การปรับปรุงความหยาบผิวด้วยวิธีการขัดผิวแบบอะเบรซีฟ

นายศุภวัฒ เจียมลักษณไพศาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT IN SURFACE ROUGHNESS BY ABRASIVE POLISHING

Mr. Suppawat Jiamluksanapaisal

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2008
Copyright of Chulalongkorn University

511339

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงความหยาบผิวด้วยวิธีการขัดผิวแบบอะเบรซีฟ
โดย	นายศุภวัฒ เจียมลักษณไพศาล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (ถ้ามี)	อาจารย์ ดร.ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร.ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ปฐมา วิศุทธิพิทักษ์กุล)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มนต์ชัย พฤกษ์วิไลเลิศ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายศุภวัฒ เจียมลักษณไพศาล : การปรับปรุงความหยาบผิวด้วยวิธีการขัดผิวแบบอะเบรซีฟ. (IMPROVEMENT IN SURFACE ROUGHNESS BY ABRASIVE POLISHING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ.ดร.ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี, 114 หน้า.

ในปัจจุบันข้อต่อเทียมทางการแพทย์มีความหยาบผิวในระดับนาโนเมตร (น้อยกว่า 50 นาโนเมตร) เพื่อให้อัตราการสึกหรอที่ต่ำ แต่เครื่องจักรที่ใช้ผลิตชิ้นงานไม่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความหยาบผิวในระดับนั้นได้ ส่งผลให้ข้อต่อเทียมทางการแพทย์จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมดและมีราคาสูงตามมา งานวิจัยนี้จะศึกษาถึงการปรับปรุงผิวชิ้นงานด้วยวิธีการ abrasive polishing เพื่อที่จะทำให้ความหยาบผิวของชิ้นงานหลังการปรับปรุงอยู่ในระดับนาโนเมตร และนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการผลิตข้อต่อเทียมทางการแพทย์ ซึ่งปัจจัยที่นำมาปรับปรุงในงานวิจัยนี้คือ ลำดับการขัดผิวของชิ้นงาน, แรงกดขณะขัด, เส้นทางการขัด และการกระจายตัวของผงขัด

จากการทดลองพบว่าถ้าเลือกขนาดผงขัดให้เหมาะสมกับความหยาบผิวของชิ้นงาน, ใช้แรงกดที่เหมาะสม, และมีทิศทางการขัดหลากหลายทิศทาง จะทำให้สามารถลดความหยาบผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นการปรับปรุงการกระจายตัวและกักเก็บของผงขัดยังช่วยให้มีผงขัดอยู่ตลอดระยะเวลาของการขัดและลดการสิ้นเปลืองผงขัดซึ่งมีมูลค่าสูง ซึ่งจากผลการปรับปรุงชิ้นงานโดยปรับปรุงที่ปัจจัยดังกล่าวทำให้สามารถลดความหยาบผิวของชิ้นงานลงเหลือเพียง 50 นาโนเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต ศุภวัฒ เจียมลักษณไพศาล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

4970610221 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS : ABRASIVE POLISHING / SURFACE ROUGHNESS

SUPPAWAT JIAMLUKSANAPAISAL : IMPROVEMENT IN SURFACE ROUGHNESS BY ABRASIVE POLISHING.ADVISOR : PAIRAT TANGPORNPRASERT Ph.D., CO-ADVISOR : CHANYAPHAN VIRULSRI Ph.D., 114 pp.

Nowadays, surface roughness of medical artificial joint is in the level of nanometer (within 50 nanometers). Conventional manufacturing process cannot achieve such level of surface finish; therefore the product must be imported which is expensive. This research studied about how to improve surface finish within nanometer by using abrasive polishing. The methods can be applied to produce medical artificial joints. The factors that are considered in this research are sequence of abrasive particle size, polishing force, polishing path, and distribution of abrasive particles.

Results of the experiment show that with proper selection of particles size, appropriate polishing force, and various polishing path, can efficiently reduce surface roughness. Furthermore, improvement of particles distribution and restoration can develop particle supply and reduce particle waste which is high cost. The outcome of the research that considered these factors can reduce the surface roughness to be lower than 50 nanometers.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Mechanical Engineering Student's Signature : Suppawat Jiamluksanapaisal

Field of Study : Mechanical Engineering Advisor's Signature : Pairat Tangpornprasert

Academic Year : 2008 Co-Advisor's Signature : Chanyaphan Virulsri

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ดีด้วยความช่วยเหลือของ ดร. ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่พวกท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อการทำวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งคอยสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ สถานที่ และเงินสนับสนุนในการทำวิจัยมาด้วยดีตลอด ขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆน้องๆนิสิตปริญญาโทที่ได้ให้ความช่วยเหลือและข้อคิดเห็นตลอดมา ขอบคุณกลุ่มน้องซีเนียร์โปรเจ็คได้แก่ นายวัทน์สิริ ไชกิจภิญโญ นายเกียรติภูมิ ภูมินันท์ และนายปราชญ์ ศรีบุศกร ที่ได้นำซีเนียร์โปรเจ็คมาเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์สำหรับปฏิบัติการ เงินทุนสนับสนุนการศึกษาและความรู้ต่างๆอีกมากมาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ

บทที่

1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการวิจัย	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 คุณภาพผิว	5
2.2 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม	8
2.3 Abrasive polishing	12
2.3.1 หลักการ Abrasive polishing	12
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อวิธีการ Abrasive polishing	12
2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
3 การทดลองศึกษาเบื้องต้น	19
3.1 การทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผิวชิ้นงานจากวิธีการกลึง	19
3.2 การทดลองปรับปรุงผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive polishing	23
4 การปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยลำดับของขนาดผงขัด	27

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

4.1 การทดลองเพื่อหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการขัดผิวชิ้นงาน............................ 28
4.2 การทดลองขัดผิวโดยเรียงลำดับผงขัด.. 30
5 การปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยแรงกดขณะขัด.. 45
6 การปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยเส้นทางการขัด... 51
7 การปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยการกักเก็บผงขัด.. 62
8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ... 70
รายการอ้างอิง.. 72
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก ข้อมูลเฉพาะเครื่องวัดความหยาบผิว.. 75
ภาคผนวก ข ความหยาบผิวของการปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยแรงกดขณะขัด... 79
ภาคผนวก ค ความหยาบผิวของการปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยการกักเก็บผงขัด. 95
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.. 114

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	สรุปเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผิวชิ้นงานจากวิธีการกลึง.......	20
3.2	สรุปเงื่อนไขการทดลองปรับปรุงผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive polishing.............	24
4.1	สรุปเงื่อนไขการทดลองทดลองหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการขัดผิวชิ้นงาน....	28
4.2	สรุปเงื่อนไขการทดลองขัดผิวชิ้นงานแบบเรียงลำดับผงขัด..............................	33
4.3	ค่าความหยาบผิวที่ได้จากที่ได้จากกระบวนการปรับปรุงผิวต่างๆ.....................	34
4.4	ผลเปรียบความหยาบผิวที่เกิดจากผงขัดและความหยาบผิวเริ่มต้นต่างๆ.........	43
5.1	สรุปเงื่อนไขการทดลองปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยแรงกดขณะขัด.............	46
5.2	สรุปค่า Ra ที่ได้จากการขัดกรณีต่างๆ..	47
6.1	สรุป Test Condition การทดลองปรับปรุงผิวชิ้นงานโดยเส้นทางของการขัด......	53
6.2	ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองปรับปรุงเส้นทางการขัด.........................	54
7.1	สรุปเงื่อนไขการทดลองปรับปรุงผิวชิ้นงานโดยการกักเก็บผงขัด........................	66
7.2	ผลเปรียบเทียบการขัดชิ้นงานแบบปกติและแบบหมุนวนผงขัด 100 ไมโครเมตร .	66
7.3	ผลเปรียบเทียบการขัดชิ้นงานแบบปกติและแบบหมุนวนผงขัด 60 ไมโครเมตร..	67
7.4	ผลเปรียบเทียบการขัดชิ้นงานแบบปกติและแบบหมุนวนผงขัด 35 ไมโครเมตร..	67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ชิ้นส่วนข้อต่อเทียมต่างๆที่ใช้ในการแพทย์	1
1.2	เครื่อง Machining center ที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนทางการแพทย์	3
2.1	ผิวหน้าชิ้นงาน	6
2.2	การวัดค่าความหยาบผิว Rt	7
2.3	การวัดค่าความหยาบผิว Ra	7
2.4	การวัดค่าความหยาบผิว Rz	8
2.5	การวัดค่าความหยาบผิว Rmax	9
2.6	ส่วนต่างๆของหุ่นยนต์เปรียบเทียบกับสรีระของมนุษย์	9
2.7	หุ่นยนต์ประเภทต่างๆ	11
2.8	การกินผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive polishing	12
2.9	ความหยาบผิวที่เกิดจากขนาดผงขัดที่แตกต่างกัน	13
2.10	ผิวสัมผัสระหว่างอุปกรณ์ขัดกับชิ้นงาน	17
3.1	ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง	19
3.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง feed rate กับ surface roughness	20
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง spindle speed กับ surface roughness	21
3.4	ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการกลึงที่สภาวะต่างๆ	23
3.5	เครื่องขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี abrasive machining	24
3.6	ผิวชิ้นงานที่ได้จากการ turning กับผิวชิ้นงานที่ได้จากการปรับปรุงผิวด้วยวิธี polishing	25
3.7	ตำแหน่งที่ทำการวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน	25
3.8	เปรียบเทียบค่าความหยาบผิวที่ได้จากวิธี turning กับ polishing	26
4.1	ขนาดผงขัดที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมกับความหยาบผิวของชิ้นงาน	27
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ขัดผิวชิ้นงานกับความหยาบผิว	29
4.3	ที่เกิดจากการเลือกขนาดผงขัดเหมาะสมและไม่เหมาะสมกับความหยาบผิว	30
4.4	รูปถ่ายผงขัด Al_2O_3 ขนาดต่างๆจากเครื่อง Scanning Electron Microscope.	31

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่		หน้า
4.5	รูปถ่ายผงขัด SiC ขนาดต่างๆจากเครื่อง Scanning Electron Microscope.....	32
4.6	เส้นทางการขัดผิวชิ้นงาน	33
4.7	เปรียบเทียบผงขัดขนาดต่างๆกับความหยาบผิวเริ่มต้น	34
4.8	ผลของแรงที่กระทำต่อผงขัดกรณีอุปกรณ์ขัดเป็นขนแปรงไนลอน	35
4.9	ความหยาบผิวที่ได้จากขั้นตอนกลึง	36
4.10	ความหยาบผิวจากขั้นตอนกลึง + Al_2O_3 5 μm	37
4.11	ความหยาบผิวจากขั้นตอนกลึง + SiC 100 μm	38
4.12	ความหยาบผิวที่ได้จากขั้นตอนกลึง + SiC 100 μm + SiC 60 μm	39
4.13	ความหยาบผิวจากขั้นตอนกลึง + SiC 100 μm + SiC 60 μm + SiC 35 μm..	40
4.14	ความหยาบผิวจากขั้นตอนกลึง + SiC 100 μm + SiC 60 μm + SiC 35 μm + Al_2O_3 5 μm	41
4.15	หยาบผิวจากขั้นตอนกลึง SiC 100 μm + SiC 60 μm + SiC 35 μm + $Al_2O_3$5 μm + $Al_2O_3$1μm	42
4.16	ความหยาบผิวที่เกิดขึ้นจากจากผงขัดและความหยาบผิวเริ่มต้นต่างๆ	43
4.17	ขนาดผงขัดที่เหมาะสมกับความหยาบผิวเริ่มต้น	44
5.1	เครื่องขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive polishing	46
5.2	ผลเปรียบเทียบความหยาบผิวที่ได้จากแรงขัดขนาดต่างๆ	48
5.3	ผลเปรียบเทียบความหยาบผิวระหว่างแรงกด 20 นิวตัน กับ ไม่มีแรงกด	49
5.4	เปรียบเทียบการขัดด้วยก้อนสักหลาดแรงกดน้อยกับแรงกดมาก	50
6.1	เครื่องขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive polishing	52
6.2	เส้นทางการขัดผิวแบบต่างๆ	53
6.3	ทิศทางการวัดความหยาบผิวแนวต่างๆ	53
6.4	ผลเปรียบเทียบความหยาบผิวจากการทดลองปรับปรุงเส้นทางการขัด	54
6.5	ความหยาบผิวเริ่มต้น	55
6.6	ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 1 แนว	56
6.7	ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 2 แนว	57
6.8	ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 3 แนว	58

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่		หน้า
6.9	ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่ผ่านการขัดแบบต่างๆ	59
6.10	ผลเปรียบเทียบความหยาบผิวของชิ้นงาน	60
7.1	การขัดผิวชิ้นงานแบบไม่มีการกักเก็บผงขัด	62
7.2	Conceptual design	63
7.3	หุ่นยนต์ FANUC Robot M-16iB 20	63
7.4	แปรงขัดและมอเตอร์ควบคุม	64
7.5	เหล็ก mild steel (เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร)	64
7.6	ถัง stainless และปากกาจับชิ้นงาน	65
7.7	อุปกรณ์ที่ใช้ในการหมุนเวียนผงขัด	65
7.8	เปรียบเทียบความหยาบผิวระหว่างการขัดแบบกักเก็บผงขัดและไม่กักเก็บผงขัด	67
7.9	การขัดผิวชิ้นงานแบบกักเก็บผงขัด	69
ข.1	Ra เริ่มต้น 0.85 μm	79
ข.2	Ra เริ่มต้น 0.63 μm	79
ข.3	Ra เริ่มต้น 0.42 μm	79
ข.4	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 20 N	80
ข.5	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 30 N	80
ข.6	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 40 N	80
ข.7	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 50 N	81
ข.8	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 100 μm ไม่มีแรงกด	81
ข.9	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 20 N	81
ข.10	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 30 N	82
ข.11	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 40 N	82
ข.12	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 50 N	82
ข.13	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 60 μm ไม่มีแรงกด	83
ข.14	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 20 N	83
ข.15	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 30 N	83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่		หน้า
ข.16	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 40 N	84
ข.17	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 50 N	84
ข.18	Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 35 μm ไม่มีแรงกด	84
ข.19	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 20 N	85
ข.20	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 30 N	85
ข.21	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 40 N	85
ข.22	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 50 N	86
ข.23	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 100 μm ไม่มีแรงกด	86
ข.24	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 20 N	86
ข.25	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 30 N	87
ข.26	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 40 N	87
ข.27	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 50 N	87
ข.28	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 60 μm ไม่มีแรงกด	88
ข.29	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 20 N	88
ข.30	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 30 N	88
ข.31	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 40 N	89
ข.32	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 50 N	89
ข.33	Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 35 μm ไม่มีแรงกด	89
ข.34	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 20 N	90
ข.35	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 30 N	90
ข.36	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 40 N	90
ข.37	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 50 N	91
ข.38	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 100 μm ไม่มีแรงกด	91
ข.39	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 20 N	91
ข.40	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 30 N	92
ข.41	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 40 N	92
ข.42	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 50 N	92

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่		หน้า
ข.43	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 60 μm ไม่มีแรงกด	93
ข.44	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 20 N	93
ข.45	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 30 N	93
ข.46	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 40 N	94
ข.47	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 50 N	94
ข.48	Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 35 μm ไม่มีแรงกด	94
ค.2	Ra เริ่มต้น 0.79 μm	95
ค.3	Ra เริ่มต้น 0.67 μm	95
ค.4	Ra เริ่มต้น 0.44 μm	95
ค.5	Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1	96
ค.6	Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2	96
ค.7	Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3	96
ค.8	Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1	97
ค.9	Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2	97
ค.10	Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3	97
ค.11	Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1	98
ค.12	Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2	98
ค.13	Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3	98
ค.14	Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1	99
ค.15	Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2	99
ค.16	Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3	99
ค.17	Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1	100
ค.18	Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2	100
ค.19	Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3	100
ค.20	Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1	101
ค.21	Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2	101
	Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3	101

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ หน้า

ค.22 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1.......................... 102
ค.23 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2.......................... 102
ค.24 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3.......................... 102
ค.25 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1.......... 103
ค.26 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2.......... 103
ค.27 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3.......... 103
ค.28 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1.......................... 104
ค.29 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2.......................... 104
ค.30 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3.......................... 104
ค.31 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1.......... 105
ค.32 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2.......... 105
ค.33 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3.......... 105
ค.34 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1.......................... 106
ค.35 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2.......................... 106
ค.36 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3.......................... 106
ค.37 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1.......... 107
ค.38 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2.......... 107
ค.39 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3.......... 107
ค.40 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1.......................... 108
ค.41 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2.......................... 108
ค.42 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3.......................... 108
ค.43 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1.......... 109
ค.44 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2.......... 109
ค.45 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3.......... 109
ค.46 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1.......................... 110
ค.47 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2.......................... 110
ค.48 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3.......................... 110

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่

ค.49 หน้า

ค.50 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1.......... 111

ค.51 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2.......... 111

ค.52 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3.......... 111

ค.53 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1......................... 112

ค.54 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 35 μm รัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2......................... 112

ค.55 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3......................... 112

ค.56 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1.......... 113

ค.57 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2.......... 113

Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3.......... 113

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

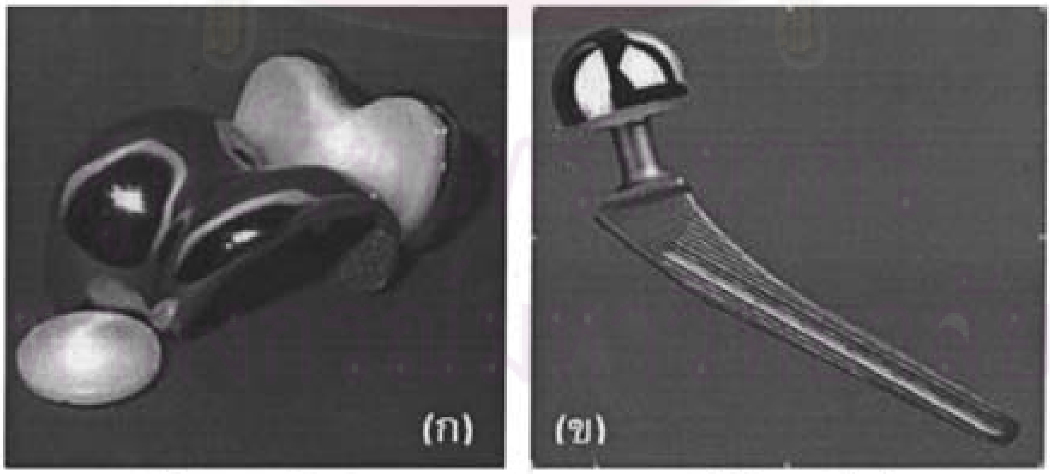
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการผลิตหรือวิธีการผลิตต่างๆ ในงานอุตสาหกรรมมีอยู่มากมายหลายวิธี ซึ่งวิธีต่างๆเหล่านั้นสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อน และความหยาบผิว ได้แตกต่างกันไป ทั้งนี้การที่จะเลือกกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับ วัสดุ รูปทรงและการนำไปใช้ของชิ้นงาน

สำหรับชิ้นงานประเภทชิ้นส่วนข้อต่อเทียมต่างๆที่ใช้ทางการแพทย์ (Medical Part) เป็นชิ้นงานที่ต้องการอัตราการสึกหรอในระดับต่ำมากเพื่อที่จะทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานเพราะบริเวณที่ทำการนำข้อต่อเทียมไปแทนที่เป็นบริเวณที่มีการเสียดสีอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการทำให้เกิดการสึกหรอของข้อต่อเทียม และในการผ่าตัดเปลี่ยนข้อต่อเทียมในแต่ละครั้งทำได้ยากและยังมีผลกระทบหลังการผ่าตัดตามมา นอกจากนั้นยังมีความต้องการให้ชิ้นส่วนที่มีรูปร่างคล้ายของเดิมมากที่สุด เพื่อที่จะสามารถเลียนแบบการเคลื่อนที่เดิมได้มากที่สุด ทำให้คุณสมบัติของชิ้นงานจึงต้องทำจากวัสดุที่มีความแข็งแรงทนทานสูงสามารถใช้ในร่างกายมนุษย์ได้ (Biocompatible) และมีลักษณะเป็นรูปทรงใดๆดังภาพที่ 1.1



ก) knee prosthesis ข) hip prosthesis

ภาพที่ 1.1 ชิ้นส่วนข้อต่อเทียมต่างๆที่ใช้ในการแพทย์

ในปัจจุบันนี้ชิ้นงานประเภทชิ้นส่วนข้อต่อเทียมต่างๆที่ใช้ทางการแพทย์ทำมาจากวัสดุประเภท ไทเทเนียม (Ti 6Al 4V), โคบอลต์โครเมียม (CoCr) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งสูง (334 HB และ 371 HB) [1,2] ตามลำดับ และมีความหยาบผิวมีค่าระหว่าง 10-50 นาโนเมตร ซึ่งทำให้เกิดอัตราการสึกหรอมีค่าระหว่าง 1.47×10^{-19} - 2.63×10^{-18} ลูกบาศก์มิลลิเมตร/นิวตัน.มิลลิเมตร ที่สภาวะการใช้เสียดสี 1,000,000 ครั้ง [3]

ในความเป็นจริงยังมีวัสดุอีกหลายประเภทที่มีความแข็งสูงกว่าวัสดุดังกล่าวข้างต้น แต่เนื่องจากว่าการเลือกวัสดุมาผลิตเป็นข้อต่อเทียมไม่ได้ขึ้นอยู่กับความแข็งเพียงอย่างเดียว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆด้วย เช่น ความแข็งแรงต่อน้ำหนักของวัสดุ, ความต้านทานการกัดกร่อน, ใช้ในร่างกายมนุษย์ได้ เป็นต้น ทำให้วัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นข้อต่อเทียมและได้คุณสมบัติตามที่ต้องการนั้นมีอยู่ไม่กี่ประเภท

ในความเป็นจริงยังมีวัสดุอีกหลายประเภทที่มีความแข็งสูงกว่าวัสดุดังกล่าวข้างต้น แต่เนื่องจากว่าการเลือกวัสดุมาผลิตเป็นข้อต่อเทียมไม่ได้ขึ้นอยู่กับความแข็งเพียงอย่างเดียว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆด้วย เช่น ความแข็งแรงต่อน้ำหนักของวัสดุ, ความต้านทานการกัดกร่อน, ใช้ในร่างกายมนุษย์ได้ เป็นต้น ทำให้วัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นข้อต่อเทียมและได้คุณสมบัติตามที่ต้องการนั้นมีอยู่ไม่กี่ประเภท

ในด้านกระบวนการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการให้มีคุณสมบัติดังกล่าวนั้นมีค่าใช้จ่ายในด้านเครื่องจักรการผลิตสูงมากดังตัวอย่างในภาพที่ 1.2 เป็นเครื่อง Machining Center ที่ใช้สำหรับผลิตชิ้นส่วนทางการแพทย์โดยเฉพาะ (Datron, excelsiorEX) และยังไม่สามารถทำการผลิตได้เองภายในประเทศ จึงทำให้ชิ้นส่วนเหล่านั้นมีราคาสูงมาก ในกรณีของข้อต่อเทียมต่างๆที่ใช้ทางการแพทย์ ส่งผลให้กลุ่มคนที่มีรายได้ไม่สูงไม่สามารถรับภาระทางด้านค่าใช้จ่ายได้เพราะฉะนั้นถ้ามีกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเหล่านี้ที่มีต้นทุนทางการผลิตต่ำและสามารถผลิตได้เองภายในประเทศ ย่อมจะทำให้เกิดประโยชน์ต่อกลุ่มคนที่มีรายได้ไม่สูงและมีความจำเป็นจะต้องใช้ชิ้นส่วนเหล่านี้อย่างแน่นอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 1.2 เครื่อง Machining center ที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนทางการแพทย์

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อวิธีการลดความหยาบผิวชิ้นงานแบบ Abrasive polishing และพัฒนาวิธีการปรับปรุงผิว เพื่อที่จะช่วยให้ความหยาบผิวของชิ้นงานซึ่งทำจากวัสดุทางการแพทย์ หลังผ่านการปรับปรุงผิวแล้วมีค่าอยู่ในระดับนาโนเมตร

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ในการออกแบบการทดลอง และ วิเคราะห์ผล ความหยาบผิวที่ทำการศึกษา คือ ความหยาบผิวเฉลี่ย (Roughness Average, Ra)

1.3.2 ความหยาบผิวในระดับนาโนเมตรที่ต้องการคือ มีค่าตั้งแต่ 50 นาโนเมตรลงไป

1.3.3 วิธีการปรับปรุงผิวชิ้นงานที่ใช้คือ Abrasive polishing

1.3.4 อุปกรณ์ขัดถูกควบคุมตำแหน่งและทิศทางด้วยหุ่นยนต์อุตสาหกรรมแบบ Articulated arm (6 Degrees of freedom)

1.3.5 ชิ้นงานที่นำมาปรับปรุงผิวมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบและรูปทรงใดๆ

1.3.6 ผงขัดที่ใช้ในการวิจัยเป็นผงขัดประเภท SiC และ Al_2O_3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3.7 ชิ้นงานที่จะทำการปรับปรุงผิวเป็นเหล็ก Mild steel

1.3.8 ปัจจัยที่นำมาพัฒนาคือ การใช้ลำดับขนาดของผงขัดในการขัดผิว, แรงกดที่ใส่ให้กับผงขัดขณะขัด, เส้นทางการขัด, การกักเก็บและลดการสิ้นเปลืองผงขัด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เข้าใจถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อวิธีการลดความหยาบผิวชิ้นงานแบบ Abrasive polishing

1.4.2 สามารถลดความหยาบผิวของชิ้นงานที่มีรูปทรงใดๆที่ผ่านการ Machining มาก่อนแล้วให้มีความหยาบผิวต่ำกว่า 50 นาโนเมตร

1.4.3 สามารถนำวิธีการที่ได้ไปเป็นแนวทางพัฒนาต่อไปสู่การปรับปรุงผิวชิ้นงานที่เป็น ข้อต่อเทียมทางการแพทย์ที่มีความแข็งสูงกว่า (CoCr) ให้ความหยาบผิวสามารถลดลงมาระดับเดียวกันได้

1.4.4 สามารถนำวิธีการที่ได้ไปเป็นแนวทางพัฒนาต่อไปสู่การผลิตส่วนประกอบของข้อต่อเทียมทางการแพทย์ในบริเวณที่มีการเสียดสีสูง ขึ้นมาได้เองภายในประเทศ

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1.5.1 ทำการศึกษาและค้นคว้าวิธีการที่สามารถลดความหยาบผิว และปัจจัยที่เกี่ยวข้องในแต่ละวิธีการ

1.5.2 สำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.5.3 เลือกวิธีการและปัจจัยที่จะทำการพัฒนาและปรับปรุง

1.5.4 กำหนดขอบเขตของปัจจัยที่จะทำการศึกษา

1.5.5 ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

1.5.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.7 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.5.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพผิว

ถ้านำเอาผิวงานที่ผ่านการปาดผิวมาแล้ว เช่น ตะไบ กลึง กัด เจียระไน ฯลฯ มาส่องดูด้วยแว่นขยาย จะพบว่า ผิวของชิ้นงานนั้นขรุขระเป็นลูกคลื่น ซึ่งชิ้นงานใดที่มีคลื่นสูงก็แสดงว่าชิ้นงานนั้น มีผิวหยาบ ส่วนชิ้นงานที่มีคลื่นต่ำแสดงว่าผิวงานนั้นเรียบ ความหยาบของผิวนี้มีผลต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก ถ้าผลิตผิวชิ้นงานไม่ตรงกับสภาพความเป็นจริงจะทำให้เสียเวลาในการทำงานไปโดยเปล่าประโยชน์

จากข้อความข้างต้นอาจทำให้เกิดความสับสนระหว่าง ความเป็นคลื่น (Waviness) กับ ความหยาบผิว (Roughness) โดยปกติแล้ว ความเป็นคลื่นจะถูกพิจารณาเป็นความคลาดเคลื่อนของรูปร่างอันเนื่องจาก ความไม่ถูกต้องทางเรขาคณิตของวิธีการผลิตผิวหน้า ส่วนความหยาบผิวอาจจะให้คำจำกัดความว่า เป็นความไม่สม่ำเสมอ หรือ ความไม่ถูกต้องซึ่งไม่สามารถจะหลีกเลี่ยงได้ ของวิธีการผลิตผิวหน้า ถ้ากระทำบนเครื่องจักรที่สมบูรณ์ทุกประการ

หนึ่งในปัญหาหลายๆอย่างของการวัดความหยาบของผิวหน้า ก็คือ การแยกความเป็นคลื่นออกจากความหยาบผิว ถ้าเราจำกัดการตรวจสอบของผิวหน้าที่ถูกตกแต่งมาเป็นช่วงความยาวหนึ่ง ซึ่งไม่มีความยาวคลื่น (Wavelength) ที่ยาว ดังนั้นจะมีเฉพาะความหยาบเท่านั้นที่ถูกรวมเข้ามา ความยาวคลื่นสูงสุดที่ถูกพิจารณาเรียกว่า ความยาวคลื่นตัดออก (Cut-Off Wavelength) ซึ่งถูกกำหนดมาเป็นมาตรฐานในสหราชอาณาจักร โดย B.S1134 ให้เท่ากับ 0.25, 0.8, และ 2.5 มิลลิเมตรการเลือกใช้ค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับผิวหน้าที่จะทำการตรวจสอบ

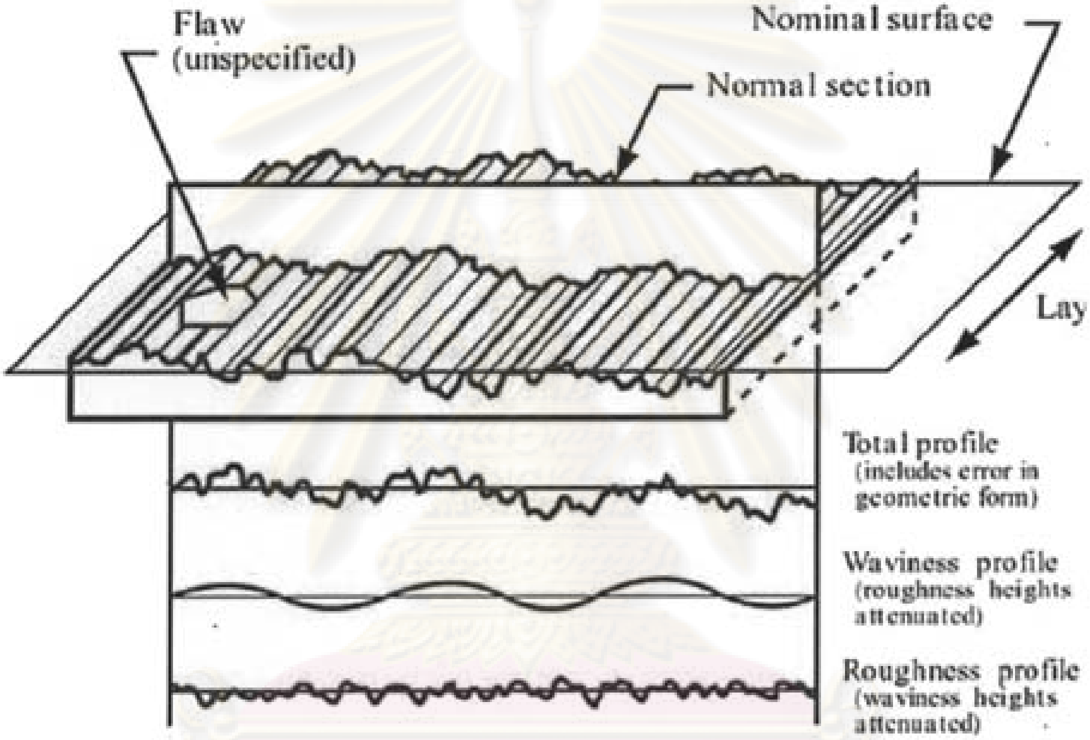
จากข้อความข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีคำที่สำคัญ และมีความจำเป็นที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงความหมายของคำ 4 คำนั้น [4] คือ

- ความหยาบผิว (Roughness) ประกอบด้วยความไม่สม่ำเสมอของผิวของชิ้นงาน ซึ่งส่วนใหญ่รูปแบบของรอยที่เกิดจะเกิดจากอัตราการป้อนของเครื่องมือตัด ความสูงหรือความลึกของร่องรอยความไม่สม่ำเสมอ เป็นค่าที่ได้จากการวัด

- ความเป็นคลื่น (Waviness) คือ บริเวณระหว่างความหยาบผิว โดยมองในพื้นที่ขนาดใหญ่ (ประมาณ 1 มิลลิเมตร) ซึ่งอาจเกิดจากการสั่นสะเทือนหรือสะท้านเนื่องจากการสั่นของเครื่องมือตัด

- ทิศทางของรอยตัด (Lay) จะมองเห็นได้บนผิวชิ้นงาน โดยเกิดบริเวณของชิ้นงานทำให้เห็นทิศทางทำให้เห็นทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด

- ข้อบกพร่องบนผิวชิ้นงาน (Surface Flaws) ความไม่สม่ำเสมอหรือความไม่เรียบร้อยของผิวชิ้นงานโดยมีลักษณะแบบสุ่ม ซึ่งข้อบกพร่องที่มีอยู่ภายในวัสดุหรือผิวชิ้นงานก่อนที่จะเกิดผิวสำเร็จ ซึ่งได้แก่ พวกรูพรุน มลทิน และเศษโลหะที่เชื่อมติดบริเวณขอบตัด (Build Up Edge) หรือเครื่องมือที่แตกออก และฝังลงบนผิวของชิ้นงาน

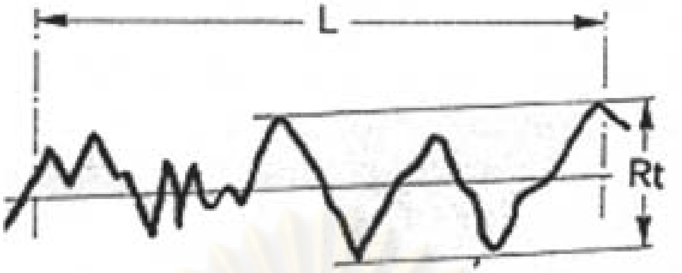


ภาพที่ 2.1 ผิวหน้าชิ้นงาน

การวัดความหยาบผิวสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ค่าความหยาบผิว Rt ได้จากระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของชิ้นงานกับจุดต่ำสุดของชิ้นงาน ตลอดช่วงระยะอ้างอิง (L)

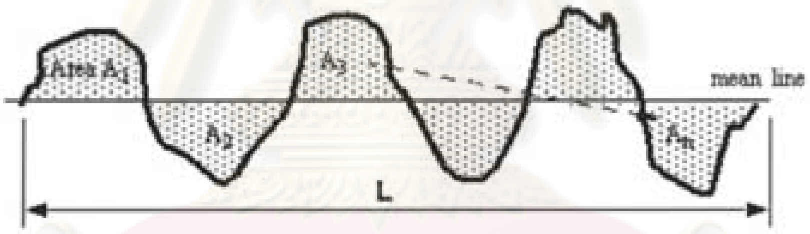
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.2 การวัดค่าความหยาบผิว Rt

2. ค่าความหยาบผิว Ra หรือเรียกว่า ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย เท่ากับผลรวมของพื้นที่ยอดแหลมเหนือเส้นกึ่งกลาง กับพื้นที่หลุมใต้เส้นกึ่งกลาง แล้วหารด้วยระยะอ้างอิง (L) ดังสมการ

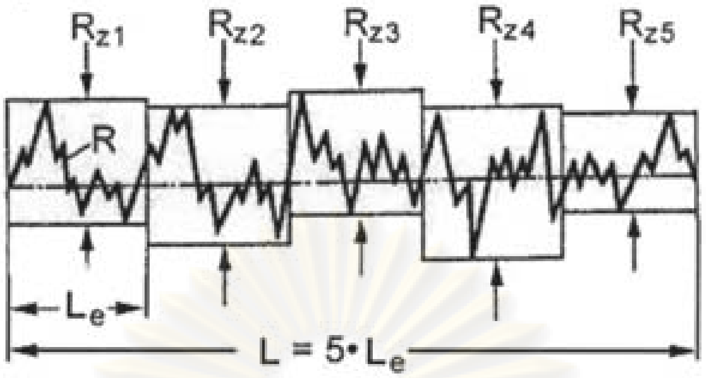
$$Ra = \frac{\sum A}{L} = \frac{A_1 + A_2 + \ldots A_n}{L} \quad (1)$$



ภาพที่ 2.3 การวัดค่าความหยาบผิว Ra

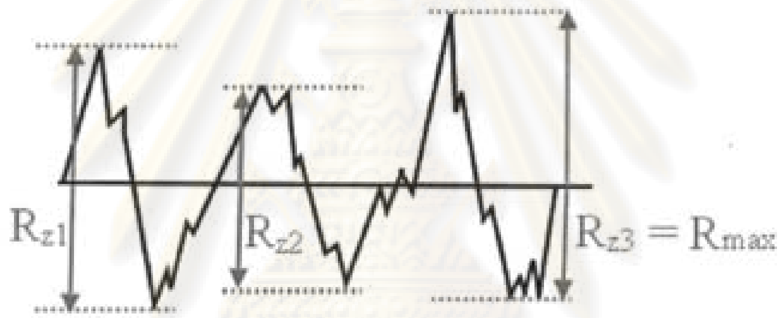
3. ค่าความหยาบผิว Rz ได้จากการแบ่งช่วงทดสอบซึ่งวัดบนผิวงาน (L) ออกเป็น 5 ช่วง เท่าๆ กัน (L_e) จากนั้นหาระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของชิ้นงานกับจุดต่ำสุดของชิ้นงานในแต่ละช่วง (R_{z1}, R_{z2}, R_{z3}, R_{z4}, และ R_{z5}) แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ดังสมการ

$$Rz = \frac{1}{5}\left(R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4} + R_{z5}\right) \quad (2)$$



ภาพที่ 2.4 การวัดค่าความหยาบผิว Rz

4. ค่าความหยาบผิว Rmax คือความลึกสูงสุดของร่องความหยาบที่มีอยู่ในระยะทดสอบดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การวัดค่าความหยาบผิว Rmax

2.2 หุ่นยนต์อุตสาหกรรม

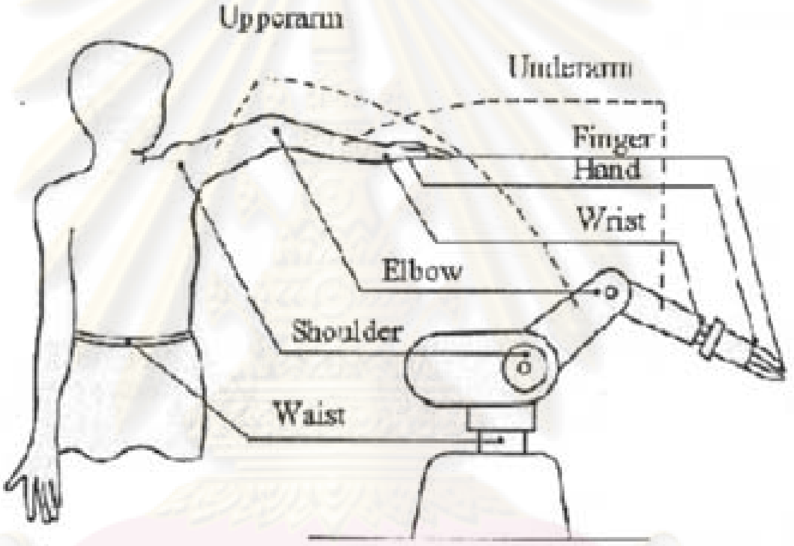
หุ่นยนต์อุตสาหกรรม คือ เครื่องจักรกลที่สามารถทำการโปรแกรมใหม่ได้หลายครั้ง สามารถทำงานได้หลายๆ หน้าที่ ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อให้สามารถหยิบ จับ เคลื่อนย้าย วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ หรืออุปกรณ์พิเศษต่างๆ โดยการตั้งโปรแกรมเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของมัน ให้ทำงานได้ตามต้องการถึงแม้ว่าหุ่นยนต์นั้นจะถูกพัฒนาออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ

ประเภทแรก คือหุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Robot) ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนได้ด้วยตัวเอง หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นแขนกล สามารถเคลื่อนไหวได้เฉพาะแต่ละข้อต่อภายในตัวเองเท่านั้น ส่วนมากมักถูกนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานประกอบรถยนต์ โรงงานเหล็ก เป็นต้น

ประเภทที่สอง คือหุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Robot) หุ่นยนต์ประเภทนี้จะสามารถเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนได้ด้วยตัวเอง บ้างก็เคลื่อนที่โดยการใช้ล้อหรือบางแบบก็

เคลื่อนที่โดยการใช้ขา ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้ ส่วนใหญ่ยังเป็นงานวิจัยที่อยู่ในห้องทดลอง เพื่อพัฒนาออกมาใช้งานในรูปแบบต่างๆ เช่น หุ่นยนต์สำรวจดาวอังคาร หุ่นยนต์สัตว์เลี้ยงซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อให้มาเป็นเพื่อนเล่นกับมนุษย์ หรือแม้กระทั่งมีการพัฒนาหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่แบบสองขาได้อย่างมนุษย์ เพื่ออนาคตจะสามารถนำไปใช้ในงานที่มีความเสี่ยงต่ออันตรายแทนมนุษย์

การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมชนิดที่ตั้งอยู่กับที่ จะถูกออกแบบให้เลียนแบบร่างกายของมนุษย์โดยจะเลียนแบบเฉพาะส่วนของร่างกายที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ในงานอุตสาหกรรมเท่านั้นซึ่งก็คือช่วงแขนของมนุษย์ โดยเปรียบเทียบได้ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ส่วนต่างๆของหุ่นยนต์เปรียบเทียบกับสรีระของมนุษย์

โดยทั่วไปการแบ่งชนิดของหุ่นยนต์ยังสามารถแบ่งตามลักษณะและรูปทรงของพื้นที่ทำงาน (Envelope geometric) โดยแบ่งได้ 5 ประเภทดังนี้

1. Cartesian (gantry) Robot

แกนทั้ง 3 ของหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น (Prismatic) ถ้าโครงสร้างมีลักษณะคล้าย Overhead Crane จะเรียกว่าเป็นหุ่นยนต์ชนิด gantry แต่ถ้าหุ่นยนต์ไม่มีขาตั้งหรือขาเป็นแบบอื่น เรียกว่า ชนิด Cartesian ซึ่งทำให้หุ่นยนต์ประเภทนี้มีข้อดีคือ มีการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงทั้ง 3 มิติ และมีโครงสร้างแข็งแรงตลอดการเคลื่อนที่แต่ก็มีข้อเสียคือ หุ่นยนต์มีขนาดใหญ่กว่าบริเวณทำงาน และไม่สามารถเข้าถึงวัตถุจากทางข้างใต้ได้

ในด้านของการนำไปใช้ เนื่องจากโครงสร้างของหุ่นยนต์มีความแข็งแรงตลอดแนวการเคลื่อนที่ ส่งผลให้เหมาะกับงานประเภทเคลื่อนย้ายของหนักหรือเรียกว่างาน Pick-and-Place เช่น ใช้โหลดชิ้นงานเข้าเครื่องจักร (Machine loading), ใช้จัดเก็บชิ้นงาน (Stacking) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานประกอบ (Assembly) ที่ไม่ต้องการเข้าถึงในลักษณะที่มีมุมหมุน

