

อิทธิพลของสภาวะการตัดเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304  
ด้วยเลเซอร์ที่มีผลต่อความหยาบผิว

THE INFLUENCER OF CUTTING CONDITION FOR STAINLESS STEEL  
SUS 304 LASER ON SURFACE ROUGHNESS

นรา บุรีพันธ์

NARA BURIPHAN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

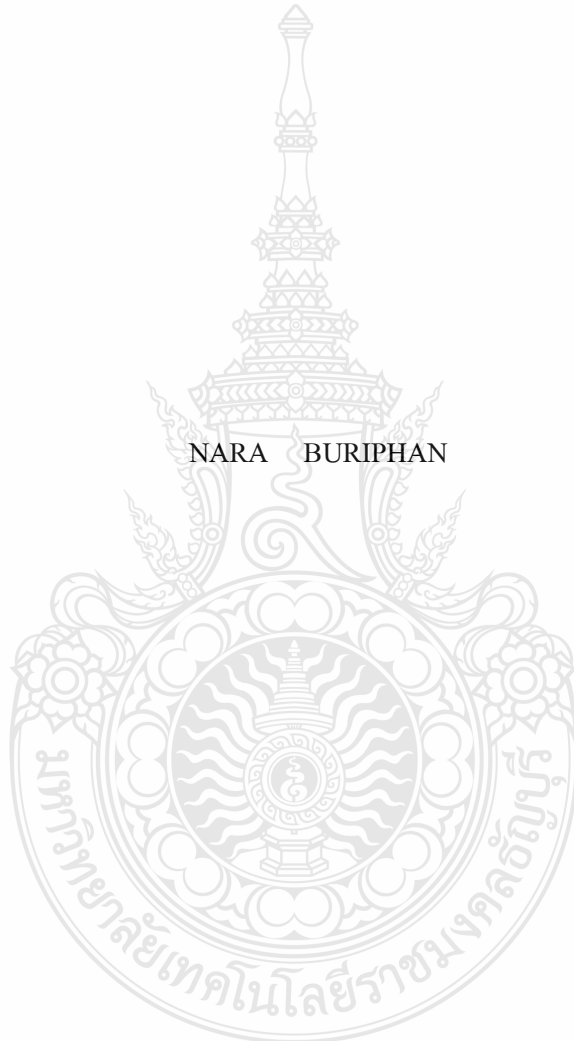
อิทธิพลของสภาวะการตัดเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304  
ด้วยเลเซอร์ที่มีผลต่อความหยาบผิว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
พ.ศ. 2554

**THE INFLUENCER OF CUTTING CONDITION FOR STAINLESS STEEL  
SUS 304 LASER ON SURFACE ROUGHNESS**

NARA BURIPHAN



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING  
IN MANUFACTURING ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIALS ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2011

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือ  
เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายนรา บุรีพันธ์



หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของสภาวะการตัดเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304 ด้วยเลเซอร์ที่มีผลต่อความหยาบผิว
นักศึกษา	นายนรา นุริพันธ์
รหัสนักศึกษา	115270440120-5
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง

### บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการผลิตด้วยแสงเลเซอร์ที่มีระบบควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Numerical Control, CNC) เป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมไทย ทั้งนี้เพราะเลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีคุณสมบัติเด่นคือ เป็นคลื่นแสงที่มีระเบียบ มีลักษณะเป็นลำแสง ความเข้มแสงสูง จึงมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ได้หลายด้านเช่น การใช้เลเซอร์เพื่อ การเจาะ การตัด หรืองานเชื่อม ในวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาดัชนีชี้วัดที่มีผลต่อความหยาบผิว ในการตัดเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304

