญัตราาง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 11 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า Dimensional error (มีดเซรามิก)	ข-4
ผข. 12 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response $R_a$ All Pairwise of cutting speed (มีดเซรามิก)	ข-5
ผข. 13 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_a$ All Pairwise of cutting speed (มีดเซรามิก)	ข-5
ผข. 14 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of cutting speed (มีดเซรา มิก)	ข-6
ผข. 15 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of cutting speed (มีดเซรา มิก)	ข-6
ผข. 16 แสดงตาราง MANOVA for cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	ข-7
ผข. 17 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	ข-7
ผข. 18 แสดง Eigen Analysis for cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	ข-7
ผข. 19 แสดงตาราง MANOVA for feed (มีดคาร์ไบด์)	ข-8
ผข. 20 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for feed (มีดคาร์ไบด์)	ข-8
ผข. 21 แสดง Eigen Analysis for feed (มีดคาร์ไบด์)	ข-8
ผข. 22 แสดงตาราง MANOVA for depth (มีดคาร์ไบด์)	ข-8
ผข. 23 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for depth (มีดคาร์ไบด์)	ข-9
ผข. 24 แสดง Eigen Analysis for depth (มีดคาร์ไบด์)	ข-9
ผข. 25 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response $R_a$ All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	ข-9
ผข. 26 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_a$ All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	ข-10

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 27 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	ข-10
ผข. 28 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	ข-11
ผข. 29 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Ra All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	ข-11
ผข. 30 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_a$ All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	ข-12
ผข. 31 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	ข-12
ผข. 32 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	ข-13
ผข. 33 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response $R_a$ All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	ข-13
ผข. 34 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_a$ All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	ข-14
ผข. 35 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	ข-14
ผข. 36 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	ข-15

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 37 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.02, depth = 0.1	ข-16
ผข. 38 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.02, depth = 0.2	ข-16
ผข. 39 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.02, depth = 0.3	ข-17
ผข. 40 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.06, depth = 0.1	ข-17
ผข.41 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.06, depth = 0.2	ข-18
ผข.42 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.06, depth = 0.3	ข-18
ผข.43 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.1, depth = 0.1	ข-19
ผข.44 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.1, depth = 0.2	ข-19
ผข.45 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.1, depth = 0.3	ข-20
ผข.46 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400 feed = 0.02, depth = 0.1	ข-20
ผข.47 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400 feed = 0.02, depth = 0.2	ข-21

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข.48 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400 feed = 0.02, depth = 0.3	ข-21
ผข.49 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed $V = 400$ feed = 0.06, depth = 0.1	ข-22
ผข. 50 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 400$ feed = 0.06, depth = 0.2	ข-22
ผข. 51 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 400$ feed = 0.06, depth = 0.3	ข-23
ผข. 52 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 400$ feed = 0.1, depth = 0.1	ข-23
ผข. 53 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 400$ feed = 0.1, depth = 0.2	ข-24
ผข. 54 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 400$ feed = 0.1, depth = 0.3	ข-24
ผข. 55 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 550$ feed = 0.02, depth = 0.1	ข-25
ผข. 56 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 550$ feed = 0.02, depth = 0.2	ข-25
ผข. 57 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 550$ feed = 0.02, depth = 0.3	ข-26
ผข. 58 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 550$ feed = 0.06, depth = 0.1	ข-26
ผข. 59 การวิเคราะห์ ค่า $R_a$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 550$ feed = 0.06, depth = 0.2	ข-27

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 60 การวิเคราะห์ ค่า $R_s$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 550$ feed = 0.06, depth = 0.3	ข-27
ผข. 61 การวิเคราะห์ ค่า $R_s$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 550$ feed = 0.1, depth = 0.1	ข-28
ผข. 62 การวิเคราะห์ ค่า $R_s$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 550$ feed = 0.1, depth = 0.2	ข-28
ผข. 63 การวิเคราะห์ ค่า $R_s$ ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 550$ feed = 0.1, depth = 0.3	ข-29
ผข. 64 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 250$ , feed = 0.02, depth = 0.1	ข-30
ผข. 65 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error คาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 250$ , feed = 0.02, depth = 0.2	ข-30
ผข. 66 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 250$ , feed = 0.02, depth = 0.3	ข-31
ผข. 67 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 250$ , feed = 0.06, depth = 0.1	ข-31
ผข. 68 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 250$ , feed = 0.06, depth = 0.2	ข-32
ผข. 69 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 250$ , feed = 0.06, depth = 0.3	ข-32
ผข. 70 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 250$ , feed = 0.1, depth = 0.1	ข-33
ผข. 71 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 250$ , feed = 0.1, depth = 0.2	ข-33
ผข. 72 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ $V = 250$ , feed = 0.1, depth = 0.3	ข-34