2. Cylindrical Robot

หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีแกนที่ 2 (ไหล่) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) เป็นแบบ prismatic ส่วนแกนที่ 1 (เอว) จะเป็นแบบหมุน (revolute) ทำให้การเคลื่อนที่ได้พื้นที่การทำงานเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งทำให้หุ่นยนต์ประเภทนี้มีข้อดีคือ มีส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อน และการเคลื่อนที่สามารถเข้าใจได้ง่าย แต่ก็มีข้อเสียในด้านพื้นที่การทำงานที่ค่อนข้างจำกัด

ในด้านการนำไปใช้ โดยทั่วไปจะใช้ในการหยิบยกชิ้นงาน (Pick-and-Place) หรือป้อนชิ้นงานเข้าเครื่องจักร เพราะสามารถเคลื่อนที่เข้าออกบริเวณที่เป็นช่องโพรงเล็กๆ ได้สะดวก

3. Spherical Robot (Polar)

มีสองแกนที่เคลื่อนในลักษณะการหมุน (Revolute Joint) คือแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 2 (ไหล่) ส่วนแกนที่ 3 (ข้อศอก) จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ซึ่งทำให้หุ่นยนต์ประเภทนี้มีข้อดีคือ มีปริมาตรการทำงานมากขึ้นอันเนื่องมาจากการหมุนของแกนที่ 2 (ไหล่) และสามารถที่จะก้มลงมาหยิบชิ้นงานบนพื้นได้สะดวก แต่ก็มีข้อเสียคือมีระบบพิกัด (Coordinate) และส่วนประกอบที่ซับซ้อนซึ่งทำให้การเคลื่อนที่และระบบควบคุมมีความซับซ้อนมากขึ้นตาม

ในด้านการนำไปใช้ โดยทั่วไปใช้ในงานที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical) เพียงเล็กน้อย เช่น การโหลดชิ้นงานเข้าออกจากเครื่องปั๊ม (Press) หรืออาจจะใช้งานเชื่อมจุด (Spot Welding)

4. SCARA Robot

หุ่นยนต์ SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) จะมีลักษณะแกนที่ 1 (เอว) และแกนที่ 3 (ข้อศอก) หมุนรอบแกนแนวตั้ง และแกนที่ 2 จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลง (Prismatic) ซึ่งทำให้หุ่นยนต์ประเภทนี้มีข้อดีคือ สามารถเคลื่อนที่ได้รวดเร็วในแนวระนาบ และมีความแม่นยำสูง แต่ก็มีข้อเสียคือ ไม่สามารถหมุน (rotation) ใน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

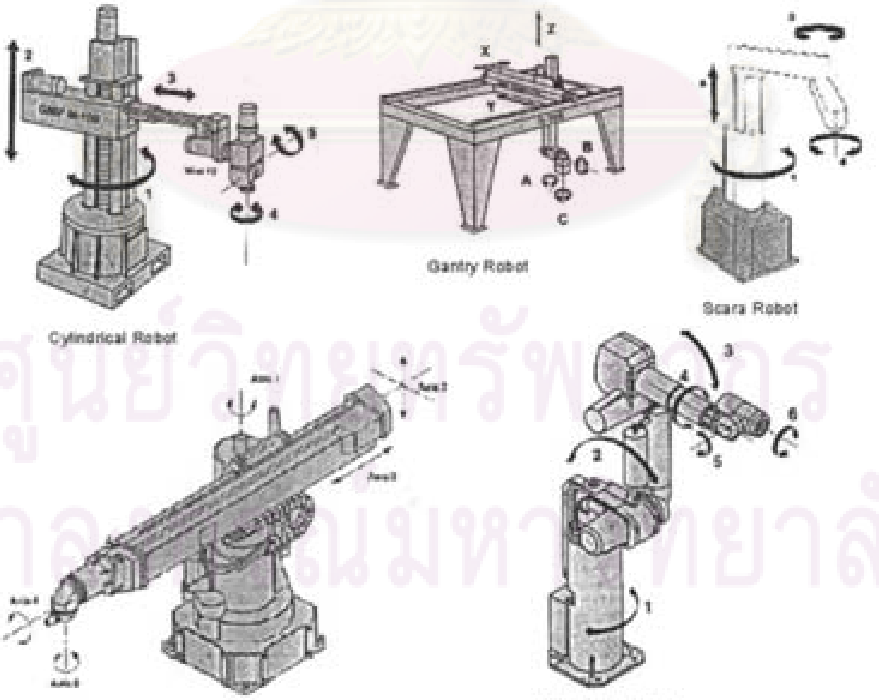
ลักษณะมุมต่างๆได้ และยกน้ำหนัก (pay load) ได้ไม่มากนัก

ในด้านการนำไปใช้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและขึ้นลงทำได้อย่างรวดเร็วจึงเหมาะกับ งานประกอบชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่ง ต้องการความรวดเร็วและการเคลื่อนที่ก็ไม่ต้องการ การหมุนมากนัก แต่จะไม่เหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนทางกล (Mechanical part) ซึ่งส่วนใหญ่การประกอบจะอาศัยการหมุน (rotation) ในลักษณะมุมต่างๆ นอกจากนี้ Scara robot ยังเหมาะกับงานตรวจสอบ (Inspection) งานบรรจุภัณฑ์ (Packaging)

5. Articulated Arm Robot (Revolute)

ทุกแกนการเคลื่อนที่จะเป็นแบบหมุน (Revolute) รูปแบบการเคลื่อนที่จะคล้ายกับแขนคน ซึ่งจะประกอบด้วยช่วงเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง ข้อมือ ซึ่งทำให้หุ่นยนต์ประเภทนี้มีข้อดีคือ จะมีการเคลื่อนที่ในลักษณะ ของการหมุนทำให้มีความยืดหยุ่นสูงในการเข้าไปยังจุด ต่างๆ และมีพื้นที่การทำงานมาก แต่ก็มีข้อเสียคือการเคลื่อนที่และระบบควบคุมทำความ เข้าใจได้ยากขึ้น และมีโครงสร้างไม่มั่นคงตลอดช่วงการเคลื่อนที่

ในด้านการนำไปใช้ หุ่นยนต์ชนิดนี้สามารถใช้งานได้กว้างขวางเพราะสามารถเข้าถึงตำแหน่งต่าง ๆ ได้ดี เช่นงานเชื่อม Spot Welding, Path Welding, งานยกของ, งานตัด, งานทากาว, งานที่มีการเคลื่อนที่ยาก ๆ เช่น งานพ่นสี งาน sealing ฯลฯ



ภาพที่ 2.7 หุ่นยนต์ประเภทต่างๆ

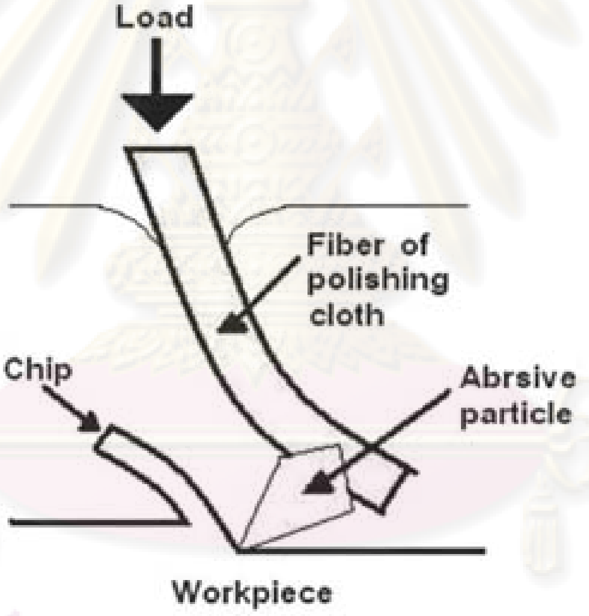
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการประยุกต์นำหุ่นยนต์อุตสาหกรรมแบบ Articulate arm (6R), 6 Degrees of freedom มาทำการติดตั้งอุปกรณ์ขัดผิว เพราะว่าหุ่นยนต์ที่มี degrees of freedom มากจะสามารถเข้าไปถึงตำแหน่งทำงานในรูปแบบและทิศทางต่างๆได้ ณ ตำแหน่งทำงานเดียวกัน ซึ่งทำให้สามารถขัดชิ้นงานที่มีรูปทรงใดๆได้ และสามารถควบคุมเส้นทางการเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

2.3 Abrasive polishing

2.3.1 **หลักการ** Abrasive polishing

เป็นการปรับปรุงผิวโดยอาศัยผงขัดซึ่งไม่ติดแน่นอยู่กับอุปกรณ์ขัดหรือชิ้นงาน [5] ซึ่งการกินผิวชิ้นงานเกิดจากการที่อุปกรณ์ขัดที่มีความยืดหยุ่น และผงขัดสามารถยึดติดอยู่กับอุปกรณ์ขัดโดยอาศัยสารละลายผงขัดเป็นตัวช่วย ดังนั้นแรงที่ใส่ให้กับอุปกรณ์ขัดจึงสามารถส่งผ่านไปถึงผงขัดได้ทำให้เกิดการกินชิ้นงานตามมาดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การกินผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive polishing

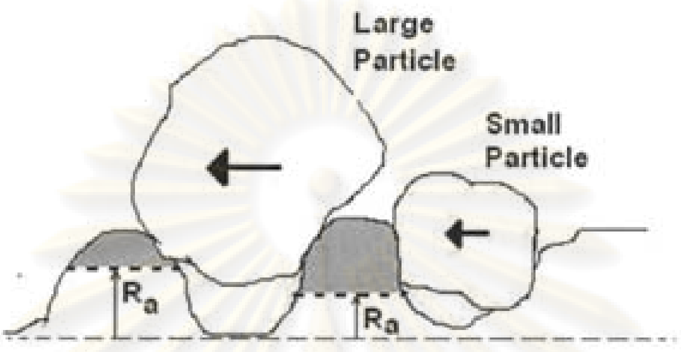
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2 **ปัจจัยที่มีผลต่อวิธีการ** Abrasive polishing

1. ขนาดของผงขัด

ขนาดของผงขัดเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของวิธีการ Abrasive polishing เพราะหลักการกินชิ้นงานของวิธีนี้เกิดจากการที่ผงขัดจมลงไปในชิ้นงานก่อให้เกิดระยะกินลึกขึ้น เพราะฉะนั้นถ้าผงขัดมีขนาดเล็กระยะกินลึกสูงสุดที่ทำได้ย่อมมีค่าน้อยกว่าระยะกินลึกสูงสุดที่เกิดจากผงขัดที่มีขนาดใหญ่ และย่อมนำไปสู่ความหยาบผิวของชิ้นงานที่มีค่าน้อยตามมา

นอกจากนั้นผงขัดที่มีขนาดเล็กยังสามารถลงไปในร่องความหยาบผิวของชิ้นงานได้ลึกกว่าผงขัดที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้สามารถตัดส่วนเกินของชิ้นงานได้มากกว่าผงขัดที่มีขนาดใหญ่ซึ่งทำให้เกิดความหยาบผิวที่มีค่าต่ำตามมาดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ความหยาบผิวที่เกิดจากขนาดผงขัดที่แตกต่างกัน

2. ชนิดของผงขัด

การเลือกชนิดของผงขัดที่จะนำมาขัดผิวชิ้นงานต้องพิจารณาที่ความแข็ง (Hardness) ของวัสดุที่นำมาทำเป็นชิ้นงานเป็นหลัก โดยในปัจจุบันมีนิยมใช้อยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ SiC, Al_2O_3 และ Diamond ซึ่ง SiC เหมาะที่จะใช้กับวัสดุที่มีความแข็งไม่มาก, Al_2O_3 เหมาะที่จะใช้กับโลหะกลุ่มเหล็กที่มีความแข็งมากกว่าปกติ, Diamond เหมาะที่จะใช้กับวัสดุที่มีความแข็งมากเช่น เซรามิค ซินเตอร์คาร์ไบด์

ในความเป็นจริงแล้วชนิดของผงขัดที่เหมาะสมกับวัสดุที่มีความแข็งสูงย่อมสามารถนำไปใช้กับวัสดุที่มีความแข็งต่ำได้ แต่เนื่องจากราคาของผงขัดแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน จึงควรเลือกให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและประหยัดค่าใช้จ่าย

3. รูปทรงของผงขัด

ในการขัดผิวชิ้นงานแบบ Abrasive polishing สิ่งที่ทำหน้าที่ปรับปรุงผิวชิ้นงานก็คือ ผงขัด ซึ่งเคลื่อนที่ไปมาบนผิวหน้าของชิ้นงานซึ่งโดยปกติรูปทรงของผงขัดจะมีลักษณะเป็นรูปทรงใดๆ แต่ในที่นี้จะขอแบ่งรูปทรงของผงขัดออกเป็น 2 ประเภทโดยแบ่งตามลักษณะโดยรวมของรูปทรงโดยแบ่งเป็น แบบที่มุมของผงขัดมีลักษณะมน และ แบบที่มุมของผงขัดมีลักษณะคม ซึ่งในกรณีของผงขัดที่มีลักษณะคมจะสามารถขัดชิ้นงานได้ดีกว่าผงขัดที่มีลักษณะมน โดยการเปรียบเทียบกับการเลื่อยระหว่างใบเลื่อยที่คมกับใบเลื่อยที่ทื่อ ใบเลื่อยที่คมย่อมตัดผิวของชิ้นงานได้ดีกว่า

4. **ความเข้มข้นของสารละลายผงขัด** (Abrasive slurry)

โดยทั่วไปแล้วผงขัดจะถูกนำมาใช้งานในรูปของสารละลายผงขัดผสมน้ำ ซึ่งอันที่จริงแล้วผงขัดยังสามารถผสมกับสารอื่นได้ เช่น Ethylene glycol, Alcohol, Kerosene, Glycerin เป็นต้น เพราะว่าในกรณีที่วัสดุที่นำมาทำเป็นชิ้นงานไม่สามารถโดนน้ำได้สารเหล่านี้จะถูกนำมาใช้แทน

ความเข้มข้นของสารละลายผงขัดจะแสดงให้เห็นถึงปริมาณของผงขัดเทียบกับปริมาณของสารที่นำไปผสม หรือปริมาณของผงขัดเทียบกับปริมาณของสารละลายรวม ซึ่งยิ่งความเข้มข้นสูงของสารละลายจะส่งผลให้มีผงขัดจำนวนมากในขณะขัดผิวชิ้นงานซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการปรับปรุงผิวน้อย แต่อันที่จริงแล้วความเข้มข้นสูงของสารละลายจะส่งผลให้โอกาสที่ผงขัดมาจับตัวกันเองกลายเป็นก้อนผงขัดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็มากขึ้นตาม ซึ่งจะไปทำลายคุณภาพผิวของชิ้นงานโดยโอกาสที่ผงขัดมาจับตัวกันเองกลายเป็นก้อนผงขัดยังขึ้นอยู่กับความหนืดของสารที่นำมาผสมกับผงขัดด้วย

5. **แรงกดที่ใส่ให้กับผงขัดขณะขัด**

ในการขัดผิวชิ้นงานแรงกดที่ใส่ให้กับผงขัดจะทำให้ผงขัดกินไปในชิ้นงานมากน้อยตามขนาดของแรง แต่เนื่องจากว่าการขัดผิวแบบ Abrasive polishing จะอาศัยอุปกรณ์ขัดซึ่งมีความอ่อนนุ่มกว่าชิ้นงาน ซึ่งทำให้แรงที่ใส่เข้าไปไปทำให้ผงขัดจมลงไปในอุปกรณ์ขัดก่อน เพราะฉะนั้นในการใส่แรงเข้าไปถ้าใส่น้อยเกินไปจะทำให้ผงขัดจมลงไปในอุปกรณ์ขัดที่มีความอ่อนนุ่มหมดทำให้ไม่เกิดการขัดผิวชิ้นงาน จึงควรใส่แรงในระดับที่ทำให้ผงขัดจมลงไปในอุปกรณ์ขัดแล้วยังมีส่วนที่พ้นออกมาเพื่อที่จะไว้ขัดชิ้นงานด้วย

6. **ความอ่อนนุ่ม** (Deformation) **ของอุปกรณ์ขัด**

โดยทั่วไปอุปกรณ์ขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive polishing จะทำมาจากวัสดุที่มีความอ่อนนุ่ม เช่น แปรงไนลอน โพลียูเรทีน ผ้าสักหลาด ขนแกะ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องมาจากวิธี Abrasive polishing จะต้องอาศัยผงขัดเป็นตัวกลางในการขัดผิวชิ้นงานซึ่งในความเป็นจริงแล้วผงขัดแต่ละเม็ดไม่มีทางที่จะมีขนาดหรือรูปทรงเท่ากันได้ จึงส่งผลให้อุปกรณ์ขัดต้องทำหน้าที่ในการปรับความไม่เท่ากันของผงขัดแต่ละเม็ดให้มีระนาบในการขัดชิ้นงานร่วมกัน โดยที่อุปกรณ์ขัดที่มีความอ่อนนุ่มสูงจะสามารถปรับระนาบการขัดได้ดีกว่าอุปกรณ์ที่มีความอ่อนนุ่มต่ำ เพราะว่าสามารถยอมให้ผงขัดจมลงไปในตัวมันเองได้มากกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. ความเร็วและ อัตราการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ขัด

เนื่องจากว่าจุดประสงค์หลักของการขัดผิวชิ้นงานไม่ต้องการจะทำให้ขนาดชิ้นงานเปลี่ยน แต่ต้องการเพียงแค่ปรับระดับความไม่เท่ากันของผิวหน้าของชิ้นงานให้อยู่ในระดับเดียวกัน (ลดความหยาบผิว) เพราะฉะนั้นความเร็วของอุปกรณ์ขัดจึงขึ้นอยู่กับความแข็งของชิ้นงานโดยถ้าชิ้นงานที่นำมาขัดมีความแข็งสูงจะทำให้ต้องใช้ความเร็วมากตาม ซึ่งการใช้ความเร็วในการขัดสูงอาจช่วยให้ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการปรับปรุงผิวชิ้นงานให้ได้คุณภาพตามที่ต้องการลดลงได้

ในด้านของอัตราการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ขัด การที่อุปกรณ์ขัดทำการเคลื่อนที่อย่างช้าๆหรือทำการขัดซ้ำอยู่ที่บริเวณเดิมเป็นระยะเวลาหนึ่งจะทำให้ชิ้นงานบริเวณนั้นได้รับการปรับปรุงผิวจนได้คุณภาพ เพราะถ้าทำการเคลื่อนอุปกรณ์ขัดผ่านบริเวณหนึ่งไปอย่างรวดเร็วอาจทำให้บริเวณนั้นยังปรับปรุงผิวไม่ได้คุณภาพ อุปกรณ์ขัดก็ทำการเคลื่อนที่ผ่านไปยังบริเวณอื่นเสียก่อน

ดังนั้นการเลือกความเร็วและอัตราการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ขัดจึงต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในด้านของคุณภาพของชิ้นงานที่ต้องการและเวลาที่ต้องใช้ในการปรับปรุงผิวชิ้นงาน

8. ระนาบของการขัด

ระนาบของการขัดเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับแรงที่ส่งไปขัดชิ้นงานที่ตำแหน่งใดๆ จะเห็นได้จากในกรณีที่ชิ้นงานมีลักษณะเป็นรูปทรงใดๆ ถ้าทำการขัดผิวโดยขัดด้วยระนาบการขัดคงที่ระนาบหนึ่งพร้อมกับออกแรงขัดคงที่ค่าหนึ่ง จะเห็นว่าที่ตำแหน่งต่างๆของชิ้นงานจะได้รับแรงขัดไม่เท่ากัน เพราะว่าชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นรูปทรงใดๆในแต่ละตำแหน่งจะมีระนาบสัมผัสต่างกันจึงทำให้ระนาบการขัดที่คงที่จะทำมุมกับระนาบสัมผัสชิ้นงานเป็นค่าต่างกัน ซึ่งทำให้เวลาแตกแรงขัดผิวให้อยู่ในแนวที่เป็นแนวขัดผิวที่แท้จริงในแต่ละตำแหน่งได้แรงที่มีค่าไม่เท่ากันส่งผลให้คุณภาพของชิ้นงานไม่ดี

9. เส้นทางการขัด

การขัดผิวชิ้นงานโดยมีทิศทางการขัดที่เป็นระเบียบจะทำให้เห็นทิศทางของการตัดได้ชัดเจนตามมา เพราะฉะนั้นการที่จะลดทิศทางของการตัดสามารถทำได้โดยการขัดชิ้นงานโดยให้เส้นทางการขัดชิ้นงานเป็นไปในลักษณะสุ่ม เพื่อที่เส้นทางการขัดของชิ้นงานจะได้ตัดกันไปมาซึ่งจะส่งผลให้สภาพผิวโดยรวมมีทิศทางการตัดที่สั้นลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่ในการขัดผิวงานถ้าเส้นทางของการขัดออกมาในลักษณะสุ่มอาจจะก่อให้เกิดปัญหาตามมาคือ ขัดชิ้นงานได้ไม่ทั่วถึงหรือสิ้นเปลืองระยะเวลาในการขัดมากเกินไป

10. การกระจายตัวและยึดเกาะของผงขัดขณะขัด

ในการขัดผิวชิ้นงานให้ได้คุณภาพการกระจายตัวและการยึดเกาะของผงขัดขณะขัดเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ไม่สารถมองข้ามได้ เพราะถึงแม้ว่าปัจจัยอื่นๆจะถูกปรับปรุงมาดีแค่ไหนแต่ในขณะขัดชิ้นงานปรากฏว่าไม่มีผงขัดอยู่ในบริเวณที่ขัดชิ้นงานหรือกระจายไปอยู่บริเวณที่ไม่ได้ทำการขัดในขณะนั้น ก็ไม่ก่อให้เกิดการขัดผิวชิ้นงานขึ้น หรือกรณีที่ผงขัดมาอยู่รวมกันแน่นเกินไปก็ก่อให้เกิดการจับตัวกันเองของผงขัดให้กลายเป็นก้อนที่มีขนาดใหญ่ตามมา ซึ่งจะไปทำลายคุณภาพผิวของชิ้นงาน

2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Beom-Sahng Ryuh a, Sang Min Park b, Gordon R. Pennock c [6] ได้ทำการออกแบบระบบระบบการเปลี่ยนเครื่องมือให้กับหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ โดยควบคุมผ่านโปรแกรมควบคุม โดยประกอบด้วย หุ่นยนต์อุตสาหกรรม 6 degree of freedom, ฐานเปลี่ยนอุปกรณ์อัตโนมัติ, คอมพิวเตอร์, และอุปกรณ์ควบคุมหุ่นยนต์ โดยจะนำค่า NC ที่ได้มาจากการผลิตขึ้นชิ้นงานมาเข้าโปรแกรมประมวลผลแล้วเปลี่ยนเป็น เส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่จะใช้ในการเคลื่อนที่ไปขัดผิวชิ้นงาน ซึ่งส่งผลดีคือ ประหยัดขั้นตอนที่จะต้องมาสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หลังจากที่ได้ชิ้นงานมาจากการผลิต นอกจากนั้นโปรแกรมยังสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ควบคู่ไปกับการควบคุมฐานเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติให้ทำงานสัมพันธ์กับหุ่นยนต์ ซึ่งทำให้คุณภาพผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นดีขึ้นตามมาเนื่องจากว่าโปรแกรมสามารถควบคุมหุ่นยนต์ให้ขัดชิ้นงานในลักษณะที่อุปกรณ์สำหรับขัดมีทิศตั้งฉากกับผิวกับผิวของชิ้นงานตลอดเวลา

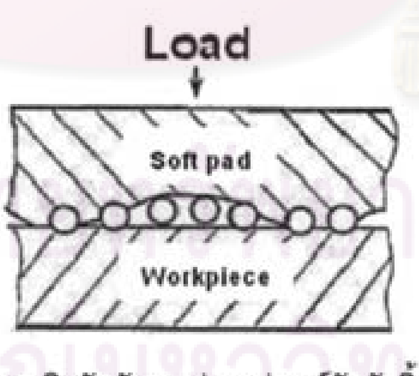
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

J.J. Márquez, J.M. Pérez*, J. Ríos, A. Vizán [7] ได้ทำการออกแบบระบบการขัดผิวชิ้นงานให้เป็นระบบอัตโนมัติ โดยประยุกต์เอาหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเข้ามาทำหน้าที่ขัดผิวชิ้นงาน ซึ่งเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะได้จากการนำ CAD ไฟล์ของชิ้นงานมาประมวลผลเพื่อให้ได้เส้นทางและรูปแบบการขัดที่รวดเร็วและครอบคลุมที่สุด นอกจากนั้นมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรง (Force sensor) ไว้ที่ตำแหน่งทำงานของหุ่นยนต์ (End effecter) แล้วทำการควบคุมในเรื่องของแรงด้วย เพื่อลดปัญหาในกรณีที่ CAD ไฟล์ของชิ้นงาน, ตำแหน่งของ

อุปกรณ์ขัด และระนาบของการขัด มีความคลาดเคลื่อนกันระหว่างของจริงกับที่โปรแกรมออกแบบ ซึ่งระบบการขัดที่สามารถเปลี่ยนรูปแบบการควบคุมได้แบบอัตโนมัติส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการขัดที่ยังคงต้องการผู้ควบคุม (Programmer) มาดูและระบบแล้วลดลงไป 15% แต่ในกรณีที่ต้องการระบบการขัดที่มีขั้นตอนซับซ้อนมากระบบควบคุมนี้ก็ยังไม่สามารถทำได้

Yongsong Xie, Bhushan [8] ได้ทำการศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากขนาดของผงขัด (Abrasive particle), ความอ่อนนุ่ม (Deformation) ของอุปกรณ์ที่ใช้ขัด (Polishing pad), และแรงกดที่กดลงไป (Contact pressure) บนชิ้นงานขณะขัด โดยทำการขัดด้วยวิธี abrasive polishing กับชิ้นงานประเภท Ni-Zn ferrite (11.1% NiO, 22.3% ZnO และ 66.6% Fe_2O_3) และ Pure copper (มากกว่า 99.95%) ผงขัดประเภท Al_2O_3 และ Diamond ซึ่งจากทดลองพบว่า

- ผงขัดที่มีขนาดเล็กจะส่งผลให้ระยะกินลึก (Depth of cut) ที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กตาม ทำให้สามารถปรับปรุงผิวในระดับที่ละเอียดขึ้นได้โดยได้ทำการทดลองที่ขนาด 0.12, 0.33, 1.2, 3.0 และ 9.0 ไมโครเมตร
- อุปกรณ์ขัดที่มีความอ่อนนุ่มสูงเมื่อนำมาใช้คู่กับผงขัดที่มีความแข็งสูงจะส่งผลให้สามารถกดชิ้นงานให้ได้ระนาบเสมอกันได้ดีกว่าใช้อุปกรณ์ขัดที่มีความอ่อนนุ่มน้อยกว่า ในระดับความละเอียดของผงขัดขนาดเดียวกัน เพราะว่าอุปกรณ์ขัดที่มีความอ่อนนุ่มสูงจะยิ่งทำให้ผงขัดยุบตัวลงไปในตัวมันเองและสามารถรักษาระนาบขัดได้ดีกว่า ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ผิวสัมผัสระหว่างอุปกรณ์ขัดกับชิ้นงาน

- แรงกดที่เราใส่ให้กับอุปกรณ์ขัดย่อมกระจายต่อไปยังผงขัดต่างๆด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งใส่แรงกดมากขึ้นผงขัดก็ยิ่งกินชิ้นงานมากยิ่งขึ้นตาม ส่งผลให้ความหยาบผิวมากขึ้นตามมาด้วย

Sunil Jha, V.K. Jain [9] ได้ทำการทดลองและจำลองวิธีการขัดผิวชิ้นงานโดยนำวิธี AFM และวิธี MRF ประยุกต์เข้าด้วยกันโดยที่จะอาศัยสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นเป็นตัวควบคุมให้ผงขัดอยู่ติดกับผิวชิ้นงาน จากนั้นจึงอัดความดันให้กับของเหลวที่ผสมระหว่าง carbonyl iron particle (CIP) ซึ่งสามารถดูดกับสนามแม่เหล็กได้กับผงขัดซึ่งไม่เป็นสารแม่เหล็กให้เคลื่อนที่ไปทั่วผิวชิ้นงาน โดยตั้งสมมติฐานให้ CIP ล้อมรอบผงขัดเสมอใน 1 unit cubic cell เพราะฉะนั้นแรงที่กดให้ผงขัดกดติดกับผิวชิ้นงานจึงกลายเป็นแรงจากสนามแม่เหล็กแทนที่จะขึ้นกับความหนืดของของเหลว ซึ่งสามารถควบคุมขนาดของแรงกดได้สะดวกตามหลักการของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า

T.Kuriyagawa, M. Saeki, K. Syoji [10] ได้ทำการขัดผิวชิ้นงานให้มีความหยาบผิวต่ำโดยทำการสร้างสนามไฟฟ้าล้อมรอบบริเวณที่ทำการขัดผิวชิ้นงานโดยให้ขั้วอยู่ที่รอบๆบริเวณขัดและขั้วลบอยู่ที่อุปกรณ์ขัด เพื่อที่จะให้ Electrorheological fluid เกิดสนามไฟฟ้าภายในตัวเองซึ่งจะช่วยให้สามารถจัดเรียงผงขัดไปตามแนวของสนามไฟฟ้าและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ มีแรงยึดทางไฟฟ้าเพื่อไม่ให้ผงขัดหนีอุปกรณ์ขัดขณะที่อุปกรณ์ขัดหมุนและก่อให้เกิดชิ้นงานที่มีความหยาบผิวประมาณ 4.4 นาโนเมตร แต่การทดลองนี้ได้ทำการทดลองขัดกับวัตถุที่มีขนาดเล็ก (Optical lens)

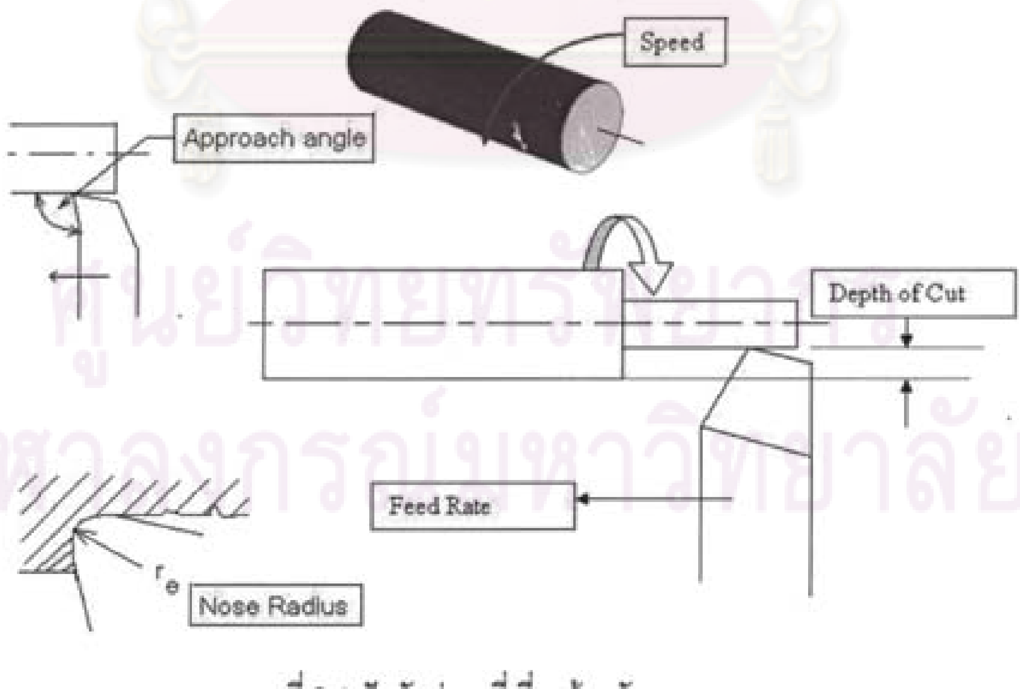
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การทดลองศึกษาเบื้องต้น

3.1 การทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผิวชิ้นงานจากวิธีการกลึง

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองกับชิ้นงาน (เหล็ก mild steel : Hardness 111 HB) ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ทดลองกับเครื่องกลึงแบบกึ่งอัตโนมัติของ Win Ho Technology Industrial Co.,Ltd มีดกลึงที่ใช้เป็นของ Sandvik ลักษณะการเข้าชิ้นงานเป็นแบบกลึงปอกผิวข้าง โดยในการทดลองนี้จะทำการศึกษาถึงผลกระทบต่อความหยาบผิวของชิ้นงานที่เกิดจากอัตราการหมุนของชิ้นงาน (Spindle Speed) และอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate) โดยจะทำการศึกษาที่อัตราการหมุนของชิ้นงานที่ 530, 880, 1,350 และ 2,000 รอบ/นาที ซึ่งเป็นอัตราการหมุนสูงสุดที่เครื่องกลึงสามารถทำได้ กับ อัตราการป้อนชิ้นงานที่ 0.1, 0.21, 0.3 และ 0.42 มิลลิเมตร/รอบ โดยกำหนดให้ปัจจัยอื่นๆ คงที่อันได้แก่ ระยะป้อนลึก (Depth of Cut) 1 มิลลิเมตร, มุมตัด (Approach Angle) 95° โดยปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองแสดงไว้ในภาพที่ 3.1 และตารางที่ 3.1 แต่ในการทดลองจะทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยน nose radius (0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร) เพื่อยืนยันถึงแนวโน้มของผลการทดลองโดยได้ผลการทดลองดังภาพที่ 3.2 และ 3.3

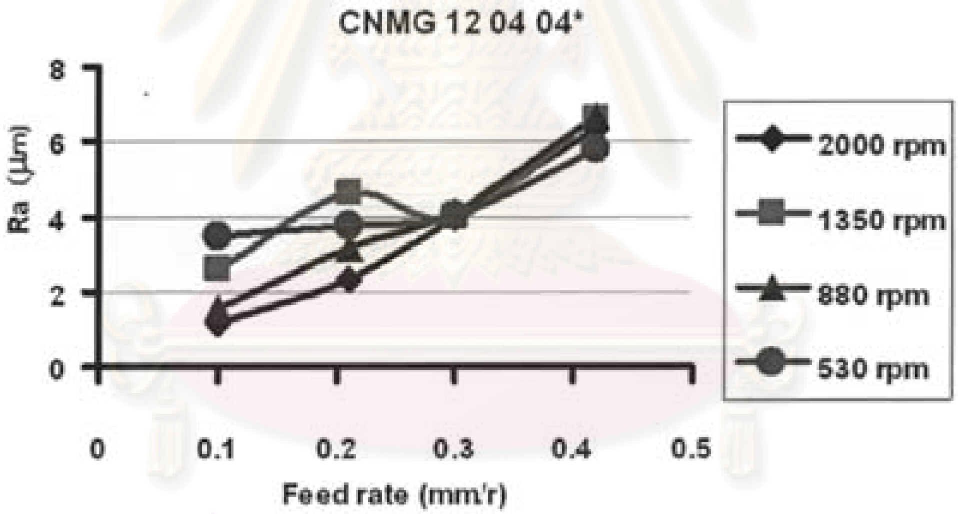


ภาพที่ 3.1 ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ตารางที่ 3.1 สรุปเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผิวชิ้นงานจากวิธีการกลึง

ขนาดของชิ้นงาน	Ø 25 mm
Hardness ของชิ้นงาน	111 HB
ลักษณะการกลึง	ปอกผิวข้าง
อัตราการหมุนของชิ้นงาน	530, 880, 1,350 และ 2,000 rpm
อัตราการป้อนชิ้นงาน	0.1, 0.21, 0.3 และ 0.42 mm/r
ระยะป้อนลึก	1 mm
มุมตัด	95°
nose radius*	0.4 และ 0.8 mm

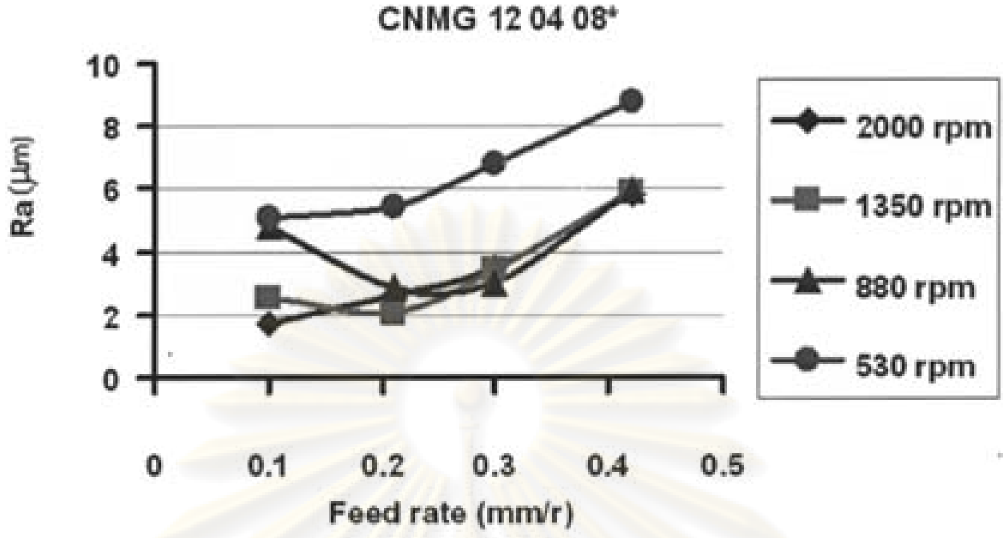
หมายเหตุ nose radius 0.4 mm คือเล็บมีดกลึงรหัส CNMG 12 04 04
nose radius 0.8 mm คือเล็บมีดกลึงรหัส CNMG 12 04 08



ก) ที่ nose radius 0.4 มิลลิเมตร

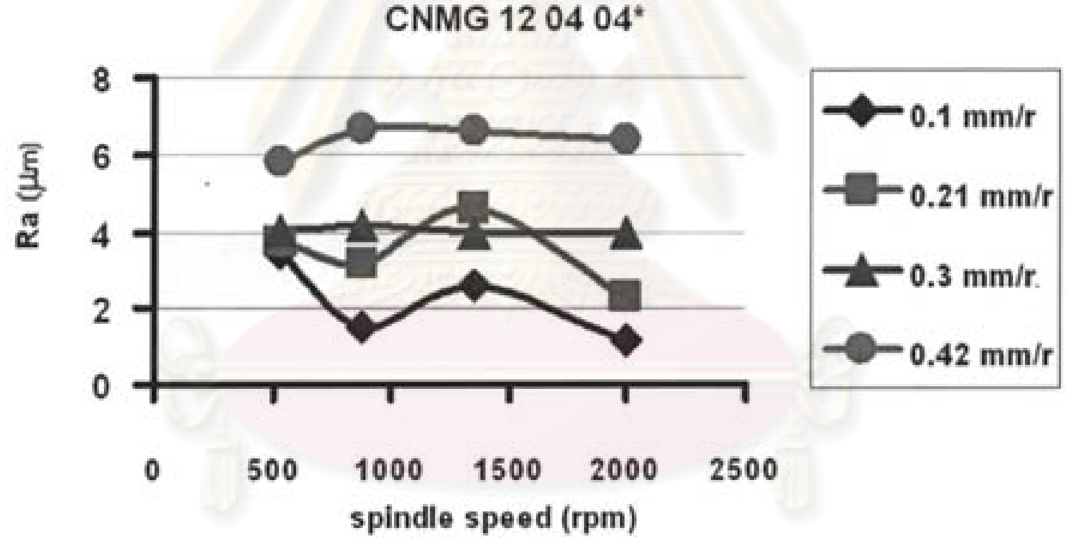
ภาพที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง feed rate กับ surface roughness

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ข) ที่ nose radius 0.8 มิลลิเมตร

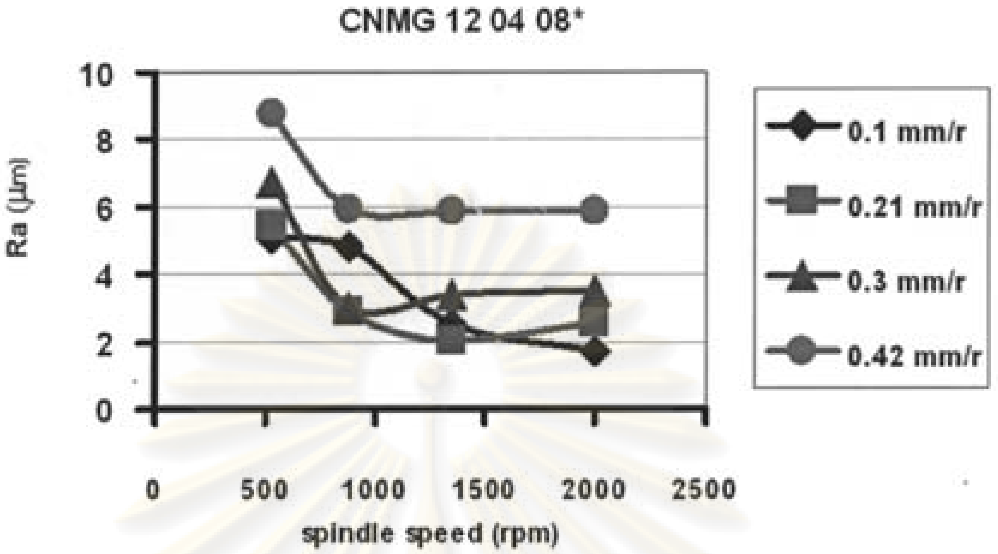
ภาพที่ 3.2 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่าง feed rate กับ surface roughness



ก) ที่ nose radius 0.4 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง spindle speed กับ surface roughness

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ข) ที่ nose radius 0.8 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.3 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่าง spindle speed กับ surface roughness

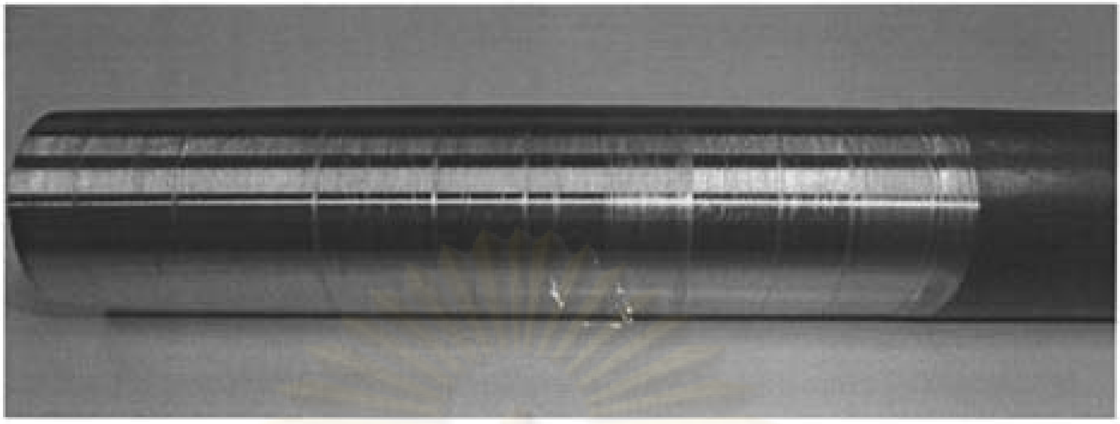
หมายเหตุ: CNMG 12 04 04 และ CNMG 12 04 08 เป็นรหัสของเล็บมีดกลึงที่ใช้ในการทดลองนี้โดยทั้ง 2 แบบแตกต่างกันเพียง nose radius ซึ่งมีค่า 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นได้ว่าค่าความหยาบผิวที่ต่ำจะเกิดได้ที่สภาวะอัตราการหมุนของชิ้นงานสูง และอัตราการป้อนชิ้นงานต่ำโดยเครื่องกลึงสามารถลดความหยาบผิวลงต่ำสุดได้ถึง 1.148 ไมโครเมตร และจากการทดลองจะเห็นได้ว่ามีข้อมูลบางสภาวะมีค่าแตกต่างจากแนวโน้มซึ่งทั้งนี้อาจเกิดมาจาก