ในการดำเนินการศึกษาวิจัยใช้วิธีการทดสอบการตัดชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 หนา 4 มม. ด้วยเครื่องตัดแบบเลเซอร์ โดยกำหนดตัวแปรหลักของการตัด 3 ตัวประกอบด้วย พลังงานของเลเซอร์ (Power), ความถี่ในการปล่อยแสง (Frequency) และความเร็วตัด (Cutting Speeds) ตัวแปรตามคือ ค่าความหยาบผิว (Surface Roughness) งานวิจัยครั้งนี้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล  $3^3$  แล้ววิเคราะห์ผลการทดลองด้วยสถิติ

จากผลทดสอบและวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า พลังงาน ความถี่ในการปล่อยแสงของเลเซอร์ และ ความเร็วตัดมีอิทธิพลต่อความหยาบผิว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $\alpha$ ) 0.05 และจากการวิเคราะห์ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสภาวะการตัดเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 หนา 4 มม. ด้วยเครื่องตัดแบบเลเซอร์ ที่ให้ค่าความหยาบผิวต่ำสุด คือการตัดโดยใช้ค่าพลังงานของเลเซอร์ 800 (w), ค่าความถี่ 200 (Hz) และค่าความเร็วตัด 500 มิลลิเมตรต่ออนาที ซึ่งจะได้ค่าความเรียบผิวประมาณ 1.25 ไมครอน

คำสำคัญ : กระบวนการตัด โลหะ/พลังงานของเลเซอร์/ความถี่/ความเร็วตัด/ความหยาบผิว

**Thesis Title:** THE INFLUENCER OF CUTTING CONDITION FOR STAINLESS  
STEEL SUS 304 LASER ON SURFACE ROUGHNESS

**Student Name:** Mr. Nara Buriphan

**Student ID:** 115270440120-5

**Degree Award:** Master of Engineering

**Study Program:** Manufacturing Engineering

**Academic year :** 2010

**Thesis Advisor:** Assistant Professor Dr.Sivakorn Anghthong

### ABSTRACT

The Computer Numerical Control (CNC) laser cutting machine is widely used in the Thai manufacturing. This is due to the laser beam establish excellent properties and can be used to apply to do many manufacturing operations i.e. drilling cutting and welding. This research aimed to study laser cutting parameters that influenced on the surface roughness of the cut area of the stainless steel (SUS 304) workpiece.

The laser cutting experiments were carried out by using CNC laser cutting process cutting a 4 mm thickness stainless steel. The experiments were designed by using the three factorial techniques. There were three independent variables i.e. power, frequency and cutting speed and one dependent variable i.e. surface roughness. The experimental results were analyzed by many techniques such as: observation, line graphs, and ANOVA statistic.

The experimental results showed that all independent parameters were significantly influenced on the surface roughness with ( $\alpha$ ) 0.05 significant. It was found that the best laser cutting condition to cut a 4 mm thickness stainless steel were used: laser power of 800w., laser frequency of 200Hz. and cutting speed of 500 mm/min. It was also found that the application of those cutting condition, could reduced the surface roughness to 1.25  $\mu\text{m}$  approximately.

Keywords : Laser cutting process/Power /Frequency /Cutting Speeds/Surface Roughness

## กิตติกรรมประกาศ

อิทธิพลของสภาวะการตัดเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดSUS304ด้วยเลเซอร์ที่มีผลต่อความหยาบผิวนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี จากความช่วยเหลือให้คำแนะนำ ความอนุเคราะห์ จากบุคคลหลายท่าน

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. ศิวกร อ่างทอง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำด้านต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินการทดลอง ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำรวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆตลอดจนการแก้ไขปัญหา อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ จันทร์มณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือประกอบการวิจัย และตลอดจนคณะอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา

นรา บุริพันธ์

15 พฤษภาคม 2554



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ความว่าจะได้รับ	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.6 นิยามศัพท์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีเลเซอร์	4
2.2 การตัดโลหะด้วยเครื่องเลเซอร์	9
2.3 ก๊าซเลเซอร์	11
2.4 การใช้เลเซอร์ช่วยในงานเครื่องกล	26
2.5 การตัดด้วยเลเซอร์	27
2.6 ไมโครแมชชีนนิ่ง	29
2.7 การเจาะ การขีดจารึก และการทำตราประทับ	29
2.8 เหล็กกล้าไร้สนิม	31
2.9 ทฤษฎีความเรียบผิวงาน	35
2.10 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง	37
2.11 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	44
2.12 วารสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	45
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	47
3.1 วิธีดำเนินงาน	47
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	48

