

การศึกษาการตัดแบบสั้นในแนว 2 แกนสำหรับเหล็กกล้า

นายรัฐ ลีลาอนันตวงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STUDY OF TWO-DIMENSION VIBRATION CUTTING FOR STEEL

Mr. Thanat Leelaanuntawong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007


Copyright of Chulalongkorn University

500334

หัวข้อวิทยานิพนธ์
โดย
สาขาวิชา
อาจารย์ที่ปรึกษา


การศึกษาการตัดแบบสั้นในแนว 2 แกนสำหรับเหล็กกล้า
นายธนัฐ ลีลาอนันตวงษ์
วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์)

ธนัฐ ธิลาอนันตวงษ์ : การศึกษาการตัดแบบสั้นในแนว 2 แกนสำหรับเหล็กกล้า.
(STUDY OF TWO-DIMENSION VIBRATION CUTTING FOR STEEL) อ. ที่ปรึกษา
: อ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตตติเจริญ, 105 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการตัดแบบสั้นในแนว 2 แกน เข้ากับเครื่องกลึงซีเอ็นซี โดยการออกแบบด้ามจับเครื่องมือตัดต้นแบบขึ้น ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการตัดที่ให้ได้ผิวชิ้นงานสำเร็จที่มีความหยาบผิวต่ำ และเครื่องมือตัดมีความสึกหรอต่ำ

ในการศึกษา ได้ทำการทดลองตามเงื่อนไขในการตัดต่างๆดังนี้ ความถี่ในการสั่นเครื่องมือตัด 0 และ 400 เฮิร์ตซ์ ความเร็วรอบตัดคงที่ 2 4 และ 10 รอบต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.01 มิลลิเมตร โดยไม่ใช้สารหล่อเย็น ซึ่งออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคเชิงแฟกทอเรียล ผลตอบที่สนใจ คือ ค่าความหยาบของผิวชิ้นงานเฉลี่ยและค่าความหยาบของผิวชิ้นงานสูงสุด

ผลจากการทดลองพบว่า การตัดแบบสั้นสามารถลดค่าเฉลี่ยความหยาบผิวเฉลี่ยได้อย่างมีนัยสำคัญ จาก 64.4 ไมโครเมตร ซึ่งได้จากกระบวนการตัดแบบดั้งเดิม เป็น 46.30 ไมโครเมตร ซึ่งได้จากกระบวนการตัดแบบสั้น หรือลดลง 28.1 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกระบวนการตัดแบบดั้งเดิม และสามารถลดค่าเฉลี่ยความหยาบผิวสูงสุดได้อย่างมีนัยสำคัญ จาก 666.6 ไมโครเมตร ซึ่งได้จากกระบวนการตัดแบบดั้งเดิม เป็น 362.0 ไมโครเมตร ซึ่งได้จากกระบวนการตัดแบบสั้น หรือลดลง 45.7 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกระบวนการตัดแบบดั้งเดิม

นอกจากนี้ คมเครื่องมือตัดจากกระบวนการตัดแบบดั้งเดิมมีแนวโน้มของการสึกหรอเร็วกว่าการตัดแบบสั้น แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้กระบวนการตัดแบบสั้น สามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดได้

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิติ.....ธนัฐ ธิลาอนันตวงษ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4770303421 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: VIBRATION CUTTING / PIEZOELECTRIC ACTUATOR / FINISHED
SURFACE / TOOL HOLDER / CNC

THANAT LEELANUNTAWONG : STUDY OF TWO-DIMENSION VIBRATION
CUTTING FOR STEEL. THESIS ADVISOR : SOMKIAT TANGJITSITCHAROEN,
D.Eng., 105 pp.

This research applied two-dimension vibration cutting method on conventional CNC turning machine by designing the specific tool holder. The objectives are to improve the cutting performance that provides the low surface roughness and low tool wear.