- ความสั่นสะเทือนของเครื่องกลึงทั้งที่ส่งไปถึงมีดกลึงและส่งไปถึงชิ้นงานส่งผลให้ความหยาบผิวมีค่ามากขึ้นตามมา
- ตำแหน่งทดสอบชิ้นงาน ระยะห่างจากตำแหน่งจับยึดชิ้นงานมีค่ามากส่งผลต่อการแกว่งของชิ้นงานตามมาทำให้ความหยาบผิวที่ตำแหน่งทดสอบใกล้ที่จับยึดชิ้นงานมีค่าต่ำกว่าความหยาบผิวที่ตำแหน่งไกลออกไป ในสภาวะการกลึงเดียวกัน
- ความทื่อของมีดกลึงซึ่งเกิดขึ้นได้เมื่อมีการทดสอบผ่านไปหลายๆครั้งย่อมส่งผลให้ความหยาบผิวที่สามารถทำได้มีค่าสูงขึ้นตามมา

โดยมีตัวอย่างของชิ้นงานที่ถูกทดสอบในสภาวะต่างๆดังภาพที่ 3.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



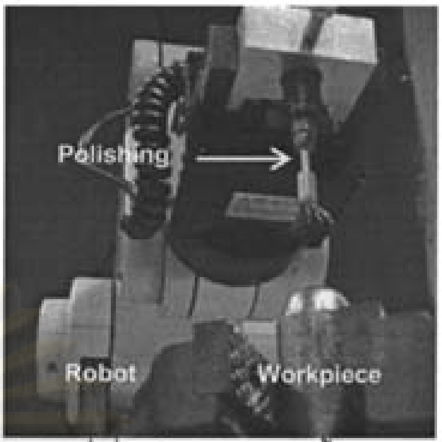
ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการกลึงที่สภาวะต่างๆ

จากวิธีการที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการกลึงไม่สามารถปรับปรุงผิวชิ้นงานให้มีความหยาบในระดับที่ชิ้นส่วนทางการแพทย์ต้องการได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเทคนิคการปรับปรุงผิวชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นรูปทรงใดๆ ให้มีค่าความหยาบผิวในระดับนาโนเมตร โดยเราจะทำการประยุกต์นำวิธีการ polishing มาใช้ร่วมกับหุ่นยนต์ เพื่อที่จะสามารถควบคุมตัวอุปกรณ์สำหรับขัด (polishing tool) ให้สามารถเข้าไปขัดชิ้นงานได้ในรูปแบบและทิศทางต่างๆได้

3.2 การทดลองปรับปรุงผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive polishing

การทดลองนี้จะทำการทดลองกับชิ้นงาน (เหล็ก mild steel : Hardness 111 HB) ที่มีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ซึ่งจัดว่าเป็นรูปทรงใดๆ อย่างง่าย) ซึ่งขึ้นรูปมาจากวิธี turning โดยใช้เครื่อง CNC (MAZATROL 640t NEXUS) โดยขึ้นภาพที่สภาวะ spindle speed 2,000 รอบ/นาที ใช้มีดกลึง carbide insert จากนั้นจึงนำมาขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี abrasive machining โดยได้นำชิ้นงานมายึดให้อยู่กับที่แล้วทำการขัดผิวชิ้นงาน โดยทำการเขียนโปรแกรมกำหนดเส้นทางที่ต้องการให้กับหุ่นยนต์ (MITSUBISHI MOVEMASTEREX RV-M1, 5 Degrees of freedom) และที่ตำแหน่งปลายแขนของหุ่นยนต์ (end effector) ได้ทำการติดตั้ง polishing tool เป็นแปรงขัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 มิลลิเมตร ซึ่งขนขัดทำมาจาก Nylon ยาว 10 มิลลิเมตร เอาไว้เป็นอุปกรณ์ขัดผิวชิ้นงานโดยจะทำการขัดด้วยความเร็วรอบ 2,000 รอบ/นาที เป็นเวลานาน 20 นาที ดังแสดงในภาพที่ 3.5 และตารางที่ 3.2

ก) การติดตั้งหุ่นยนต์เพื่อจะนำมาขัดผิว



ข) ส่วนหลักที่เกี่ยวข้องกับการขัดชิ้นงาน

ภาพที่ 3.5 เครื่องขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี abrasive polishing

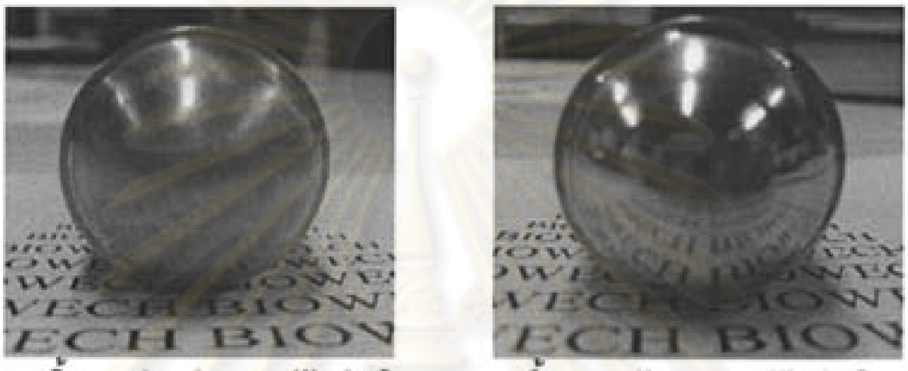
ตารางที่ 3.2 สรุปเงื่อนไขการทดลองปรับปรุงผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive polishing

ขนาดของชิ้นงาน	SØ 25 mm
Hardness ของชิ้นงาน	111 HB
ลักษณะของชิ้นงาน	ครึ่งทรงกลม
เส้นผ่านศูนย์กลางแปรงขัด	Ø 6.5 mm
ความยาวขนแปรง	10 mm
อัตราการหมุนของแปรงขัด	2,000 rpm
ขนาดผงขัด	5 μm
Hardness ของผงขัด	1,900 HB
เวลาที่ใช้ในการขัด	20 minutes

ในขั้นตอนของการขัดชิ้นงานจะไม่กระทำโดยตรงระหว่างอุปกรณ์สำหรับขัดกับชิ้นงาน แต่จะมีผงสำหรับขัด (abrasive particle, Mesh size #14,000, Micron range 5 ไมโครเมตร : Hardness 1,900 HB)ซึ่งอยู่ในรูปของ สารละลายอะลูมินา (ผงอะลูมินาผสมกับน้ำ) เป็นตัวคั่นกลางในการขัดโดยการนำแปรงขัดมาจุ่มลงในสารละลายลึกลงไป 5 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำไปขัด ซึ่งจะส่งผลให้สิ่งที่เป็นตัวขัดชิ้นงานที่แท้จริงคือผงอะลูมินาซึ่งมีขนาดในระดับไมโครเมตร ซึ่งหลังขัดชิ้นงานแล้วได้ผลดังแสดงในภาพที่ 3.6 (ข) จากนั้นจึงนำมาวัดหาค่าความหยาบผิวโดยเครื่องวัดความหยาบผิว (Surfcom 1,400D, ACCRETECH-TOKYO SEIMITSU: straightness accuracy 50 นาโนเมตร) โดยทำการลากหัว stylus ไปบนชิ้นงานเป็นระยะทาง 1 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งต่างๆ 3 ตำแหน่งโดยเน้นให้ห่างจากจุดศูนย์กลางในระยะ

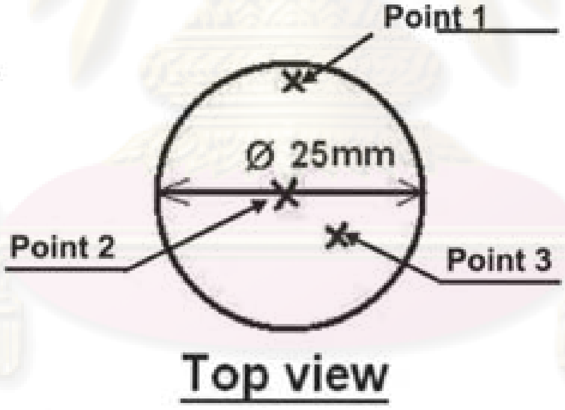
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 3.7 จากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะได้ผลการเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธี turning กับวิธี polishing ดังแสดงในภาพที่ 3.8 ค่าความหยาบผิวที่ได้จากวิธี Polishing จะมีค่าต่ำกว่าวิธี turning ประมาณ 14.5 เท่า โดยผิวชิ้นงานที่ได้จากวิธี turning วัดค่า Ra ได้เท่ากับ 907 นาโนเมตร ส่วนผิวชิ้นงานที่ได้จากวิธี polishing วัดค่า Ra ได้เท่ากับ 63 นาโนเมตร[11]



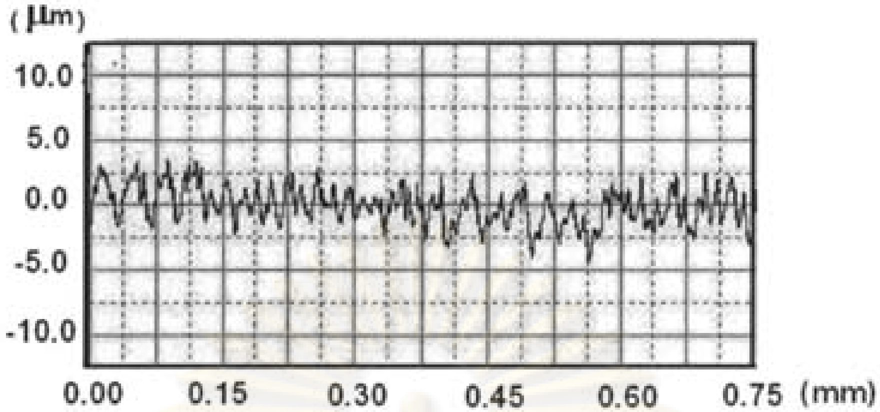
ก) ชิ้นงานก่อนผ่านการปรับปรุงผิว ข) ชิ้นงานหลังผ่านการปรับปรุงผิว

ภาพที่ 3.6 เปรียบเทียบผิวชิ้นงานที่ได้จากการ turning กับผิวชิ้นงานที่ได้จากการปรับปรุงผิววิธี abrasive polishing

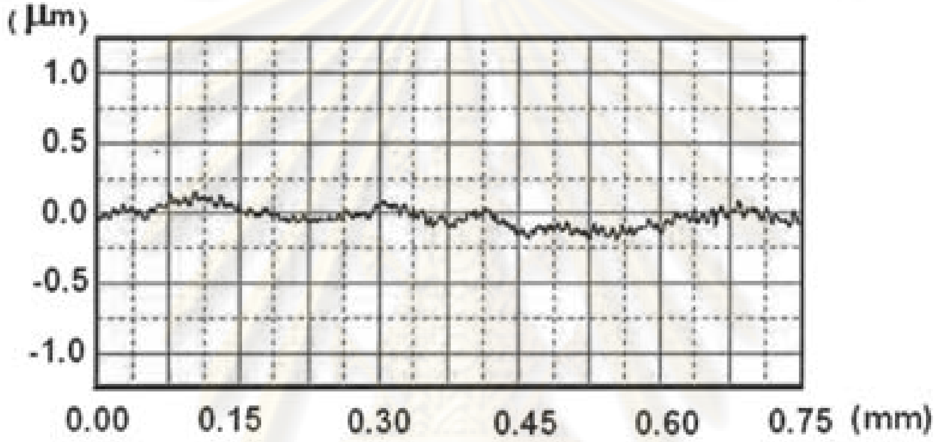


ภาพที่ 3.7 ตำแหน่งที่ทำการวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ความหยาบผิวที่ได้จากวิธี turning



ข) ความหยาบผิวที่ได้จากวิธี polishing

ภาพที่ 3.8 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิวที่ได้จากวิธี turning กับ polishing

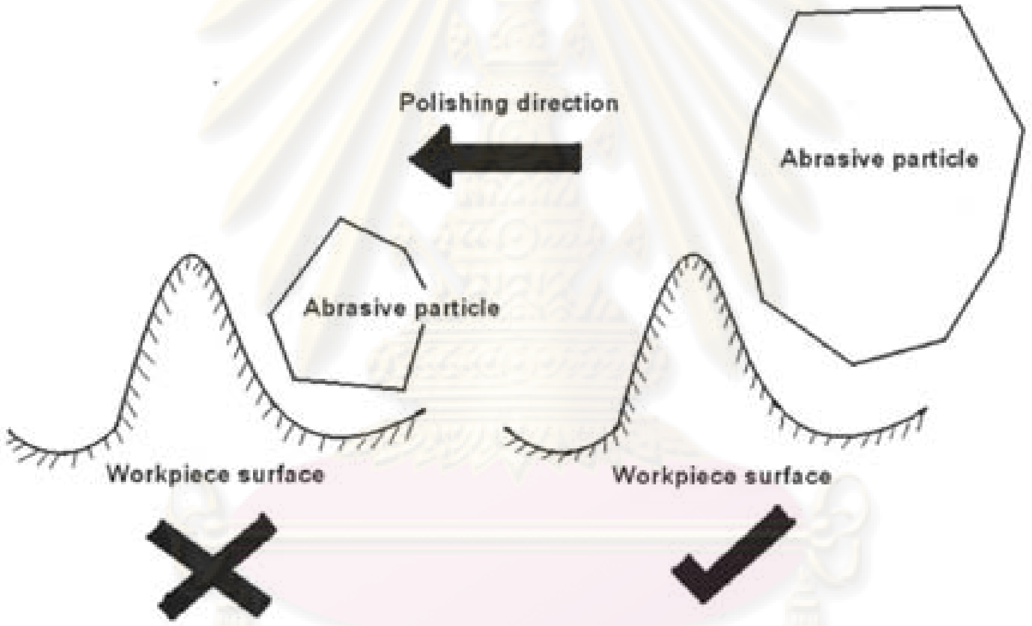
จากผลลัพธ์ที่ได้ในเบื้องต้นสามารถนำไปพัฒนาสู่การปรับปรุงผิวในลักษณะรูปทรงใดๆแบบที่มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยการนำหุ่นยนต์ที่มี Degrees of freedom มากกว่า 5 มีความละเอียดสูง(High precision) และมีความสามารถในการรักษาระนาบของการขัดให้ตั้งฉากกับผิวชิ้นงานอยู่ตลอดเวลา มาควบคุมการเคลื่อนที่หรืออาจจะทำการปรับปรุงตัวจับชิ้นงานให้มีการเคลื่อนที่ในรูปแบบต่างๆได้แทนเพื่อเป็นการลดเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ส่วนในด้านการพัฒนาความละเอียดให้มากขึ้นสามารถทำได้โดยเปลี่ยนขนาดของผงขัดให้มีขนาดเล็กลงเพื่อนำไปสู่ความหยาบผิวที่มีค่าต่ำลงไปอีก[10], จัดหาอุปกรณ์สำหรับขัดชิ้นงานที่มีขนาดเล็กลง สามารถกักเก็บผงขัดได้ดี และมีความยืดหยุ่นสูงเพื่อที่จะสามารถเข้าถึงชิ้นงานได้ทุกๆตำแหน่งมาใช้ก็จะสามารถพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานดีขึ้นได้อีกซึ่งจะเป็นเนื้อหาหลักของงานวิจัยนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยลำดับของขนาดผงขัด

จากการศึกษาในเรื่อง Abrasive polishing (บทที่ 2.3) จะเห็นได้ว่าขนาดของผงขัดที่เล็กหรือใหญ่กว่าความหยาบผิวของชิ้นงานอาจส่งผลให้การกินผิวชิ้นงานเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพอันเนื่องมาจากวิธีการ Abrasive polishing เป็นการขัดแบบ 3 body abrasion อันประกอบด้วย แปรงขัด ผงขัด และชิ้นงาน ซึ่งผงขัดจะไม่ถูกยึดติดอยู่กับแปรงขัดหรือชิ้นงาน ทำให้กรณีที่ผงขัดมีขนาดไม่เหมาะสมกับความหยาบผิวผงขัดอาจไต่หรือแฉลบผิวชิ้นงานแทนที่จะกินผิวชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ขนาดผงขัดที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมกับความหยาบผิวของชิ้นงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุประสงค์

ผงขัดแต่ละขนาดจะมีขอบเขตของความหยาบผิวชิ้นงานที่เหมาะสมอยู่ การทดลองนี้จึงทดลองเพื่อทดสอบหาความเหมาะสมระหว่างความหยาบผิวชิ้นงานและขนาดของผงขัด นอกจากนั้นยังทดลองหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการขัดผิวชิ้นงานในแต่ละตำแหน่ง เพื่อจะลดระยะเวลาที่ใช้ในการขัดผิวชิ้นงานและนำผลที่ได้ไปใช้ร่วมกับการทดลองในบทต่อๆไป

4.1 การทดลองเพื่อหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการขัดผิวชิ้นงาน

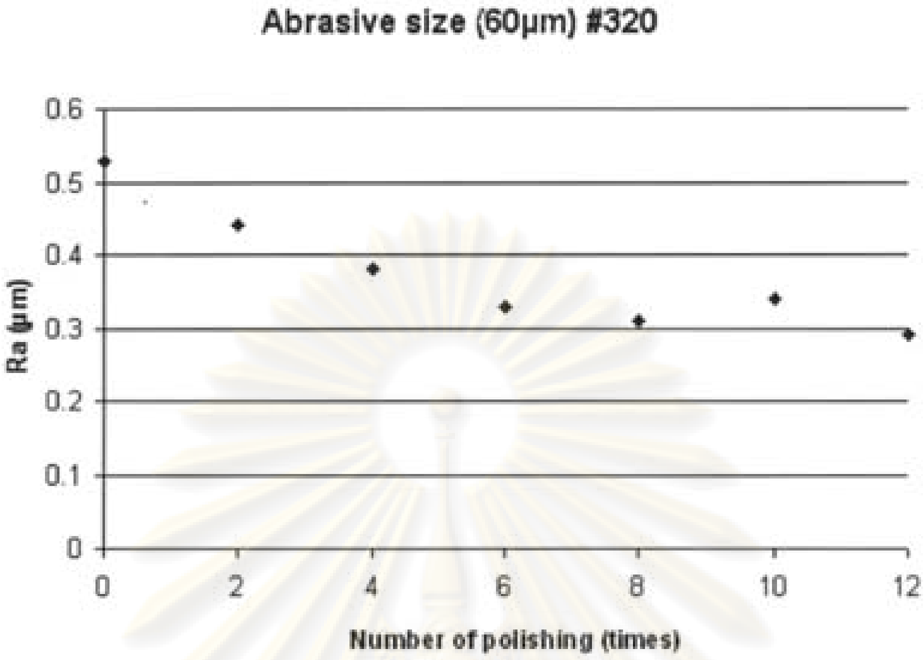
การทดลองนี้จะทำการทดลองกับชิ้นงาน (เหล็ก mild steel : Hardness 111 HB) ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกหน้าตัดเรียบเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ซึ่งขึ้นรูปมาจากวิธีการกลึง โดยใช้เครื่องกลึงแบบกึ่งอัตโนมัติของ Win Ho Technology Industrial Co.,Ltd โดยกลึงที่อัตราการหมุนของชิ้นงาน 235 รอบ/นาที, อัตราการป้อนชิ้นงาน 0.2 มิลลิเมตร/รอบ ใช้มีดกลึง carbide insert ของ Sandvik ลักษณะการเข้าชิ้นงานเป็นแบบกลึงปาดหน้า จากนั้นจึงนำมาขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive Polishing โดยได้นำชิ้นงานมายึดให้อยู่กับที่แล้วทำการขัดผิวชิ้นงาน โดยทำการเขียนโปรแกรมกำหนดเส้นทางที่ต้องการให้กับหุ่นยนต์ (MITSUBISHI MOVEMASTEREX RV-M1, 5 Degrees of Freedom) และที่ตำแหน่งปลายแขนของหุ่นยนต์ (End Effector) ได้ทำการติดตั้ง Polishing Tool เป็นแปรงขัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 มิลลิเมตร ซึ่งขนขัดทำมาจาก Nylon ยาว 10 มิลลิเมตร เอาไว้เป็นอุปกรณ์ขัดผิวชิ้นงาน โดยในขั้นตอนของการขัดชิ้นงานจะไม่กระทำโดยตรงระหว่างอุปกรณ์ขัดกับชิ้นงาน แต่จะมีผงสำหรับขัดซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย SiC และสารละลายอลูมินาเป็นตัวคั่นกลางในการขัดโดยการนำแปรงขัดมาจุ่มลงในสารละลายลึกลงไป 5 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำไปขัดด้วยความเร็วรอบ 2,000 รอบ/นาที

ตารางที่ 4.1 สรุปเงื่อนไขการทดลองหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการขัดผิวชิ้นงาน

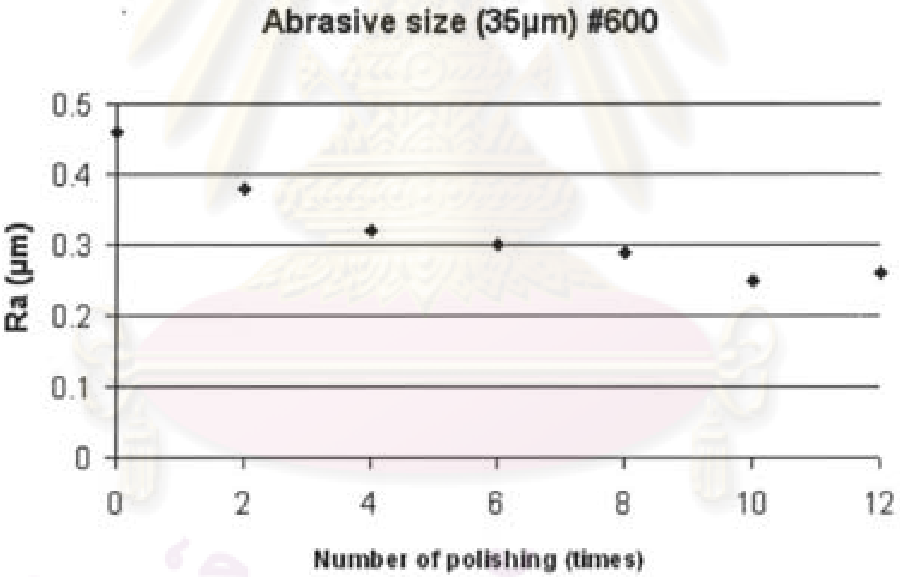
ขนาดของชิ้นงาน	Ø 12 mm
Hardness ของชิ้นงาน	111 HB
ลักษณะของชิ้นงาน	ระนาบ
เส้นผ่านศูนย์กลางแปรงขัด	Ø 6.5 mm
ความยาวขนแปรง	10 mm
อัตราการหมุนของแปรงขัด	2,000 rpm
ขนาดผงขัด	35 และ 60 μm
Hardness ของผงขัด	1,900 HB
จำนวนครั้งที่ใช้ในการขัดต่อชิ้นงาน	1 ครั้ง ถึง 12 ครั้ง

ในการทดลองเบื้องต้นจะทำการทดลองหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการขัดผิวชิ้นงาน เพื่อจะลดเวลาที่จะใช้ในการขัดของการทดลองปัจจัยอื่นต่อๆไป โดยจะทดลองนำผงขัดSiC ขนาด 60 ไมโครเมตร และ 35 ไมโครเมตร ขัดที่ตำแหน่งเดียวซ้ำๆ แล้ววัดความหยาบผิวที่ได้ทุกๆ 2 ครั้ง ได้ผลดังภาพที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ผงขัดขนาด 60 ไมโครเมตร



ข) ผงขัดขนาด 35 ไมโครเมตร

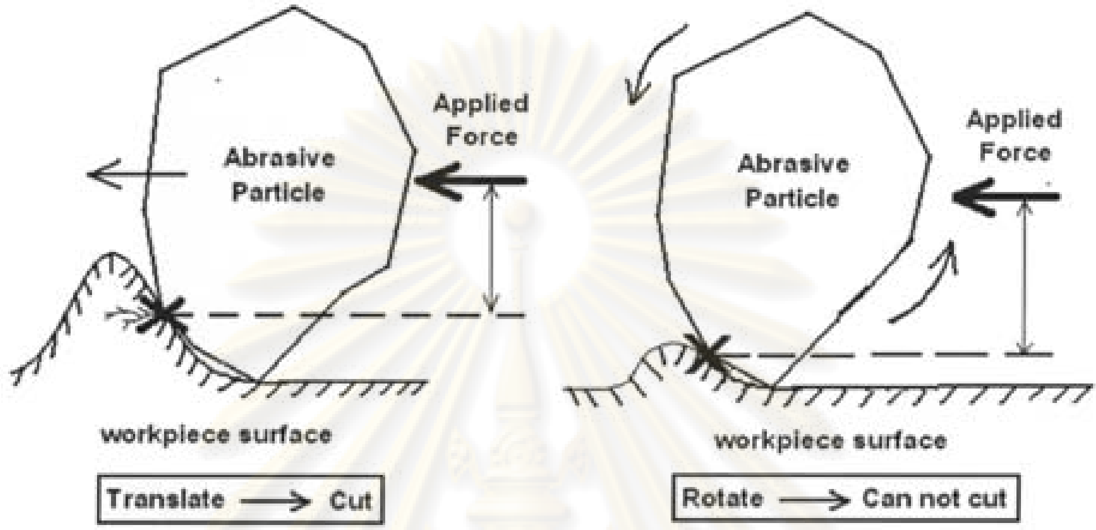
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ขัดผิวชิ้นงานกับความหยาบผิว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองเบื้องต้นจะเห็นได้ว่าผงขัดทั้ง 2 ขนาดสามารถลดความหยาบผิวชิ้นงานได้ดีในการขัดซ้ำตำแหน่งเดิมทั้งหมด 4 - 6 ครั้งส่วนหลังจากนั้นความหยาบผิวที่ได้มีลักษณะคงที่ อันเนื่องมาจากผงขัดแต่ละขนาดมีขอบเขตของความหยาบผิวที่สามารถลด

ได้อยู่เพราะฉะนั้นถึงขัดต่อไปผงขัดจะเกิดการแอลบหรือเกิดโมเมนต์คู่ควบจากแรงขัดมาทำให้ผงขัดหมุนพลิกไปตามความหยาบผิวของชิ้นงานแทนที่จะกินเนื้อชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 4.3

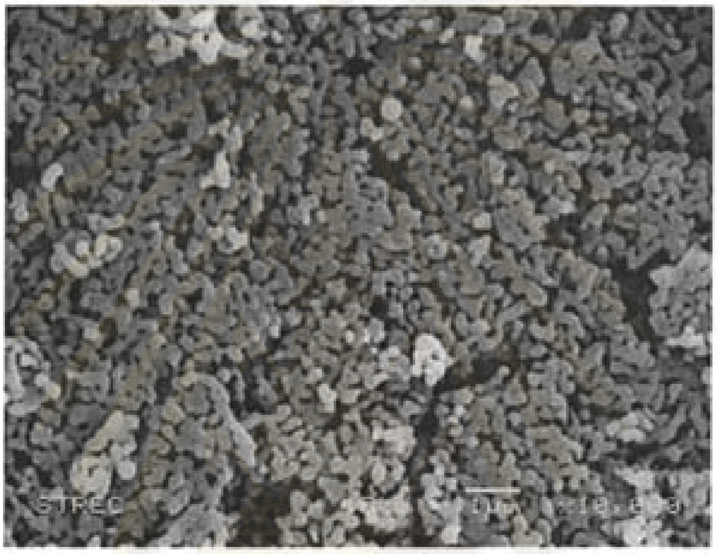


ภาพที่ 4.3 ผลที่เกิดจากการเลือกขนาดผงขัดเหมาะสมและไม่เหมาะสมกับความหยาบผิว

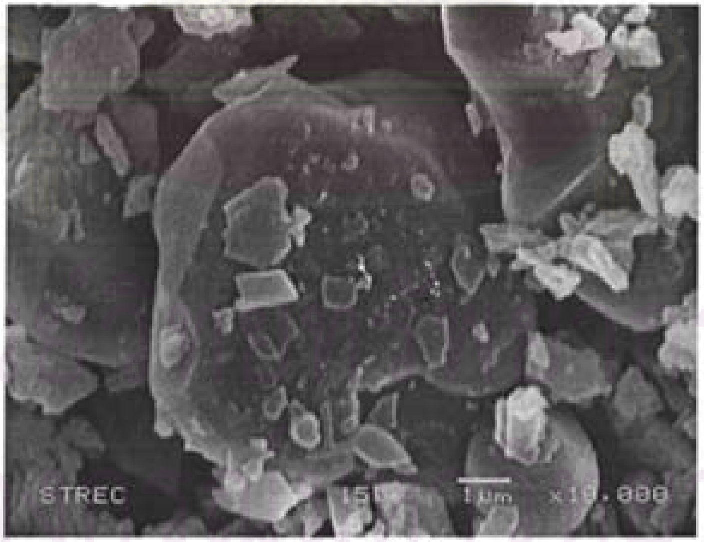
4.2 การทดลองขัดผิวโดยเรียงลำดับผงขัด

การทดลองนี้จะทำการทดลองกับชิ้นงาน (เหล็ก mild steel : Hardness 111 HB) ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกหน้าตัดเรียบเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ซึ่งขึ้นรูปมาจากวิธีการกลึง โดยใช้เครื่องกลึงแบบกึ่งอัตโนมัติของ Win Ho Technology Industrial Co.,Ltd โดยกลึงที่อัตราการหมุนของชิ้นงาน 235 รอบ/นาที, อัตราการป้อนชิ้นงาน 0.2 มิลลิเมตร/รอบ ใช้มีดกลึง carbide insert ของ Sandvik ลักษณะการเข้าชิ้นงานเป็นแบบกลึงปาดหน้า จากนั้นจึงนำมาขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive Polishing โดยได้นำชิ้นงานมายึดให้อยู่กับที่แล้วทำการขัดผิวชิ้นงาน โดยทำการเขียนโปรแกรมกำหนดเส้นทางที่ต้องการให้กับหุ่นยนต์ (MITSUBISHI MOVEMASTEREX RV-M1, 5 Degrees of Freedom) และที่ตำแหน่งปลายแขนของหุ่นยนต์ (End Effector) ได้ทำการติดตั้ง Polishing Tool เป็นแปรงขัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 มิลลิเมตร ซึ่งขนขัดทำมาจาก Nylon ยาว 10 มิลลิเมตร เอาไว้เป็นอุปกรณ์ขัดผิวชิ้นงาน โดยในขั้นตอนของการขัดชิ้นงานจะไม่กระทำโดยตรงระหว่างอุปกรณ์ขัดกับชิ้นงาน แต่จะมีผงสำหรับขัดซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย SiC และสารละลายอลูมินาเป็นตัวคั่นกลางในการขัดโดยการนำแปรงขัดมาจุ่มลงในสารละลายลึกลงไป 5 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำไปขัดด้วยความเร็วรอบ 2,000 รอบ/นาที เพื่อทำการทดลองหาความเหมาะสมระหว่างความหยาบผิวชิ้นงานและขนาดของผงขัด โดยใช้ผงขัด SiC เบอร์ #120, เบอร์ #320, เบอร์ #600 และผงขัดอลูมินา 5 ไมครอน และ 1

ไมครอน ซึ่งหลังจากนำผงขัดเหล่านี้ไปวัดด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope จะเห็นว่าผงขัดเบอร์ #120, #320, #600 มีขนาด ประมาณ 100 ไมครอน, 60 ไมครอน, 35 ไมครอน ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5 จากรูปจะเห็นว่าผงขัดจะมีเหลี่ยมคมในแต่ละด้าน ซึ่งเหลี่ยมและคมเหล่านี้จะทำหน้าที่เสมือนมีดที่คอยเฉือนผิวชิ้นงานออก โดยในการทดลองนี้จะขัดบนผิวหน้าชิ้นงานตามเส้นทางดังภาพที่ 4.6 และมีเงื่อนไขในการเตรียมการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2

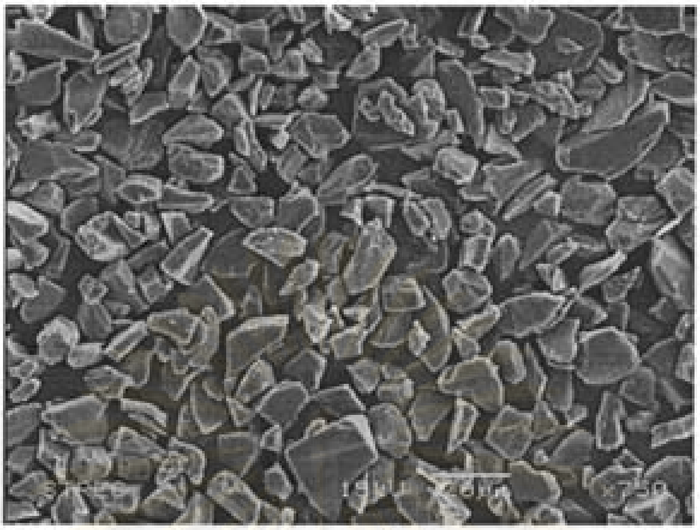


ก) Al_2O_3 ขนาด 1 ไมโครเมตร

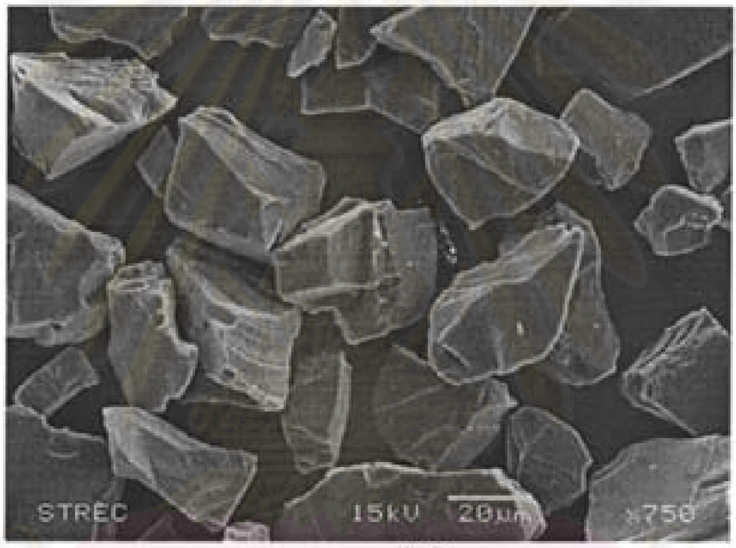


ข) Al_2O_3 ขนาด 5 ไมโครเมตร

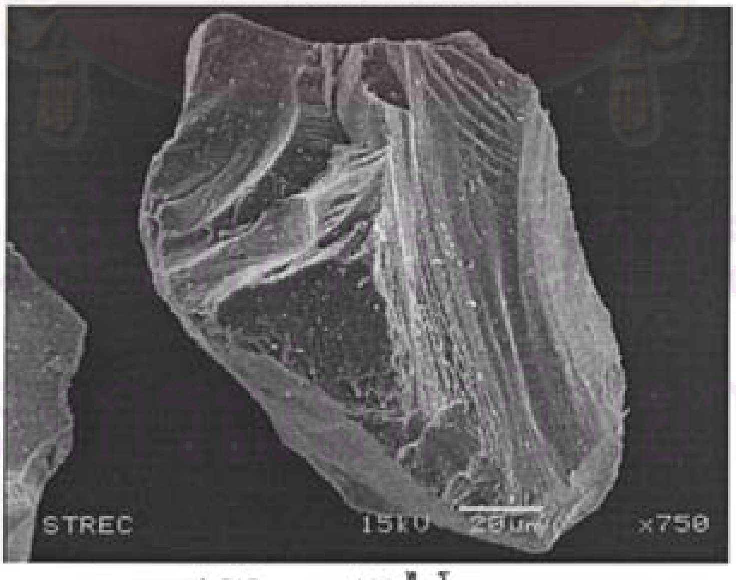
ภาพที่ 4.4 รูปถ่ายผงขัด Al_2O_3 ขนาดต่าง ๆจากเครื่อง Scanning Electron Microscope



ค) SiC ขนาด 35 ไมโครเมตร

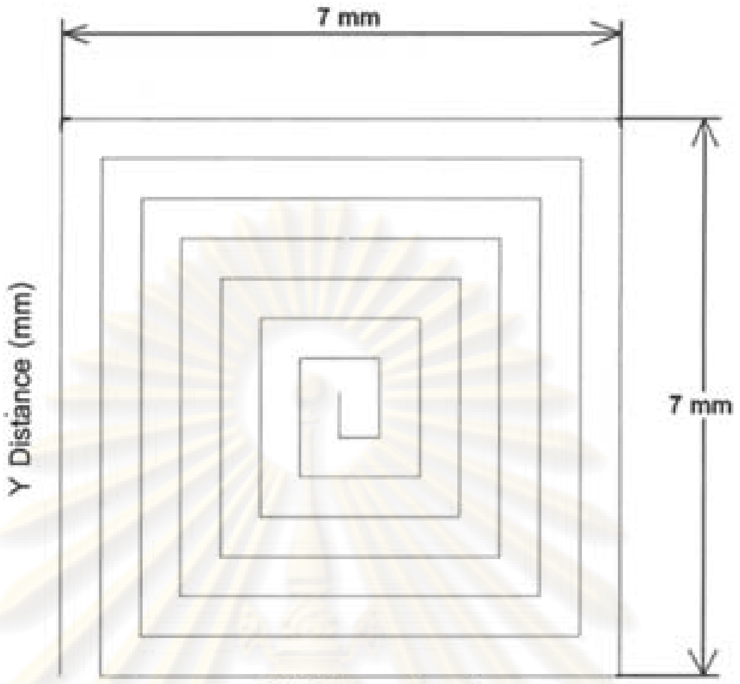


ง) SiC ขนาด 60 ไมโครเมตร



จ) SiC ขนาด 100 ไมโครเมตร

ภาพที่ 4.5 รูปถ่ายผงขัด SiC ขนาดต่างๆจากเครื่อง Scanning Electron Microscope



ภาพที่ 4.6 เส้นทางการขัดผิวชิ้นงาน

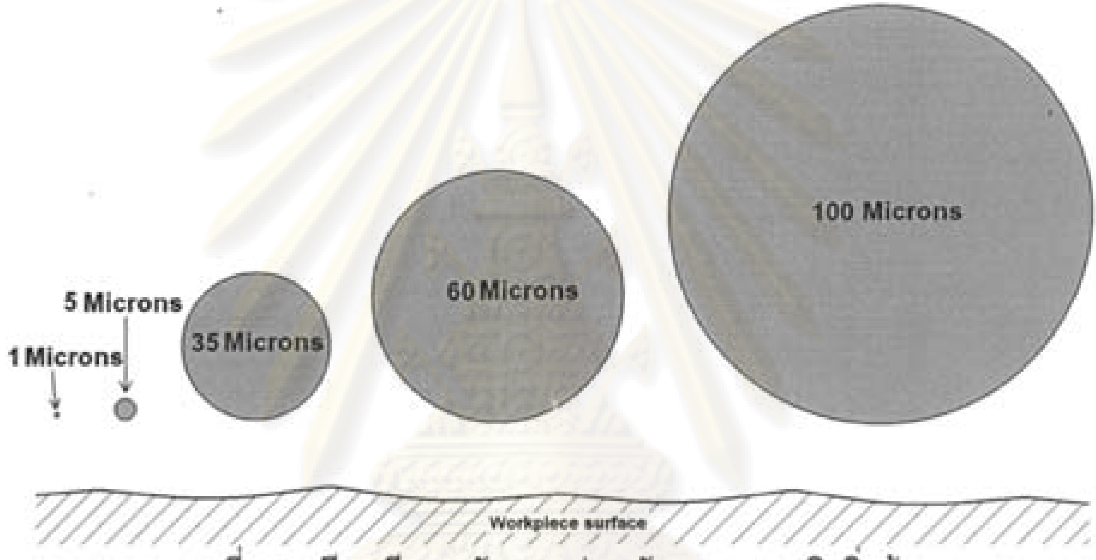
ตารางที่ 4.2 สรุปเงื่อนไขการทดลองขัดผิวชิ้นงานแบบเรียงลำดับผงขัด

ขนาดของชิ้นงาน	Ø 12 mm
Hardness ของชิ้นงาน	111 HB
ลักษณะของชิ้นงาน	ระนาบ
เส้นผ่านศูนย์กลางแปรงขัด	Ø 6.5 mm
ความยาวขนแปรง	10 mm
อัตราการหมุนของแปรงขัด	2,000 rpm
ขนาดผงขัด	1, 5, 35, 60, และ 100 μm
Hardness ของผงขัด	1,900 HB
เวลาที่ใช้ในการขัดต่อชิ้นงาน	2 minutes

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบความหยาบผิวระหว่างวิธีใช้ผงขัดขนาด 5 μm ขัดผิวชิ้นงานที่ได้จากการกลึงทันที กับวิธีที่นำชิ้นงานที่ได้จากการกลึงมาขัดไล่ตามขนาดผงขัดที่ตำแหน่งเดียวกันโดยใช้ผงขัด SiC ขนาด 100 ไมโครเมตร เป็นอันดับแรกตามด้วยผงขัด SiC ขนาด 60 ไมโครเมตร , และ 35 ไมโครเมตร ตามลำดับก่อน จากนั้นจึงนำมาขัดด้วยผงขัด

Al_2O_3 ขนาด 5 ไมโครเมตร และตามด้วย 1 ไมโครเมตร โดยมีรูปแสดงขนาดผงขัดแต่ละขนาดเปรียบเทียบกับความหยาบผิวเริ่มต้นของชิ้นงานในสัดส่วนจริง ดังแสดงในภาพที่ 4.7 ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งจะทำการทดลองกับชิ้นงานจำนวน 3 ชิ้น จากนั้นจึงนำมาวัดหาค่าความหยาบผิวโดยเครื่องวัดความหยาบผิว Surftest SJ-201, Mitutoyo : straightness accuracy 10 นาโนเมตร (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก) โดยทำการลากหัว stylus ไปบนชิ้นงานเป็นระยะทาง 0.75 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้ผลการเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบผงขัดขนาดต่างๆกับความหยาบผิวเริ่มต้น

