สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการรูปภาพ	(11)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 โครงการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	5
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	6
2.1 กรรมวิธีการให้ความร้อนเหล็ก	6
2.2 หลักการพื้นฐานในการตัดโลหะ	13
2.3 ใบมีดเซรามิก	15
2.4 อายุการใช้งานใบมีดตัด	17
2.5 เหล็กสเตนเลส	24
2.6 ความขรุขระของพื้นผิว	26
2.7 การออกแบบการทดลอง	33
2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปร	42
2.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปรกรณีหลายแฟคเตอร์	46
3 วิธีการวิจัย	51
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	51
3.2 การเตรียมการทดลอง	56
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	57
3.4 วิธีการทดลอง	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	64
4.1 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น	64
4.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน (R_a)	66
4.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน	68
4.2 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	70
4.2.1 การวิเคราะห์ผลค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานด้วยเทคนิค ANOVA	71
4.2.2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักกับความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน	73
4.2.3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักกับความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงานโดยการวิเคราะห์แบบ Log-log Scale	74
4.2.4 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานด้วยเทคนิค ANOVA	76
4.2.5 สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักกับค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน	78
4.2.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน	79
4.2.7 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน	81
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	82
5.1 สรุปผลการทดลอง	82
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	83
5.3 ข้อเสนอแนะ	84
บรรณานุกรม	85
ภาคผนวก	87
ก. ตารางบันทึกผลการทดลอง	88
ข. การวิเคราะห์ผลการทดลอง (กราฟจากการวิเคราะห์ข้อมูล)	114

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ค. ใบรายงานผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ	141
ประวัติผู้เขียน	148

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าส่วนผสมของธาตุต่าง ๆ ในเหล็กสเตนเลสที่ใช้ในการทดลอง	7
2.2 แนวทางการเลือกใช้ใบมีดเซรามิกตัดโลหะในกลุ่มเหล็ก	16
2.3 ข้อมูลสำหรับการทดลองปัจจัยเดียว	37
2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Fix Effect Model ตัวแปรเดียว	39
2.5 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลอง 2 ปัจจัย	42
2.6 รูปแบบข้อมูลการวิเคราะห์แบบ MCRF-IJ	47
2.7 MANOVA Table สำหรับแบบแผน MCRF-IJ	48
3.1 แสดงสภาวะการทดลองเบื้องต้น	61
3.2 แสดงสภาวะในการทดลอง	62
4.1 สภาวะการทดลองเบื้องต้น	64
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน	67
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน	69
4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน	72
4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน	77
4.6 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MANOVA for cutting Speed	80
4.7 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MANOVA for Surface temperature	80
ผก 1.1 ผลการทดลองเบื้องต้นการวัดค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน	88
ผก 1.2 ผลการทดลองเบื้องต้นการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน	89
ผก 2.1 ผลการทดลองการวัดค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน	90
ผก 2.2 ผลการทดลองการวัดค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน Log-log Scale	98
ผก 2.3 ผลการทดลองการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน	106

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ผข 1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 117

ผข 1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 120

ผข 2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณของค่าความเร็วตัด 129

ผข 2.2 การวิเคราะห์ด้วย Tukey's ของค่าความเร็วตัดต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 129

ผข 2.3 การวิเคราะห์ด้วย Tukey's ของค่าความเร็วตัดต่อค่าความคลาดเคลื่อน ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 131

ผข 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนพหุคูณของค่าอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน 133

ผข 2.5 การวิเคราะห์ด้วย Tukey's ของค่าอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความขรุขระ ของพื้นผิวชิ้นงาน 133

ผข 2.6 แสดงการวิเคราะห์ด้วย Tukey's ของค่าความเร็วตัดต่อค่าความคลาดเคลื่อน ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 135

ผข 2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 137

ผข 2.8 สมการ Regression ของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 137

ผข 2.9 สมการ Regression ของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน แบบ Log-log Scale 138

ผข 2.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 139

ผข 2.11 สมการ Regression ของค่าความค่าความคลาดเคลื่อนของขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 139

ผข 2.12 สมการ Regression ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ชิ้นงานต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 140

ผค ใบรายงานผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ 141

รายการรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพตัดในแกนแนวตั้งของระบบสมดุลสามเฟสของเหล็กสเตนเลส	7
2.2 โครงสร้างเหล็กสเตนเลส ชนิด ออสเทนนิติก	8
2.3 โครงสร้างเหล็กสเตนเลส ชนิด เฟอร์ริติก	8
2.4 การให้ความร้อนกับชิ้นงานแบบง่าย	10
2.5 การให้ความร้อนด้วยวิธีหมุนชิ้นงาน	11
2.6 การให้ความร้อนกับชิ้นงานแบบต่อเนื่อง	10
2.7 การให้ความร้อนกับชิ้นงานแบบหมุนต่อเนื่อง	11
2.8 เปลวไฟแบบคาร์บูไรซิ่ง	11
2.9 เปลวไฟแบบนิวตรัล	12
2.10 เปลวแบบไฟออกซิไดซิ่ง	12
2.11 แรงตัดในการกลึงผิวทรงกระบอก	13
2.12 รอยสึกตามแนวความคิดของ ISO	21
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอของใบมีดและเวลาในการตัด	22
2.14 การสึกหรอแบบต่าง ๆ ของใบมีด	22
2.15 การสึกหรอของใบมีดเซรามิกที่เกิดขึ้นจากการทดลอง	23
2.16 ตัวอย่างพื้นผิวสำเร็จ	26
2.17 การแบ่งเส้นขอบของพื้นผิวเป็นอีลีเมนท์ย่อย ๆ	27
2.18 ค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด R_{max}	29
2.19 ค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุดห้าค่าแรก R_Z	30
2.20 รอยคมมีดในการกลึงเมื่อใช้ใบมีดปลายแหลม	31
2.21 รอยคมมีดในการกลึงเมื่อใช้ใบมีดปลายมน	31
2.22 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย	40
2.23 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล	41
2.24 แสดง Normal Q-Q plot	44
2.25 แสดง Histogram plot	45

รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.1 ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง 51

3.2 ใบมีดเซรามิกที่ใช้ในการทดลอง 52

3.3 ด้ามมีดที่ใช้ในการทดลอง 52

3.4 เครื่องกลึงที่ใช้ในการทดลอง 53

3.5 อุปกรณ์ให้ความร้อนกับพื้นผิวชิ้นงาน 53

3.6 เครื่องวัดความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน 54

3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 54

3.8 เครื่องมือวัดอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงาน 55

3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน SEM 55

3.10 หัวแก๊สที่ออกแบบ 56

3.11 การติดตั้งชุดให้ความร้อนบนป้อมมีดของเครื่องกลึง 57

3.12 การเริ่มต้นให้ความร้อนกับพื้นผิวของชิ้นงาน 58

3.13 เครื่องมือวัดความร้อนขณะทำการทดลอง 58

3.14 การวัดค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 59

3.15 พื้นผิวของชิ้นงานจากการทดลองเบื้องต้น 60

3.16 จำนวนการทำซ้ำในการทดลอง 61

3.17 การวัดค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 62

4.1 จำนวนการทำซ้ำในการทดลองเบื้องต้น 65

4.2 อิทธิพลของความเร็วตัดและอุณหภูมิของพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 66

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 67

4.4 ค่าอิทธิพลของความเร็วตัดและอุณหภูมิของพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 68

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 69

รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.6 อิทธิพลของค่าความเร็วตัดและค่าอุณหภูมิพื้นผิวของชิ้นงานต่อค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 71

4.7 ความสัมพันธ์ของค่าความเร็วตัดและค่าอุณหภูมิพื้นผิวของชิ้นงานต่อค่าความขรุขระพื้นผิวชิ้นงาน 72

4.8 แผนภาพสมการความสัมพันธ์ของค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานกับค่าขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 74

4.9 อิทธิพลของค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 76

4.10 ความสัมพันธ์ของค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานต่อค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 76

4.11 แผนภาพสมการความสัมพันธ์ของค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวชิ้นงานกับค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 79

ผข 1.1 ความเป็นอิสระของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 114

ผข 1.2 กราฟฮีตโตแกรมของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 114

ผข 1.3 ความคงที่ของความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 115

ผข 1.4 ความเป็นปกติของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 115

ผข 1.5 กราฟอิทธิพลของปัจจัยหลักของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 116

ผข 1.6 ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วมของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 116

ผข 1.7 ความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 117

ผข 1.8 กราฟฮีตโตแกรมของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 118

ผข 1.9 ความคงที่ของความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 118

ผข 1.10 ความเป็นปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 119

ผข 1.11 กราฟอิทธิพลของปัจจัยหลักของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 119

รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ผข 1.12 ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วมของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 120
ผข 2.1 ความเป็นอิสระของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 121
ผข 2.2 กราฟฮีตโตแกรมของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 121
ผข 2.3 ความคงที่ของความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 122
ผข 2.4 ความเป็นปกติของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 122
ผข 2.5 กราฟอิทธิพลของปัจจัยหลักของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 123
ผข 2.6 กราฟเชิงเส้นของอิทธิพลของปัจจัยหลักของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 123
ผข 2.7 กราฟค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วมของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 124
ผข 2.8 กราฟเชิงเส้นค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วมของค่าความขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 124
ผข 2.9 ความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 125
ผข 2.10 กราฟฮีตโตแกรมของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 125
ผข 2.11 ความคงที่ของความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 126
ผข 2.12 ความเป็นปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 126
ผข 2.13 กราฟอิทธิพลของปัจจัยหลักของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 127
ผข 2.14 กราฟเชิงเส้นของอิทธิพลของปัจจัยหลักของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 127
ผข 2.15 ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วมของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 128
ผข 2.16 กราฟเชิงเส้นของค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วมของค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 128
ผข 2.17 แผนภาพสมการความสัมพันธ์ของค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวกับค่าขรุขระของพื้นผิวชิ้นงาน 138

รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ผข 2.18 แผนภาพสมการความสัมพันธ์ของค่าความเร็วตัดและอุณหภูมิพื้นผิวกับ
ค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 140
ผค 1 ใบรายงานผลการสอบเทียบเครื่องวัดความขรุขระพื้นผิว 141
ผค 2 ใบรายงานผลการตรวจสอบส่วนผสมของเหล็กสเตนเลส 143
ผค 3 ใบรายงานผลการตรวจสอบโครงสร้างของเหล็กสเตนเลส 145