Under the study, cutting parameters are the vibration frequencies at 0 and 400 Hertz, the constant cutting angular velocities of 2, 4 and 10 rev/min, the feed rate of 0.01 mm/rev, the depth of cut of 0.01 mm with dry cutting. The design of experiment (DOE) is utilized to analyze the responses of surface roughness Ra and Rz.

The results showed that the vibration cutting method can significantly reduce the mean of surface roughness Ra from 64.4 μm obtained by the conventional cutting to 46.3 μm obtained by the vibration cutting, which is reduced about 28.1 percent of the conventional cutting. The vibration cutting method also significantly reduce the mean of surface roughness Rz from 666.6 μm obtained by the conventional cutting to 362.0 μm obtained by the vibration cutting, which is reduced about 45.7 percent of the conventional cutting.

Furthermore, the rate of tool wear obtained from the conventional cutting method is higher than that obtained from the vibration cutting method. It understood that the application of two-dimension vibration cutting method can prolong the life of the cutting tool.

Department: Industrial Engineering Student's signature: *Thanat Leelaanuntawong*
Field of study: Industrial Engineering Advisor's signature: *Somkiat Tangjitsitcharoen*
Academic year: 2007

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์เป็นอย่างดียิ่งจากอาจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตตติเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติในการวิจัยมาด้วยดี อีกทั้งยังช่วยเหลือแก้ไขปัญหาติดขัดต่างๆ อันเนื่องมาจากการวิจัยนี้เป็นอย่างมาก และขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ คำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา และรองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ ที่ได้ตรวจสอบความสมบูรณ์และให้ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

เนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณ นายทองสา พันสะอาด และ คณะผู้ทำงานศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูงและวิศวกรรมเที่ยงตรง ชั้น 8 อาคารเจริญวิศวกรรม ที่ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวก และให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3. ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5. วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1. แนวคิดและทฤษฎี.....	6
2.2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 การออกแบบค้ำจับเครื่องมือตัด.....	25
3.1. ภาพรวมของการออกแบบ.....	25
3.2. แนวคิดของการออกแบบ	26
3.3. ขั้นตอนการออกแบบ	26
3.4. การเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการสั่น.....	27
3.5. การเลือกส่วนควบคุมตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก.....	28
3.6. ความถี่ที่เหมาะสมในการป้อนตัวกระตุ้นเพียโซอิเล็กทริก.....	30
3.7. รูปทรงของค้ำจับเครื่องมือตัด.....	31

3.8. การเลือกวัสดุที่ใช้ทำค้ำจับเครื่องมือตัด	35
3.9. ความถี่ธรรมชาติของค้ำจับเครื่องมือตัด.....	36
3.10. ความเค้นของค้ำจับเครื่องมือตัด	43
3.11. การทดสอบความสามารถในการสั่น	48
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย	52
4.1. การออกแบบการทดลอง	52
4.2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	55
4.3. ขั้นตอนดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล	56
4.4. ขั้นตอนการทำการทดลอง.....	58
4.5. การวิเคราะห์ข้อมูล	58
บทที่ 5 ผลการวิจัย.....	61
5.1. รูปโครงร่างของผิวชิ้นงาน	61
5.2. ผิวชิ้นงาน	68
5.3. ผลจากการทดลองและผลตอบที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	72
5.4. การวิเคราะห์ความแปรปรวน	73
5.5. ความสึกหรอของเครื่องมือตัด.....	95
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	98
6.1. สรุปผลการวิจัย.....	98
6.2. อภิปรายผลการวิจัย.....	99
6.3. อุปสรรคในการวิจัย.....	100
6.4. ข้อเสนอแนะ	100
รายการอ้างอิง	102
ภาคผนวก	103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	105

