

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(19)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 งานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	6
2.1 หลักการพื้นฐานของการตัดโดยใช้ใบมีด	6
2.2 ความขรุขระของพื้นผิว	17
2.3 เหล็กหล่อเทา	23
2.4 การออกแบบการทดลอง	26
2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปร	40
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปรกรณีหลายแฟคเตอร์	44
3 วิธีการวิจัย	49
3.1 ชิ้นงานและใบมีดตัด	49
3.2 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	51
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง	53
4 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	63
4.1 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง(มีดเซรามิก)	63
4.1.1 การวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค MANOVA (มีดเซรามิก)	63
4.1.2 การวิเคราะห์ผลค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน R_a ด้วยเทคนิค ANOVA(มีดเซรามิก)	67

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนขนาดชิ้นงานด้วยเทคนิค ANOVA(มีดเซรามิก)	71
4.1.4 การวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค MANOVA(มีดคาร์ไบด์)	75
4.1.5 การวิเคราะห์ผลค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน R_a ด้วยเทคนิค ANOVA(มีดคาร์ไบด์)	78
4.1.6 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนขนาดชิ้นงานด้วยเทคนิค ANOVA (มีดคาร์ไบด์)	82
4.2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักในการตัดกับความขรุขระของพื้นผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานในการกลึงเหล็กหล่อเทา	86
4.3 การทดสอบสมการถดถอยเพื่อทำนายค่าความขรุขระของพื้นผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน	90
4.4 แสดงภาพถ่ายของชิ้นงานหลังการกลึงด้วยใบมีดเซรามิกและคาร์ไบด์	91
4.5 แสดงภาพถ่ายของใบมีดที่ใช้กลึงชิ้นงาน	92
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	94
5.1 สรุปผลการทดลอง	94
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	96
5.3 ข้อเสนอแนะ	96
บรรณานุกรม	98
ภาคผนวก	100
ก ตารางบันทึกผลการทดลอง	101
ข การวิเคราะห์ผลการทดลอง (ตารางการวิเคราะห์ข้อมูล)	134
ค ใบรายงานผลการวิเคราะห์ต่างๆ	197
ง การทดสอบค่าทดลองจริงเปรียบเทียบกับค่าสมการ	216
จ การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์	224
ประวัติผู้เขียน	231

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แนวทางการเลือกใช้ใบมีดเซรามิกตัดโลหะในกลุ่มเหล็ก	13
2.2 แสดงมาตรฐานเหล็กหล่อเทา ASTM A48 มาตรฐานเหล็กหล่อเทา JIS G5501	24
2.3 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อเทา ASTM A247 และ JIS G5501	24
2.4 ตารางแสดงข้อมูลสำหรับการทดลองปัจจัยเดียว	30
2.5 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Fix Effect Model ตัวแปรเดียว	32
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลอง 3 ปัจจัย แบบ Fixed Effect	35
2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย แบบบล็อกบิโนมิเรียลเชิงสุ่ม	39
2.8 รูปแบบข้อมูลการวิเคราะห์แบบ MCRF-IJ	44
2.9 MANOVA Table สำหรับแบบแผน MCRF-IJ	46
3.1 แสดงการออกแบบการทดลองจากโปรแกรม MINITAB	59
3.2 แสดงสภาวะการทดลองของใบมีดเซรามิก	62
3.3 แสดงสภาวะการทดลองของใบมีดคาร์ไบด์	62
4.1 แสดงตาราง การวิเคราะห์ MANOVA for cutting speed	63
4.2 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for feed	64
4.3 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for depth	65
4.4 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า R_a	67
4.5 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า Dimensional error	71
4.6 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for cutting speed	75
4.7 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for feed	76
4.8 แสดงตารางการวิเคราะห์ MANOVA for depth	77
4.9 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า R_a	78
4.10 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า Dimensional error	82
4.11 แสดงรูปแบบสมการแบบพหุนามกำลัง 2 (quadratic) รูปแบบ เอ็กซีโพเนนเชียล และค่า R^2 ของใบมีดเซรามิกและคาร์ไบด์	88