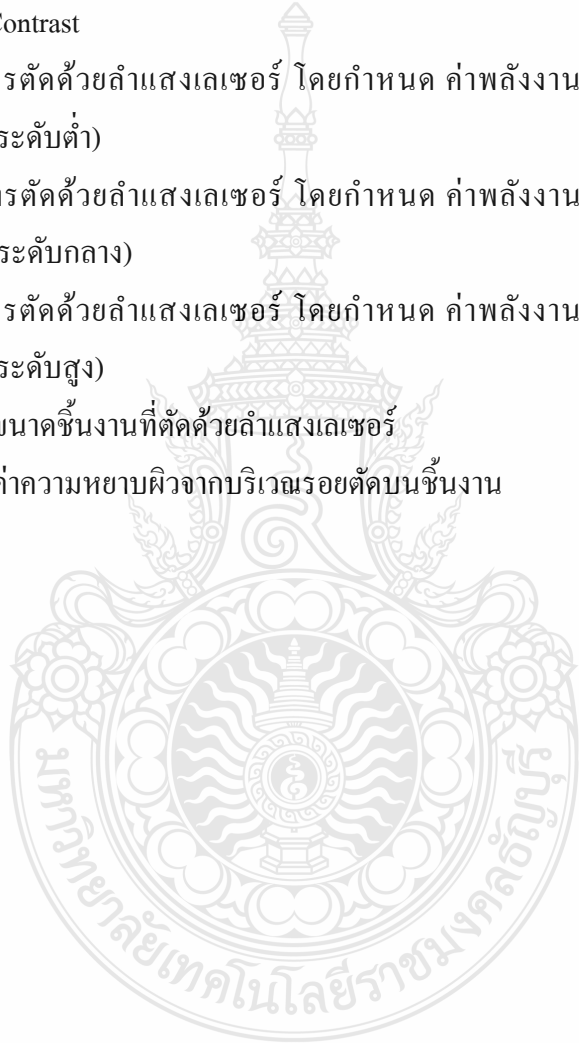


## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	50
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง	53
4.1 ผลการทดลอง	53
4.2 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง	60
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	70
5.1 สภาวะการตัดเฉือนของลำแสงเลเซอร์	70
5.2 อภิปรายผลการทดลอง	71
5.3 ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก	
ก ผลการทดลอง	74
ข ภาพถ่ายชิ้นงาน ครั้งที่ 1	80
ค ภาพถ่ายชิ้นงาน ครั้งที่ 2	87
ง ภาพถ่ายชิ้นงาน ครั้งที่ 3	94
จ ภาพถ่ายโครงสร้าง ครั้งที่ 1	101
ฉ ภาพถ่ายโครงสร้าง ครั้งที่ 2	109
ช ภาพถ่ายโครงสร้าง ครั้งที่ 3	117
ซ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	125
ประวัติผู้เขียน	137

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่าอัตราเร็วการตัดของวัสดุหลายประเภท	28
2.2	ปัจจัยและระดับที่สนใจ ในการทดลองการอบชุบ	41
2.3	ปัจจัยและระดับการทดลองแบบ 2-level factorial design	42
2.4	ตารางการทดลองแบบ 2-level factorial design	42
2.5	Table of Contrast	43
3.1	ตัวแปรการตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ โดยกำหนด ค่าพลังงานของเลเซอร์ (ใช้พลังงานที่ระดับต่ำ)	49
3.2	ตัวแปรการตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ โดยกำหนด ค่าพลังงานของเลเซอร์ (ใช้พลังงานที่ระดับกลาง)	49
3.3	ตัวแปรการตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ โดยกำหนด ค่าพลังงานของเลเซอร์ (ใช้พลังงานที่ระดับสูง)	49
4.1	ผลการวัดขนาดชิ้นงานที่ตัดด้วยลำแสงเลเซอร์	58
4.2	ผลการวัดค่าความหยาบผิวจากบริเวณรอยตัดบนชิ้นงาน	59