ตารางที่ 4.3 ค่าความหยาบผิวที่ได้จากกระบวนการปรับปรุงผิวต่างๆ

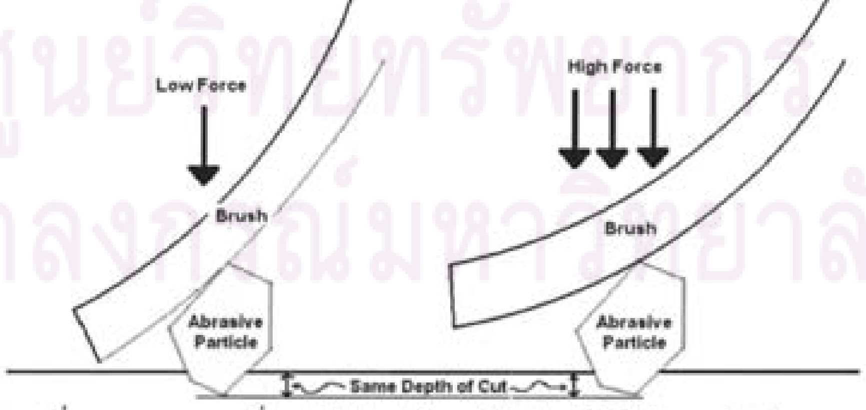
ลำดับที่	กระบวนการปรับปรุงผิว	Ra* (μm)
1	กลึง	0.94
2	กลึง + Al_2O_3 5 μm	0.65
3	กลึง + SiC 100 μm	0.50
4	กลึง + SiC 100 μm + SiC 60 μm	0.36
5	กลึง + SiC 100 μm + SiC 60 μm + SiC 35 μm	0.14
6	กลึง + SiC 100 μm + SiC 60 μm + SiC 35 μm + Al_2O_3 5 μm	0.08
7	กลึง + SiC 100 μm + SiC 60 μm + SiC 35 μm + Al_2O_3 5 μm+ Al_2O_3 1 μm	0.05

<u>หมายเหตุ</u> Ra ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดชิ้นงาน 3 ชิ้น

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

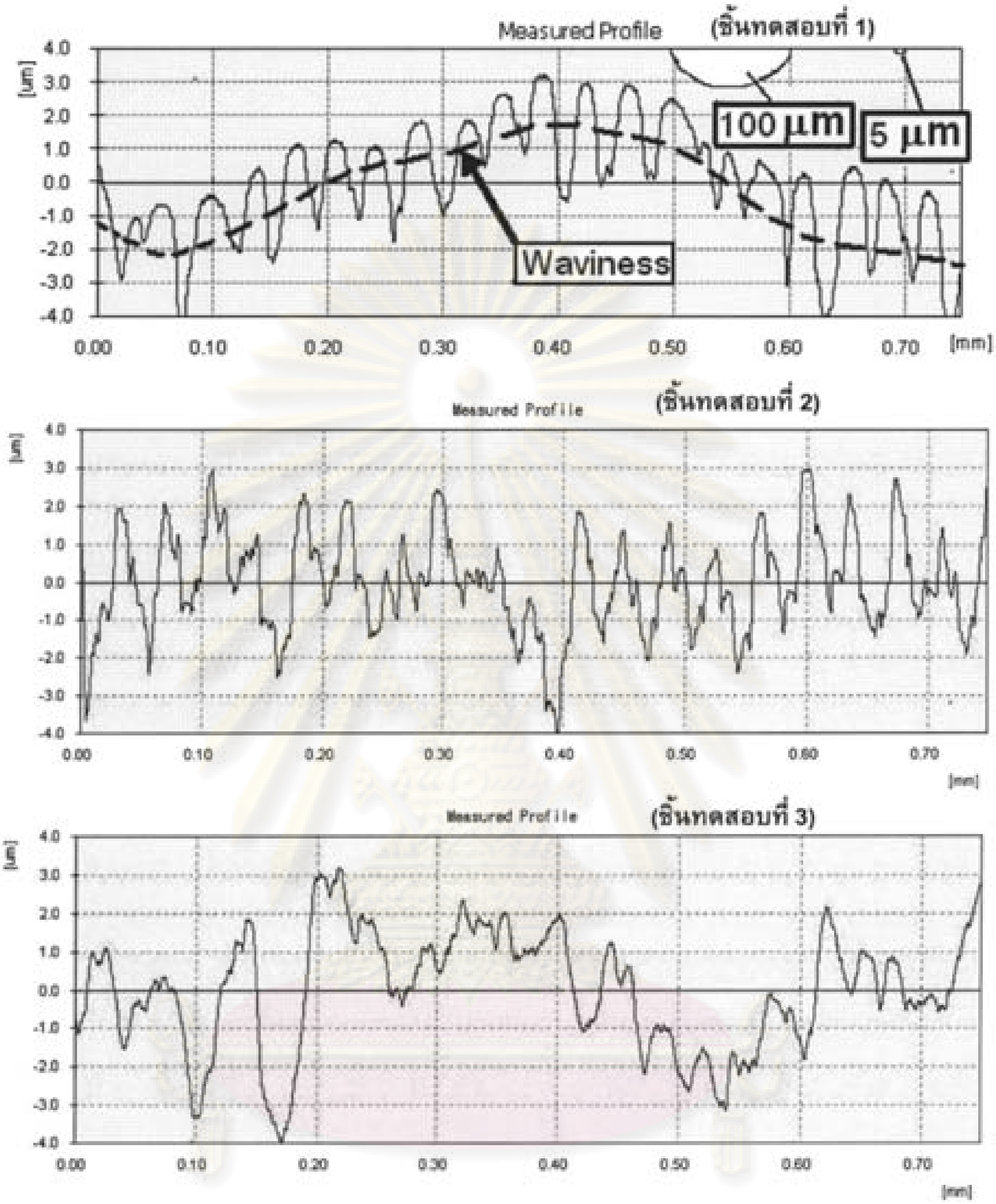
ผิวชิ้นงานที่ได้จากการกลึงนั้นจะมีทั้ง ทิศทางของรอยตัด, ความเป็นคลื่น และความหยาบผิว ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของ Surface Texture ดังแสดงในภาพที่ 4.9 หลังจากทำการขัดผิวด้วยผงขัดขนาด 5 ไมโครเมตร ความหยาบผิวลดลงเป็น 0.65 ไมโครเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.10 จากภาพที่ 4.7 จะเห็นว่าผงขัดมีขนาดเล็กมากจึงทำให้ depth of cut ที่เกิดขึ้นขณะขัดผิวชิ้นงานมีขนาดเล็กตามทำให้ไม่สามารถลด ทิศทางของรอยตัด กับ ความเป็นคลื่น ที่เกิดขึ้นได้ในเวลาที่กำหนด ประกอบกับอุปกรณ์ขัดเป็นแปรงไนลอนที่มีความยืดหยุ่นสูงทำให้ไม่สามารถสร้างแรงกดให้กับผงขัดเพื่อกดลงไปในผิวชิ้นงานได้เพราะแรงที่ใส่ให้กับแปรงขัดจะไปทำให้ขนแปรงผิดรูปแทนที่จะส่งต่อไปให้กับผงขัดดังแสดงในภาพที่ 4.8 ซึ่งจากภาพที่ 4.9 และภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าทั้งก่อนขัดและหลังขัดด้วยผงขัดต่างกันเพียงแค่ความสูงของยอดความหยาบผิว ส่วนจำนวนคลื่นของความหยาบผิวยังคงเดิมเพราะขนาดผงขัดที่ไม่เหมาะสมประกอบกับแรงกดที่ไม่เพียงพอ

ทางด้านผิวชิ้นงานที่ได้จากการกลึงและขัดไล่ด้วยผงขัด SiC ขนาด 100 ไมโครเมตร , 60 ไมโครเมตร, และ 35 ไมโครเมตร ตามลำดับนั้นได้ความหยาบผิว 0.50 ไมโครเมตร, 0.36 ไมโครเมตร, และ 0.14 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.11, 4.12, และ 4.13 จะเห็นได้ว่าความสูงของยอดความหยาบผิวลดลงมากและความเป็นคลื่น ยังได้ถูกกินจนหายไปหมดแต่จะมีจำนวนคลื่นความหยาบผิวขนาดเล็กเกิดขึ้นมาที่ตำแหน่งต่างๆมากมายแทน เนื่องจากผงขัดมีขนาดใหญ่ สามารถสร้าง depth of cut ที่มีค่ามากทำให้สามารถลดความเป็นคลื่นได้และในขณะเดียวกันก็ยังสร้างคลื่นความหยาบผิวขนาดเล็กที่ตำแหน่งต่างๆบนความเป็นคลื่นตามมา ซึ่งหลังจากขัดด้วยผงขัดขนาด 1 ไมโครเมตร พบว่าค่าความหยาบผิวสามารถลดลงได้ถึง 50 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.15 [12]



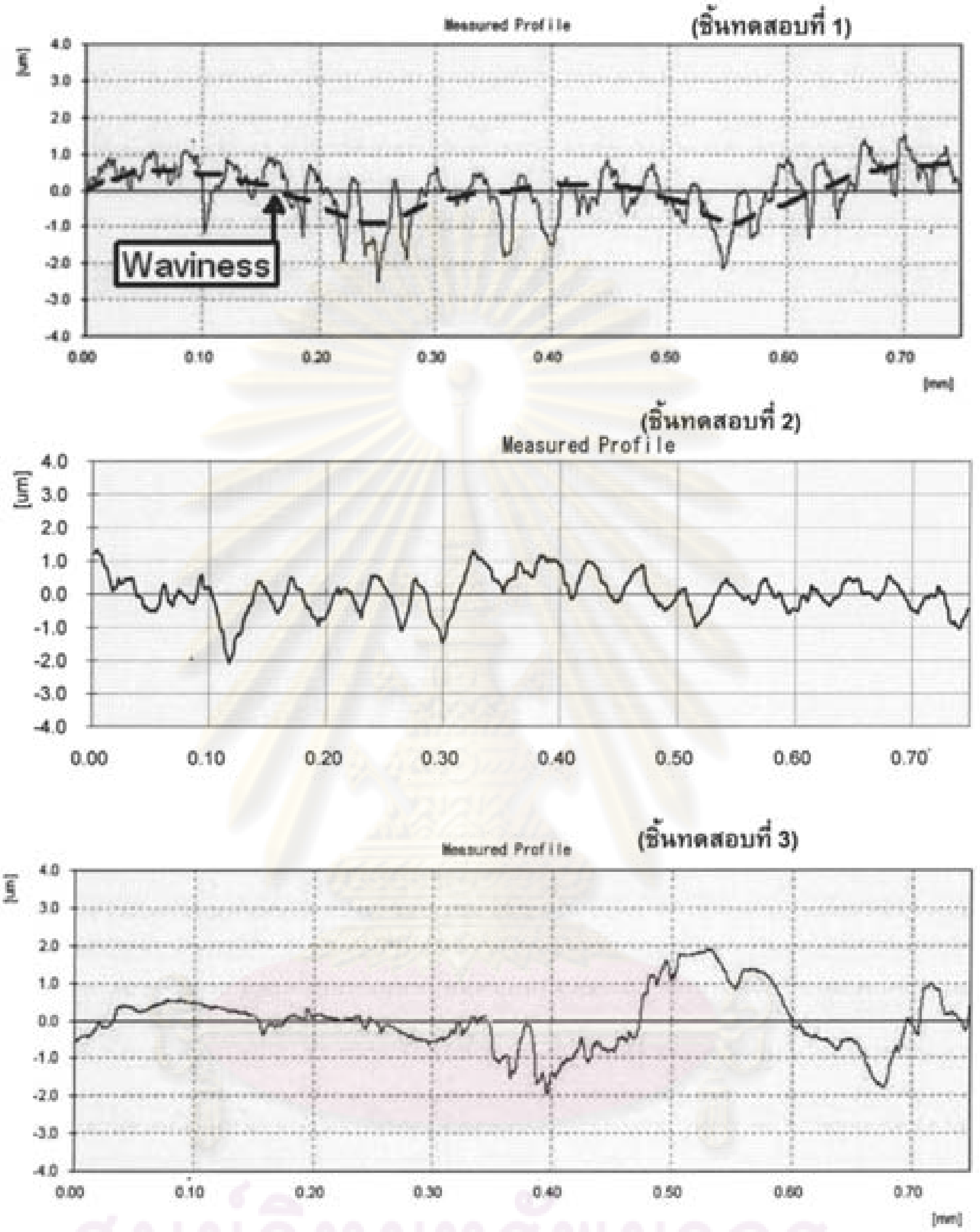
ภาพที่ 4.8 ผลของแรงที่กระทำต่อผงขัดกรณีอุปกรณ์ขัดเป็นขนแปรงไนลอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



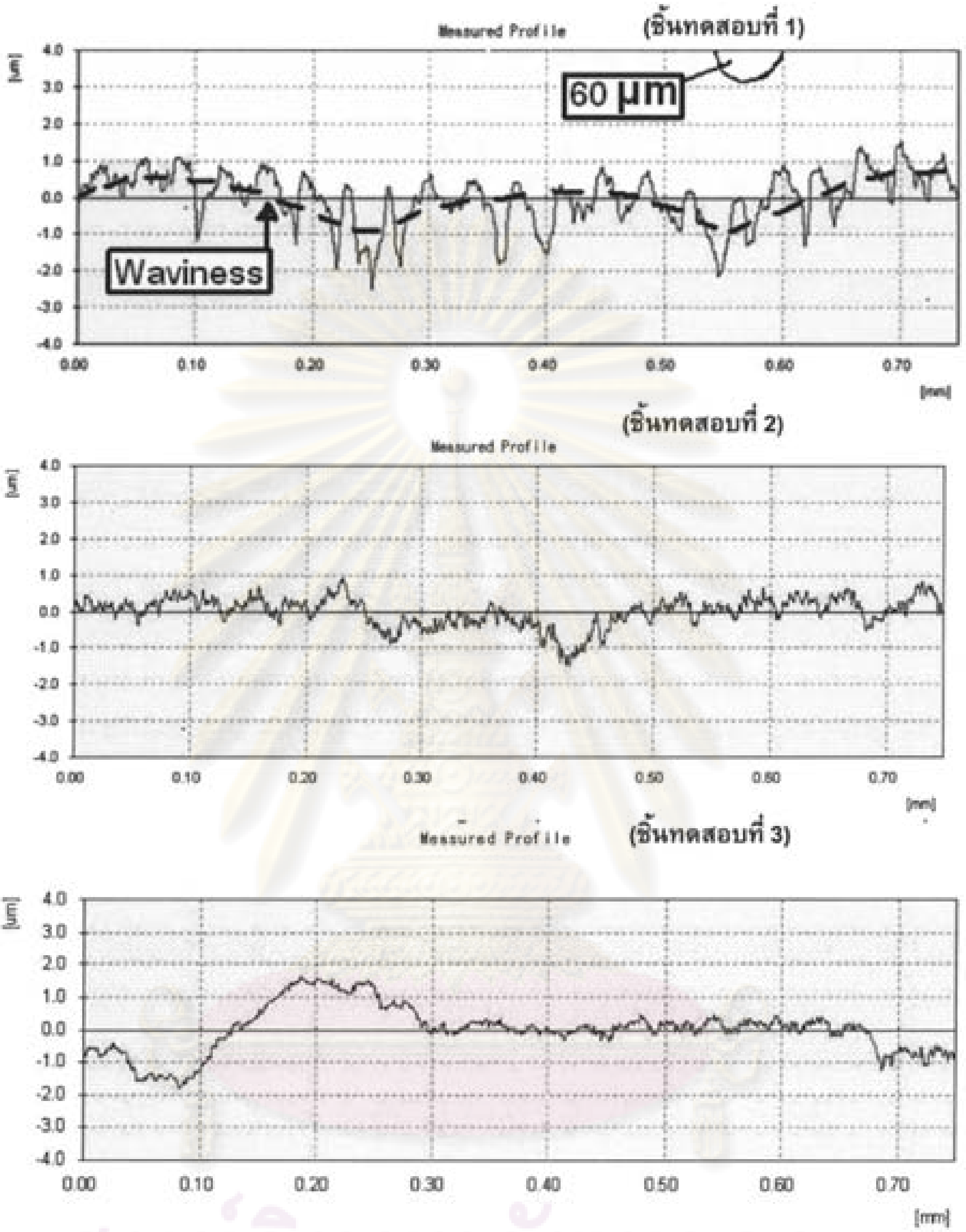
ภาพที่ 4.9 ความหยาบผิวจากขั้นตอนกลึง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



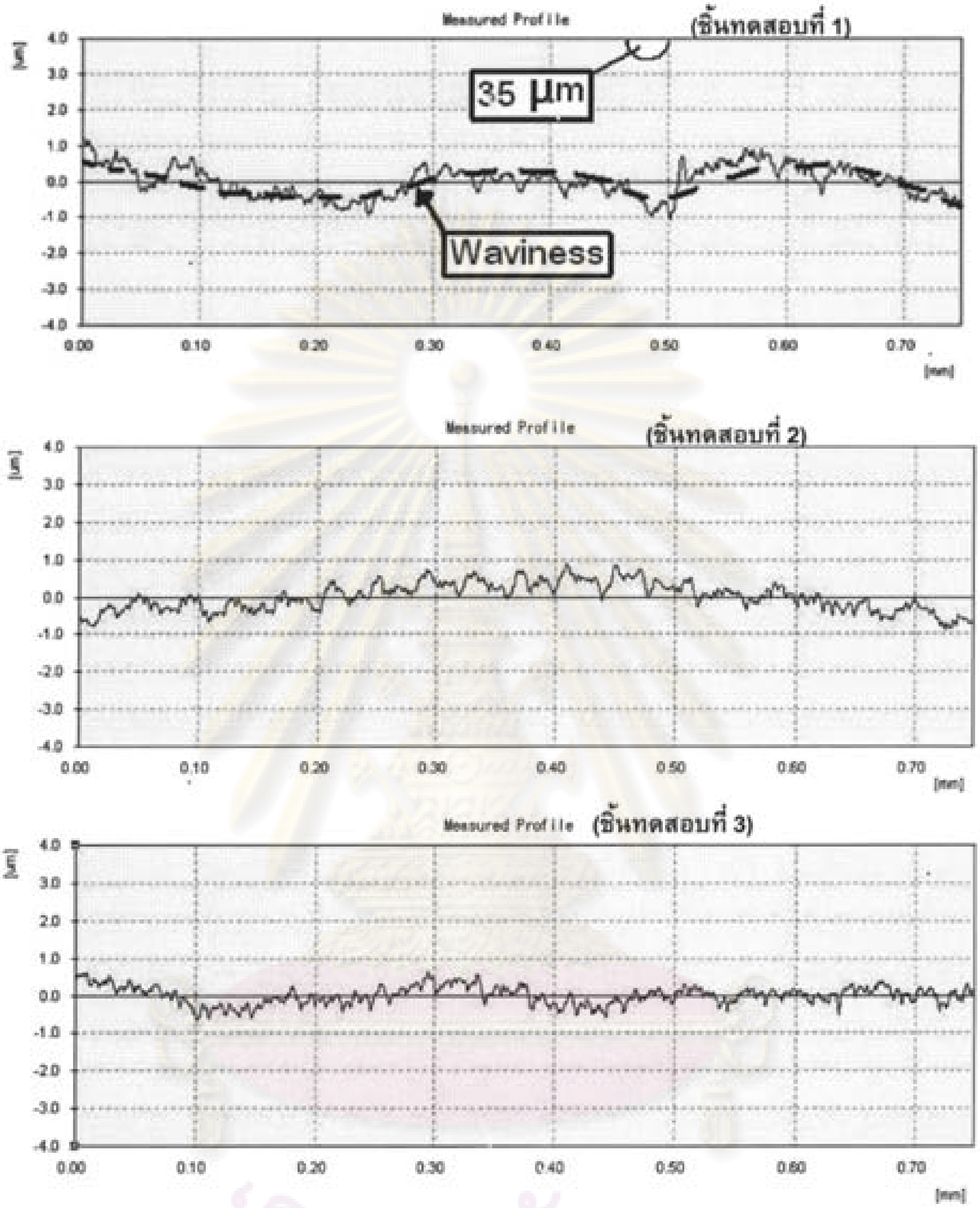
ภาพที่ 4.10 ความหยาบผิวจากขั้นตอนกลึง + Al_2O_3 5 μm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



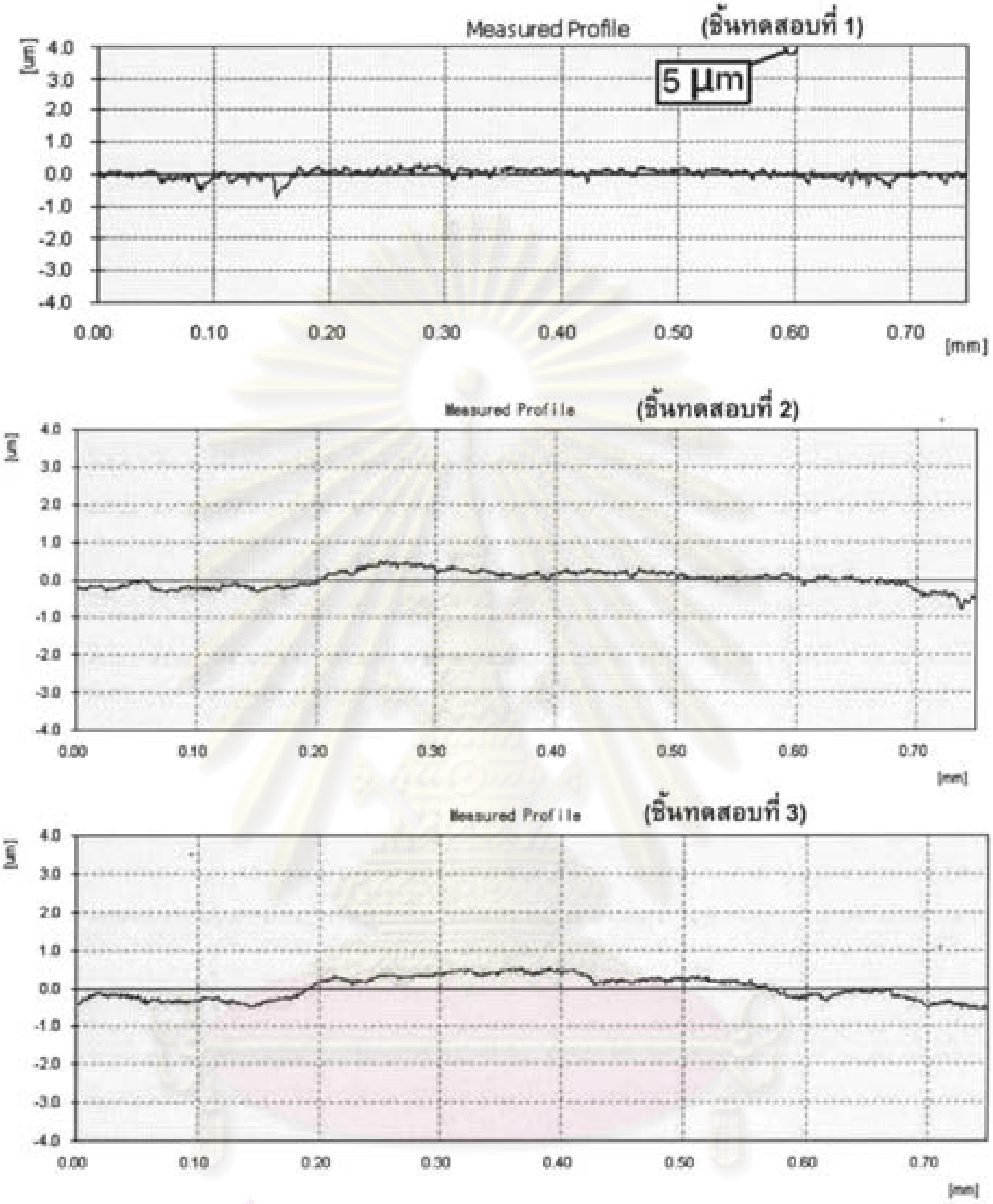
ภาพที่ 4.11 ความหยาบผิวจากขั้นตอนกลึง + SiC 100 µm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.12 ความหยาบผิวที่ได้จากขั้นตอนกลึง + SiC 100 µm + SiC 60 µm

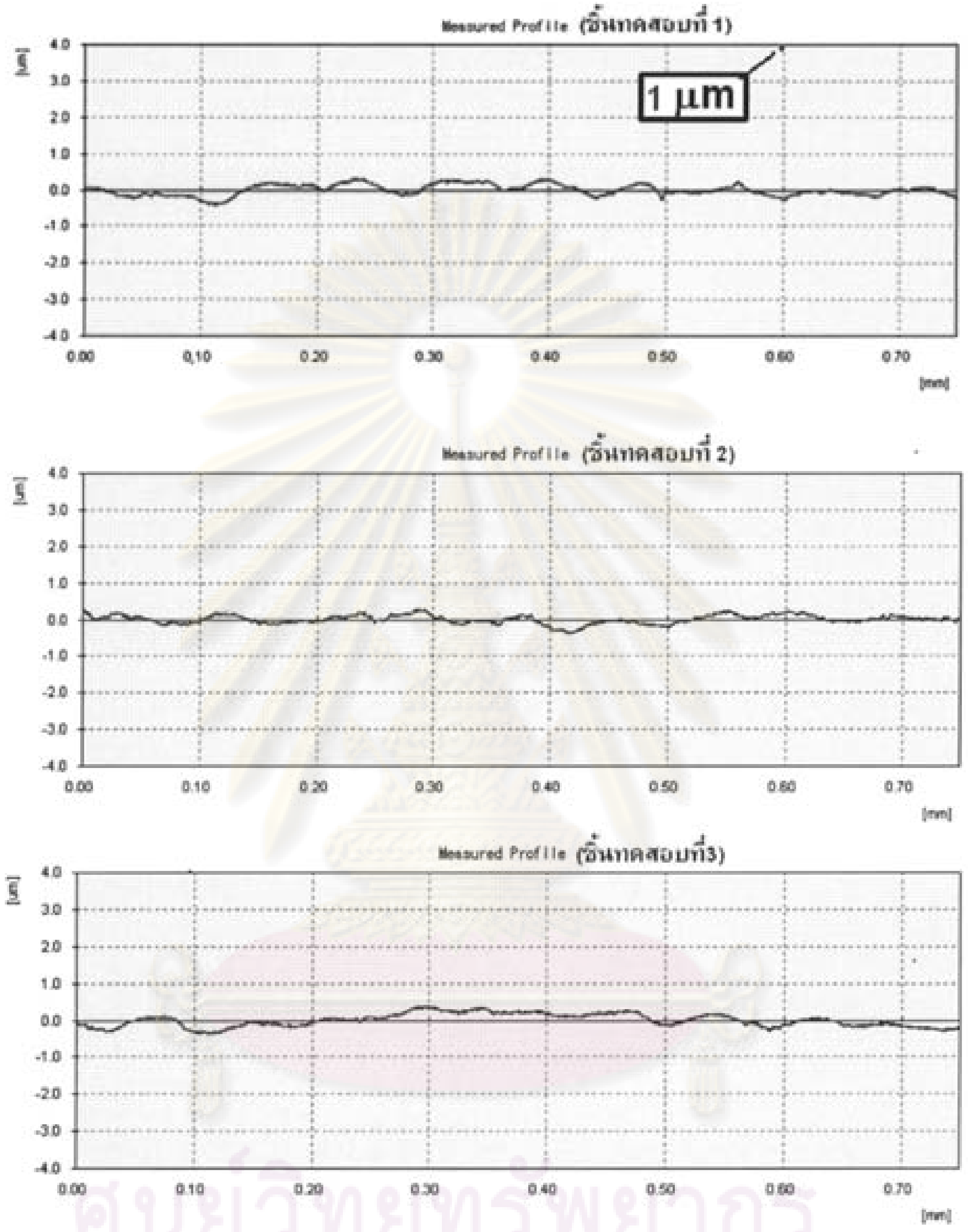
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร

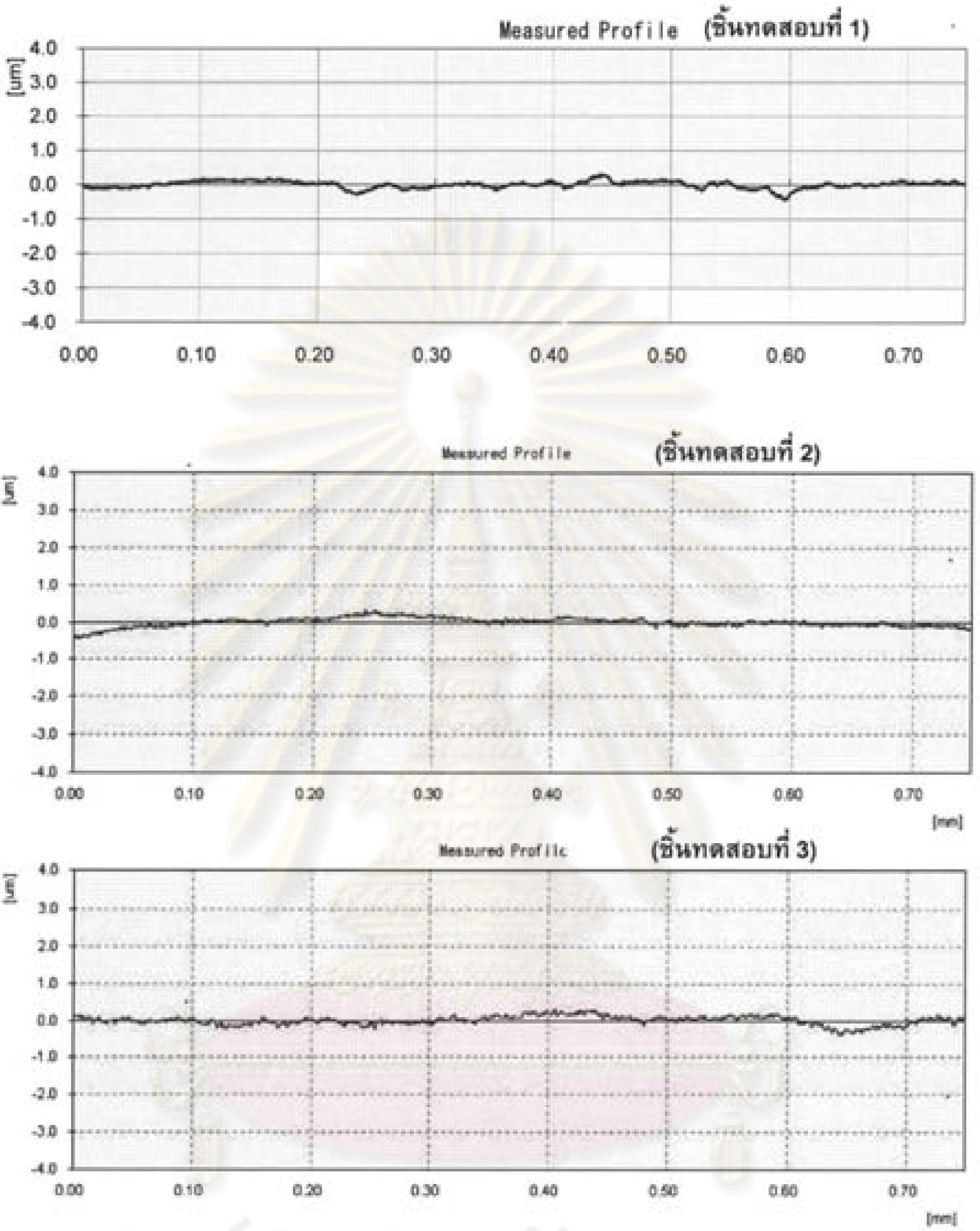
ภาพที่ 4.13 ความหยาบผิวจากขั้นตอนกลึง + SiC 100 μm + SiC 60 μm + SiC 35 μm

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.14 ความหยาบผิวจากขั้นตอนกลึง + SiC 100 µm + SiC 60 µm + SiC 35 µm + Al_2O_3 5 µm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.15 ความหยาบผิวจากขั้นตอนกลึง SiC 100 μm + SiC 60 μm + SiC 35 μm+ $Al_2O_3$5 μm + $Al_2O_3$1μm

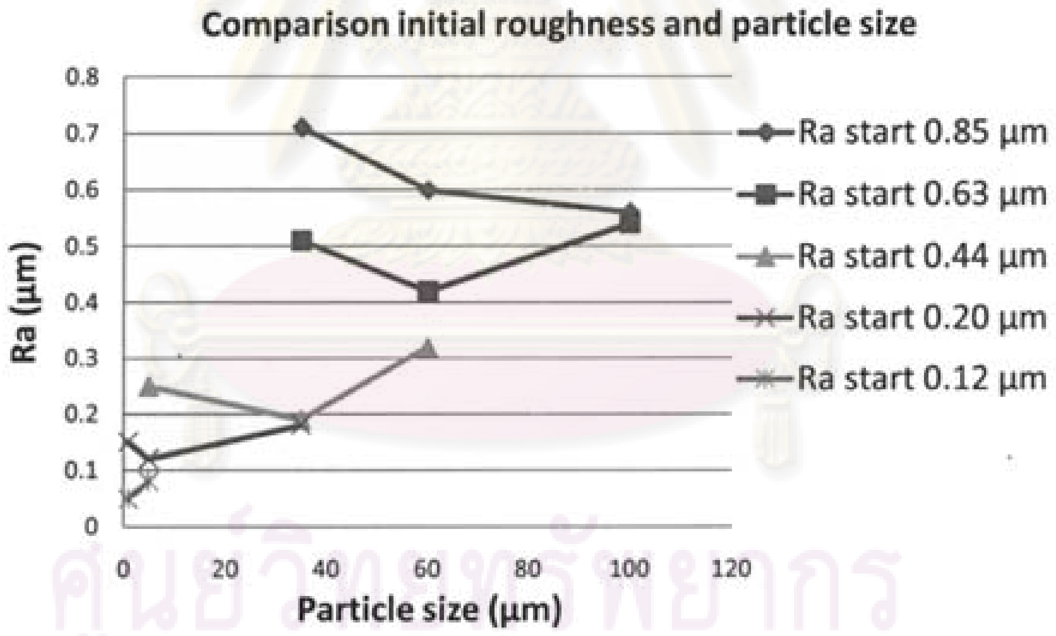
จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของกระบวนการขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี abrasive polishing ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าใช้กระบวนการนี้โดยไม่คำนึงถึงความหยาบผิวเริ่มต้นของชิ้นงานกับขนาดของผงขัดจะทำให้ไม่สามารถปรับปรุงผิวได้เต็มความสามารถของผงขัด ซึ่งจากการทดลองศึกษาเพิ่มเพื่อหาขนาดผงขัดที่เหมาะสมกับความหยาบผิวเริ่มต้นได้ผลดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.16 ทำให้สามารถสรุปแนวโน้มของขนาดผงขัดที่กับความหยาบผิวที่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เหมาะสมดังภาพที่ 4.17 ซึ่งจะเห็นว่าถ้ามีการลดความหยาบผิวเริ่มต้นของชิ้นงานด้วยผงขัดขนาดที่เหมาะสม จะทำให้สามารถปรับปรุงผิวชิ้นงานจนความหยาบผิวลงได้ถึง 50 นาโนเมตร

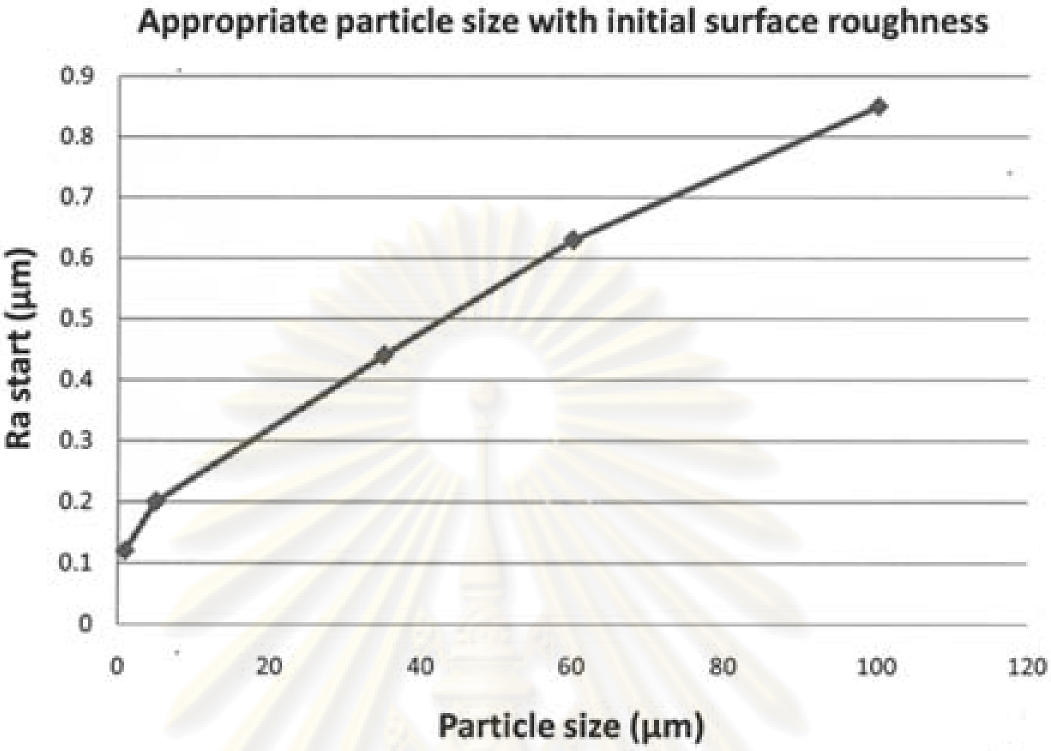
ตารางที่ 4.4 ผลเปรียบความหยาบผิวที่เกิดจากผงขัดและความหยาบผิวเริ่มต้นต่างๆ

ขนาดผงขัด (μm)	ความหยาบผิวเริ่มต้น (μm)				
	0.85	0.63	0.44	0.2	0.12
100	0.56	0.54			
60	0.6	0.42	0.32		
35	0.71	0.51	0.19	0.18	
5			0.25	0.12	0.08
1				0.15	0.05



ภาพที่ 4.16 ความหยาบผิวที่เกิดขึ้นจากจากผงขัดและความหยาบผิวเริ่มต้นต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.17 ขนาดผงขัดที่เหมาะสมกับความหยาบผิวเริ่มต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยแรงกดขณะขัด

จากการทดลองในบทที่ 4 จะเห็นว่าปัญหาหลักที่เกิดขึ้นคือการกลิ้งของผงขัดไปบนผิวของชิ้นงานในกรณีที่ผงขัดมีขนาดใหญ่เกินไป และการที่ผงขัดกินชิ้นงานไม่เข้าในกรณีที่ผงขัดมีขนาดเล็กเกินไปประกอบกับความเป็นคลื่นของชิ้นงานที่มากเกินไป ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกิดจากอุปกรณ์ขัดที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแปรงไนลอนทำให้ขาดแรงกดจากอุปกรณ์ขัดเพื่อที่จะมาคอยกดให้ผงขัดกินชิ้นงานแทนที่จะกลิ้งบนผิวชิ้นงาน เพราะฉะนั้นในการทดลองนี้จะเปลี่ยนอุปกรณ์ขัดเป็นอุปกรณ์ขัดที่สามารถสร้างแรงกดขณะขัดได้และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดขณะขัดและความหยาบผิวชิ้นงาน

วัตถุประสงค์

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการลดความหยาบผิว ซึ่งปัจจัยที่วิเคราะห์คือ แรงที่ใช้ในการขัด และความหยาบผิวเริ่มต้นในการขัดผิวชิ้นงาน โดยใช้อุปกรณ์ขัดเป็นก้อนสักหลาดทรงกระบอก

การทดลอง

การทดลองนี้จะทำการทดลองกับชิ้นงาน(เหล็ก mild steel : Hardness 111 HB) ที่มีลักษณะเป็นผิวเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ซึ่งขึ้นรูปมาจากวิธี turning โดยใช้เครื่อง CNC (Mazak INTEGREX 4) โดยขึ้นภาพที่สภาวะ Spindle speed 150 เมตร/นาที, feed rate 0.15 มิลลิเมตร/รอบ, depth of cut 0.5 มิลลิเมตรใช้มีดกลึง HSS จากนั้นจึงนำมาขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี abrasive polishing โดยนำชิ้นงานมายึดให้อยู่กับที่แล้วทำการขัดผิวชิ้นงานโดยการเขียนโปรแกรมกำหนดเส้นทางที่ต้องการให้กับหุ่นยนต์ (FANUC Robot M-16i B20) และที่ตำแหน่งปลายแขนของหุ่นยนต์ (end effector) ได้ทำการติดตั้ง polishing tool เป็นก้อนสักหลาดทรงกระบอกตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร เอาไว้เป็นอุปกรณ์ขัดผิวชิ้นงานเพราะก้อนสักหลาดจะมีความอ่อนนุ่มน้อยกว่าขนแปรงไนลอนทำให้สามารถส่งแรงไปยังผงขัดได้ อีกทั้งก้อนสักหลาดที่นำมาใช้เกิดจากการอัดเส้นใยจำนวนมากเข้าด้วยกันให้เป็นก้อนและผงขัดที่ใช้มีขนาดเล็กมาก ก้อนสักหลาดที่ใช้ในการทดลองนี้จึงยังช่วยในด้านการกักเก็บผงขัดไม่ให้กระจายออกจากบริเวณขัดอันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงด้วย โดยจะก้อนขัดจะถูกขับด้วยมอเตอร์ 12 V DC ติดเกียร์ทดลงทำให้ความเร็วรอบเหลือ 200 รอบ/นาที ซึ่งการทดรอบ

ลงทำเพื่อช่วยเพิ่มแรงบิดในการขัดเพราะขณะที่ใส่แรงกดลงไปจะเกิดภาระ (Load) มาต้านทานการหมุนตามมาเสมอ โดยหลังการติดตั้งเป็นดังแสดงในรูป 5.1 และมีเงื่อนไขการเตรียมการทดลองดังตารางที่ 5.1

ภาพที่ 5.1 เครื่องขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive polishing

ตารางที่ 5.1 สรุปเงื่อนไขการทดลองปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยแรงกดขณะขัด

ขนาดของชิ้นงาน	Ø 25 mm
Hardness ของชิ้นงาน	111 HB
ลักษณะของชิ้นงาน	ระนาบ
เส้นผ่านศูนย์กลางแปรงขัด	Ø 13 mm
อัตราการหมุนของแปรงขัด	200 rpm
ขนาดผงขัด	35, 60, และ 100 μm
Hardness ของผงขัด	1900 HB
ความหยาบผิวเริ่มต้น	0.63, 0.83 และ 1.00 μm
แรงที่ทำการทดลอบ	20, 30, 40, 50 N และไม่อาศัยแรงขัด
เวลาที่ใช้ในการขัดต่อชิ้นงาน	5 minutes

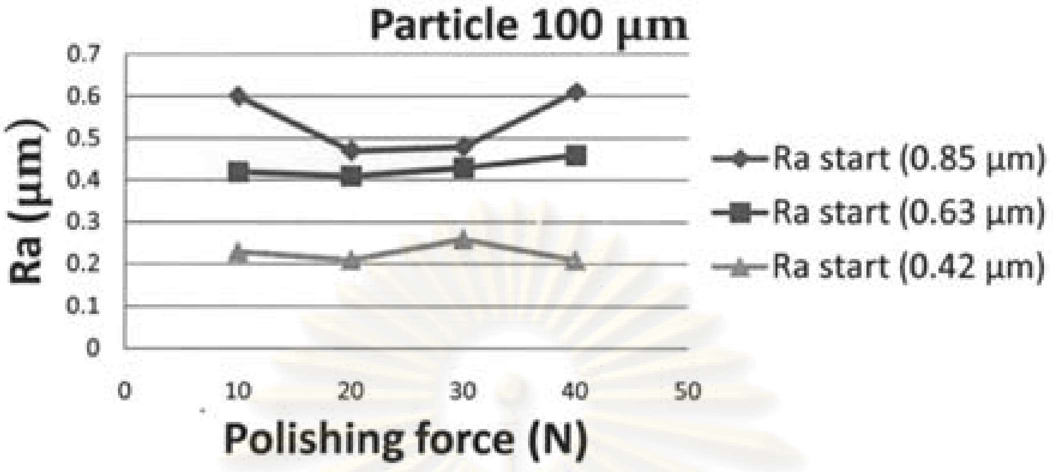
ในการทดลองนี้จะทดสอบที่ความหยาบผิวเริ่มต้น 1 ไมโครเมตร, 0.85 ไมโครเมตร, 0.63 ไมโครเมตร ผงขัดที่นำมาใช้ทดสอบคือ SiC #120 (100 ไมโครเมตร), #320(60 ไมโครเมตร), #600(35 ไมโครเมตร) แรงกดที่ทดสอบคือ 20 นิวตัน, 30 นิวตัน, 40 นิวตัน, 50 นิวตัน จากนั้นจึงนำมาวัดหาค่าความหยาบผิวโดยเครื่องวัดความหยาบผิว Surftest SJ-201, Mitutoyo : straightness accuracy 10 นาโนเมตร (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก) โดยทำการลากหัว stylus ไปบนชิ้นงานเป็นระยะทาง 0.75 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้ผลการเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.2, ภาพที่ 5.2 และ ภาพที่ 5.3