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผก.1 ผลการทดลองค่าความขรุขระของพื้นผิวที่ผ่านการกลึงด้วยใบมีดคาร์ไบด์	101
ผก.2 ผลการทดลองค่าความขรุขระของพื้นผิวที่ผ่านการกลึงด้วยใบมีดเซรามิก	110
ผก.3 ผลการทดลองค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานที่ผ่านการกลึงด้วย ใบมีดคาร์ไบด์	118
ผก.4 ผลการทดลองค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานที่ผ่านการกลึงด้วย ใบมีดเซรามิก	126
ผข.1 แสดงการวิเคราะห์ MANOVA for cutting speed (มีดเซรามิก)	134
ผข. 2 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for cutting speed (มีดเซรามิก)	134
ผข. 3 แสดง Eigen Analysis for cutting speed (มีดเซรามิก)	134
ผข. 4 แสดงตาราง MANOVA for feed (มีดเซรามิก)	135
ผข. 5 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for feed (มีดเซรามิก)	135
ผข. 6 แสดง Eigen Analysis for feed (มีดเซรามิก)	135
ผข. 7 แสดงตาราง MANOVA for depth (มีดเซรามิก)	136
ผข. 8 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for depth (มีดเซรามิก)	136
ผข. 9 แสดง Eigen Analysis for depth (มีดเซรามิก)	136
ผข. 10 แสดงตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า R_a (มีดเซรามิก)	137
ผข. 11 แสดงตารางการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า Dimensional error(มีดเซรามิก)	137
ผข. 12 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response R_a All Pairwise of cutting speed (มีดเซรามิก)	138
ผข. 13 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response R_a All Pairwise of cutting speed (มีดเซรามิก)	138
ผข. 14 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of cutting speed (มีดเซรามิก)	139
ผข. 15 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of cutting speed (มีดเซรามิก)	139

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 16 แสดงตาราง MANOVA for cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	140
ผข. 17 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	140
ผข. 18 แสดง Eigen Analysis for cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	140
ผข. 19 แสดงตาราง MANOVA for feed (มีดคาร์ไบด์)	141
ผข. 20 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for feed (มีดคาร์ไบด์)	141
ผข. 21 แสดง Eigen Analysis for feed (มีดคาร์ไบด์)	141
ผข. 22 แสดงตาราง MANOVA for depth (มีดคาร์ไบด์)	141
ผข. 23 แสดง SSCP Matrix (adjusted) for depth (มีดคาร์ไบด์)	142
ผข. 24 แสดง Eigen Analysis for depth (มีดคาร์ไบด์)	142
ผข. 25 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response R_a All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	142
ผข. 26 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response R_a All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	143
ผข. 27 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	143
ผข. 28 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	144
ผข. 29 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response R_a All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	144
ผข. 30 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response R_a All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	145
ผข. 31 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	145
ผข. 32 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	146
ผข. 33 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response R_a All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	146

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 34 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response R_a All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	147
ผข. 35 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	147
ผข. 36 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	148
ผข. 37 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.02, depth = 0.1	149
ผข. 38 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.02, depth = 0.2	149
ผข. 39 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.02, depth = 0.3	150
ผข. 40 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.06, depth = 0.1	150
ผข. 41 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.06, depth = 0.2	151
ผข. 42 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.06, depth = 0.3	151
ผข. 43 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.1, depth = 0.1	152
ผข. 44 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.1, depth = 0.2	152
ผข. 45 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250 feed = 0.1, depth = 0.3	153
ผข. 46 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400 feed = 0.02, depth = 0.1	153

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 47 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400 feed = 0.02, depth = 0.2	154
ผข. 48 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400 feed = 0.02, depth = 0.3	154
ผข. 49 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400 feed = 0.06, depth = 0.1	155
ผข. 50 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400 feed = 0.06, depth = 0.2	155
ผข. 51 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400 feed = 0.06, depth = 0.3	156
ผข. 52 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400 feed = 0.1, depth = 0.1	156
ผข. 53 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400 feed = 0.1, depth = 0.2	157
ผข. 54 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400 feed = 0.1, depth = 0.3	157
ผข. 55 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550 feed = 0.02, depth = 0.1	158
ผข. 56 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550 feed = 0.02, depth = 0.2	158
ผข. 57 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550 feed = 0.02, depth = 0.3	159
ผข. 58 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550 feed = 0.06, depth = 0.1	159
ผข. 59 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550 feed = 0.06, depth = 0.2	160

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 60 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550 feed = 0.06, depth = 0.3	160
ผข. 61 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550 feed = 0.1, depth = 0.1	161
ผข. 62 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550 feed = 0.1, depth = 0.2	161
ผข. 63 การวิเคราะห์ ค่า R_a ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550 feed = 0.1, depth = 0.3	162
ผข. 64 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250, feed = 0.02, depth = 0.1	163
ผข. 65 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250, feed = 0.02, depth = 0.2	163
ผข. 66 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250, feed = 0.02, depth = 0.3	164
ผข. 67 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250, feed = 0.06, depth = 0.1	164
ผข. 68 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250, feed = 0.06, depth = 0.2	165
ผข. 69 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250, feed = 0.06, depth = 0.3	165
ผข. 70 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250, feed = 0.1, depth = 0.1	166
ผข. 71 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250, feed = 0.1, depth = 0.2	166
ผข. 72 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 250, feed = 0.1, depth = 0.3	167