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงหลักการทํางานของเครื่องตัดคว้สตัดด้วยลำแสงเลเซอร์	10
2.2	ผังโครงสร้างของก๊าซเลเซอร์ ความดันต่ำได้แก่ HeNe เลเซอร์ความต้านทานไหลคทำ หน้าทีปรับกระแส	11
2.3	ระดับพลังงานทีเกี่ยวข้องกับ HeNe เลเซอร์ M ระบุสถานะกึ่งเสถียรโดยที่ e1 และ e2 เป็นพลังงานอิเล็กตรอนก่อนและหลังการชนกัน และเครื่องหมายคอกกันหมายถึงอะตอมทีอยู่ในสถานะกระตุ้น	13
2.4	โครงสร้าง HeNe เลเซอร์ทีมีกระจกติด	14
2.5	แผนผังระดับพลังงานของอาร์กอนเลเซอร์ เส้นเลเซอร์เกิดขึ้นมากกว่าสิบเส้นแต่ทีเข้มมีอยู่ 2 เส้น	15
2.6	ลักษณะโครงสร้างของอาร์กอนไอออนเลเซอร์	16
2.7	ผังระดับพลังงานแสดงการเปลี่ยนสถานะของ HeCd เลเซอร์	17
2.8	หมคการสั้นของโมเลกุล CO <sub>2</sub>	18
2.9	ระดับการทํางานของคาร์บอนไดออกไซด์ เลเซอร์ และระดับพลังงานการสั้นในระดับพลังงานย่อยเนื่องจากการหมุนทีสอดคล้อง $\theta = 1, 2, \dots$ อักษร P และ R แทนการเปลี่ยนสถานะทีเปลี่ยนโดย +1 และ -1 ตามลำดับ	19
2.10	แผนผังของ TEA Co <sub>2</sub> เลเซอร์ การคิซซาร์จะทําในแนวการตั้งฉากกับแกนของเลเซอร์ควิตี (a มองด้านข้าง) การไหลเวียนของก๊าซซึ่งตั้งฉากกับแกนของควิตี (มองจากด้านบน b)	20
2.11	กราฟเส้นโค้งพลังงานศักย์ของ KrF เอกไซม์เมอร์เลเซอร์	24
2.12	แผนผังการเปลี่ยนสถานะพลังงานของ ฟาร์อินฟารีดเลเซอร์	25
2.13	แสดงภาพขยายลักษณะของผิวชิ้นงานทีผ่านกระบวนการตัดเฉือน	35
2.14	การคำนวณค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra)	36
2.15	การคำนวณค่าความหยาบผิวสูงสุด (Ry)	36
2.16	การคำนวณค่าความหยาบผิวเฉลี่ยสิบจุด (Rz)	37
2.17	แสดงผลการสรุประดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย	43
2.18	การใช้กราฟในการวิเคราะห์ของมูลเพื่อหา Main Effect	44
2.19	การใช้กราฟในการวิเคราะห์หา Interaction	45