ตารางที่ 5.2 สรุปค่า Ra ที่ได้จากการขัดกรณีต่างๆ*

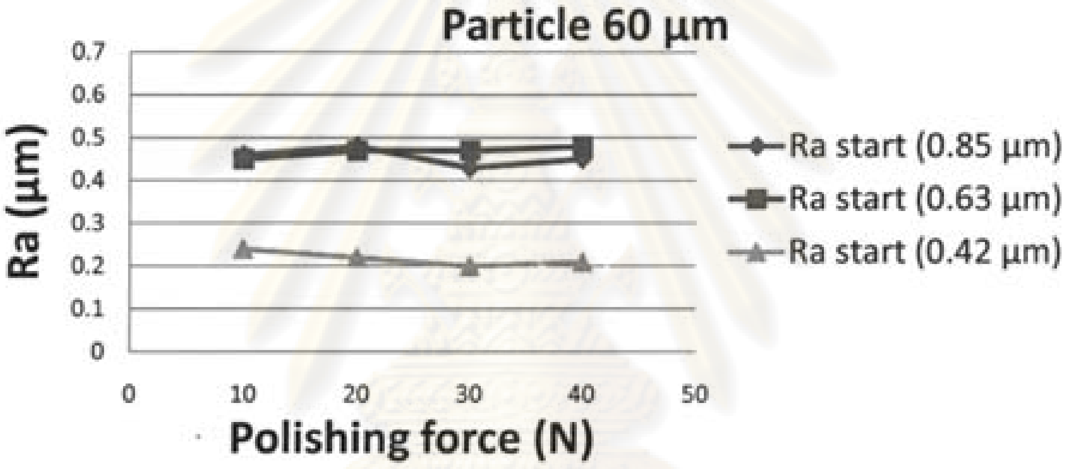
Ra เริ่มต้น (μm)	ขนาดผงขัด (μm)	ความหยาบผิวจากการขัดด้วยแรงขนาดต่างๆ (μm)				
		แรงกด 20 N	แรงกด 30 N	แรงกด 40 N	แรงกด 50 N	ไม่อาศัยแรงกด
0.85	100	0.60	0.47	0.48	0.61	0.56
	60	0.46	0.48	0.43	0.45	0.60
	35	0.63	0.51	0.59	0.58	0.71
0.63	100	0.42	0.41	0.43	0.46	0.54
	60	0.45	0.47	0.47	0.48	0.42
	35	0.35	0.35	0.29	0.30	0.51
0.42	100	0.23	0.21	0.26	0.21	0.38
	60	0.24	0.22	0.20	0.21	0.32
	35	0.12	0 12	0.12	0.14	0.19

<u>หมายเหตุ</u> กราฟแสดงความหยาบผิวของชิ้นงานอยู่ในภาคผนวก

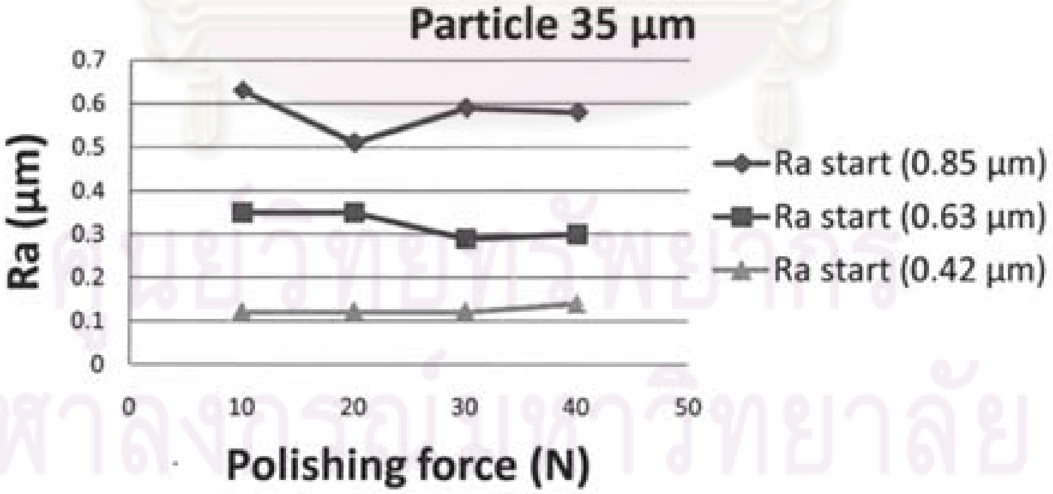
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ผงขัดขนาด 100 ไมโครเมตร



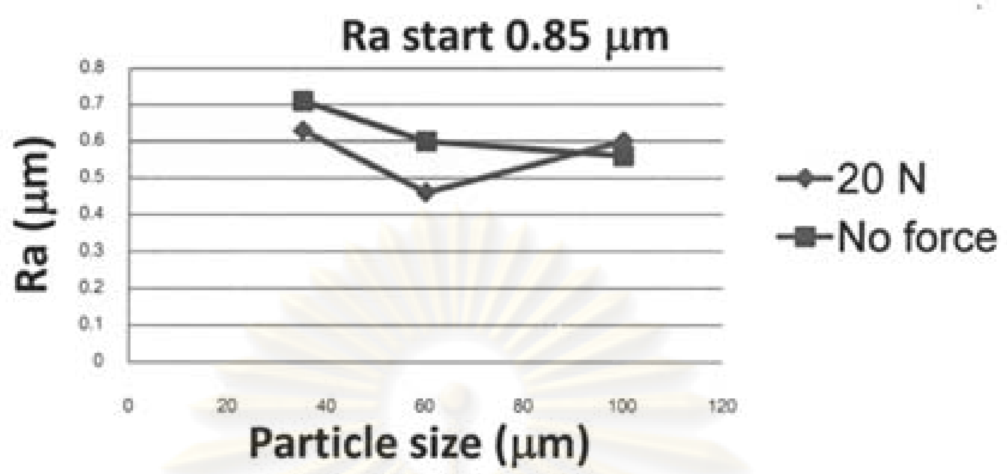
ข) ผงขัดขนาด 60 ไมโครเมตร



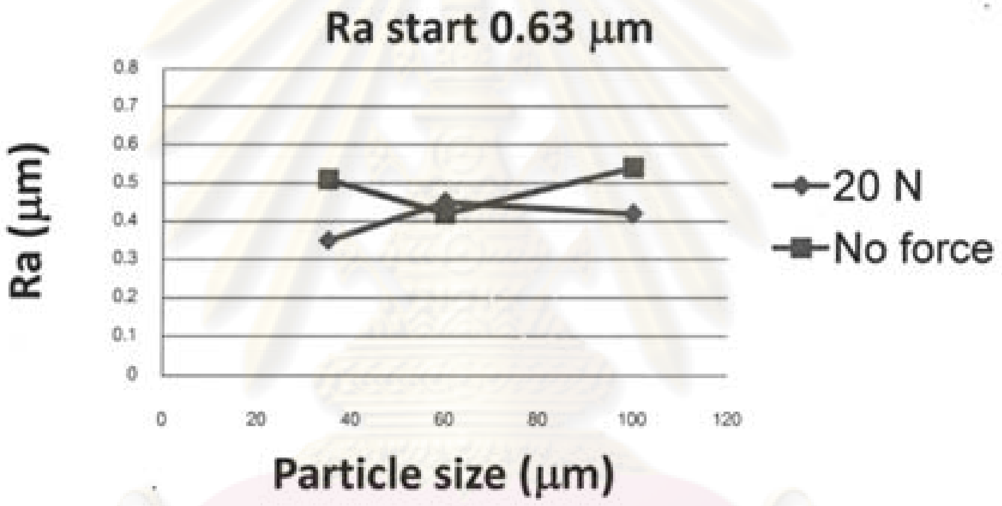
ค) ผงขัดขนาด 35 ไมโครเมตร

ภาพที่ 5.2 ผลเปรียบเทียบความหยาบผิวที่ได้จากแรงขัดขนาดต่างๆ

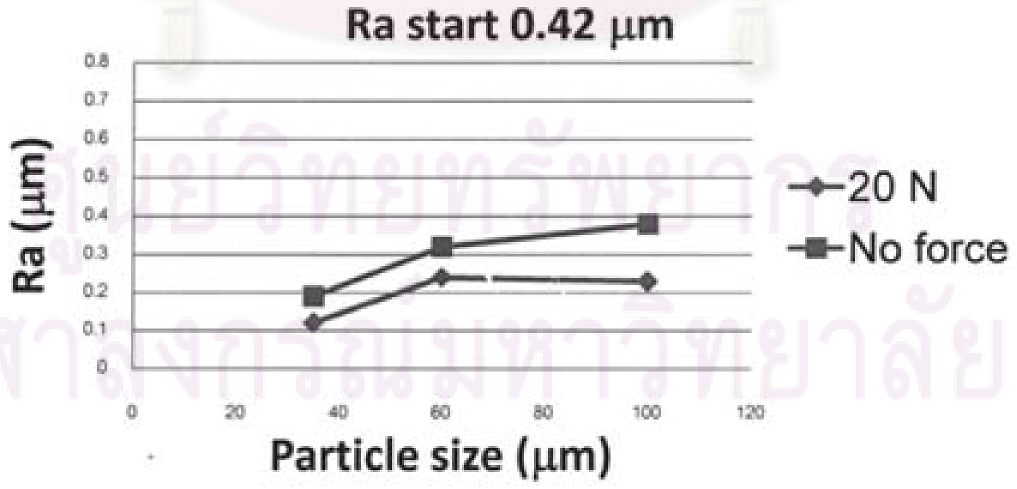
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ความหยาบผิวเริ่มต้น 0.85 ไมโครเมตร



ข) ความหยาบผิวเริ่มต้น 0.63 ไมโครเมตร



ค) ความหยาบผิวเริ่มต้น 0.42 ไมโครเมตร

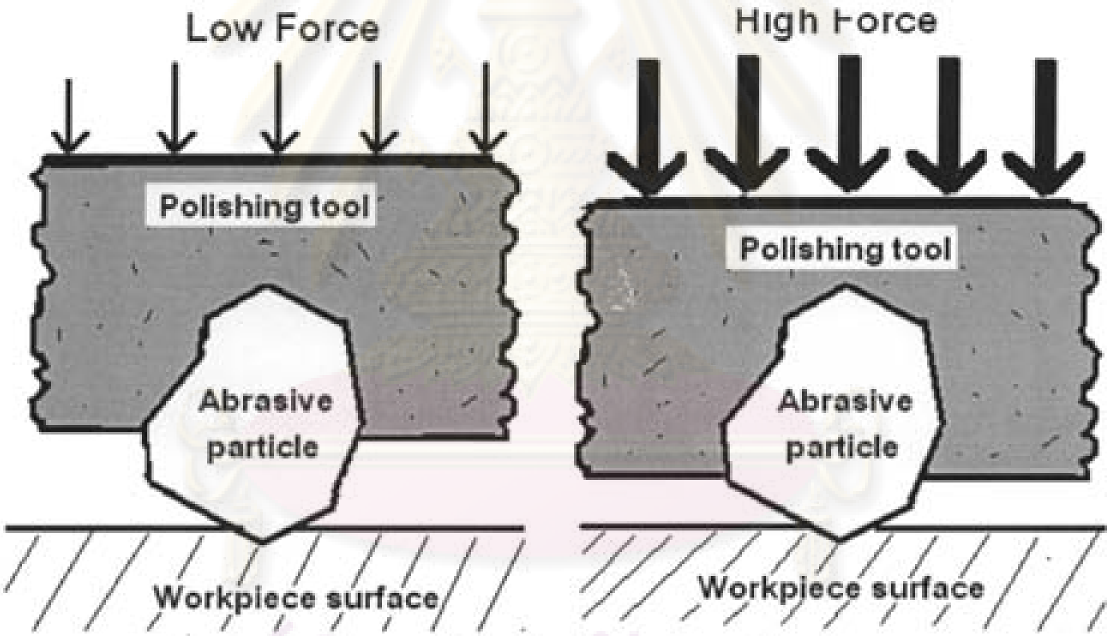
ภาพที่ 5.3 ผลเปรียบเทียบความหยาบผิวระหว่างแรงกด 20 นิวตัน กับ ไม่มีแรงกด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากภาพที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าความหยาบผิวที่ได้จากการขัดผิวชิ้นงานด้วยแรงกดขนาดต่างกัน โดยที่ใช้ผงขัดและความหยาบผิวเริ่มต้นเดียวกันจะมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 15 % (มากสุดที่ความหยาบผิวเริ่มต้น 0.85 ไมโครเมตร ขนาดผงขัด 100 ไมโครเมตร) และที่ความหยาบผิวเริ่มต้น 0.85 ไมโครเมตร ผงขัดที่สามารถลดความหยาบผิวได้มากที่สุดคือขนาด 60 ไมโครเมตร ส่วนที่ความหยาบผิวเริ่มต้น 0.63 ไมโครเมตร และ 0.42 ไมโครเมตร ผงขัดที่สามารถลดความหยาบผิวได้มากที่สุดคือขนาด 35 ไมโครเมตร

ทั้งนี้สาเหตุที่แรงกดขนาดต่างกันให้ความหยาบผิวที่ไม่แตกต่างกันเพราะก้อนลักหลาดมีความอ่อนนุ่มมากกว่าชิ้นงานมากแรงที่ใส่เพิ่มเข้าไปจึงทำให้ผงขัดจมลงไปในก้อนลักหลาดแทนที่จะจมลงไปในชิ้นงาน ความยาวผงขัดส่วนที่โผล่เลยมาจากผิวหน้าของก้อนลักหลาดจึงและความหยาบผิวชิ้นงานที่ได้จากการขัดจึงไม่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.4 เปรียบเทียบการขัดด้วยก้อนลักหลาดแรงกดน้อยกับแรงกดมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากภาพที่ 5.3 จะเห็นว่าความหยาบผิวที่ได้จากการขัดผิวที่ได้จากการขัดที่มีแรงกด (ก้อนลักหลาด) จะมีค่าต่ำกว่าความหยาบผิวที่ได้จากการขัดแบบไม่มีแรงกด (แปรงไนลอน) โดยจะมีค่าต่ำกว่าประมาณ 16.8% แสดงให้เห็นว่าการขัดผิวชิ้นงานจำเป็นต้องอาศัยแรงขัด และเนื่องจากอุปกรณ์ขัดที่เป็นก้อนลักหลาดยังสามารถกักเก็บผงขัดได้ดีกว่าแปรงไนลอน ทำให้ช่วยป้องกันการกระเด็นของผงขัดและเกิดการขัดผิวอย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 6

การปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยเส้นทางการขัด

จากการทดลองในบทที่ 4 และบทที่ 5 จะเห็นว่าเป็นการทดลองเพื่อหาวิธีลดความหยาบผิวและความเป็นคลื่นที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงาน แต่ยังไม่สามารถลดทิศทางของรอยตัดได้ดีพอเพราะในแต่ละการทดลองที่ผ่านมาจะทำการขัดผิวชิ้นงานในทิศทางเดียวกันไปเรื่อย ทำให้เกิดการกินผิวชิ้นงานแนวเดียวส่งผลให้คุณภาพผิวชิ้นงานยังไม่ดี

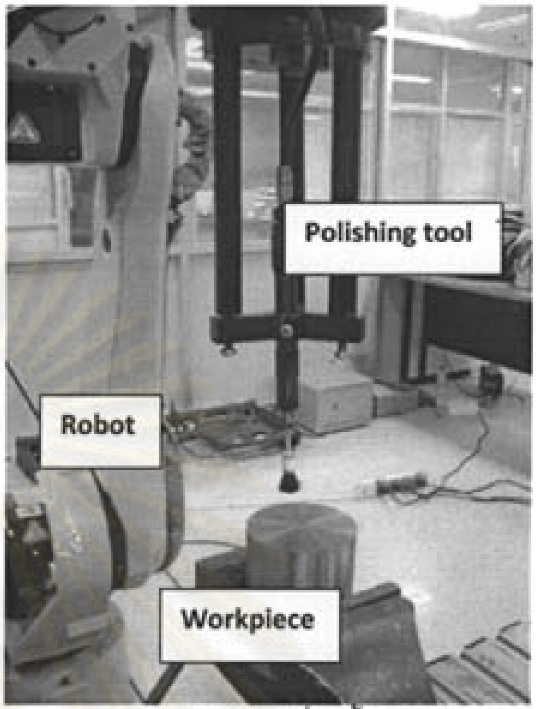
วัตถุประสงค์

การทดลองนี้จะทำการศึกษาความสามารถในการลดความหยาบผิวด้วยการเพิ่มทิศทางในการขัด เพื่อที่จะนำวิธีที่ลดความหยาบผิวได้ดีที่สุดไปใช้ร่วมกับการปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยลำดับของขนาดผงขัดและด้วยแรงกดขณะขัด

การทดลอง

การทดลองนี้จะทำการทดลองกับชิ้นงาน(เหล็ก mild steel : Hardness 111 HB) ที่มีลักษณะเป็นผิวเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ซึ่งขึ้นรูปมาจากวิธี turning โดยใช้เครื่อง CNC (Mazak INTEGREX 4) โดยขึ้นภาพที่สภาวะ Spindle speed 200 เมตร/นาที, feed rate 0.08 มิลลิเมตร/รอบ, depth of cut 0.5 มิลลิเมตรใช้มีดกลึง HSS จากนั้นจึงนำมาขัดผิชิ้นงานวด้วยวิธี abrasive polishing โดยนำชิ้นงานมายึดให้อยู่กับที่แล้วทำการขัดผิวชิ้นงานโดยการเขียนโปรแกรมกำหนดเส้นทางที่ต้องการให้กับหุ่นยนต์ (FANUC Robot M-16i B20) และที่ตำแหน่งปลายแขนของหุ่นยนต์ (end effector) ได้ทำการติดตั้ง polishing tool เป็นแปรงขัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 มิลลิเมตร ซึ่งขนขัดทำมาจาก Nylon ยาว 10 มิลลิเมตร เอาไว้เป็นอุปกรณ์ขัดผิวชิ้นงานโดยจะทำการขัดด้วยความเร็วรอบ 2,000 รอบ/นาที เป็นเวลานาน 5 นาที ดังแสดงในรูป 6.1

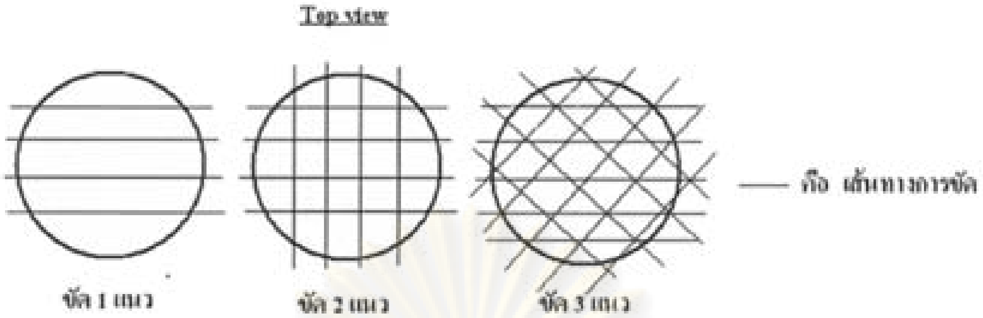
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



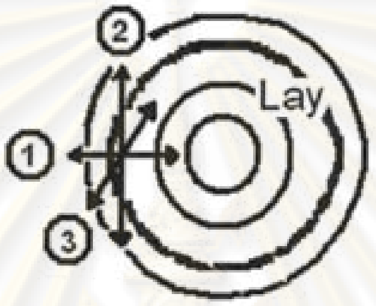
ก) ภาพรวมของเครื่อง ข) บริเวณที่ขัดชิ้นงาน

ภาพที่ 6.1 เครื่องขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive polishing

ในขั้นตอนของการขัดชิ้นงานจะไม่ทำโดยตรงระหว่างอุปกรณ์สำหรับขัดกับชิ้นงานแต่จะมีผงสำหรับขัด (abrasive particle. Mesh size #600, Micron range 35 ไมโครเมตร) ซึ่งอยู่ในรูปสารละลาย (ผง SiC ผสมกับน้ำมัน) เป็นตัวคั่นกลางในการขัดโดยการนำสารละลายมาทาให้ทั่วบริเวณผิวหน้าชิ้นงานซึ่งจะส่งผลให้ตัวขัดชิ้นงานที่แท้จริงคือผง SiC โดยในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบผลของการขัดผิวชิ้นงานระหว่างขัดผิว 1 แนว, ขัดผิว 2 แนว และ ขัดผิว 3 แนว ดังแสดงในภาพที่ 6.2 โดยทุกวิธีจะมีจำนวนครั้งในการขัดเท่ากัน เพียงแต่ในการขัดผิว 2 แนว และ 3 แนวจะถูกแบ่งไปให้แต่ละแนวเท่าๆกัน โดยสรุปรายละเอียดของการทดลองดังตารางที่ 6.1 จากนั้นจึงนำมาวัดหาค่าความหยาบผิวโดยเครื่องวัดความหยาบผิว Surftest SJ-201, Mitutoyo : straightness accuracy 10 นาโนเมตร (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก) โดยทำการลากหัว stylus ไปบนชิ้นงานเป็นระยะทาง 0.75 มิลลิเมตร ทำการวัดความหยาบผิว 3 แนวคือ แนวตั้งฉากกับทิศทางของรอยตัด, แนวสัมผัสกับทิศทางของรอยตัดและ แนวเอียงที่อยู่ระหว่างแนวตั้งฉากกับแนวสัมผัสกับทิศทางของรอยตัด ดังแสดงในภาพที่ 6.3 ซึ่งจะได้ผลการเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 6.2 และภาพที่ 6.4 และมีกราฟความหยาบผิวดังแสดงในภาพที่ 6.5 ถึงภาพที่ 6.8



ภาพที่ 6.2 เส้นทางการขัดผิวแบบต่างๆ



ภาพที่ 6.3 ทิศทางการวัดความหยาบผิวแนวต่างๆ

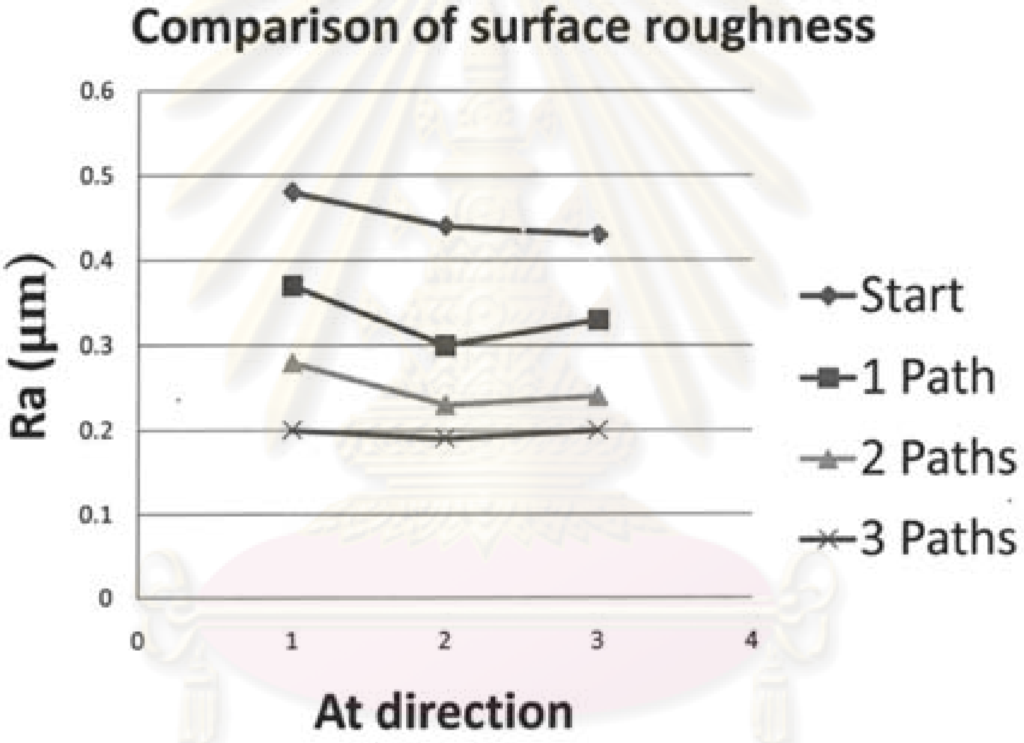
ตารางที่ 6.1 สรุป Test Condition การทดลองปรับปรุงผิวชิ้นงานโดยเส้นทางของการขัด

ขนาดของชิ้นงาน	Ø 75 mm
Hardness ของชิ้นงาน	111 HB
ลักษณะของชิ้นงาน	ระนาบ
เส้นผ่านศูนย์กลางแปรงขัด	Ø 6.5 mm
ความยาวก้อนแปรง	10 mm
อัตราการหมุนของแปรงขัด	2,000 rpm
ขนาดผงขัด	35 μm
Hardness ของผงขัด	1,900 HB
เส้นทางการขัด	1 แนว, 2 แนว และ 3 แนว
เวลาที่ใช้ในการขัดต่อชิ้นงาน	5 minutes

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

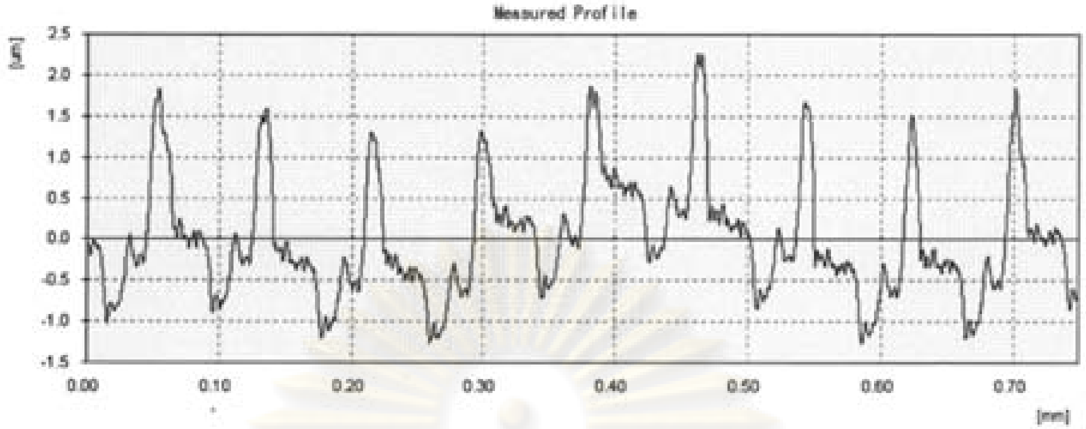
ตารางที่ 6.2 ค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองปรับปรุงเส้นทางการขัด

กระบวนการขัดผิว	Ra (µm)		
	วัดแนวที่ 1	วัดแนวที่ 2	วัดแนวที่ 3
เริ่มต้น	0.48	0.43	0.44
เริ่มต้น + ขัดผิว 1 แนว	0.37	0.30	0.33
เริ่มต้น + ขัดผิว 2 แนว	0.28	0.23	0.24
เริ่มต้น + ขัดผิว 3 แนว	0.20	0.19	0.20

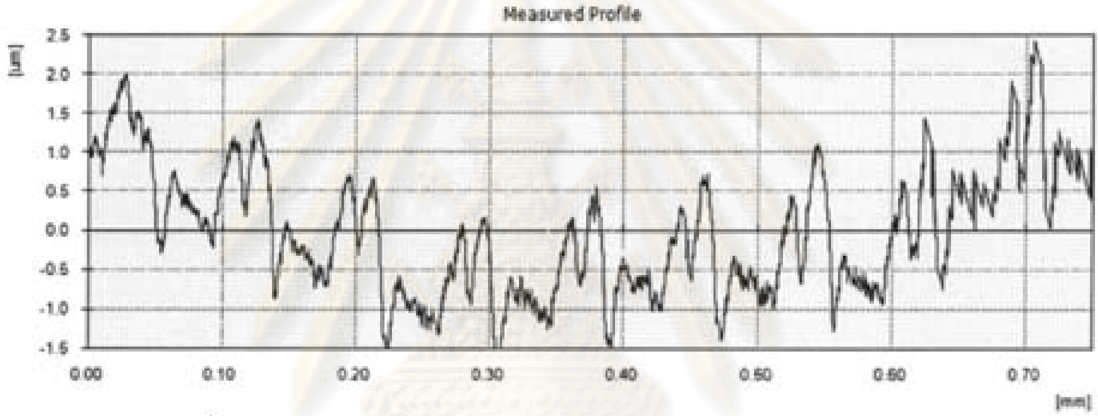


ภาพที่ 6.4 ผลเปรียบเทียบความหยาบผิวจากการทดลองปรับปรุงเส้นทางการขัด

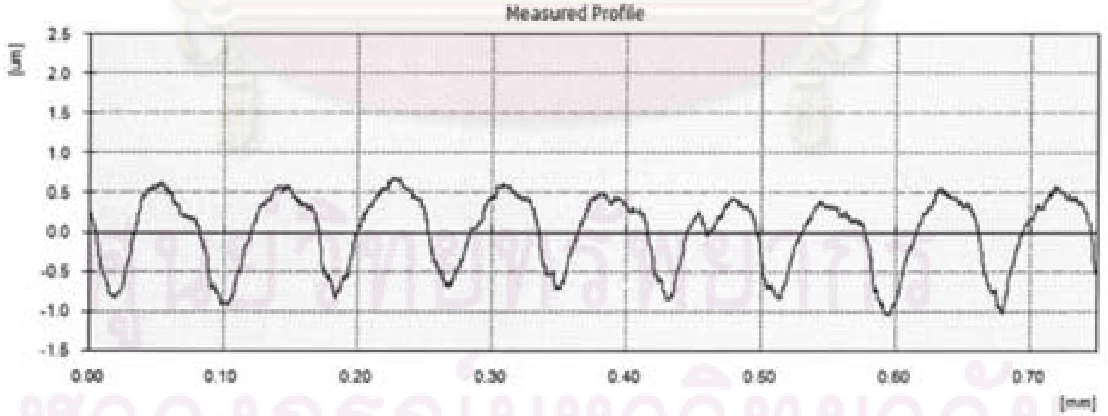
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ความหยาบผิวเริ่มต้น วัดแนวที่ 1



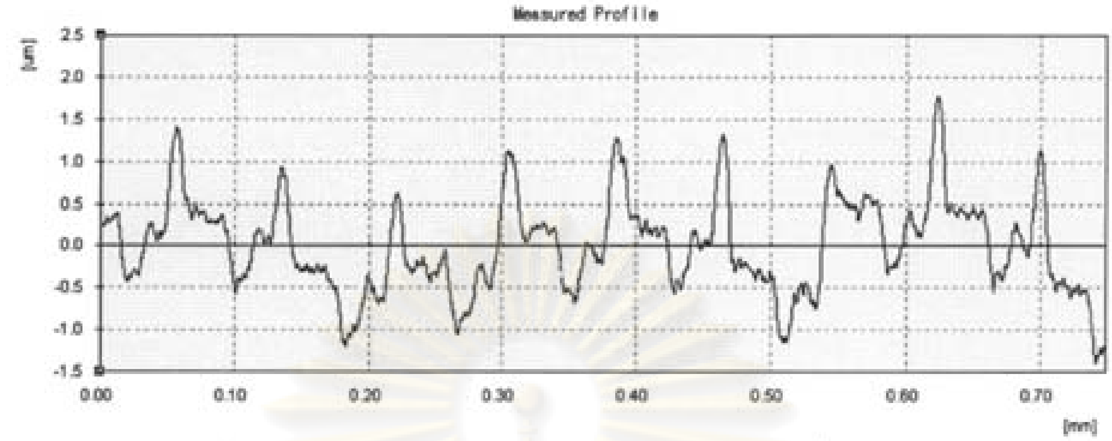
ข) ความหยาบผิวเริ่มต้น วัดแนวที่ 2



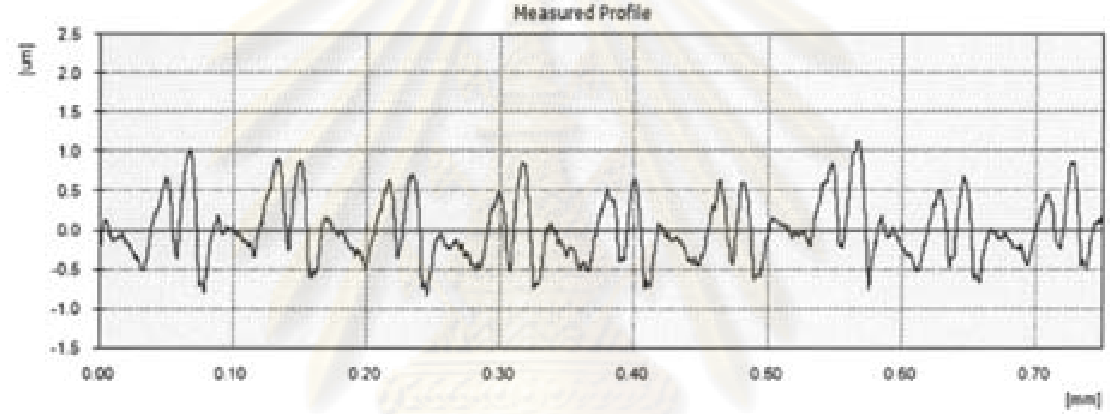
ค) ความหยาบผิวเริ่มต้น วัดแนวที่ 3

ภาพที่ 6.5 ความหยาบผิวเริ่มต้น

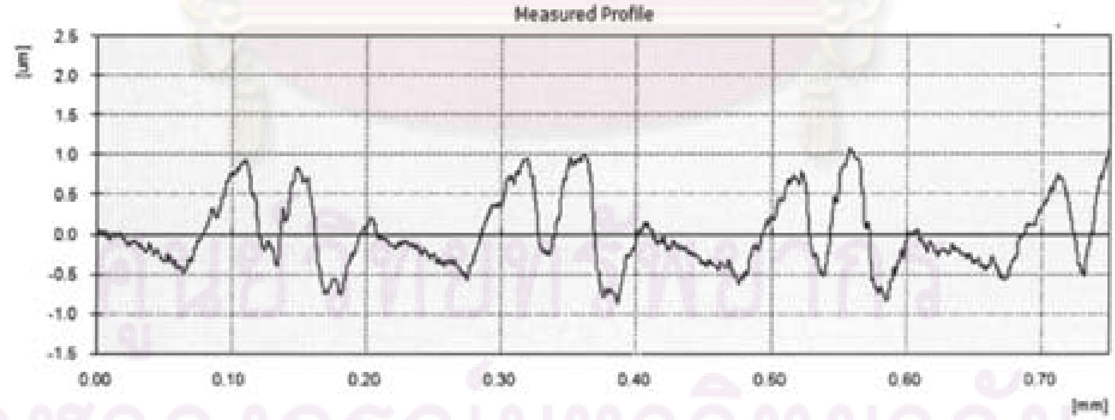
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 1 แนว วัดแนวที่ 1



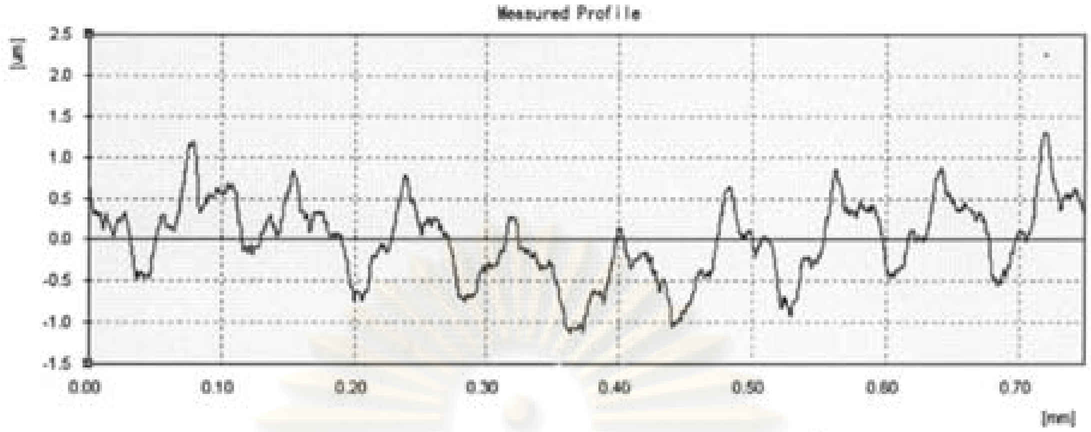
ข) ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 1 แนว วัดแนวที่ 2



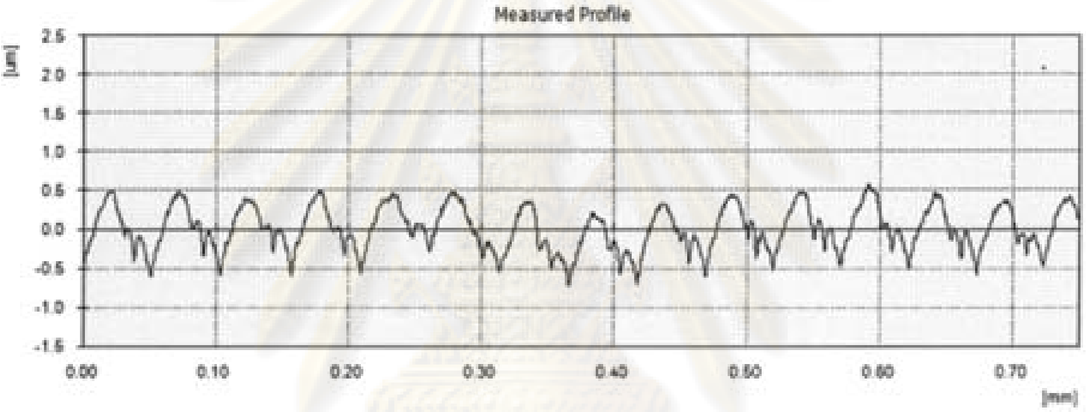
ค) ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 1 แนว วัดแนวที่ 3

ภาพที่ 6.6 ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 1 แนว

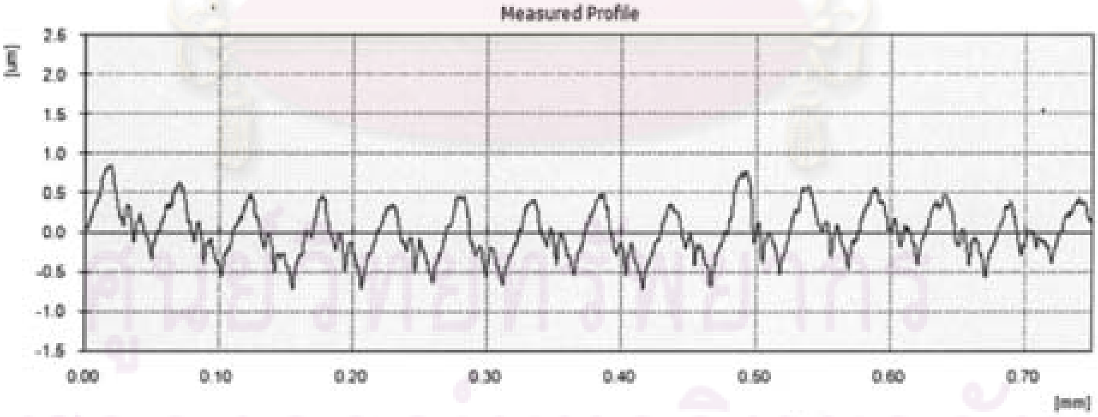
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 2 แนว วัดแนวที่ 1



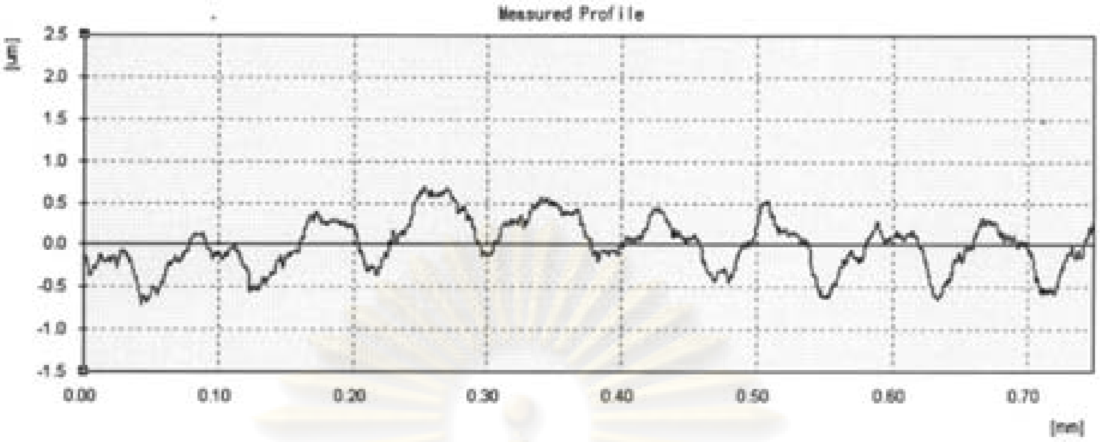
ข) ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 2 แนว วัดแนวที่ 2



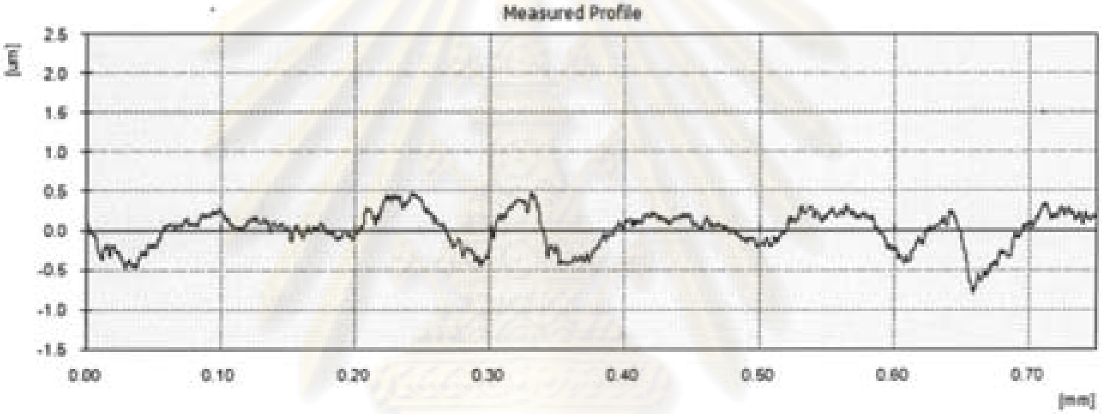
ค) ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 2 แนว วัดแนวที่ 3