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 73 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400, feed = 0.02, depth = 0.1	167
ผข. 74 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400, feed = 0.02, depth = 0.2	168
ผข. 75 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400, feed = 0.02, depth = 0.3	168
ผข. 76 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400, feed = 0.06, depth = 0.1	169
ผข. 77 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400, feed = 0.06, depth = 0.2	169
ผข. 78 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400, feed = 0.06, depth = 0.3	170
ผข. 79 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400, feed = 0.1, depth = 0.1	170
ผข. 80 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400, feed = 0.1, depth = 0.2	171
ผข. 81 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 400, feed = 0.1, depth = 0.3	171
ผข. 82 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550, feed = 0.02, depth = 0.1	172
ผข. 83 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550, feed = 0.02, depth = 0.2	172
ผข. 84 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550, feed = 0.02, depth = 0.3	173
ผข. 85 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550, feed = 0.06, depth = 0.1	173

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 86 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550, feed = 0.06, depth = 0.2	174
ผข. 87 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550, feed = 0.06, depth = 0.3	174
ผข. 88 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550, feed = 0.1, depth = 0.1	175
ผข. 89 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550, feed = 0.1, depth = 0.2	175
ผข. 90 การวิเคราะห์ ค่า Dimensional error ระหว่างคาร์ไบด์และเซรามิกที่ cutting speed = 550, feed = 0.1, depth = 0.3	176
ผข. 91 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response R_a All Pairwise of cutting speed (มีดเซรามิก)	177
ผข. 92 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response R_a All Pairwise of cutting speed (มีดเซรามิก)	177
ผข. 93 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of cutting speed (มีดเซรามิก)	178
ผข. 94 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of cutting speed (มีดเซรามิก)	178
ผข. 95 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response R_a All Pairwise of feed (มีดเซรามิก)	180
ผข. 96 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response R_a All Pairwise of feed (มีดเซรามิก)	180
ผข. 97 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of feed (มีดเซรามิก)	181
ผข. 98 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of feed (มีดเซรามิก)	181

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 99 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response R_a All Pairwise of depth (มีดเซรามิก)	183
ผข. 100 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response R_a All Pairwise of depth (มีดเซรามิก)	183
ผข. 101 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of depth (มีดเซรามิก)	184
ผข. 102 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of depth (มีดเซรามิก)	184
ผข. 103 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response R_a All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	186
ผข. 104 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response R_a All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	186
ผข. 105 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	187
ผข. 106 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of cutting speed (มีดคาร์ไบด์)	187
ผข. 107 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response R_a All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	188
ผข. 108 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response R_a All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	189
ผข. 109 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	189
ผข. 110 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of feed (มีดคาร์ไบด์)	190
ผข. 111 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response R_a All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	191

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผข. 112 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response R_a All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	191
ผข. 113 แสดงการวิเคราะห์ Tukey 95.0% Simultaneous CI Response Dimensional error All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	192
ผข. 114 แสดงการวิเคราะห์ Tukey Simultaneous Response Dimensional error All Pairwise of depth (มีดคาร์ไบด์)	192
ผข. 115 แสดงการวิเคราะห์ค่า Means ของ R_a และ Dimensional error มีดคาร์ไบด์	193
ผข. 116 แสดงการวิเคราะห์ค่า Means ของ R_a และ Dimensional error มีดเซรามิก	195
ผค. 1 ใบรายงานผลการสอบเทียบเครื่องวัดความขรุขระพื้นผิว (page 1/2)	211
ผค. 2 ใบรายงานผลการสอบเทียบเครื่องวัดความขรุขระพื้นผิว (page 2/2)	212
ผค. 3 ใบรายงานผลการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ (page 1/2)	213
ผค. 4 ใบรายงานผลการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ (page 2/2)	214
ผค. 5 ใบรายงานส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง	215
ผง. 1 ตารางบันทึกผลการทดลองค่าความขรุขระของพื้นผิวที่ผ่านการกลึงด้วย ใบมีดคาร์ไบด์	216
ผง. 2 ตารางบันทึกผลการทดลองค่าความขรุขระของพื้นผิวที่ผ่านการกลึงด้วย ใบมีดเซรามิก	217
ผง. 3 ตารางบันทึกผลการทดลองค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานที่ผ่าน การกลึงด้วยใบมีดคาร์	218
ผง. 4 ตารางบันทึกผลการทดลองค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานที่ผ่าน การกลึงด้วยใบเซรามิก	219
ผง. 5 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความขรุขระและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาด ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองกับค่าจากสมการสำหรับมีดเซรามิก	220