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1. กราฟแสดงความแม่นยำของการตัดเปรียบเทียบกับปีและเทคโนโลยีการตัด	2
รูปที่ 2.1. กระบวนการการตัดต่างๆที่เป็นพื้นฐานสำคัญ	6
รูปที่ 2.2. แสดงการตัดโลหะแบบมุมเอียง และมุมตั้งฉาก	7
รูปที่ 2.3. แสดงภาพ 3 มิติของการตัดแบบมุมตั้งฉาก ซึ่งมองลดมิติลงเหลือ 2 มิติ	7
รูปที่ 2.4. การเกิดเศษโลหะที่เกิดขึ้นจริงในการตัด	8
รูปที่ 2.5. ประเภทของเศษโลหะที่เกิดขึ้นแบ่งตามรูปร่าง	9
รูปที่ 2.6. ส่วนประกอบชิ้นต่างๆของเครื่องมือตัดควิกวิก โบรอนไนไตรด	11
รูปที่ 2.7. เครื่องมือตัดแบบผลึกโคมอนด์ผสม	12
รูปที่ 2.8. รายละเอียดของผิวชิ้นงาน	14
รูปที่ 2.9. การเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดเมื่อทำการตัดแบบสั้นในหนึ่งคาบเวลา	19
รูปที่ 2.10. ปฏิกิริยาเคมีเพื่อโซอิลเลกทริก	22
รูปที่ 3.1. ตัวกระตุ้นเพื่อโซอิลเลกทริก PICA™ Shear	27
รูปที่ 3.2. ส่วนควบคุม รุ่น E-516 และโปรแกรมสร้างควมถี่ที่ใช้ในการควบคุม	29
รูปที่ 3.3. ส่วนขยายสัญญาณ รุ่น E-507.00	30
รูปที่ 3.4. เส้นโค้งลักษณะการทำงานของส่วนขยายสัญญาณรุ่น E-507.00	30
รูปที่ 3.5. ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวกระตุ้นเพื่อโซอิลเลกทริก PICA™ Shear	31
รูปที่ 3.6. ด้ามจับเครื่องมือตัด (ส่วนท้าย).....	32
รูปที่ 3.7. ด้านปลายสำหรับติดตั้งตัวกระตุ้นเพื่อโซอิลเลกทริกของด้ามจับเครื่องมือตัดส่วนท้าย	33
รูปที่ 3.8. ด้ามจับเครื่องมือตัด (ส่วนหัว)	33
รูปที่ 3.9. ด้ามจับเครื่องมือตัด (ส่วนหัว) สำหรับติดตั้งเครื่องมือตัดแบบอื่นๆ	34
รูปที่ 3.10. การยึดด้ามจับเครื่องมือตัดสองส่วนเข้าด้วยกัน	34
รูปที่ 3.11. ด้ามจับเครื่องมือตัดเมื่อประกอบเสร็จ	35
รูปที่ 3.12. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเป็นค่าเริ่มต้นในการจำลอง.....	37
รูปที่ 3.13. ความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 1 ของด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั้น	38
รูปที่ 3.14. ความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 2 ของด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั้น	39
รูปที่ 3.15. ความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 3 ของด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั้น	40
รูปที่ 3.16. ความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 4 ของด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั้น	41
รูปที่ 3.17. ความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 5 ของด้ามจับเครื่องมือตัดแบบสั้น	42

รูปที่ 3.18. ตำแหน่งที่กำหนดให้แรงกระทำต่อด้ามจับเครื่องมือตัด.....44

รูปที่ 3.19. ความเค้นสูงสุดซึ่งถูกกระทำโดยแรงป้อนที่ได้จากการจำลอง.....45

รูปที่ 3.20. ความเค้นสูงสุดซึ่งถูกกระทำโดยแรงผลักที่ได้จากการจำลอง46

รูปที่ 3.21. ความเค้นสูงสุดซึ่งถูกกระทำโดยแรงตัดหลักที่ได้จากการจำลอง47

รูปที่ 3.22. การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด.....49

รูปที่ 3.23. แผนภาพขั้นตอนการทดสอบการเคลื่อนที่ของด้ามจับเครื่องมือตัด.....49

รูปที่ 3.24. การเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดที่วัดได้จากตัวจับการเคลื่อนที่.....50