ภาพที่ 6.7 ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 2 แนว

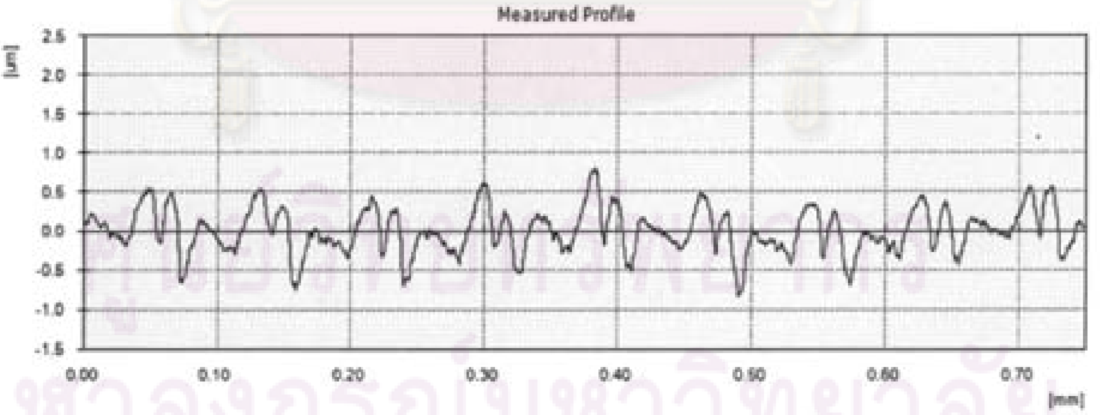
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 3 แนว วัดแนวที่ 1



ข) ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 3 แนว วัดแนวที่ 2



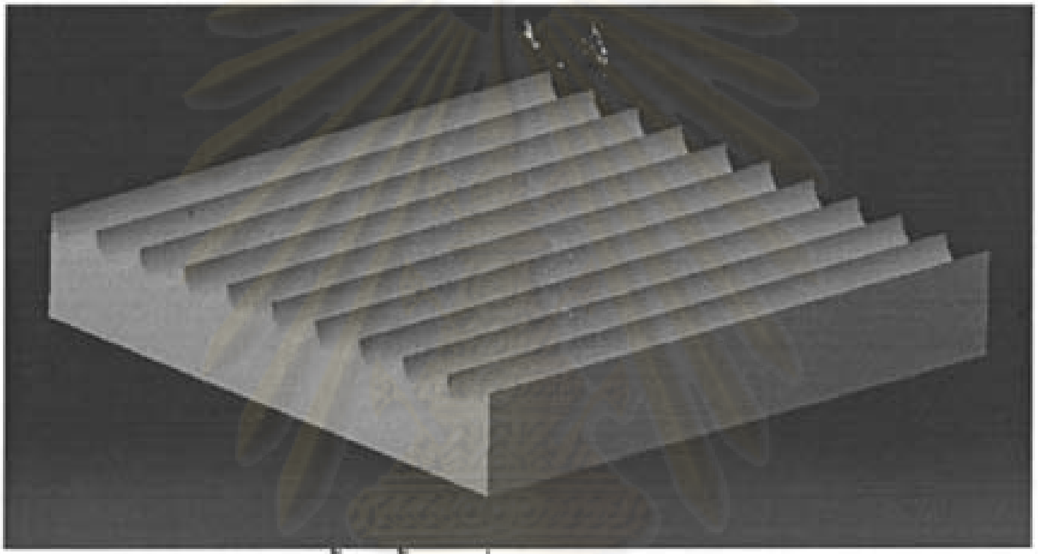
ค) ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 3 แนว วัดแนวที่ 3

ภาพที่ 6.8 ความหยาบผิวหลังผ่านการขัด 3 แนว

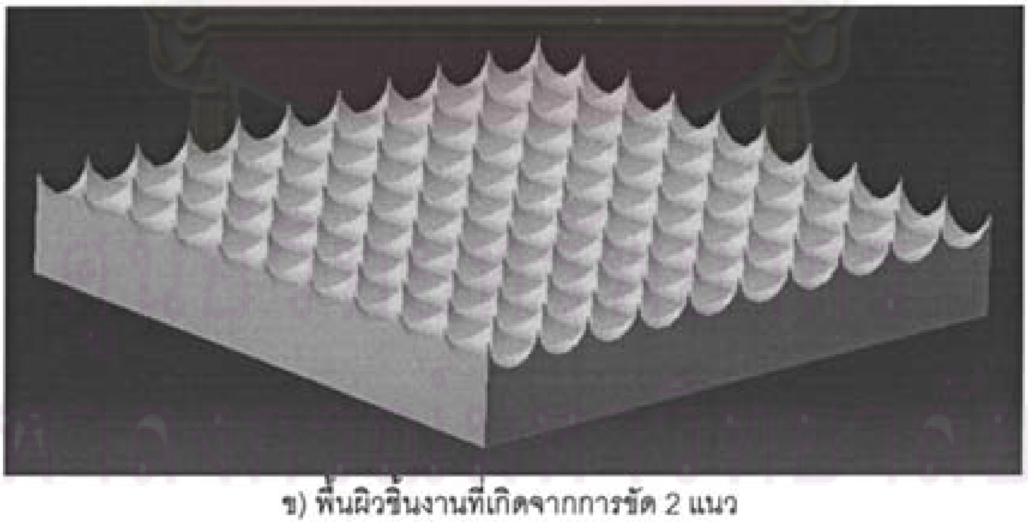
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการขัดผิวชิ้นงานโดยเป็นแนวที่แตกต่างกันจะส่งผลให้ความหยาบผิวของชิ้นงานหลังขัดมีค่าต่ำกว่าวิธีการขัดผิวเป็นแนวเดียว เนื่องจากว่าการขัดผิวแนวเดียวจะทำให้ผิวของจะทำให้ผิวชิ้นงานที่ได้ลอนความหยาบผิว (scallop) เหลืออยู่ในแนวแนวคงที่ทิศทางเดียว แต่การขัดหลายแนวจะทำให้แนวการขัดแต่ละแนวไปตัดผ่านลอนความหยาบผิวที่เกิดจากแนวอื่น ซึ่งจะส่งผลให้ชิ้นงานมีความหยาบผิวที่ได้จากการวัดในแต่ละแนวมีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในภาพที่ 6.9

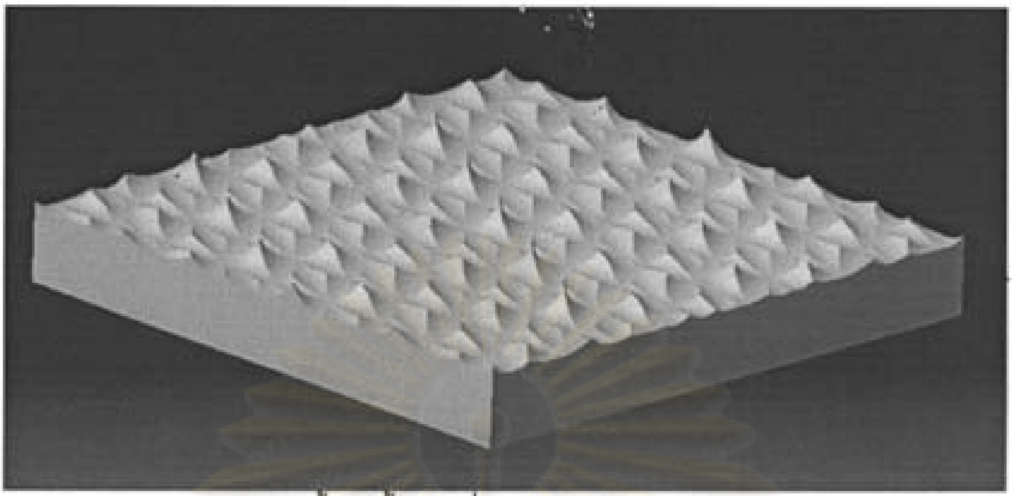


ก) พื้นผิวชิ้นงานที่เกิดจากการขัด 1 แนว



ข) พื้นผิวชิ้นงานที่เกิดจากการขัด 2 แนว

ภาพที่ 6.9 ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่ผ่านการขัดแบบต่างๆ



ค) พื้นผิวชิ้นงานที่เกิดจากการขัด 3 แนว

ภาพที่ 6.9 (ต่อ) ลักษณะพื้นผิววิ้นงานที่ผ่านการขัดแบบต่างๆ

เมื่อนำข้อสรุปที่ได้จากการทดลองนี้ไปใช้ปรับปรุงผิวชิ้นงานร่วมกับข้อสรุปที่ได้จากการปรับปรุงผิวชิ้นงานด้วยแรงกดขณะขัดและการปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยแรงกดขณะขัด ทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานให้มีความหยาบผิวในระดับนาโนเมตรได้ดังแสดงในภาพที่ 6.10

ก) ก่อนขัดผิวชิ้นงาน (Ra 1.12 ไมโครเมตร) ข) หลังขัดผิวชิ้นงาน (Ra 0.05ไมโครเมตร)

ภาพที่ 6.10 ผลเปรียบเทียบความหยาบผิวของชิ้นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

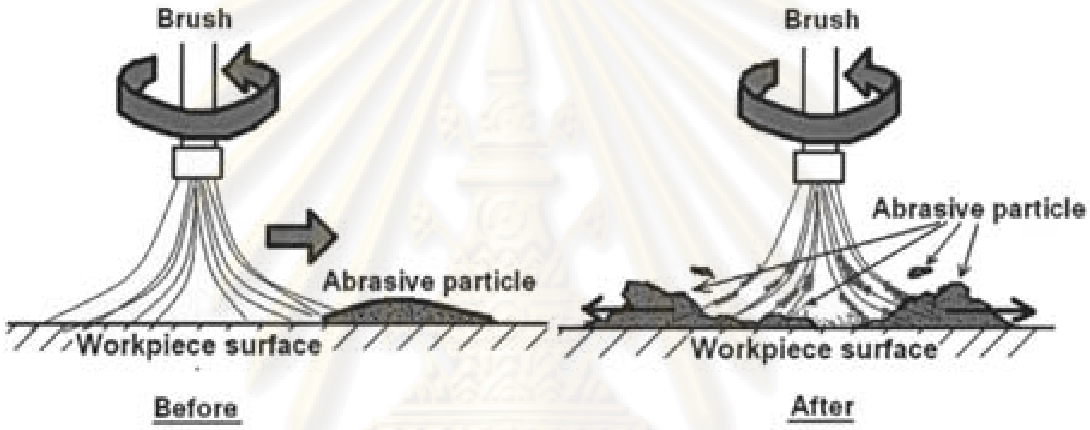
จากการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมดจะเห็นว่าทุกการทดลองจะเกิดการกระเด็นของผงขัดไม่มากก็น้อย ซึ่งผัดเหล่านี้มีมูลค่าสูงทำให้ค่าใช้จ่ายในการทดลองสูงตาม เพราะฉะนั้นถ้าสามารถนำผงขัดเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่ได้อีกจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการทดลอง และเมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการผลิตจริงจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

การปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยการกักเก็บผงขัด

จากการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่ามีการกระเด็นของผงขัดอันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงของแปรงในขณะขัดผิวชิ้นงานส่งผลให้เกิดการขัดโดยไม่มีผงขัดขณะขัดหรืออาจจะมีในปริมาณที่น้อยลงทำให้การกินผิวชิ้นงานเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพดังแสดงในรูป 7.1 นอกจากนั้นยังทำให้สิ้นเปลืองผงขัดซึ่งมีมูลค่าสูงไปในขั้นตอนของการขัด



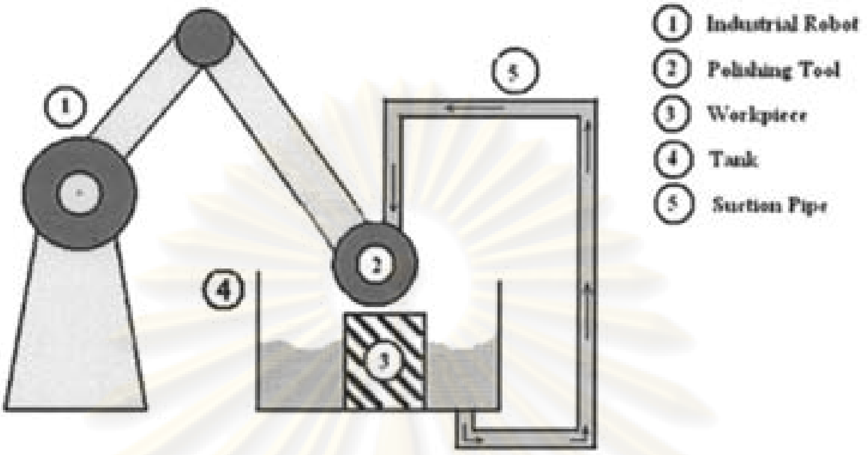
ภาพที่ 7.1 การขัดผิวชิ้นงานแบบไม่มีการกักเก็บผงขัด

วัตถุประสงค์การทดลอง

การทดลองนี้จึงได้ออกแบบวิธีการขัดผิวชิ้นงานแบบมีการกักเก็บผงขัดบริเวณที่ขัด และมีการใช้ผงขัดหมุนเวียนโดยมีเป้าหมายเพื่อให้เกิดการขัดอย่างมีประสิทธิภาพและลดการสิ้นเปลืองผงขัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

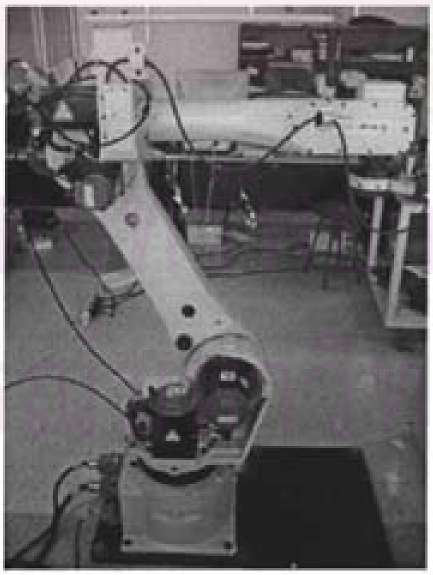
แนวคิดการออกแบบ



ภาพที่ 7.2 Conceptual design.

โดยรายละเอียดของส่วนต่างมีดังนี้

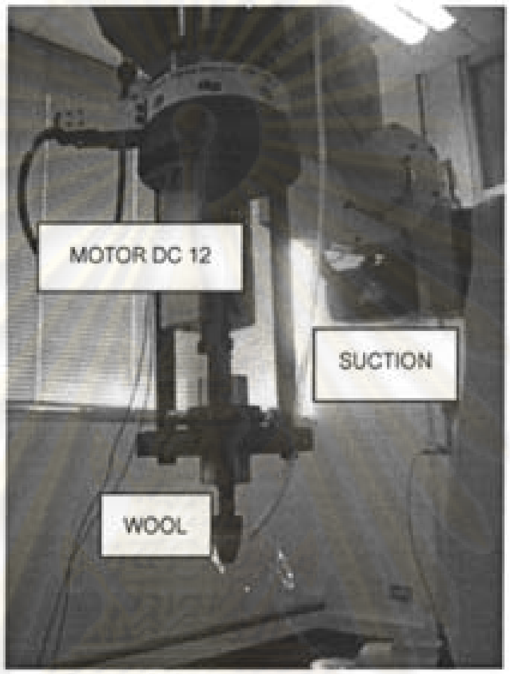
1. Industrial robot ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม FANUC Robot M-16iB 20 ดังแสดงในภาพที่ 7.3 ซึ่งมี 6 Degrees of freedom สามารถรับแรงได้สูงสุด 20 กิโลกรัม เป็นตัวควบคุม polishing tool เพื่อให้สามารถขัดผิวชิ้นงานที่มีรูปทรงใดๆ ได้ และสามารถสร้างแรงกดในการขัดได้อย่างเพียงพอ ขณะที่ติดตั้ง polishing tool ซึ่งมีน้ำหนักมาก(6.5 กิโลกรัม) ได้



ภาพที่ 7.3 หุ่นยนต์ FANUC Robot M-16iB 20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. Polishing tool ในการทดลองนี้ได้มีการสร้างอุปกรณ์ขัดที่ติดตั้งท่อไว้สำหรับฉีดสารละลายผงขัด เพื่อทำให้มีผงขัดคั่นอยู่ระหว่างแปรงและชิ้นงานตลอดเวลา โดยใช้ก้อนสักหลาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ซึ่งขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลท์ ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที เป็นตัวขัดผิวชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 7.4



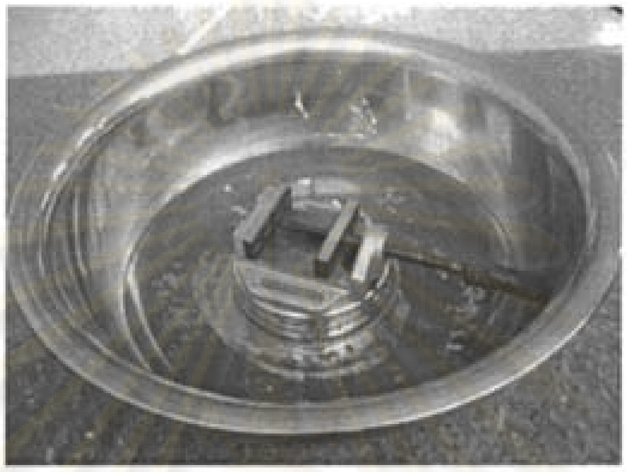
ภาพที่ 7.4 แปรงขัดและมอเตอร์ควบคุม

3. Workpiece ในการทดลองนี้จะใช้เหล็ก mild steel (hardness 111 HB) ที่มีลักษณะผิวเรียบ เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร เป็นวัตถุทดสอบ โดยใช้ปากกาจับชิ้นงานยึดให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของถังขัด ดังแสดงในภาพที่ 7.5

ภาพที่ 7.5 เหล็ก mild steel (เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร)

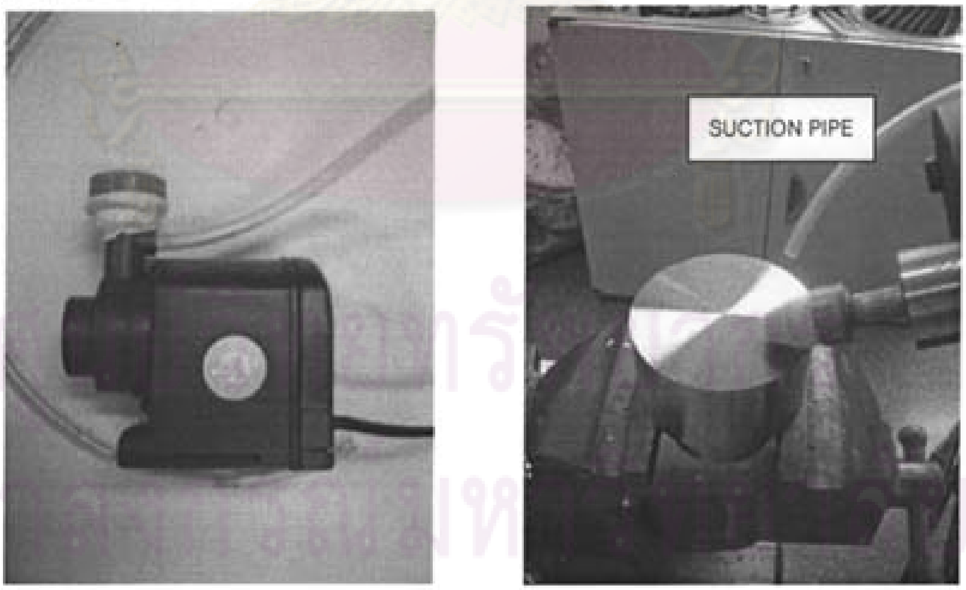
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. Tank ในการทดลองนี้ใช้ถัง stainless วงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 เซนติเมตร สูง 13 เซนติเมตร มาเป็นภาชนะสำหรับรองรับผงขัดที่กระเด็นจากการขัดชิ้นงานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียผงขัดในขณะขัดชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 7.6



ภาพที่ 7.6 ถัง stainless และปากกาจับชิ้นงาน

5. Suction pipe ในการทดลองนี้ได้ทำการออกแบบระบบหมุนเวียนผงขัดเพื่อที่จะนำผงขัดที่กระเด็นจากการขัดผิวชิ้นงานมาใช้ใหม่โดยใช้ปั๊มเป็นตัวดูด จากนั้นลำเลียงสารละลายผงขัดผ่านท่อสายยางเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร กลับมาฉีดที่อุปกรณ์ขัดอีกครั้งดังแสดงในภาพที่ 7.7



ก) ปั๊ม ข) สายยางสำหรับฉีดผงขัด

ภาพที่ 7.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหมุนเวียนผงขัด

การทดลอง

ในการทดลองนี้จะทดลองขัดผิวชิ้นงานด้วยวิธี Abrasive polishing โดยอาศัยแปรงไนลอนเป็นอุปกรณ์การขัด ผงขัดที่ใช้คือ SiC ขนาด 35 ไมโครเมตร ที่ความหยาบผิวเริ่มต้น 0.60 และ 0.44 ไมโครเมตร ทำการวัดในแต่ละการทดลอง 3 ตำแหน่ง ใช้เวลาในการทดลอง 5 นาที ซึ่งการทดลองนี้มีเงื่อนไขการทดลองดังตารางที่ 7.1 และผลการทดลองดังตารางที่ 7.2 ถึง ตารางที่ 7.4 และภาพที่ 7.8

ตารางที่ 7.1 สรุปเงื่อนไขการทดลองปรับปรุงผิวชิ้นงานโดยการกักเก็บผงขัด

ขนาดของชิ้นงาน	Ø 75 mm
Hardness ของชิ้นงาน	111 HB
ลักษณะของชิ้นงาน	ระนาบ
เส้นผ่านศูนย์กลางแปรงขัด	Ø 20 mm
ความยาวขนแปรง	10 mm
อัตราการหมุนของแปรงขัด	200 rpm
ขนาดผงขัด	35, 60 และ 100 μm
Hardness ของผงขัด	1,900 HB
ความหยาบผิวเริ่มต้น	0.44, 0.67 และ 0.79 μm
เวลาที่ใช้ในการขัดต่อชิ้นงาน	5 minutes

ตารางที่ 7.2 ผลเปรียบเทียบการขัดชิ้นงานแบบปกติและแบบหมุนวนผงขัด 100 ไมโครเมตร

ความหยาบผิว (ไมโครเมตร)								
	ขัดแบบปกติ				ขัดโดยมีผงขัดหมุนวน			
เริ่มต้น	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	เฉลี่ย	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	เฉลี่ย
0.79	0.54	0.57	0.58	0.56	0.53	0.53	0.53	0.53
0.67	0.51	0.54	0.54	0.53	0.53	0.56	0.51	0.53
0.44	0.39	0.37	0.38	0.38	0.32	0.34	0.33	0.33

<u>หมายเหตุ</u> กราฟแสดงความหยาบผิวของชิ้นงานอยู่ในภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.3 ผลเปรียบเทียบการขัดชิ้นงานแบบปกติและแบบหมุนวนผงขัด 60 ไมโครเมตร

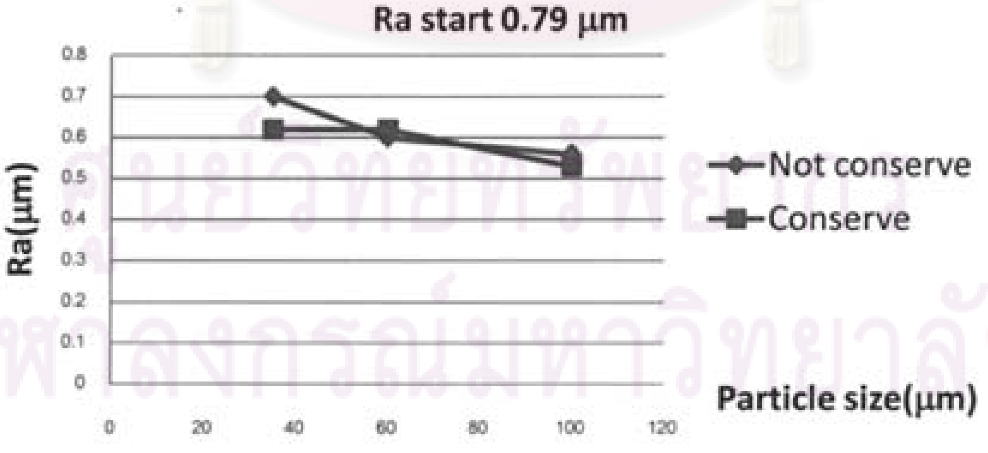
ความหยาบผิว (ไมโครเมตร)								
เริ่มต้น	ขัดแบบปกติ				ขัดโดยมีผงขัดหมุนวน			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	เฉลี่ย	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	เฉลี่ย
0.79	0.60	0.59	0.60	0.60	0.61	0.63	0.63	0.62
0.67	0.40	0.42	0.41	0.41	0.41	0.44	0.40	0.42
0.44	0.38	0.36	0.35	0.36	0.36	0.38	0.35	0.36

หมายเหตุ กราฟแสดงความหยาบผิวของชิ้นงานอยู่ในภาคผนวก

ตารางที่ 7.4 ผลเปรียบเทียบการขัดชิ้นงานแบบปกติและแบบหมุนวนผงขัด 35 ไมโครเมตร

ความหยาบผิว (ไมโครเมตร)								
เริ่มต้น	ขัดแบบปกติ				ขัดโดยมีผงขัดหมุนวน			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	เฉลี่ย	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	เฉลี่ย
0.79	0.71	0.73	0.65	0.70	0.62	0.64	0.60	0.62
0.67	0.60	0.59	0.60	0.60	0.42	0.41	0.41	0.41
0.44	0.32	0.30	0.29	0.30	0.25	0.30	0.27	0.27

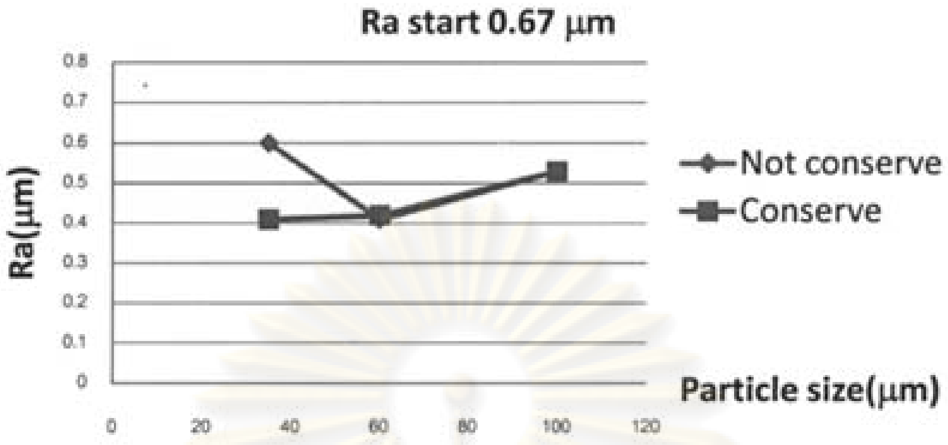
หมายเหตุ กราฟแสดงความหยาบผิวของชิ้นงานอยู่ในภาคผนวก



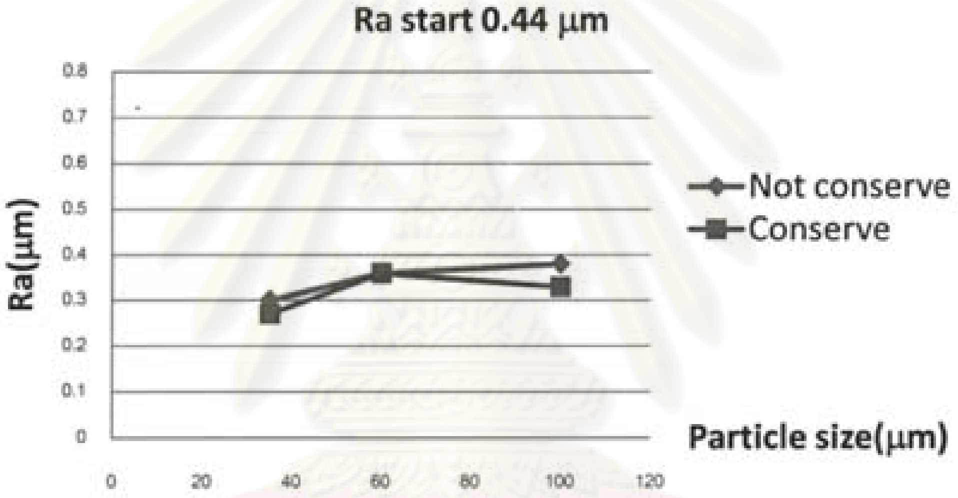
ก) ความหยาบผิวเริ่มต้น 0.79 µm

ภาพที่ 7.8 เปรียบเทียบความหยาบผิวระหว่างการขัดแบบกักเก็บผงขัดและไม่กักเก็บผงขัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ข) ความหยาบผิวเริ่มต้น 0.67 µm



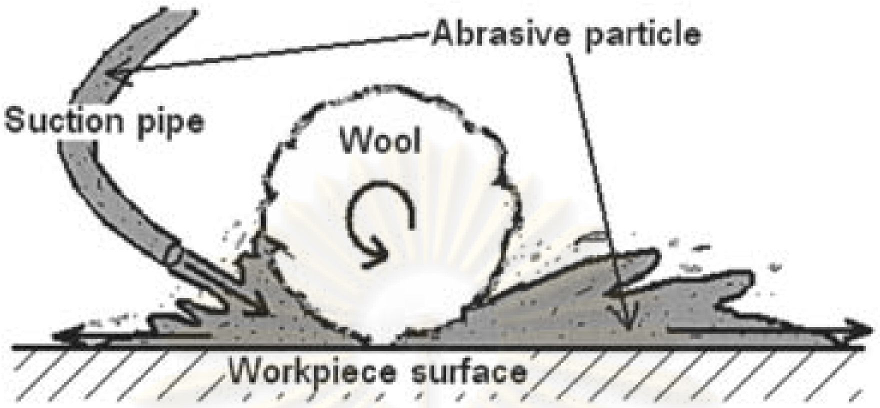
ค) ความหยาบผิวเริ่มต้น 0.44 µm

ภาพที่ 7.8 (ต่อ) เปรียบเทียบความหยาบผิวระหว่างการขัดแบบกักเก็บผงขัดและไม่กักเก็บผงขัด

สรุปและอภิปรายการทดลอง

จากภาพที่ 7.8 จะเห็นว่าในทุกขนาดผงขัดที่ทดสอบความหยาบผิวที่ได้จากการขัดโดยมีผงขัดหมุนวนจะมีค่าต่ำกว่าความหยาบผิวที่ได้จากการขัดแบบปกติทั้งความหยาบผิวเริ่มต้น 0.79 ไมโครเมตร, 0.67 ไมโครเมตร และ0.44 ไมโครเมตร ทั้งนี้เนื่องจากในขณะขัดผงขัดจะกระเด็นออกจากชิ้นงานเสมอ ทำให้ปริมาณผงขัดที่ติดอยู่กับอุปกรณ์ขัดลดลงเรื่อยๆ ส่งผลให้ความสามารถในการลดความหยาบถิวลดลง ขณะที่การขัดแบบหมุนวนมีการฉีดสารละลายผงขัดมาที่ตำแหน่งขัดเสมอ ทำให้มีผงขัดมาคั่นระหว่างขนแปรงกับผิวหน้าของชิ้นงานตลอดระยะเวลาในการขัดดังแสดงในภาพที่ 7.9 ส่งผลให้ความสามารถในการลดความ

หยาบผิวคงที่และได้ความหยาบผิวที่ดีกว่าการขัดแบบปกติในผงขัดขนาดเดียวกัน



ภาพที่ 7.9 การขัดผิวชิ้นงานแบบกักเก็บผงขัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการวิจัย

การลดความหยาบผิวของชิ้นงานแบบ Abrasive polishing ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างอันได้แก่ ขนาดของผงขัด ชนิดของผงขัด รูปทรงของผงขัด ความเข้มข้นของสารละลายผงขัด แรงกดที่ใส่ให้กับผงขัดขณะขัด ความอ่อนนุ่มของอุปกรณ์ขัด ความเร็วและอัตราการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ขัด ระนาบของการขัด เส้นทางการขัด การกระจายตัวและยึดเกาะของผงขัดขณะขัด ซึ่งในงานวิจัยนี้ปัจจัยที่นำมาพัฒนาคือ ขนาดของผงขัด แรงกดที่ใส่ให้กับผงขัดขณะขัด เส้นทางการขัด การกระจายตัวของผงขัดขณะขัด โดยได้ข้อสรุปต่างๆดังนี้

การทดลองเรื่องการขัดผิวชิ้นงานแบบเรียงลำดับผงขัดซึ่งเป็นวิธีการเลือกขนาดผงขัดและใช้ลำดับการขัดที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถลดความหยาบผิวของชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยจะไล่จากการลดความเป็นคลื่นของชิ้นงานก่อนและต่อด้วยการลดความหยาบผิว โดยที่ความหยาบผิวมากกว่า 0.85 ไมโครเมตร ผงขัดที่เหมาะสมคือขนาด 100 ไมโครเมตร, ที่ความหยาบผิว 0.63 ไมโครเมตร ผงขัดที่เหมาะสมคือขนาด 60 ไมโครเมตร, ที่ความหยาบผิว 0.44 ไมโครเมตร ผงขัดที่เหมาะสมคือขนาด 35 ไมโครเมตร, ที่ความหยาบผิว 0.2 ไมโครเมตร ผงขัดที่เหมาะสมคือขนาด 5 ไมโครเมตร และที่ความหยาบผิวต่ำกว่า 0.12 ไมโครเมตร ผงขัดที่เหมาะสมคือขนาด 1 ไมโครเมตร

การทดลองเรื่องแรงกดที่ใส่ให้กับชิ้นงานขณะขัดซึ่งแสดงให้เห็นว่าแรงกดที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน ส่วนความหยาบผิวที่ได้จากผงขัดในขนาดเดียวกันแบบมีแรงกดจะมีค่าต่ำกว่าการขัดผิวชิ้นงานโดยไม่อาศัยแรงกดประมาณ 16.8% (ใช้แปรงไนลอนเป็นอุปกรณ์ขัด)

การทดลองเรื่องเส้นทางการขัดแสดงให้เห็นว่าทิศทางการขัดที่หลากหลายจะทำให้ได้ความหยาบผิวชิ้นงานที่มีค่าต่ำตามมาโดยการขัดผิวชิ้นงาน 3 แนวจะลดความหยาบผิวได้ดีกว่าการขัดผิวชิ้นงาน 1 แนว และ 2 แนว 35% และ 16.67% ตามลำดับ นอกจากนั้นการขัด 3 แนวยังสามารถลบทิศทางรอยตัดได้ดีกว่าการขัดผิว 1 แนว และ 2 แนวทำให้ความหยาบผิวชิ้นงานมีค่าใกล้เคียงกันในกรณีที่วัดความหยาบผิวในทิศที่แตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองเรื่องการกักเก็บผงขัดจะส่งผลให้มีผงขัดคั่นกลางระหว่างแปรงขัดและผิวชิ้นงานอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้ความหยาบผิวที่ได้มีต่ำกว่าการขัดผิวแบบไม่กักเก็บผงขัด 15.10%

8.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่ายังมีปัจจัยอื่นที่สามารถนำมาศึกษาและพัฒนาต่อแล้วนำมาประยุกต์เข้ากับปัจจัยและวิธีการที่ได้ศึกษาและพัฒนามาแล้วในงานวิจัยนี้เพื่อช่วยให้ความหยาบผิวของชิ้นงานมีคุณภาพดีขึ้นได้ นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดและข้อเสนอแนะดังนี้

1. เครื่องวัดความหยาบผิวมีความละเอียดในระดับ 10 นาโนเมตร ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าความหยาบผิวชิ้นงานในเลขนัยสำคัญ 1 นาโนเมตรได้ นอกจากนั้นเครื่องสามารถวัดได้เฉพาะชิ้นงานที่มีลักษณะรูปทรงแบนราบเท่านั้นทำให้ไม่สามารถนำไปวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่มีลักษณะรูปทรงใดๆได้

2. ขนาดของผงขัดที่ใช้ในการทดลองขัดผิวชิ้นงานแบบเรียงลำดับผงขัด มีขนาดที่แตกต่างกันอย่างไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งยังเป็นผงขัดที่แตกต่างชนิดกัน (SiCและAl_2O_3) ซึ่งมีค่าความแข็งที่แตกต่างกันทำให้ความสัมพันธ์หรือผลลัพธ์ที่ได้คลาดเคลื่อนได้

3. การควบคุมแรงในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการควบคุมระยะกดอุปกรณ์ขัดชิ้นให้คงที่แล้วอ่านค่าแรงที่ออกมาจาก Force sensor เพียงเท่านั้น ทำให้แรงที่เกิดขึ้นในขณะขัดอาจมีค่าไม่คงที่อันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และระนาบของชิ้นงานที่อาจไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกัน จึงควรนำหุ่นยนต์และ Force sensor ที่สามารถทำ feedback control ได้เพื่อที่จะสามารถคุมแรงได้อย่างแท้จริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] R. Boyer, G. Welsch, and E. W. Collings. Materials Properties Handbook: Titanium Alloys. ASTM International Materials Park, 1994.

[2] G. Baumeister, J. HauBelt, S. Rath, and R. Ruprecht. Microcasting Advanced Micro and Nanosystems Vol. 4. Microengineering of Metals and Ceramics, 2005.

[3] A. Wang, V. K. Polineni, and J. H. Dumbleton. Effect of Femoral Head Surface Roughness on the Wear of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene Acetabular Cups. The Journal of Arthroplasty Vol. 13 No. 6, 1998..

[4] สุรสิทธิ์ ทองทวีชัยกิจ. อิทธิพลของอัตราการป้อน และ ความเร็วรอบของชิ้นงานในแต่ละขั้นตอนย่อยของการเจียระไนทรงกระบอก(แบบยันศูนย์) ที่มีผลต่อความหยาบผิว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

[5] Leonard E. Samuels. Metallographic Polishing by Mechanical Methods. 4th ed. American Society for metals Park, 2002.

[6] Beom-Sahng Ryuh , Sang Min Park , Gordon R. Pennock. An automatic tool changer and integrated software for a robotic die polishing station. Mechanism and Machine Theory 41, 2006 : 415–432.

[7] J.J. Márquez, J.M. Pérez, J. Ríos, and A. Vizán. Process modeling for robotic polishing. Journal of Materials Processing Technology 159, 2005 : 69-82.

[8] Yougsong Xie, Bharat Bhushan. Effects of particle size, polishing pad and contact pressure in free abrasive polishing. Wear, 200, 1-2 (1 December 1996) : 281-295.

[9] Sunil Jha, V.K. Jain, Wear. Modeling and simulation of surface roughness in magnetorheological abrasive flow finishing (MRAFF). Process, 261: 856-866.

[10] T. Kuriyagawa, M. Saeki, K. Syoji. Electrorheological fluid-assist ultra-precision polishing for small three-dimension parts. Journal of International Societies for Precision Engineering and

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Nanotechnology 26(2002) : 370- 380.

[11] ศุภวัฒ เจียมลักษณไพศาล, การปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยวิธีอะเบรซีฟมาชีนนิ่ง การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 2006 : หน้า 25-26

[12] ศุภวัฒ เจียมลักษณไพศาล, การปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยลำดับของขนาดผงขัด, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21, 2007 : หน้า 36

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลเฉพาะเครื่องวัดความหยาบผิว

เครื่องวัดความหยาบผิว Surfcom 1400D, ACCRETECH-TOKYO SEIMITSU

Surface Texture · Contour Measuring Instruments

Surface Texture Measuring Instrument ›››

CE

Superior Operating Easy & Automation from Measurements to Inspection Report Creation

SURFCOM 1400D

SURFCOM 1400D-12
* Printer is an option

AI Function Simplifies Measurements (patented)

● The unit automatically selects the measuring conditions without setting them in advance (roughness measurement). In addition, a lesson mode is available to teach the user the operation procedures. This is a reflection of ACCRETECH's commitment to create measuring instruments that anyone can use.

Automation Enhances Measurement Efficiency

● The teaching function can be used to automate a series of operations, from measurement at multiple locations to generation of an inspection report by pasting the data.

Evaluation Functions Dramatically Strengthened

● A variety of customer requests for more evaluation functions have been reflected in the 1400D. These include accommodation of standards for film thickness measurement (step/area), wear volume calculation (superimposed profile area) and LCD glass substrate (special waviness).

TIMS Flexible Measuring System

● The TIMS next-generation integrated measuring system is a new breakthrough from ACCRETECH. It links different programs with a single icon, enhancing the ease of analysis.

Complies with World Standards

● This model complies with the latest ISO, JIS, DIN, ASME, CNOMO and other standards, and has cleared the requirements for the European safety standard CE marking. It supports operation using Japanese, English, German, French, Italian, Spanish, Chinese, and Korean. Contact ACCRETECH before taking this model to a country outside of Japan.

Reanalysis After One Measurement

● Data can be reanalyzed after one measurement is performed. The measurement standard (linear, first half, latter half, round surface, both end) can be changed to set the measuring range for analysis, or the defective data for a notch can be removed.

Outstanding Expandability

● The unit can be easily and efficiently upgraded to meet evolving needs. This includes upgrading from two-dimensional to three-dimensional roughness, or adding profile capability.