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผง. 6 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความขรุขระและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาด ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองกับค่าจากสมการสำหรับมีดคาร์ไบด์	221
ผง. 7 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระและค่าความ คลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานที่ได้จากการทดลองกับค่าจากสมการสำหรับมีด เซรามิก	222
ผง. 8 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขรุขระและค่าความ คลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานที่ได้จากการทดลองกับค่าจากสมการสำหรับมีด คาร์ไบด์	223
ผจ. 1 แสดงการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีการ MSE และ MAD ของ ค่า R_a มีดเซรามิก	225
ผจ. 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีการ MSE และ MAD ของ ค่า De มีดเซรามิก	226
ผจ. 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีการ MSE และ MAD ของ ค่า R_a มีดคาร์ไบด์	227
ผจ. 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีการ MSE และ MAD ของ ค่า De มีดคาร์ไบด์	228
ผจ. 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีการ MSE และ MAD ของ ค่า De มีดเซรามิก	229
ผจ. 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีการ MSE และ MAD ของ ค่า De มีดเซรามิก	230

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของพื้นผิว	19
2.2 การแบ่งเส้นขอบของพื้นผิวเป็นอีลีเมนต์ย่อยๆ	20
2.3 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด R_{max}	22
2.4 แสดงค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุดหาค่าแรก R_z	22
2.5 การออกแบบเชิงแพททอเรียล 2 ปัจจัย	33
2.6 แสดงการออกแบบเชิงแพททอเรียล	33
2.7 แสดง Normal Q-Q plot	42
2.8 แสดง Histogram plot	43
3.1 แสดงชิ้นงานเหล็กหล่อเทา FC 30	49
3.2 แสดงใบมีดคาร์ไบด์เคลือบผิว TiN- Al_2O_3 -TiCN	50
3.3 แสดงใบมีดเซรามิก Si_3N_4	50
3.4 แสดงด้ามมีดที่ใช้ในการจับยึดใบมีด	51
3.5 แสดงเครื่องกลึงอัตโนมัติ CNC ยี่ห้อ Cincinnati	51
3.6 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM	52
3.7 แสดงเครื่องวัดความขรุขระพื้นผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ – 301	52
3.8 แสดงไมโครมิเตอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo	53
3.9 แสดงภาพถ่ายของใบมีดที่ Cutting speed = 200 m/min, Feed = 0.5mm/rev depth of cut = 0.5 mm	54
3.10 แสดงภาพถ่ายของใบมีดที่ Cutting speed = 200 m/min, Feed = 0.1mm/rev depth of cut = 0.3 mm	55
3.11 แสดงภาพถ่ายของใบมีดที่ Cutting speed = 200 m/min, Feed = 0.08 mm/rev depth of cut = 0.3 mm	56
3.12 แสดงค่า n จาก Power Curve	58
3.13 แสดงตำแหน่งการวัดค่าขนาดของชิ้นงาน	60
3.14 แสดงตำแหน่งการวัดค่าความขรุขระพื้นผิว	61
4.1 แสดง Main Effects Plot for R_a มีดเซรามิก	69