รูปที่ 3.25. พล็อตการเคลื่อนที่ของปลายเครื่องมือตัดทั้ง 2 แขนในเวลาเดียวกัน51

รูปที่ 5.1. ผิวชิ้นงานจากการกลึงปาดหน้าด้วยด้ามจับเครื่องมือตัด KYOCERA
 ที่ความเร็วรอบ 2 รอบต่อนาที ทำซ้ำครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ61

รูปที่ 5.2. ผิวชิ้นงานจากการกลึงปาดหน้าด้วยด้ามจับเครื่องมือตัดที่ออกแบบ
 ที่ความเร็วรอบ 2 รอบต่อนาที ความถี่ในการสั่น 0 เฮิร์ตซ์
 ทำซ้ำครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ.....62

รูปที่ 5.3. ผิวชิ้นงานจากการกลึงปาดหน้าด้วยด้ามจับเครื่องมือตัดที่ออกแบบ
 ที่ความเร็วรอบ 2 รอบต่อนาที ความถี่ในการสั่น 400 เฮิร์ตซ์
 ทำซ้ำครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ.....62

รูปที่ 5.4. ผิวชิ้นงานจากการกลึงปาดหน้าด้วยด้ามจับเครื่องมือตัด KYOCERA
 ที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที ทำซ้ำครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ64

รูปที่ 5.5. ผิวชิ้นงานจากการกลึงปาดหน้าด้วยด้ามจับเครื่องมือตัดที่ออกแบบ
 ที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที ความถี่ในการสั่น 0 เฮิร์ตซ์
 ทำซ้ำครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ.....64

รูปที่ 5.6. ผิวชิ้นงานจากการกลึงปาดหน้าด้วยด้ามจับเครื่องมือตัดที่ออกแบบ
 ที่ความเร็วรอบ 2 รอบต่อนาที ความถี่ในการสั่น 400 เฮิร์ตซ์
 ทำซ้ำครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ.....65

รูปที่ 5.7. ผิวชิ้นงานจากการกลึงปาดหน้าด้วยด้ามจับเครื่องมือตัด KYOCERA
 ที่ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที ทำซ้ำครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ66

รูปที่ 5.8. ผิวชิ้นงานจากการกลึงปาดหน้าด้วยด้ามจับเครื่องมือตัดที่ออกแบบ
 ที่ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที ความถี่ในการสั่น 0 เฮิร์ตซ์
 ทำซ้ำครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ.....66

รูปที่ 5.9. ผิวชิ้นงานจากการกลึงปาดหน้าด้วยด้ามจับเครื่องมือตัดที่ออกแบบ
 ที่ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที ความถี่ในการสั่น 400 เฮิรตซ์
 ทำซ้ำครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ.....67

รูปที่ 5.10. ภาพขยาย 200 เท่าของผิวชิ้นงานที่ได้จากการกลึงปาดหน้า
 โดยไม่มีการสั่นเครื่องมือตัด ที่ความเร็วรอบตัด 2 รอบต่อนาที68

รูปที่ 5.11. ภาพขยาย 200 เท่าของผิวชิ้นงานจากการกลึงปาดหน้าโดยใช้ความถี่ 400 เฮิรตซ์
 ในการสั่นเครื่องมือตัดที่ความเร็วรอบตัด 2 รอบต่อนาที68

รูปที่ 5.12. ภาพขยาย 200 เท่าของผิวชิ้นงานที่ได้จากการกลึงปาดหน้า
 โดยไม่มีการสั่นเครื่องมือตัด ที่ความเร็วรอบตัด 4 รอบต่อนาที69

รูปที่ 5.13. ภาพขยาย 200 เท่าของผิวชิ้นงานจากการกลึงปาดหน้าโดยใช้ความถี่ 400 เฮิรตซ์
 ในการสั่นเครื่องมือตัดที่ความเร็วรอบตัด 4 รอบต่อนาที69

รูปที่ 5.14. ภาพขยาย 200 เท่าของผิวชิ้นงานที่ได้จากการกลึงปาดหน้า
 โดยไม่มีการสั่นเครื่องมือตัด ที่ความเร็วรอบตัด 10 รอบต่อนาที 70