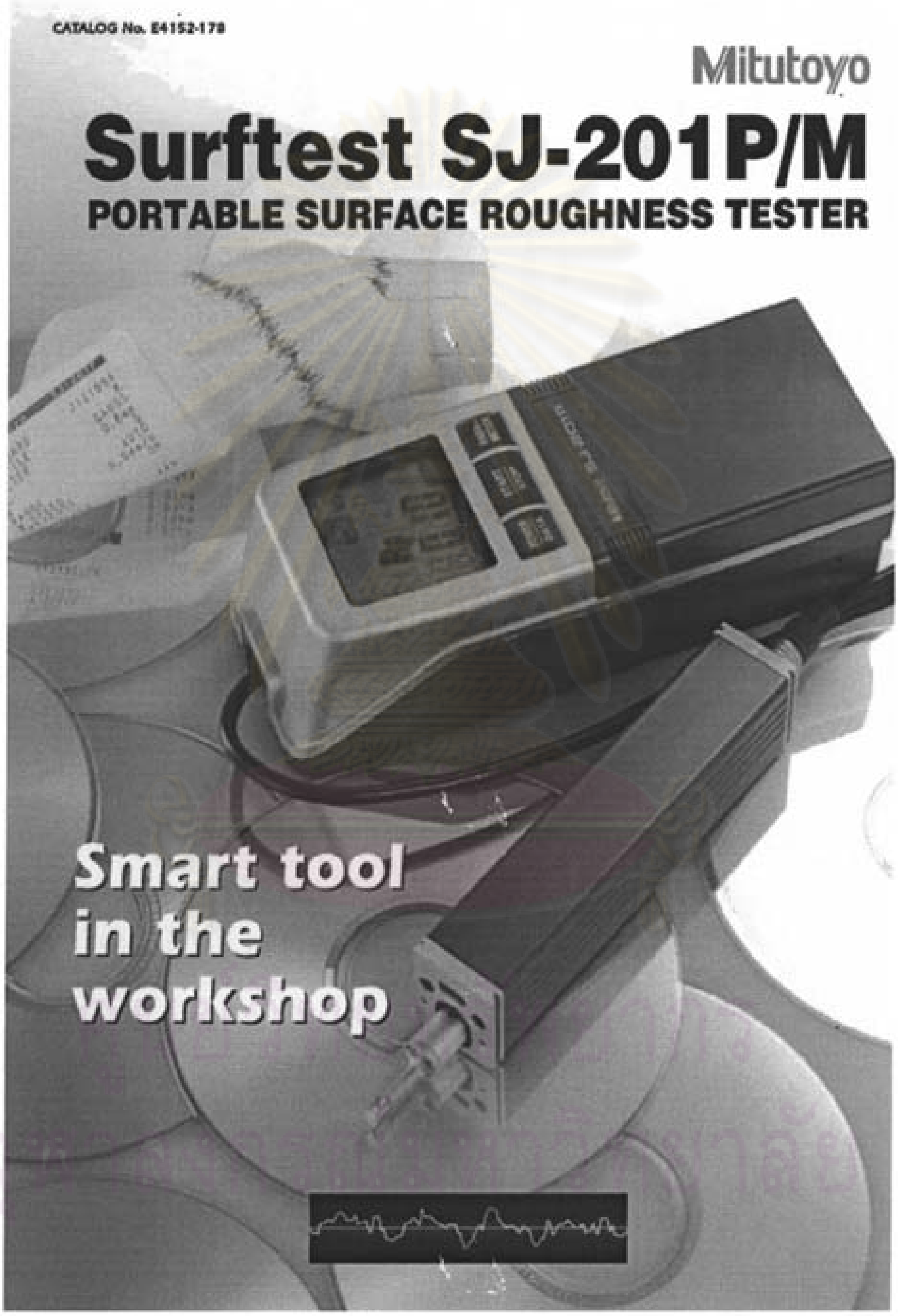
Surface Texture · Contour Measuring Instruments

ACCRETECH TOKYO SEIMITSU

Specification *2D Roughness Specification*		
Model		SURFCOM 1400D
measuring range/resolution	Z-axis (vertical)	800 μm/0.02 μm/0.0004 μm (6.4 μm/0.0001 μm*)
	X-axis (horizontal)	100 mm/0.1μm or 32,000 points (max. data points)
Straighness accuracy		(0.05 + 1.5L/1,000)μm L: Measuring length (mm)
Analysis items	Conformance	Complies with JIS-2001, JIS-1994, JIS-1982, ISO-1997, ISO-1984, DIN-1990, ASME-1995, CNOMO
	Parameter	Ra, Rq, Ry, Rp, Rv, Rc, Rz, Rmax, Rt, Rz.J,R3z, Sm,S,R Δa, R Δq, R λa,R λq TILT A, Ir, Pc, Rsk, Rku, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2, VO, K, tp, Rmr, tp2, Rmr2, R δc AVH, Hmax, Hmin, AREA, NCRX, R, Rx, AR, NR, CPM, SR, SAR
	Evaluation curves	section profile curve, roughness curve,filtered waviness curve,filtered center line waviness curve, rolling circle waviness curve,rolling circle center line waviness curve,DIN4776 special curve, roughness motif curve, waviness motif curve,envelop waviness
	Characteristics graphs	Bearing area curve,amplitude distribution graph(ADF) curve, power graph
	Tilt correction	linear correction,round surface correction, first half correction,both end correction,latter half correction,both end correction,spline curve correction(linear,round surface,and both end correction possible at arbitrary)
Magnification	Vertical (Z-axis)	50, 100, 200, 500, 1K, 2K, 5K, 10K, 20K, 50K, 100K, 200K, *500K,*arbitrary, auto
	Horizontal (X-axis)	0.1, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1K, 2K, 5K, 10K, 20K, arbitrary, auto
Filter types		Standard filter (2RC), phase compensation filter (2RC), phase compensation filter (Gaussian)
Measuring speed		0.03, 0.06, 0.15, 0.3, 0.6, 1.5, 3, 6 mm/s
Detector		Tip radius: 2 μm, Material: diamond, Measuring force: 0.75 mN
Special functions	Measuring AI	AI function provides easy procedures, enabling beginners to make measurements.
	Waveform superimposition	Waveform curve for maximum of 10 data items can be superimposed (ideal for wear evaluation)
	Automatic operation	Simplified auto mode and teaching mode enable fully automation operation
Power source		Single phase AC 100V±10%, 50/60 Hz, 300VA
Installation dimensions		1700 (W0 *750 (H) mm
Weight		Approx. 125 kg (2D model)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องวัดความหยาบผิว Surftest SJ-201, Mitutoyo



SJ-201P SPECIFICATION

Order No. *1		**178-920**	**178-923**	**178-930**	**178-933**
Type		mm	inch/mm	mm	inch/mm
Drive Unit					
Drive speed		Measuring: 0.25mm/s (0.1"/s),0.5mm/s (0.2"/s) Returning:0.8mm/s (0.3"/s)			
Evaluation length		12.5mm/.49"			
Mass		190g (0.42lbs)			
Detector Provided		**178-390**		**178-395**	
Detecting method		Differential inductance			
Measuring range		350µm/13780µin (-200µm/-7880µin to +150µm/+5900µin)			
Material of stylus		Diamond			
Radius of skid curvature		40mm (1.57")			
Mass		18g (0.04lbs)			
Stylus tip radius		5µm(200µin)		2µm(80µin)	
Measuring force		4mN		0.75mN	
Display unit					
Assessed profile		Primary profile (P),Roughness profile (R), DIN4776 profile			
Roughness parameter		Ra,Rq,Rz,Ry,Rp,Rt,R3z,Rk,Rpk,Rvk,Pc,mr,Sm,S,Mr1,Mr2,A1,A2,Vo(can be customized)			
Roughness standard		JIS,DIN,ISO,ANSI			
Sampling length (L)		0.25mm,0.8mm,2.5mm(0.1",0.3",1")		0.25mm,0.8mm,2.5mm(0.1",0.3",1")	
Number of sampling spans		x1,x3,x5,xL *2			
Digital filter		2CR-75% (without phase compensation), PC-75%,PC-50% (Gaussion)			
Cut-off length	λc	0.25mm,0.8mm,2.5mm(0.1",0.3",1")		0.25mm,0.8mm,2.5mm(0.1",0.3",1")	
	λs	2.5µm,8µm (100µin-320µin)		2.5µm,8µm (100µin-320µin)	
Resolution/Range		Auto/depending on the measurement range		Auto/depending on the measurement range	
		0.4µm/350µm		0.4µm/350µm (16.4µin/14000µin)	
		0.1µm/100µm		0.1µm/100µm (4.1µin/4000µin)	
		0.05µm/50µm		0.05µm/50µm (2.0µin/2000µin)	
		0.01µm/10µm		0.01µm/10µm (0.5µin/400µin)	
Displaying range	Ra,Rq	0.01µm - 100µm		0.01µm - 100µm (0.4 - 4000µin)	
	Rz,Ry,Rp,Rt	0.02µm - 350µm		0.02µm - 350µm	
	R3z,Rk,Rpk,Rvk			(0.8µin - 14000µin)	
	Pc	2.5 - 5000cm		2.5 - 5000cm (6.35-14700/inch)	
	mr	1 - 100%		1-100%	
	Sm,S	2 - 4000µm		2 - 4000µm	
	Mr1,Mr2	0 - 100%			
	A1,A2	0 - 15000			
	Vo	0 - 10.00 (mm3/cm2)			
GO/NO-GO judgment		Upper and lower limit values can be specified			
Power supply		Via AC adapter/build-in rechargeable battery			
Rechargeable battery		Charging time: 12 Hours (For 500 measurements)			
Auto-sleep (turning off)		After 30 seconds without operation			
Data output		Via Rs-232C interface unit, SPC output, PC output,Printer output			
Mass		290g (0.64 lbs.)			

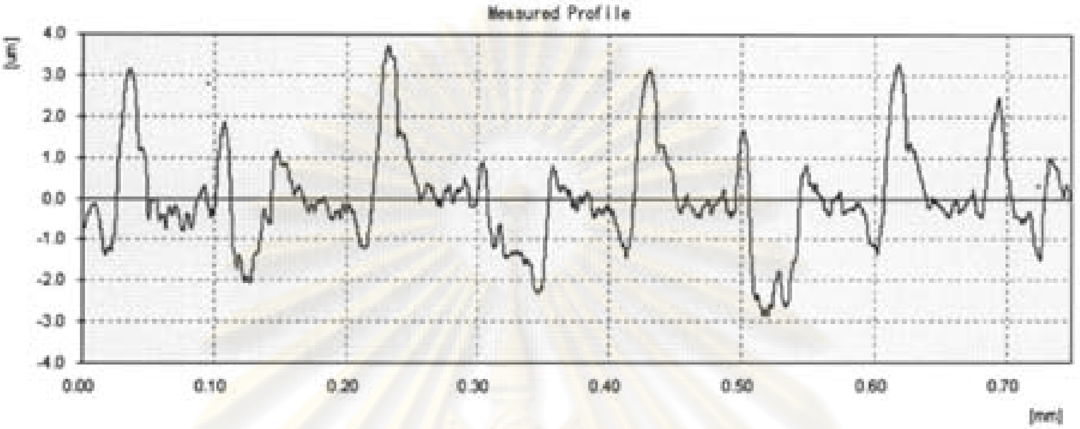
*1 To denote your AC fine voltage add he following suffixes (e.g. 178-920A).
A for 120V,K for 110V, D for 230V, E for 240V, No suffix is for 100V

*2 Evaluation length can be specified arbitrarily in the range
from 0.3mm (.01") to 12.5mm (0.49").

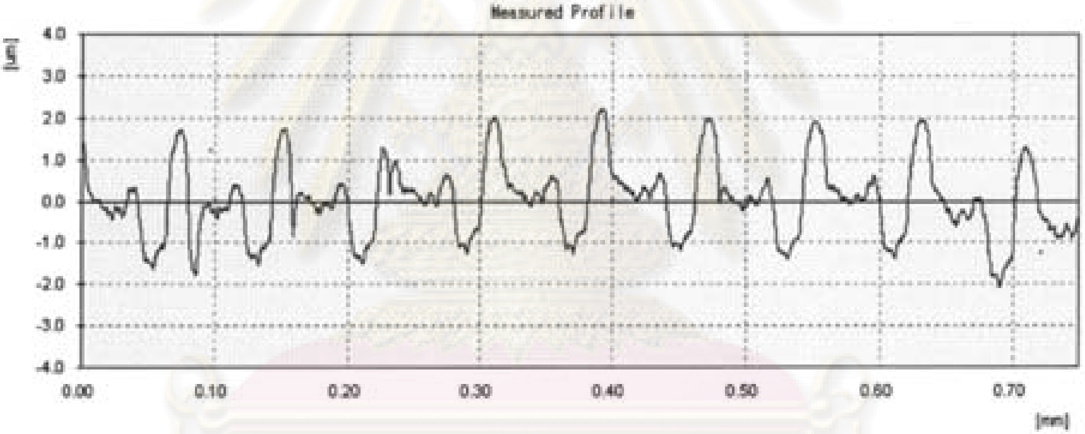
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

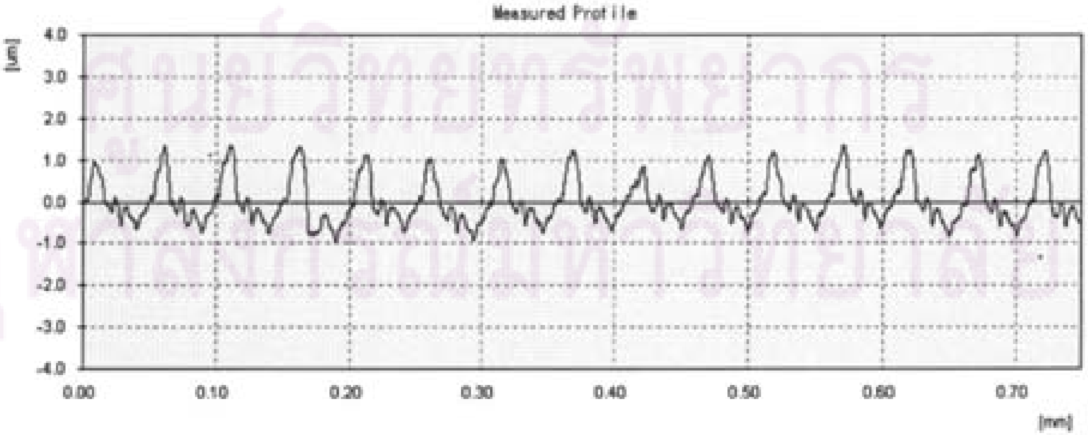
กราฟความหยาบผิวของการปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยแรงกดขณะขัด



ภาพที่ ข.1 Ra เริ่มต้น 0.85 μm

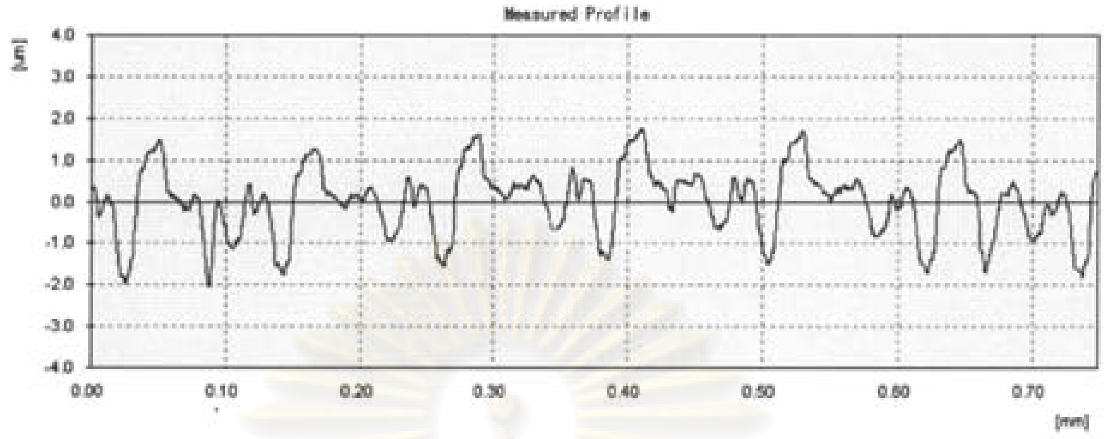


ภาพที่ ข.2 Ra เริ่มต้น 0.63 μm

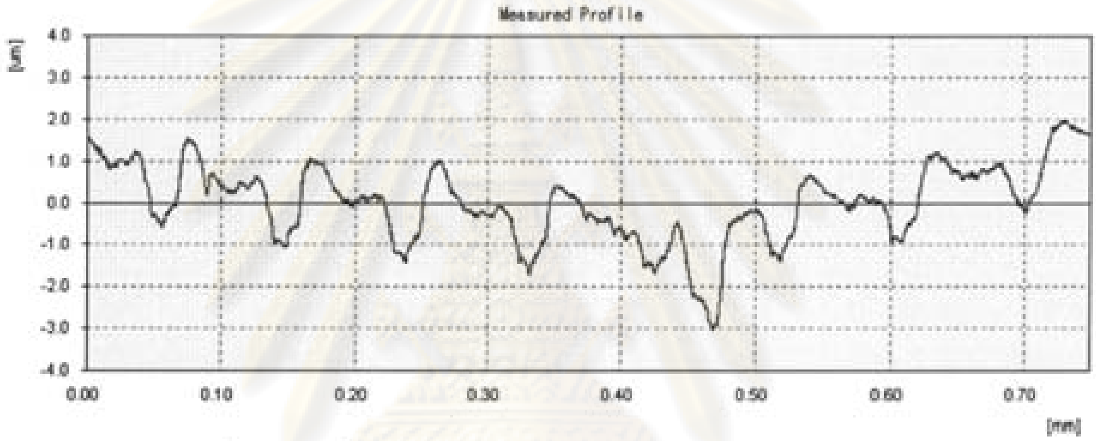


ภาพที่ ข.3 Ra เริ่มต้น 0.42 μm

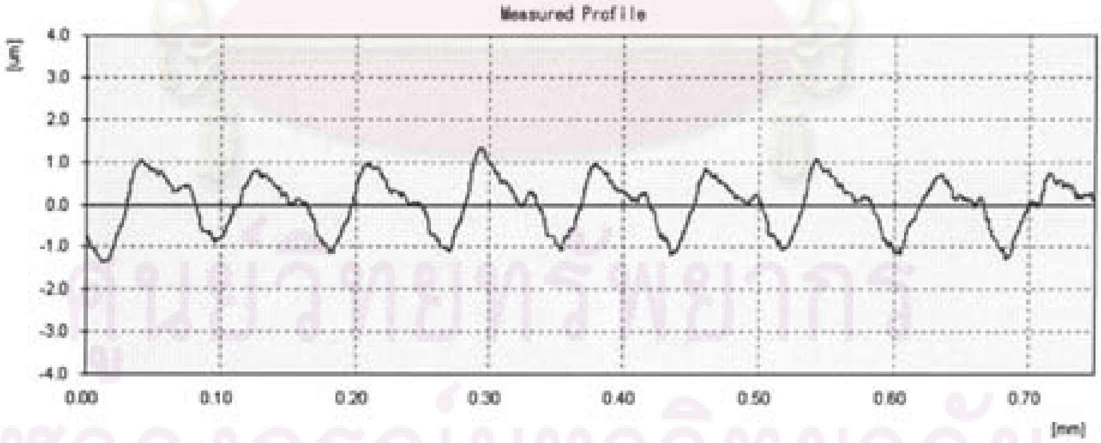
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข.4 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 20 N

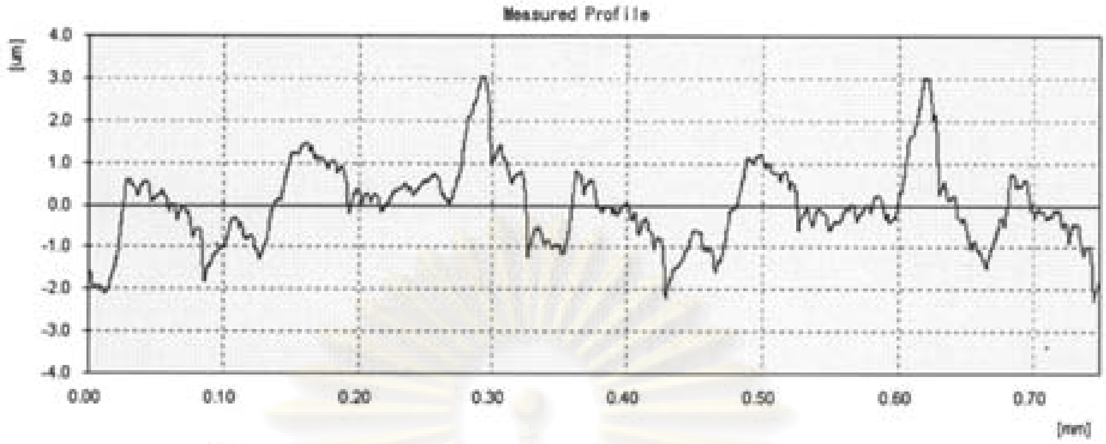


ภาพที่ ข.5 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 30 N

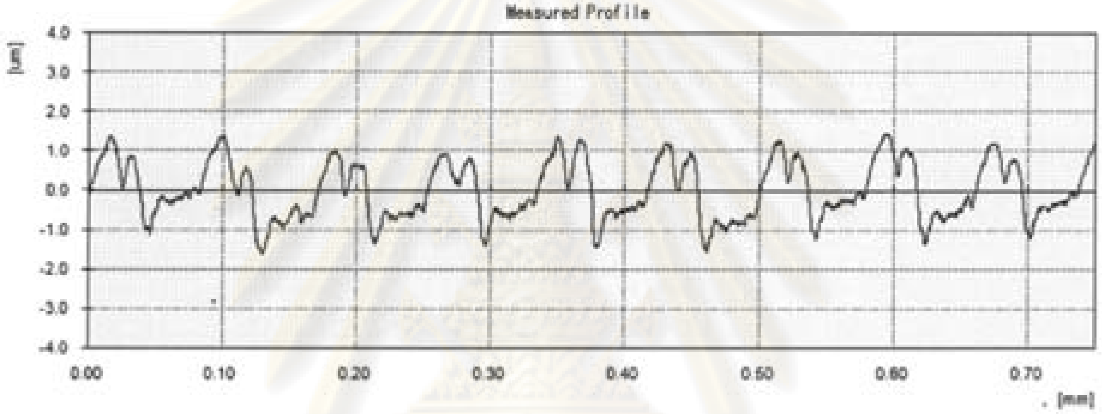


ภาพที่ ข.6 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 40 N

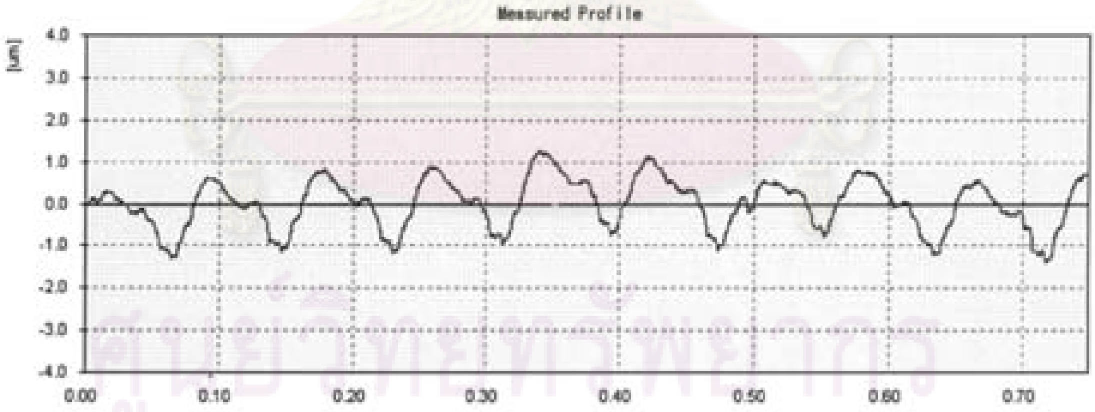
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข.7 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 50 N

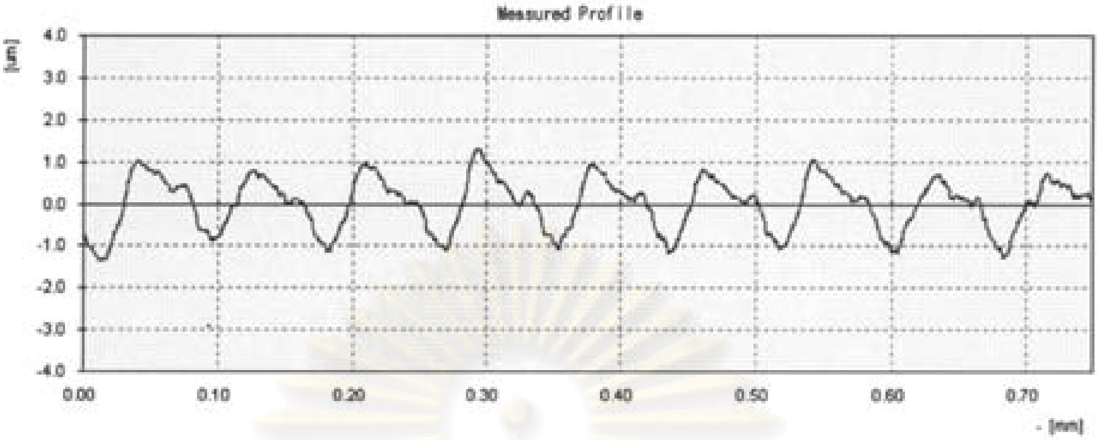


ภาพที่ ข.8 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 100 μm ไม่มีแรงกด

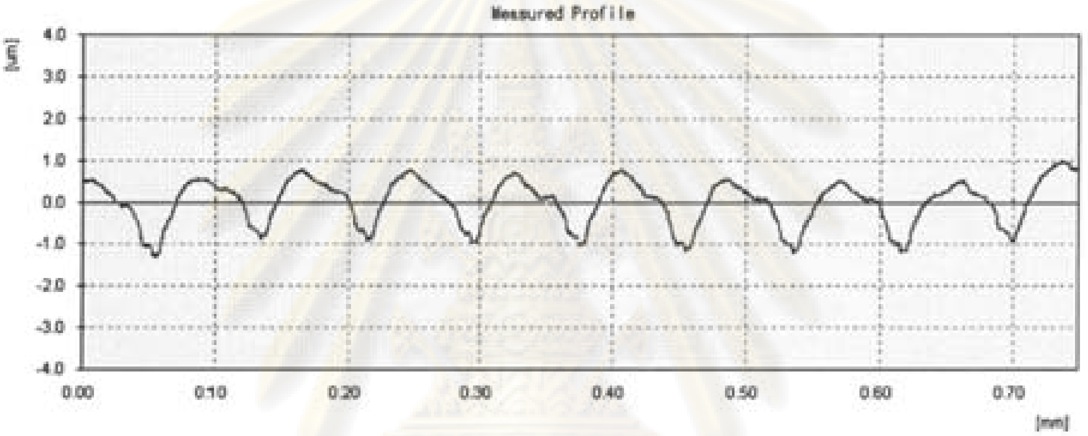


ภาพที่ ข.9 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 20 N

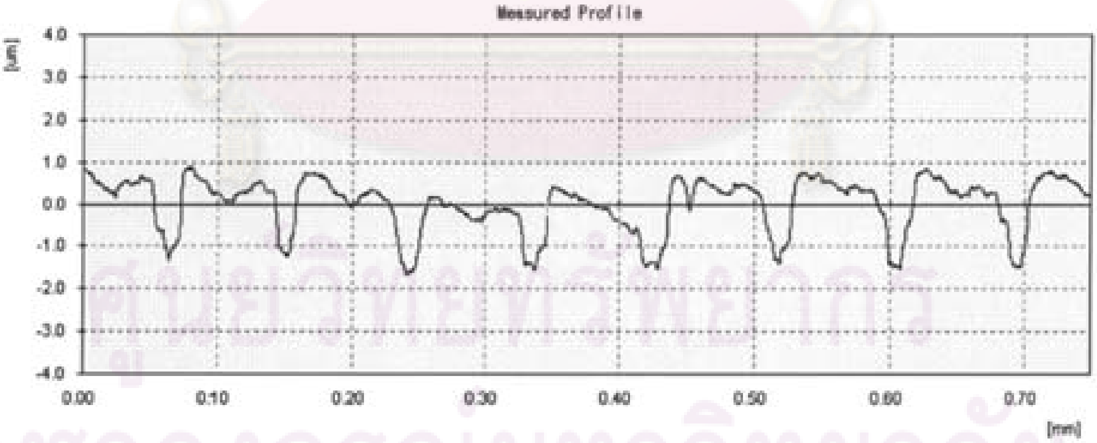
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข.10 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 30 N

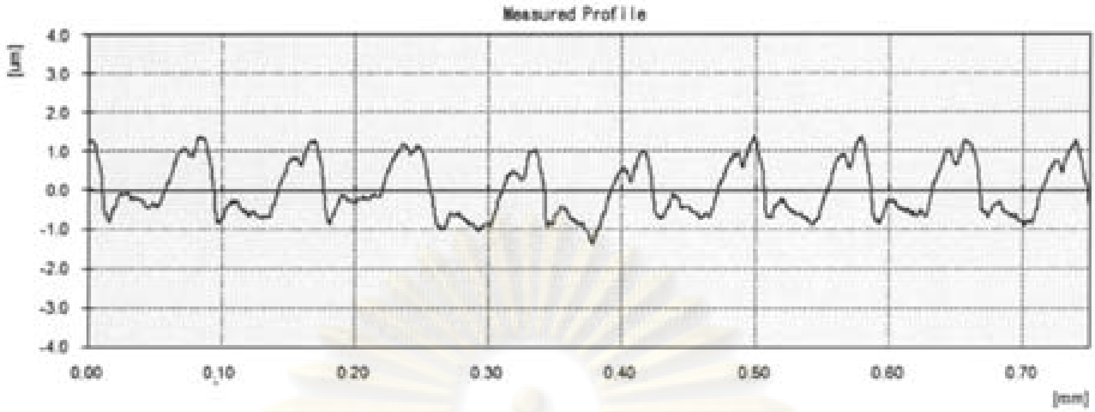


ภาพที่ ข.11 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 40 N

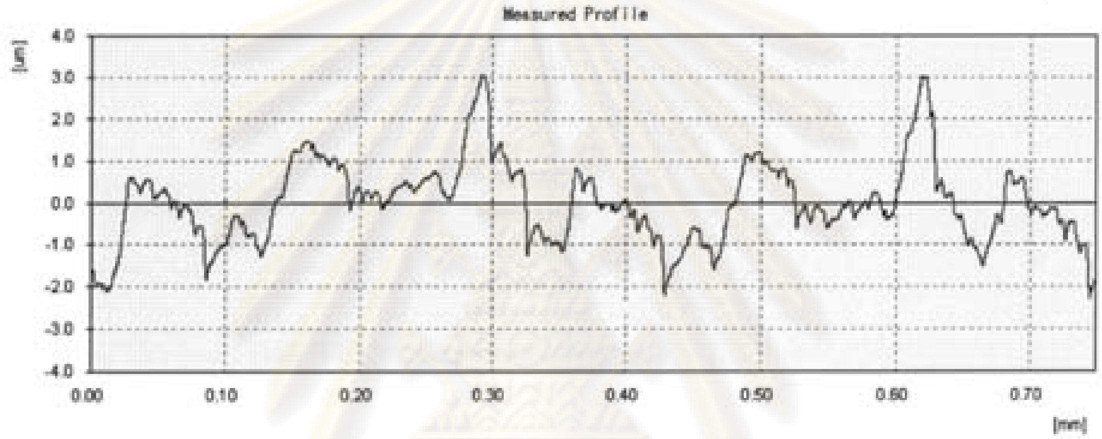


ภาพที่ ข.12 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 50 N

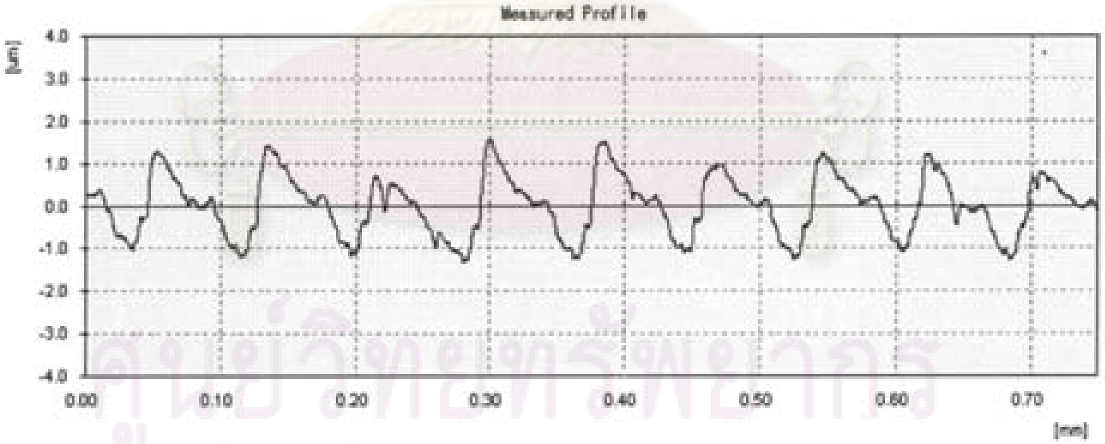
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข.13 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 60 μm ไม่มีแรงกด

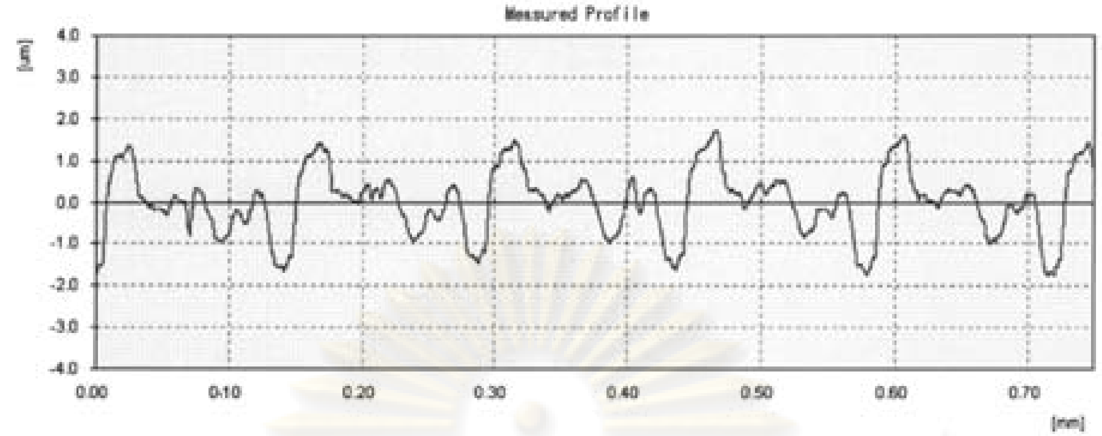


ภาพที่ ข.14 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 20 N

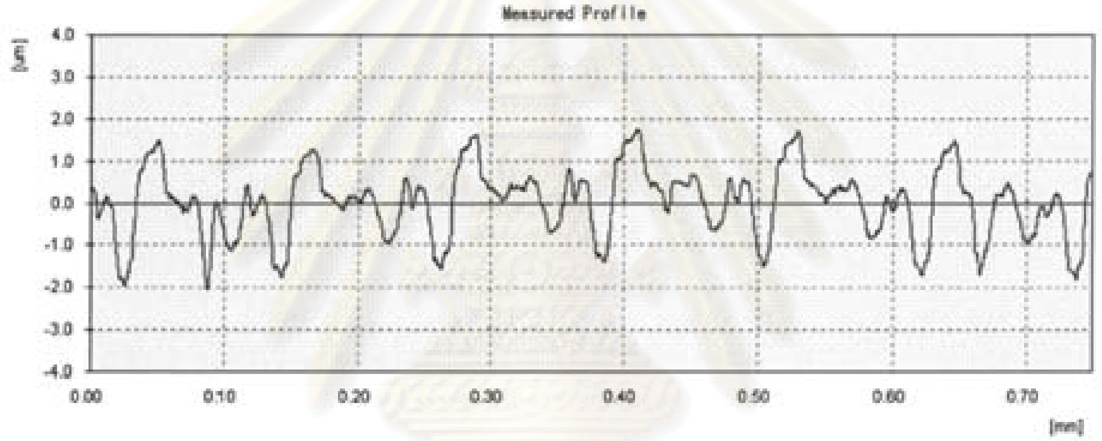


ภาพที่ ข.15 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 30 N

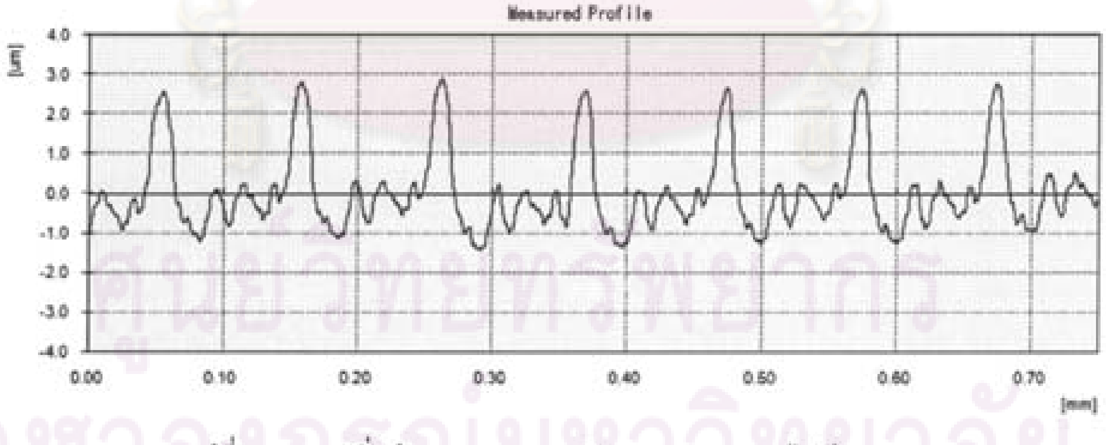
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข.16 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 40 N

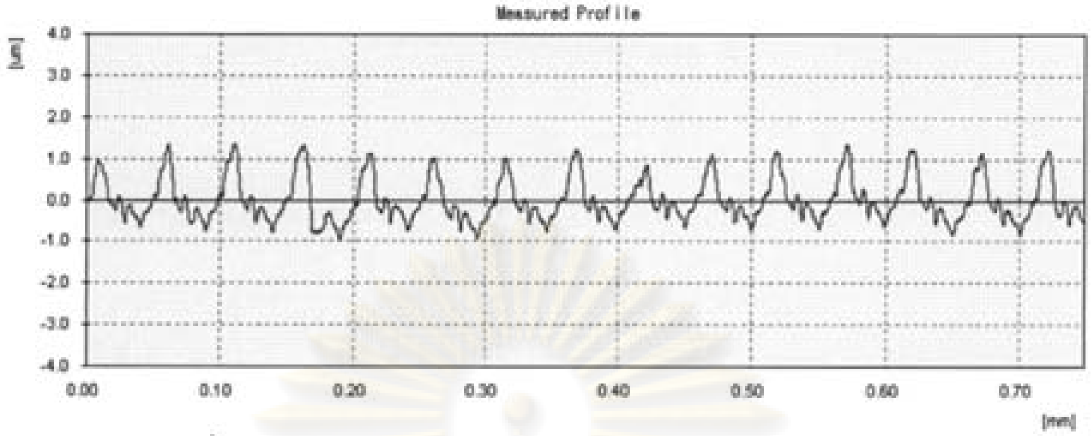


ภาพที่ ข.17 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 50 N

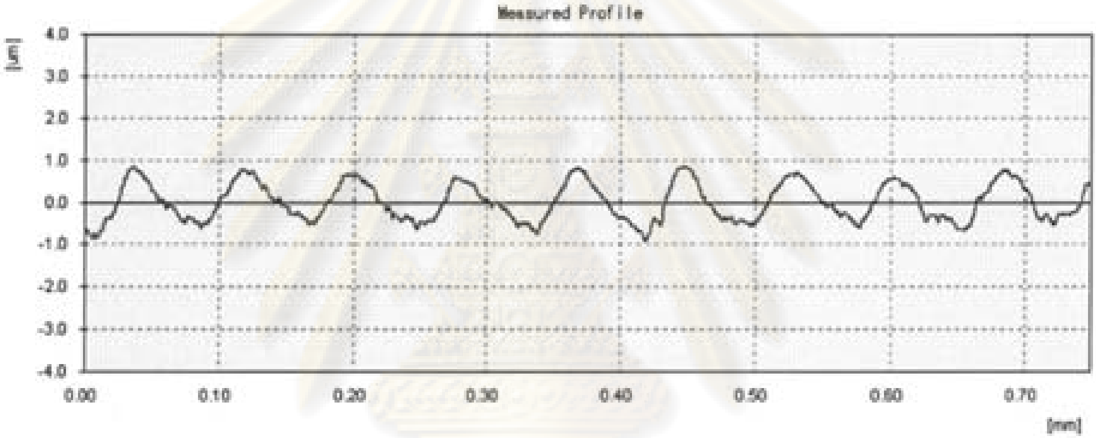


ภาพที่ ข.18 Ra เริ่มต้น 0.85 μm ผงขัดขนาด 35 μm ไม่มีแรงกด

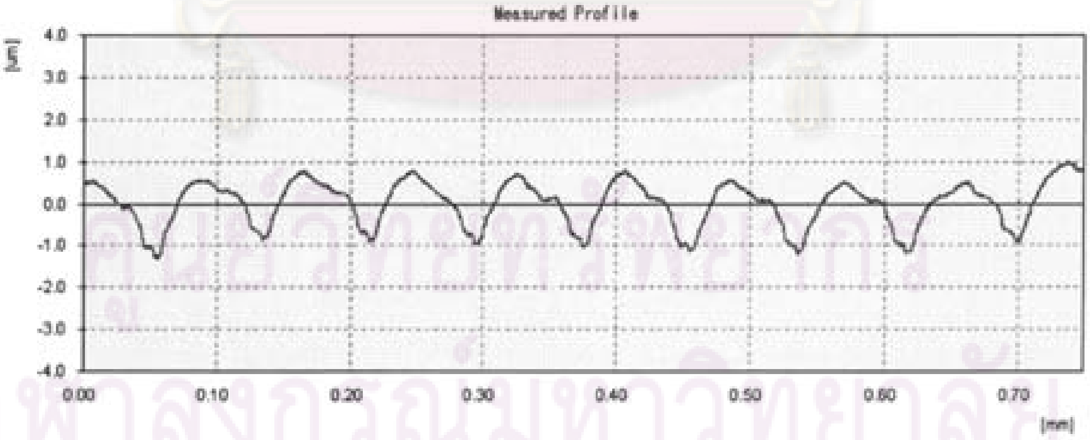
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข.19 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 20 N

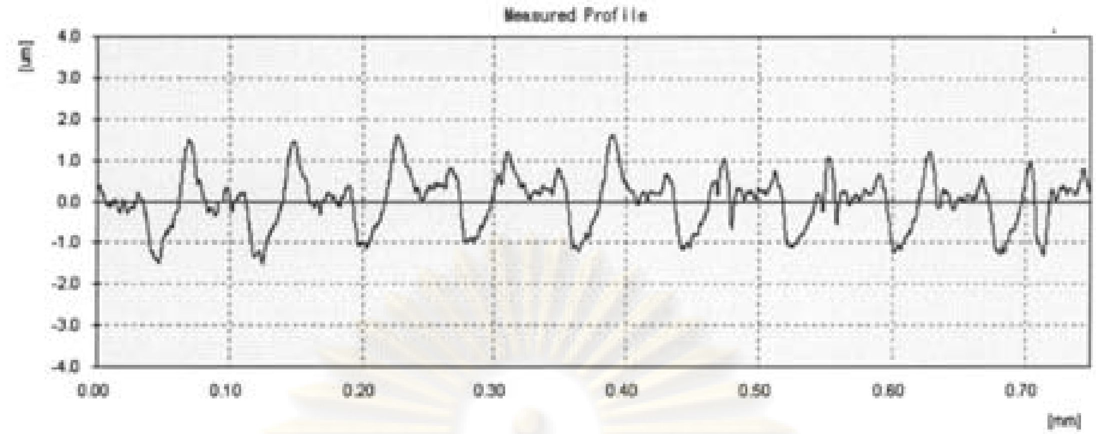


ภาพที่ ข.20 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 30 N

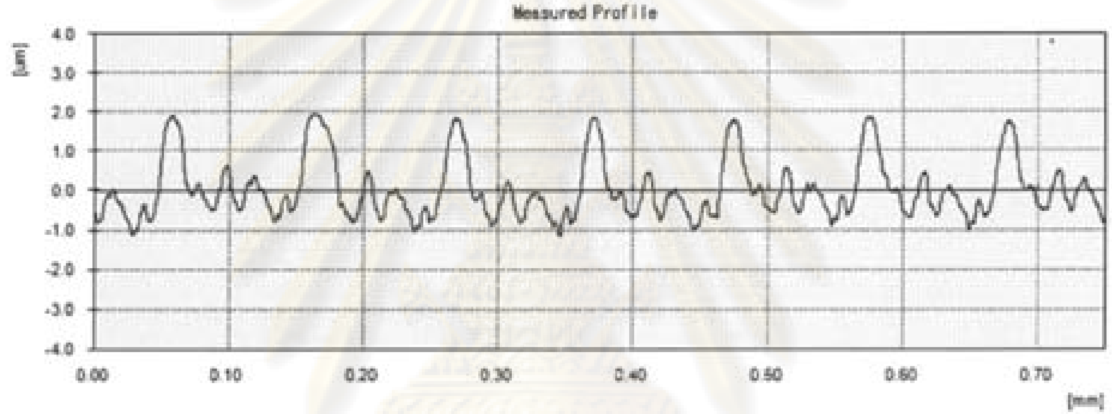


ภาพที่ ข.21 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 40 N

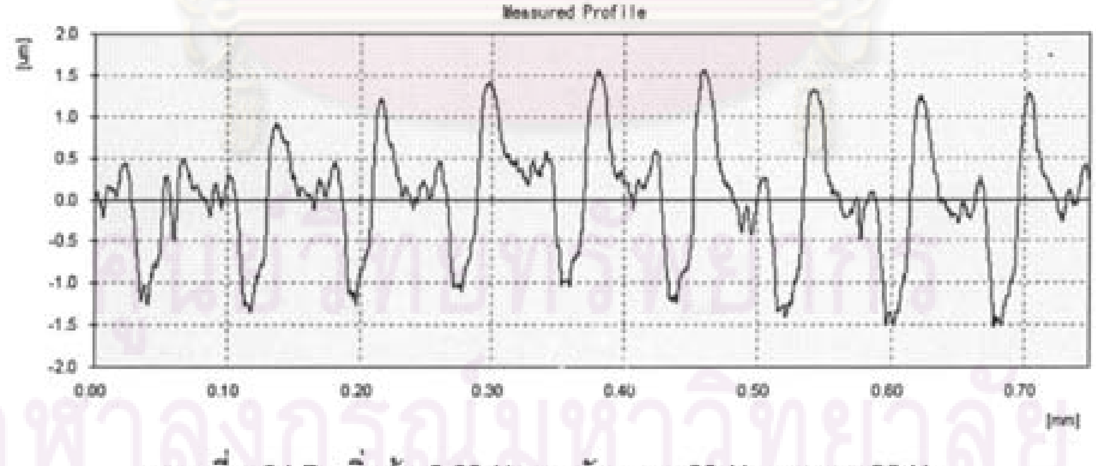
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข.22 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 50 N