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.2 แสดง Interaction Plot for R_a มีดเซรามิก	60
4.3 แสดง Main Effects Plot for Dimensional error มีดเซรามิก	73
4.4 แสดง Interaction Plot for Dimensional error มีดเซรามิก	74
4.5 แสดง Main Effects Plot for R_a มีดคาร์ไบด์	80
4.6 แสดง Interaction Plot for R_a มีดคาร์ไบด์	81
4.7 แสดง Main Effects Plot for Dimensional error มีดคาร์ไบด์	84
4.8 แสดง Interaction Plot for Dimensional error มีดคาร์ไบด์	85
4.9 แสดงภาพถ่ายชิ้นงานที่ผ่านการกลึงด้วยใบมีดเซรามิก (บน)และคาร์ไบด์(ล่าง)	91
4.10 แสดงภาพถ่ายชิ้นงานที่ผ่านการกลึง ด้วยใบมีดเซรามิก ที่ความเร็วตัด = 550 m/min, อัตราป้อน = 0.1 mm/rev, ความลึก = 0.3 mm ค่าความขรุขระของพื้นผิว $R_a = 0.45 \mu\text{m}$	91
4.11 แสดงภาพถ่ายชิ้นงานที่ผ่านการกลึงด้วยใบมีดคาร์ไบด์ ที่ความเร็วตัด = 550 m/min อัตราป้อน = 0.1 mm/rev, ความลึก = 0.3 mm ค่าความขรุขระของพื้นผิว $R_a = 0.65 \mu\text{m}$	92
4.12 แสดงภาพถ่ายใบมีดคาร์ไบด์ก่อนตัด(ก) หลังตัด(ข) ที่กำลังขยาย 100 เท่า ที่ความเร็วตัด = 550 m/min, อัตราป้อน = 0.1 mm/rev, ความลึก = 0.3 mm	92
4.13 แสดงภาพถ่ายใบมีดเซรามิกก่อนตัด(ก) หลังตัด(ข) ที่กำลังขยาย 100 เท่า ที่ความเร็วตัด = 550 m/min, อัตราป้อน = 0.1 mm/rev, ความลึก = 0.3 mm	93
ผข. 1 แสดงความคงที่ของความแปรปรวนของค่า R_a (มีดเซรามิก)	197
ผข. 2 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูล ของค่า R_a (มีดเซรามิก)	197
ผข. 3 แสดงHistogram plot ของข้อมูล ของค่า R_a (มีดเซรามิก)	198
ผข. 4 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า R_a (มีดเซรามิก)	198
ผข. 5 แสดงMain Effects Plot ของค่า R_a (มีดเซรามิก)	199
ผข. 6 แสดงInteraction Plot ของค่า R_a (มีดเซรามิก)	199
ผข. 7 แสดงTest for Equal Variances ของค่า R_a (มีดเซรามิก)	200
ผข. 8 แสดงความคงที่ของความแปรปรวนของค่า Dimensional error (มีดเซรามิก)	200

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่

	หน้า
ผข. 9 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า Dimensional error (มีดเซรามิก)	
ผข. 10 แสดงHistogram Plot ของค่า Dimensional error (มีดเซรามิก)	201
ผข. 11 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า Dimensional error (มีดเซรามิก)	201
ผข. 12 แสดงTest for Equal Variances ของค่า Dimensional error (มีดเซรามิก)	202
ผข. 13 แสดงMain Effects Plot ของค่า Dimensional error (มีดเซรามิก)	202
ผข. 14 แสดงInteraction Plot ของค่า Dimensional error (มีดเซรามิก)	203
ผข. 15 แสดงความคงที่ของความแปรปรวนของค่า R_a (มีดคาร์ไบด์)	203
ผข. 16 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูล ของค่า R_a (มีดคาร์ไบด์)	204
ผข. 17 แสดงHistogram plot ของข้อมูล ของค่า R_a (มีดคาร์ไบด์)	204
ผข. 18 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า R_a (มีดคาร์ไบด์)	205
ผข. 19 แสดงMain Effects Plot ของค่า R_a (มีดคาร์ไบด์)	205
ผข. 20 แสดงInteraction Plot ของค่า R_a (มีดคาร์ไบด์)	206
ผข. 21 แสดงTest for Equal Variances ของค่า R_a (มีดคาร์ไบด์)	206
ผข. 22 แสดงความคงที่ของความแปรปรวนของค่า Dimensional error (มีดคาร์ไบด์)	207
ผข. 23 แสดงความเป็นอิสระของข้อมูลของค่า Dimensional error (มีดคาร์ไบด์)	207
ผข. 24 แสดงHistogram Plot ของค่า Dimensional error (มีดคาร์ไบด์)	208
ผข. 25 แสดงความเป็นปกติของข้อมูลของค่า Dimensional error (มีดคาร์ไบด์)	208
ผข. 26 แสดงTest for Equal Variances ของค่า Dimensional error (มีดคาร์ไบด์)	209
ผข. 27 แสดงMain Effects Plot ของค่า Dimensional error (มีดคาร์ไบด์)	209
ผข. 28 แสดงInteraction Plot ของค่า Dimensional error (มีดคาร์ไบด์)	210
ผจ. 1 แสดงการเปรียบเทียบค่า R_a จากการทดลองกับ R_a cal. มีดเซรามิก	210
ผจ. 2 แสดงการเปรียบเทียบค่า De จากการทดลองกับ De cal. มีดเซรามิก	225
ผจ. 3 แสดงการเปรียบเทียบค่า R_a จากการทดลองกับ R_a cal. มีดคาร์ไบด์	226
ผจ. 4 แสดงการเปรียบเทียบค่า De จากการทดลองกับ De cal. มีดคาร์ไบด์	227
ผจ. 5 แสดงการเปรียบเทียบค่า R_a จากการทดลองกับ R_a cal. มีดเซรามิก	228
ผจ. 6 แสดงการเปรียบเทียบค่า R_a จากการทดลองกับ R_a cal. มีดคาร์ไบด์	229