รูปที่ 5.15. ภาพขยาย 200 เท่าของผิวชิ้นงานจากการกลึงปาดหน้าโดยใช้ความถี่ 400 เฮิรตซ์
 ในการสั่นเครื่องมือตัดที่ความเร็วรอบตัด 10 รอบต่อนาที 70

รูปที่ 5.16. เปรียบเทียบผิวชิ้นงานที่ความเร็วรอบตัด 2 รอบต่อนาที ที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ 71

รูปที่ 5.17. เปรียบเทียบผิวชิ้นงานที่ความเร็วรอบตัด 4 รอบต่อนาที ที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ 71

รูปที่ 5.18. เปรียบเทียบผิวชิ้นงานที่ความเร็วรอบตัด 10 รอบต่อนาที ที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ 72

รูปที่ 5.19. กราฟแสดงการกระจายแบบปกติของ Ra 75

รูปที่ 5.20. กราฟแสดงส่วนตกค้างและค่าที่ถูกพิศของ Ra 76

รูปที่ 5.21. ผลลัพธ์หลักระหว่างความหยาบผิวเฉลี่ยกับปัจจัยต่างๆ 78

รูปที่ 5.22. อันตรกิริยาระหว่างความหยาบผิวเฉลี่ยกับปัจจัยต่างๆ 78

รูปที่ 5.23. กราฟแสดงการกระจายแบบปกติของ Rz 80

รูปที่ 5.24. กราฟแสดงส่วนตกค้างและค่าที่ถูกพิศของ Rz 81

รูปที่ 5.25. ผลลัพธ์หลักระหว่างความหยาบผิวสูงสุดกับปัจจัยต่างๆ 83

รูปที่ 5.26. อันตรกิริยาระหว่างความหยาบผิวสูงสุดกับปัจจัยต่างๆ 83

รูปที่ 5.27. กราฟแสดงการกระจายแบบปกติของ Ra 85

รูปที่ 5.28. กราฟแสดงส่วนตกค้างและค่าที่ถูกพิศของ Ra 86

รูปที่ 5.29. ผลลัพธ์หลักระหว่างความหยาบผิวเฉลี่ยกับปัจจัยต่างๆ 88

รูปที่ 5.30. อันตรกิริยาระหว่างความหยาบผิวเฉลี่ยกับปัจจัยต่างๆ 88

รูปที่ 5.31. กราฟแสดงการกระจายแบบปกติของ Rz	90
รูปที่ 5.32. กราฟแสดงส่วนตัก้างและค่าที่ถูกพิคของ Rz	91
รูปที่ 5.33. พล็ดผลลัคระหว่าคความหยาบผิวสูงสุคกับป้จจ้ยต่างๆ	93
รูปที่ 5.34. อ้นคกรรยาระหว่าคความหยาบผิวสูงสุคกับป้จจ้ยต่างๆ	93
รูปที่ 5.35. ภาพขยย 200 เท่า ของคคเครื่องมือคคก่อนทำคการทคคองกลลิ่งปาดหน้า โดยล้ความถล้ในการล้นเครื่องมือคค 400 เฮอร์คช	95
รูปที่ 5.36. ภาพขยย 200 เท่า ของคคเครื่องมือคคหลล้จกทำคการทคคอง กลลิ่งปาดหน้าล้นงาน 6 ล้น โดยล้ความถล้ในการล้นเครื่องมือคค 400 เฮอร์คช	95
รูปที่ 5.37. ภาพขยย 200 เท่า ของคคเครื่องมือคคที่ก่อนการทคคอง กลลิ่งปาดหน้าโดยล้การล้นเครื่องมือคค	96
รูปที่ 5.38. ภาพขยย 200 เท่า ของคคเครื่องมือคคหลล้จกทำคการทคคอง กลลิ่งปาดหน้าล้นงาน 6 ล้น โดยล้การล้นเครื่องมือคค	96