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 73 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 400, feed = 0.02, depth = 0.1	ข-34
ผข. 74 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error: คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 400, feed = 0.02, depth = 0.2	ข-35
ผข. 75 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 400, feed = 0.02, depth = 0.3	ข-35
ผข. 76 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 400, feed = 0.06, depth = 0.1	ข-36
ผข. 77 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 400, feed = 0.06, depth = 0.2	ข-36
ผข. 78 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 400, feed = 0.06, depth = 0.3	ข-37
ผข. 79 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 400, feed = 0.1, depth = 0.1	ข-37
ผข. 80 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 400, feed = 0.1, depth = 0.2	ข-38
ผข. 81 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 400, feed = 0.1, depth = 0.3	ข-38
ผข. 82 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.02, depth = 0.1	ข-39
ผข. 83 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.02, depth = 0.2	ข-39
ผข. 84 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.02, depth = 0.3	ข-40
ผข. 85 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error : คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.06, depth = 0.1	ข-40

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 86 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error :คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.06, depth = 0.2	ข-41
ผข. 87 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error:คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.06, depth =0.3	ข-41
ผข. 88 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error :คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.1, depth =0.1	ข-42
ผข. 89 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error :คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.1, depth =0.2	ข-42
ผข. 90 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error :คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.1, depth =0.3	ข-43
ผข. 91 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_s$ All Pairwise of cutting speed (มีดเซรามิก)	ข-44
ผข. 92 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_s$ of V (มีดเซรามิก)	ข-44
ผข. 93 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of V (มีดเซรามิก)	ข-45
ผข. 94 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of V (มีดเซรามิก)	ข-45
ผข. 95 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_s$ All Pairwise of feed (มีดเซรามิก)	ข-47
ผข. 96 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_s$ All All Pairwise of feed (มีดเซรามิก)	ข-47
ผข. 97 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of feed (มีดเซรามิก)	ข-48
ผข. 98 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Sim Response Dimensional error All Pairwise of feed (มีดเซรามิก)	ข-48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 86 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error :คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.06, depth = 0.2	ข-41
ผข. 87 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error:คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.06, depth =0.3	ข-41
ผข. 88 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error :คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.1, depth =0.1	ข-42
ผข. 89 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error :คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.1, depth =0.2	ข-42
ผข. 90 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error :คาร์ไบด์และเซรามิกที่ V = 550, feed = 0.1, depth =0.3	ข-43
ผข. 91 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_s$ All Pairwise of cutting speed (มิตเซรามิก)	ข-44
ผข. 92 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_s$ of V (มิตเซรามิก)	ข-44
ผข. 93 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of V (มิตเซรามิก)	ข-45
ผข. 94 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of V (มิตเซรามิก)	ข-45
ผข. 95 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_s$ All Pairwise of feed (มิตเซรามิก)	ข-47
ผข. 96 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_s$ All All Pairwise of feed (มิตเซรามิก)	ข-47
ผข. 97 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of feed (มิตเซรามิก)	ข-48
ผข. 98 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Sim Response Dimensional error All Pairwise of feed (มิตเซรามิก)	ข-48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 99 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_g$ All Pairwise of depth (มีดเซรามิก)	๑-50
ผข. 100 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Sim Response $R_g$ All Pairwise of depth (มีดเซรามิก)	๑-50
ผข. 101 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of depth (มีดเซรามิก)	๑-51
ผข. 102 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Sim Response Dimensional error All Pairwise of depth (มีดเซรามิก)	๑-51
ผข. 103 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_g$ All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	๑-53
ผข. 104 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Sim Response $R_g$ All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	๑-53
ผข. 105 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Sim CI Response Dimensional error All Pairwise of V (มีดคาร์ไบด์)	๑-54
ผข. 106 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of V (มีดคาร์ไบด์)	๑-54
ผข. 107 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_g$ All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	๑-55
ผข. 108 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_g$ All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	๑-56
ผข. 109 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	๑-56
ผข. 110 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Sim Response Dim error All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	๑-57
ผข. 111 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_g$ All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	๑-58