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	แผนภาพการไหลแสดงกระบวนการในการดำเนินงานวิจัย	47
3.2	แผนการไหลแสดงขั้นตอนการทดลอง	48
3.3	แสดงตำแหน่งการวัดค่าความเรียบผิวของชิ้นงานทั้ง 4 ด้าน	50
3.4	แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ (มิลลิเมตร)	50
3.5	แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องตัดแบบเลเซอร์	51
3.6	แสดงการจับยึดชิ้นงานบนเครื่องตัดเลเซอร์	51
3.7	แสดงเครื่องตัดเลเซอร์ที่ใช้ในการทดสอบ	52
3.8	แสดงเครื่องวัดความหยาบผิวที่ใช้ในการทดสอบ	52
4.1	แสดงชิ้นงานด้วยกำลัง 700 W ความถี่ 100 Hz. ที่ความเร็วตัดต่างๆ กัน	53
4.2	แสดงชิ้นงานด้วยกำลัง 700 W ความถี่ 200 Hz. ที่ความเร็วตัดต่างๆ กัน	54
4.3	แสดงชิ้นงานด้วยกำลัง 700 W ความถี่ 300 Hz. ที่ความเร็วตัดต่างๆ กัน	54
4.4	แสดงชิ้นงานด้วยกำลัง 800 W ความถี่ 100 Hz. ที่ความเร็วตัดต่างๆ กัน	55
4.5	แสดงชิ้นงานด้วยกำลัง 800 W ความถี่ 200 Hz. ที่ความเร็วตัดต่างๆ กัน	55
4.6	แสดงชิ้นงานด้วยกำลัง 800 W ความถี่ 300 Hz. ที่ความเร็วตัดต่างๆ กัน	56
4.7	แสดงชิ้นงานด้วยกำลัง 900 W ความถี่ 100 Hz. ที่ความเร็วตัดต่างๆ กัน	56
4.8	แสดงชิ้นงานด้วยกำลัง 900 W ความถี่ 200 Hz. ที่ความเร็วตัดต่างๆ กัน	57
4.9	แสดงชิ้นงานด้วยกำลัง 900 W ความถี่ 300 Hz. ที่ความเร็วตัดต่างๆ กัน	57
4.10	แสดงลักษณะของบริเวณรอยตัดของชิ้นงาน	60
4.11	แสดงลักษณะผิวของรอยตัดบนชิ้นที่มีความหยาบขนาด 1.99 $\mu\text{m}$ .	60
4.12	แสดงลักษณะผิวของรอยตัดบนชิ้นที่มีความหยาบขนาด 1.25 $\mu\text{m}$ .	61
4.13	แสดงตัวอย่างครีปที่เกิดจากตัด โดยใช้ $W=700\text{w}$ , $f=100\text{Hz}$ และ $CS= 500 \text{ mm/min}$	61
4.14	แสดงตัวอย่างครีปที่เกิดจากตัด โดยใช้ $W=700\text{w}$ , $f=100\text{Hz}$ และ $CS= 600 \text{ mm/min}$	62
4.15	แสดงตัวอย่างครีปที่เกิดจากตัด โดยใช้ $W=700\text{w}$ , $f=200\text{Hz}$ และ $CS= 600 \text{ mm/min}$	62
4.16	แสดงตัวอย่างครีปที่เกิดจากตัด โดยใช้ $W=700\text{w}$ , $f=300\text{Hz}$ และ $CS= 500 \text{ mm/min}$	62

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.17	แสดงตัวอย่างครีปที่เกิดจากตัดโดยใช้ $W=700w$ , $f=300Hz$ และ $CS= 600 mm/min$	63
4.18	แสดงตัวอย่างครีปที่เกิดจากตัดโดยใช้ $W=800w$ , $f=100Hz$ และ $CS= 500 mm/min$	63
4.19	แสดงตัวอย่างครีปที่เกิดจากตัดโดยใช้ $W=800w$ , $f=100Hz$ และ $CS= 600 mm/min$	63
4.20	แสดงตัวอย่างครีปที่เกิดจากตัดโดยใช้ $W=800w$ , $f=100Hz$ และ $CS= 600 mm/min$	64
4.21	กราฟแสดงค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของรอยตัด ( $f = 100 Hz.$ )	64
4.22	กราฟแสดงค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของรอยตัด ( $f = 200 Hz.$ )	65
4.23	กราฟแสดงค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของรอยตัด ( $f = 300 Hz.$ )	66
4.24	Normal Probability Plot ต่อ ค่าความหยาบผิว	67
4.25	การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ANOVA ของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	67
4.26	การทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยหลัก	68
4.27	การทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยร่วม	69