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 112 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response $R_s$ All Pairwise of depth (มิติคาร์ไบด์)	๗-58
ผข. 113 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of depth (มิติคาร์ไบด์)	๗-59
ผข. 114 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of depth (มิติคาร์ไบด์)	๗-59

## สารบัญรูปภาพ

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของพื้นผิว	2-14
2.2 การแบ่งเส้นขอบของพื้นผิวเป็นอีลีเมนต์ย่อยๆ	2-15
2.3 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับกันร่องต่ำสุด $R_{max}$	2-17
2.4 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับกันร่องต่ำสุดหาค่าแรก $R_z$	2-17
2.5 การออกแบบเชิงแพททอเรียล 2 ปัจจัย	2-29
2.6 แสดงการออกแบบเชิงแพททอเรียล	2-29
2.7 แสดง Normal Q-Q plot	2-39
2.8 แสดง Histogram plot	2-39
3.1 แสดงชิ้นงานเหล็กหล่อเทา FC 30	3-1
3.2 แสดงไบมีดคาร์ไบด์เคลือบผิว TiN- $Al_2O_3$ -TiCN	3-2
3.3 แสดงไบมีดเซรามิก $Si_3N_4$	3-2
3.4 แสดงด้ามมีดที่ใช้ในการจับยึดไบมีด	3-3
3.5 แสดงเครื่องกลึงอัตโนมัติ CNC ยี่ห้อ Cincinnati	3-3
3.6 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM	3-4
3.7 แสดงเครื่องวัดความขรุขระพื้นผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ – 301	3-4
3.8 แสดงไมโครมิเตอร์ยี่ห้อ Mitutoyo	3-5
3.9 แสดงภาพถ่ายของไบมีดที่ $V = 200$ m/min, Feed = 0.5mm/rev depth of cut = 0.5 mm	3-6
3.10 แสดงภาพถ่ายของไบมีดที่ Cutting speed = 200 m/min, Feed = 0.1mm/rev depth of cut = 0.3 mm	3-7
3.11 แสดงภาพถ่ายของไบมีดที่ $V = 200$ m/min, Feed = 0.08 mm/rev depth of cut = 0.3 mm	3-8
3.12 แสดงค่า n จาก Power Curve	3-10

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3.13 แสดงตำแหน่งการวัดค่าขนาดของชิ้นงาน	3-12
3.14 แสดงตำแหน่งการวัดค่าความขรุขระพื้นผิว	3-13
4.1 แสดง Main Effects Plot for $R_a$ มีดเซรามิก	4-7
4.2 แสดง Interaction Plot for $R_a$ มีดเซรามิก	4-8
4.3 แสดง Main Effects Plot for Dimensional error มีดเซรามิก	4-11
4.4 แสดง Interaction Plot for Dimensional error มีดเซรามิก	4-12
4.5 แสดง Main Effects Plot for $R_a$ มีดคาร์ไบด์	4-18
4.6 แสดง Interaction Plot for $R_a$ มีดคาร์ไบด์	4-19
4.7 แสดง Main Effects Plot for Dimensional error มีดคาร์ไบด์	4-22
4.8 แสดง Interaction Plot for Dimensional error มีดคาร์ไบด์	4-23
4.9 แสดงภาพถ่ายชิ้นงานที่ผ่านการกลึงด้วยใบมีดเซรามิก-คาร์ไบด์	4-30
4.10 แสดงภาพถ่ายชิ้นงานที่ผ่านการกลึง ด้วยใบมีดเซรามิก ที่ $V=550$ $m/min$ , $F=0.1 mm/rev$ , $D=0.3 mm$ , $R_a = 0.45 \mu m$	4-30
4.11 แสดงภาพถ่ายชิ้นงานที่ผ่านการกลึงด้วยใบมีดคาร์ไบด์ $V = 550$ $m/min$ $F = 0.1 mm/rev$ , $D=0.3 mm$ , $R_a = 0.65 \mu m$	4-31
4.12 แสดงภาพถ่ายใบมีดคาร์ไบด์ก่อนตัด(ก) หลังตัด(ข) ที่ X 100 เท่า $V=550 m/min$ , $F=0.1 mm/rev$ , $D=0.3 mm$	4-31
4.13 แสดงภาพถ่ายใบมีดเซรามิกก่อนตัด(ก) หลังตัด(ข) ที่ X 100 เท่า ที่ $V=550 m/min$ , $F=0.1 mm/rev$ , ความลึก = $0.3 mm$	4-32