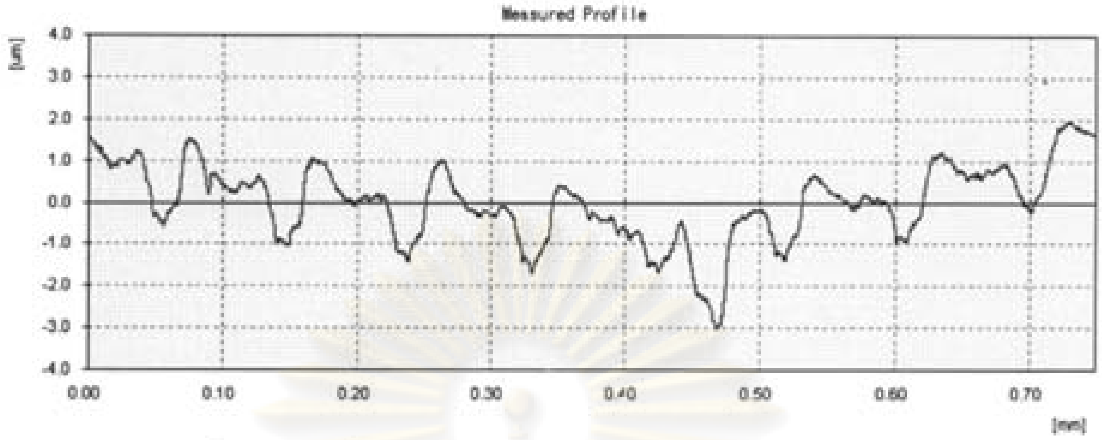


ภาพที่ ข.23 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 100 μm ไม่มีแรงกด

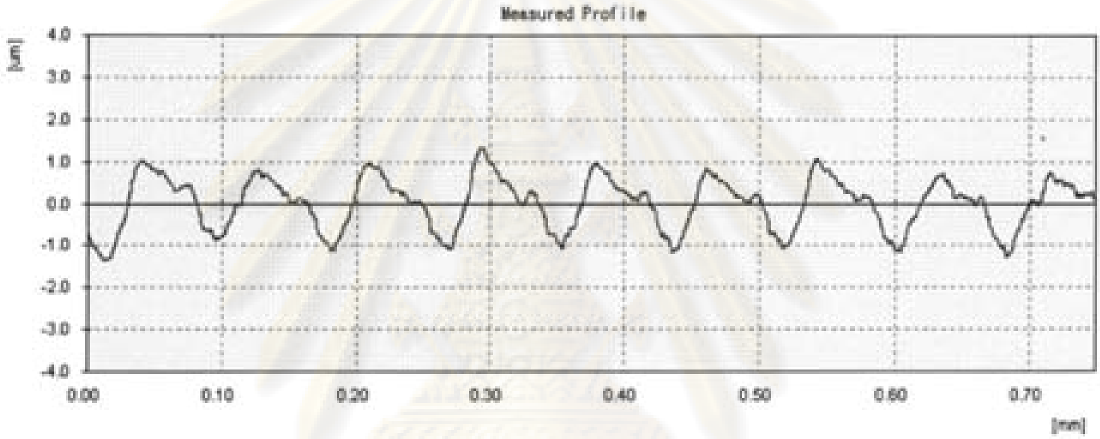


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

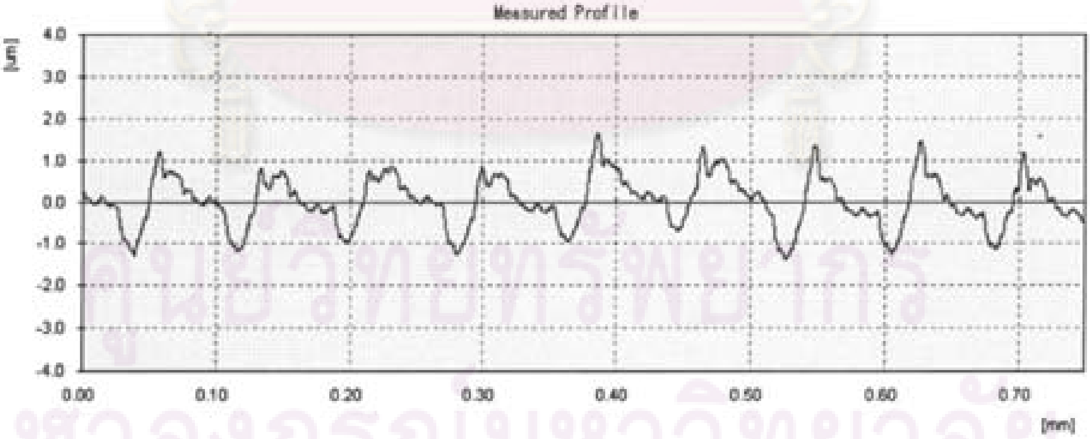
ภาพที่ ข.24 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 20 N



ภาพที่ ข.25 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 30 N

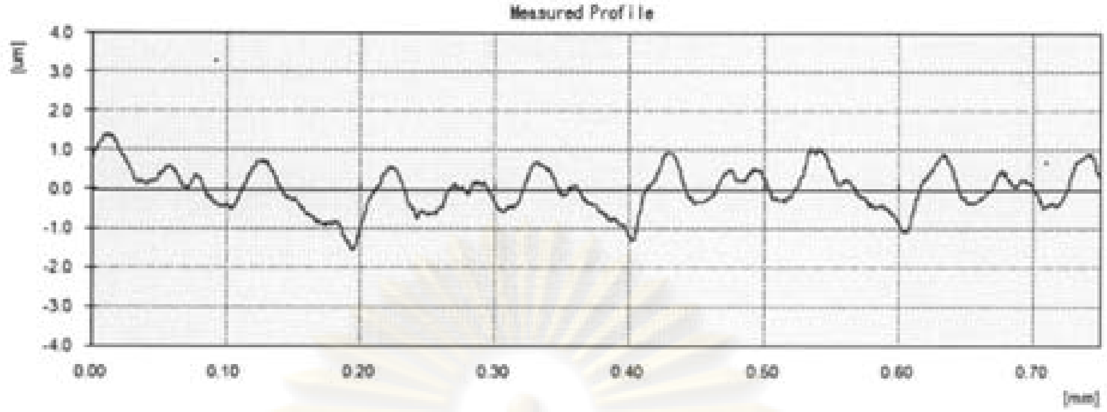


ภาพที่ ข.26 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 40 N

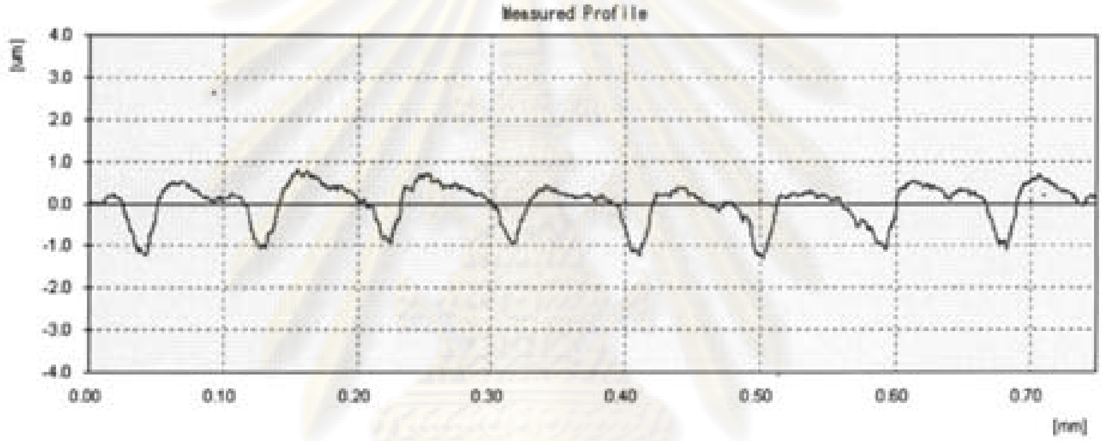


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

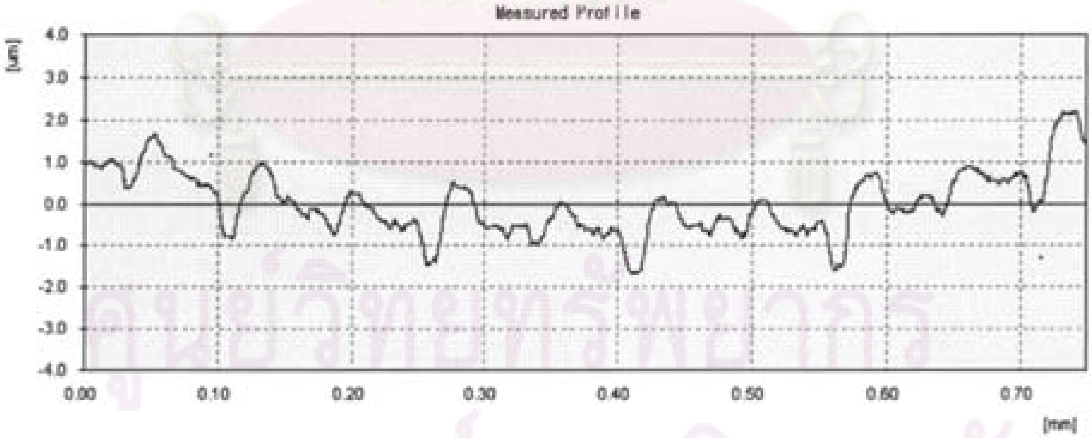
ภาพที่ ข.27 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 50 N



ภาพที่ ข.28 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 60 μm ไม่มีแรงกด

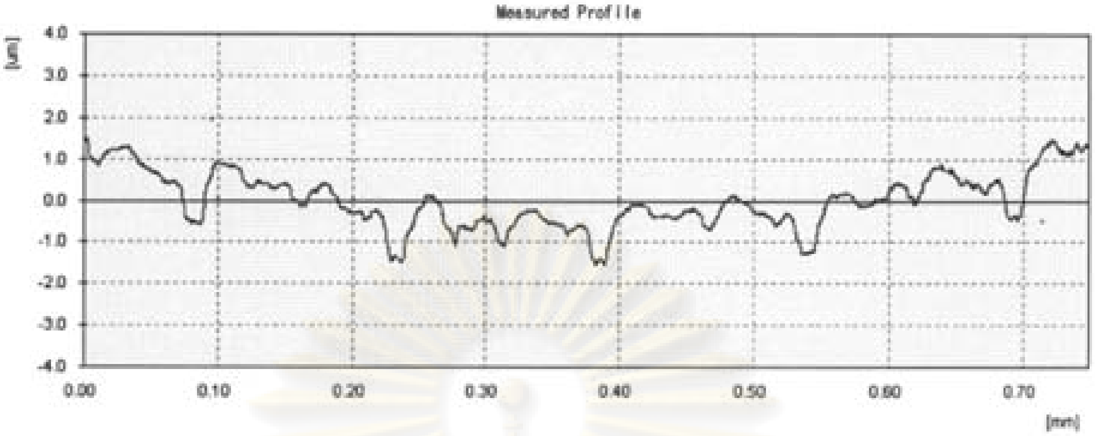


ภาพที่ ข.29 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 20 N

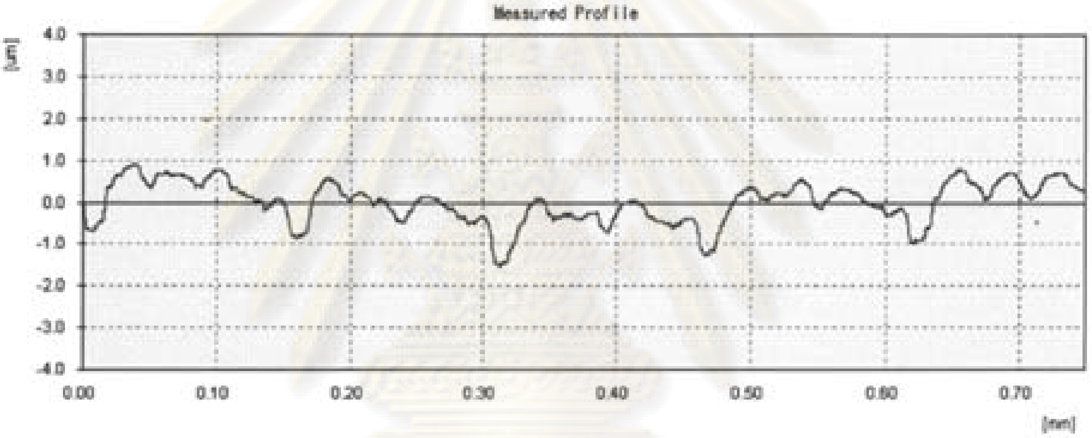


ภาพที่ ข.30 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 30 N

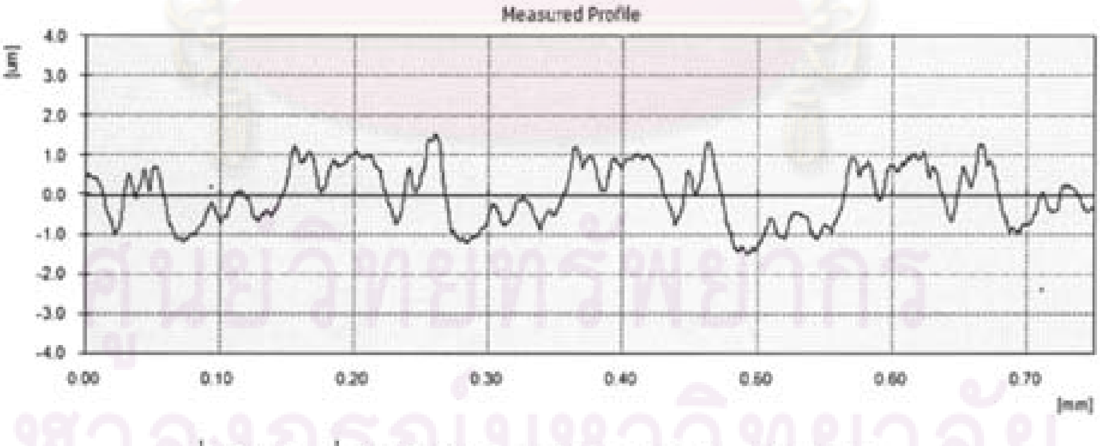
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข.31 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 40 N

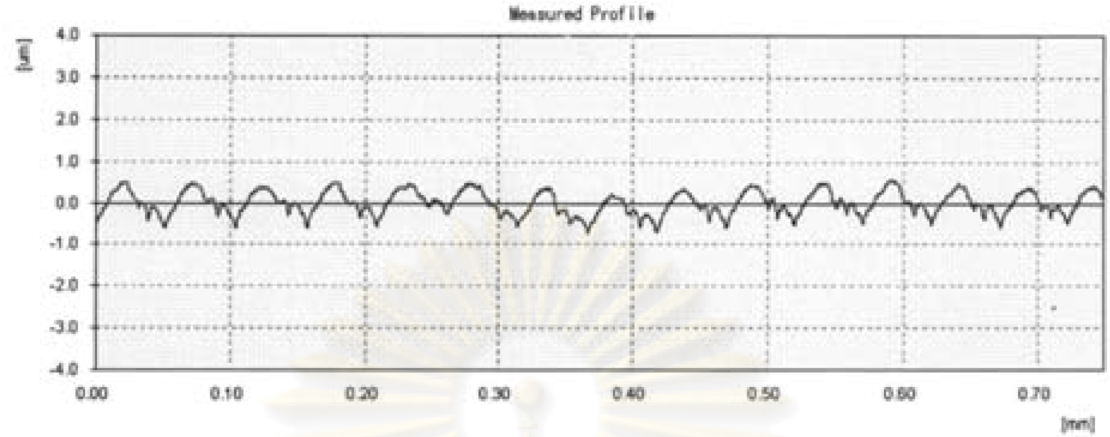


ภาพที่ ข.32 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 50 N

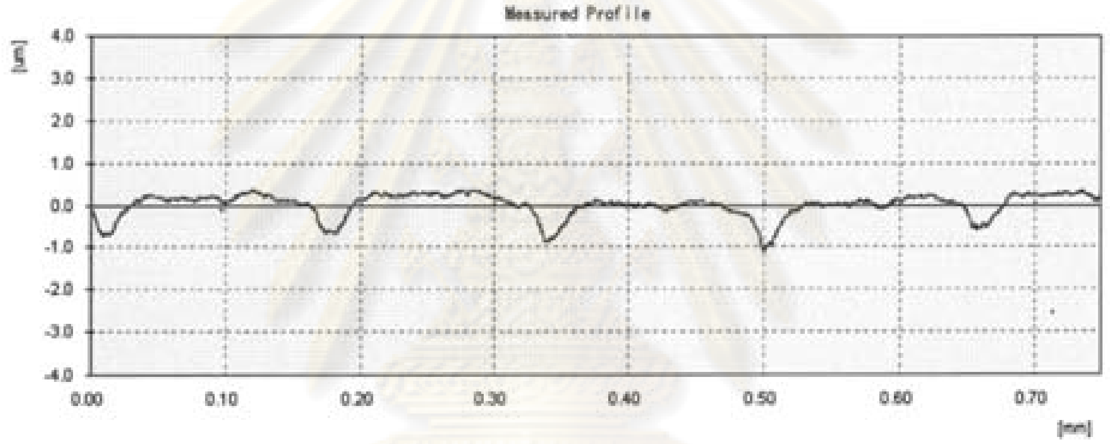


ที่ ข.33 Ra เริ่มต้น 0.63 μm ผงขัดขนาด 35 μm ไม่มีแรงกด

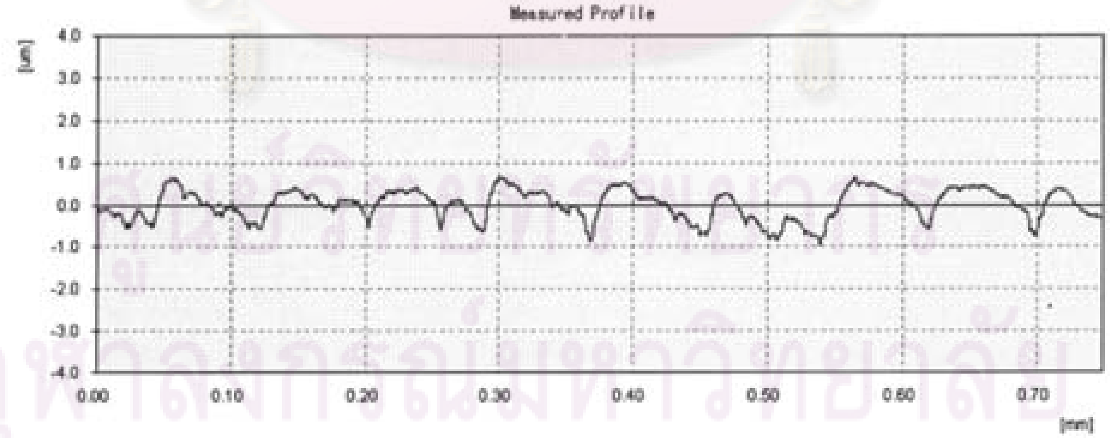
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข.34 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 20 N

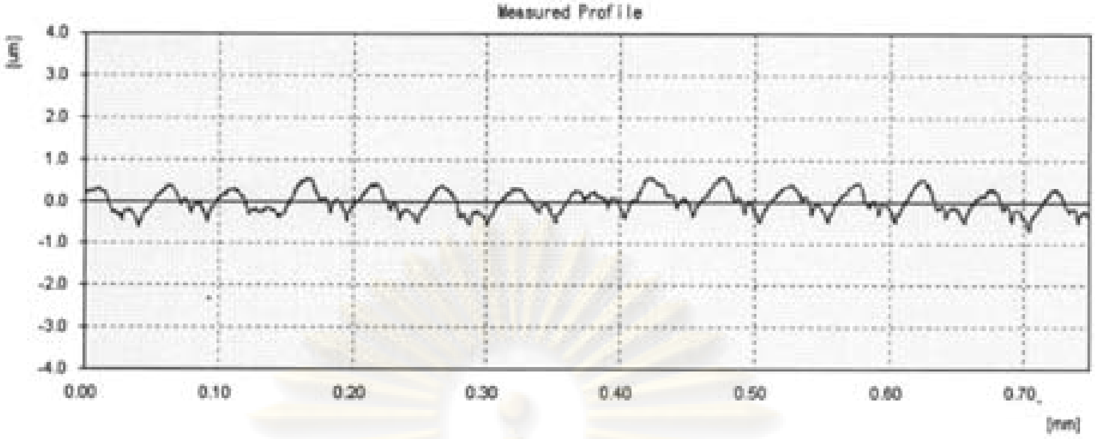


ภาพที่ ข.35 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 30 N

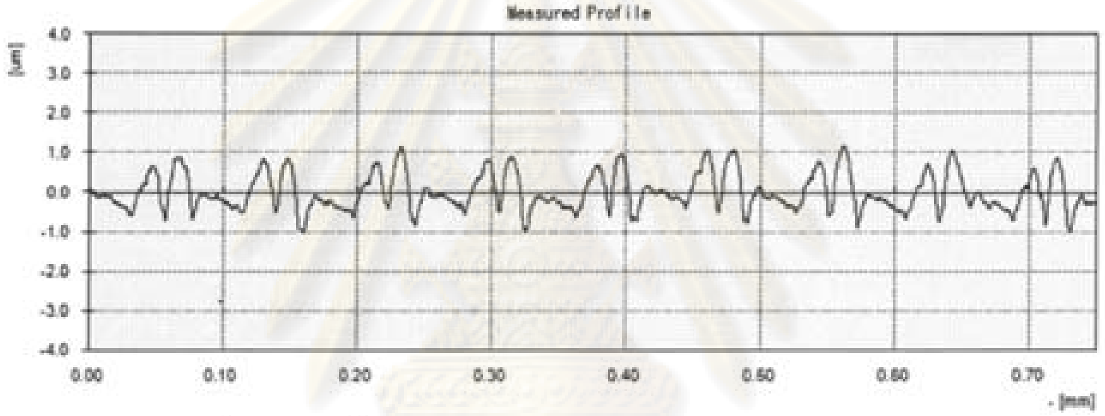


ภาพที่ ข.36 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 40 N

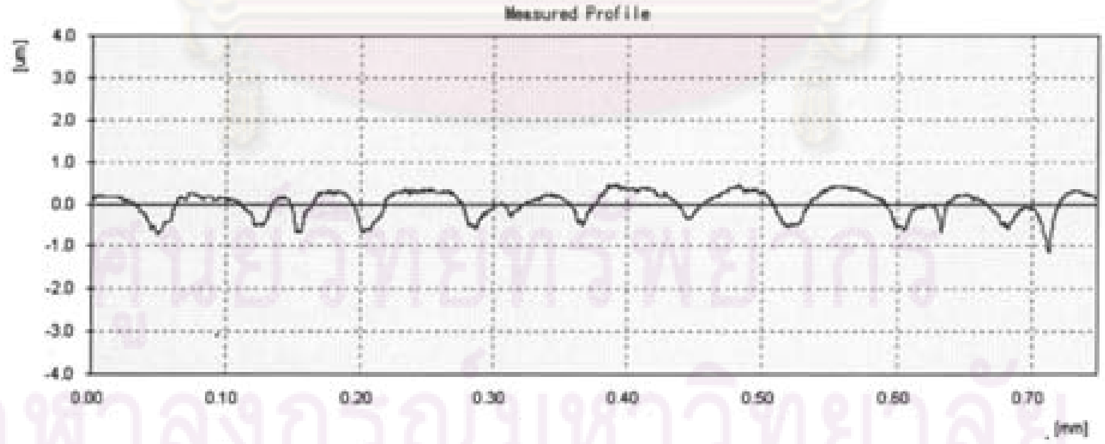
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข.37 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 100 μm แรงกด 50 N

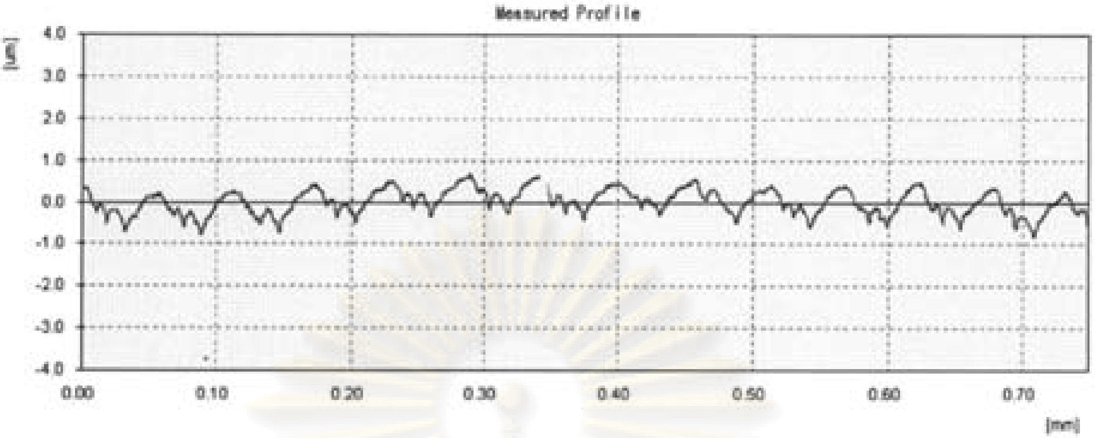


ภาพที่ ข.38 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 100 μm ไม่มีแรงกด

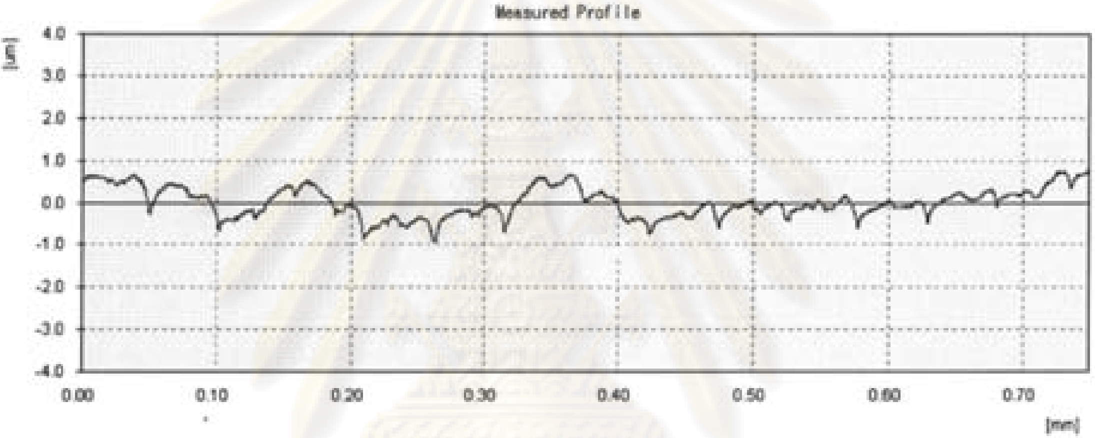


ภาพที่ ข.39 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 20 N

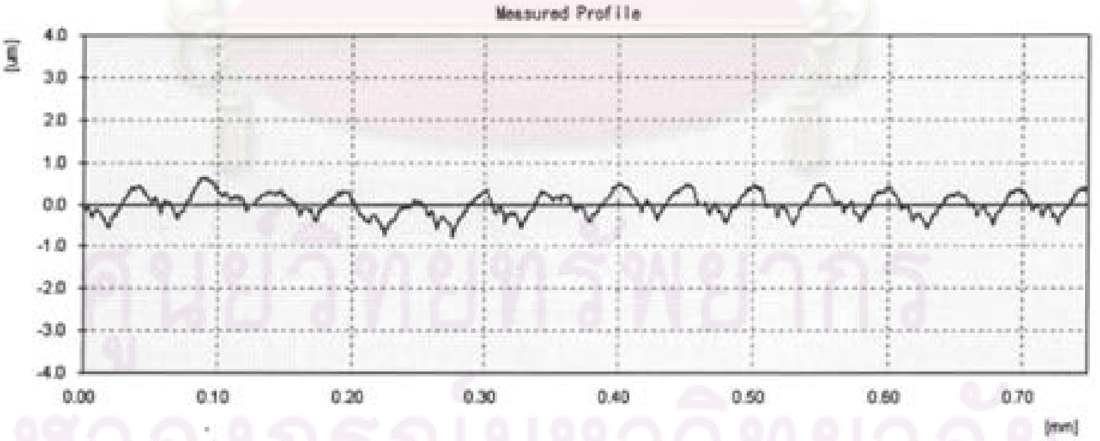
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข.40 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 30 N

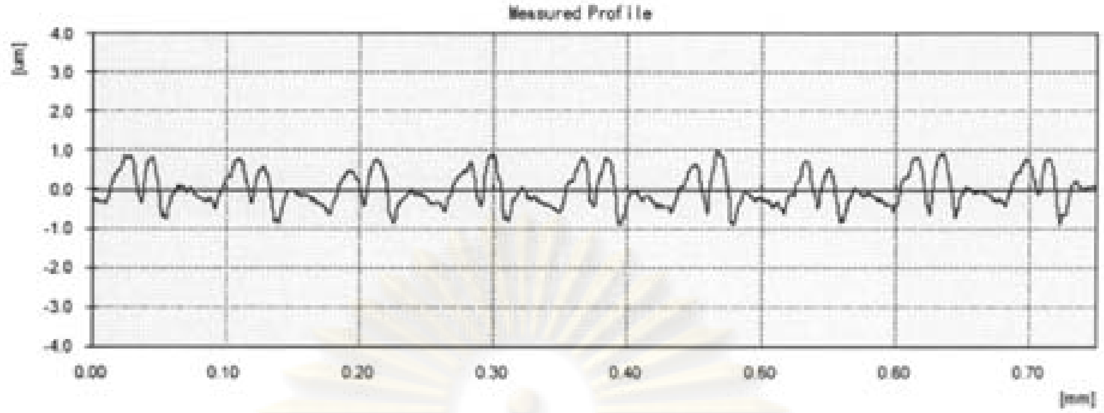


ภาพที่ ข.41 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 40 N

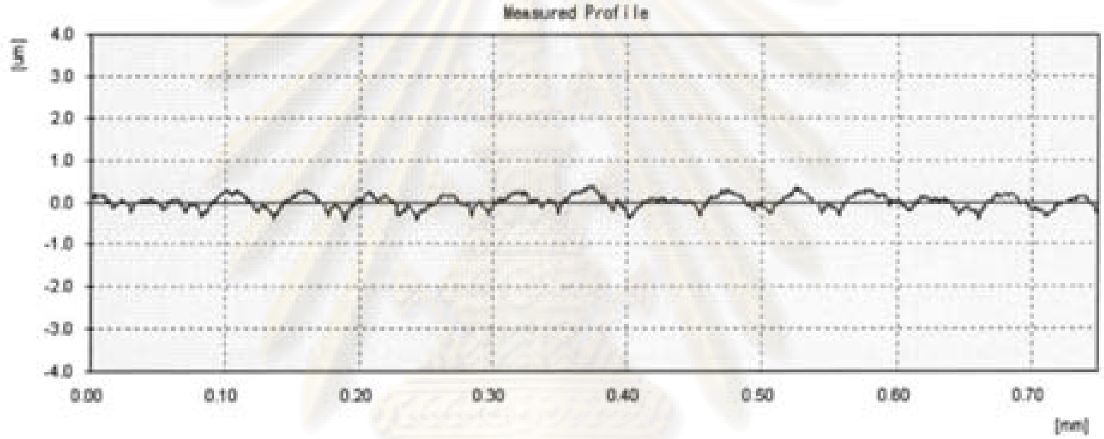


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

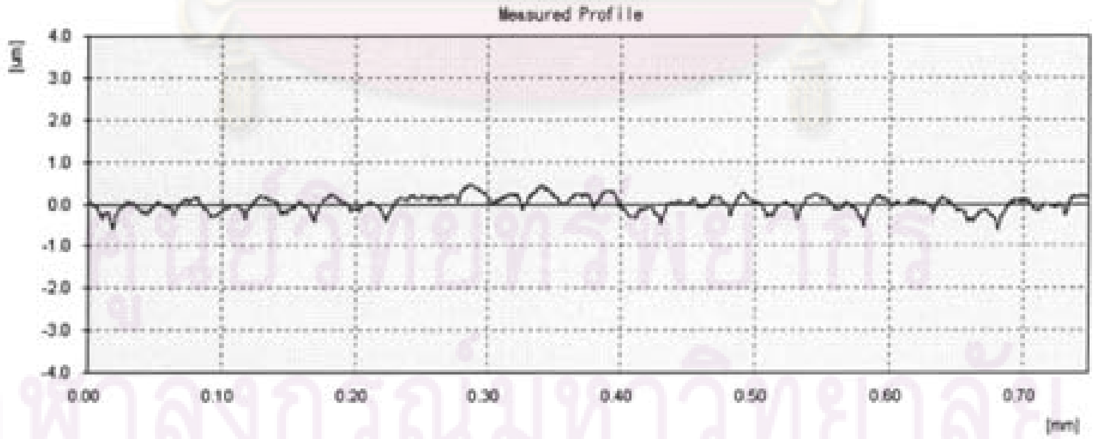
ภาพที่ ข.42 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 60 μm แรงกด 50 N



ภาพที่ ข.43 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 60 μm ไม่มีแรงกด

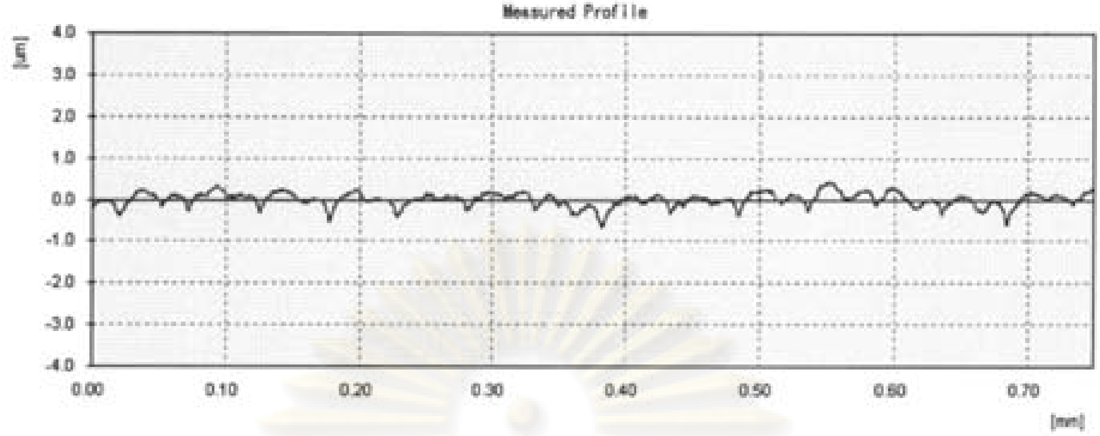


ภาพที่ ข.44 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 20 N

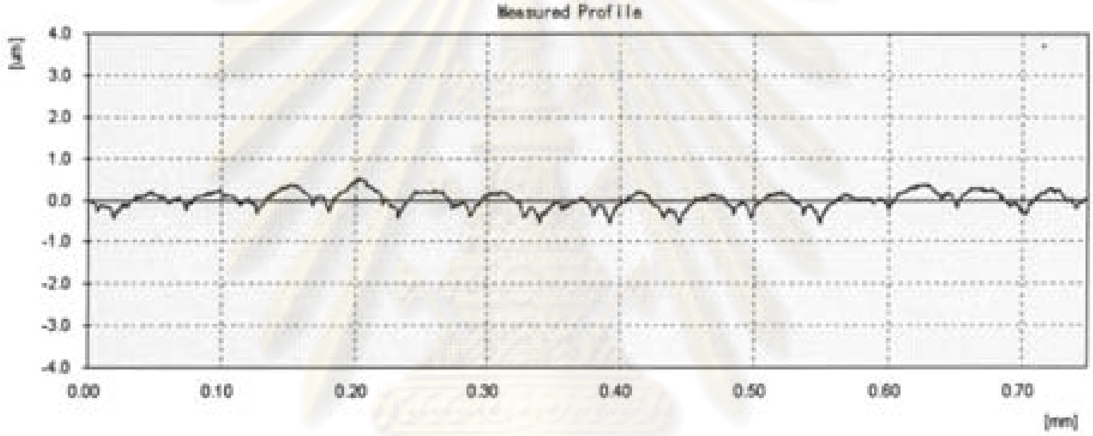


ภาพที่ ข.45 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 30 N

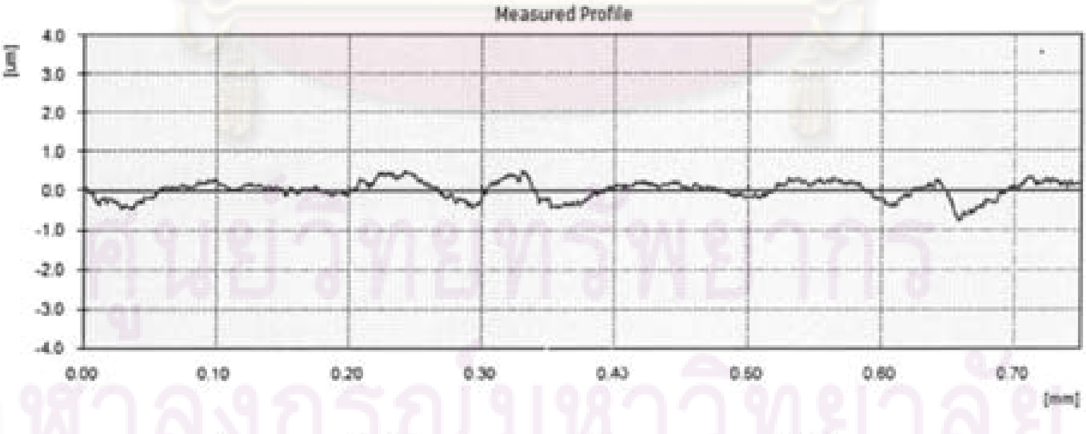
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ข.46 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 40 N



ภาพที่ ข.47 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 35 μm แรงกด 50 N

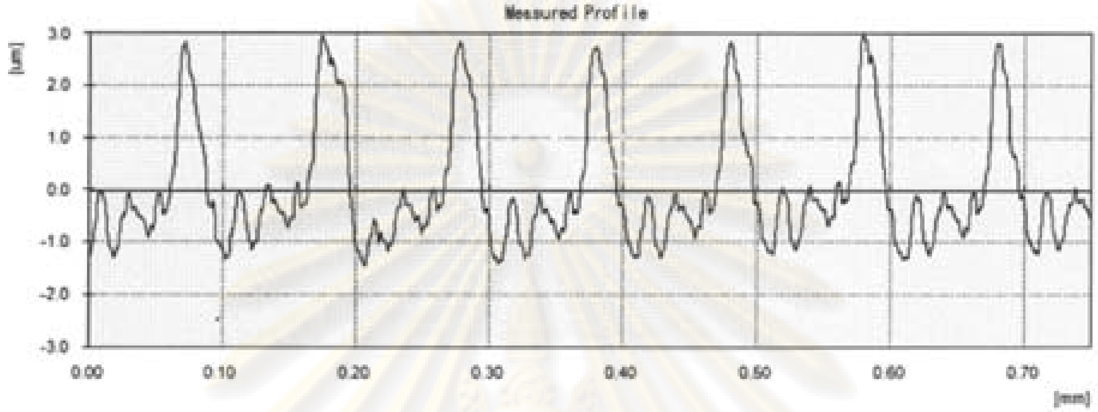


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

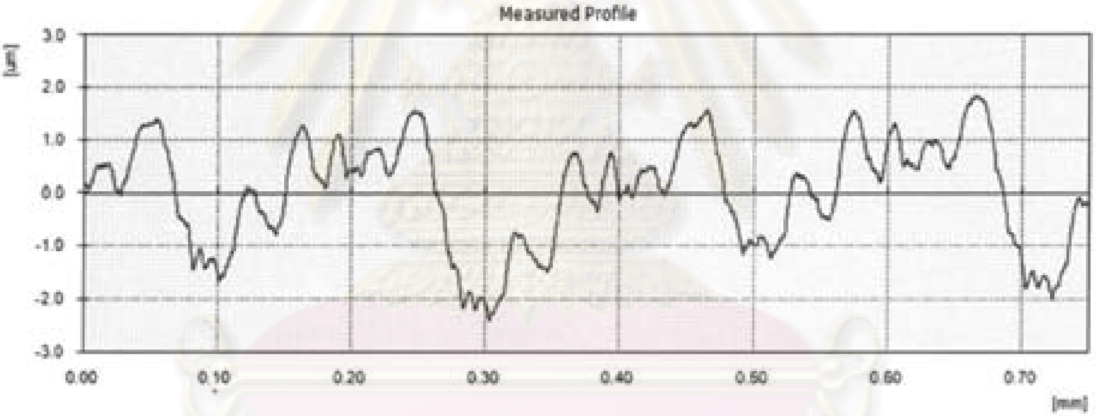
ภาพที่ ข.48 Ra เริ่มต้น 0.42 μm ผงขัดขนาด 35 μm ไม่มีแรงกด

ภาคผนวก ค

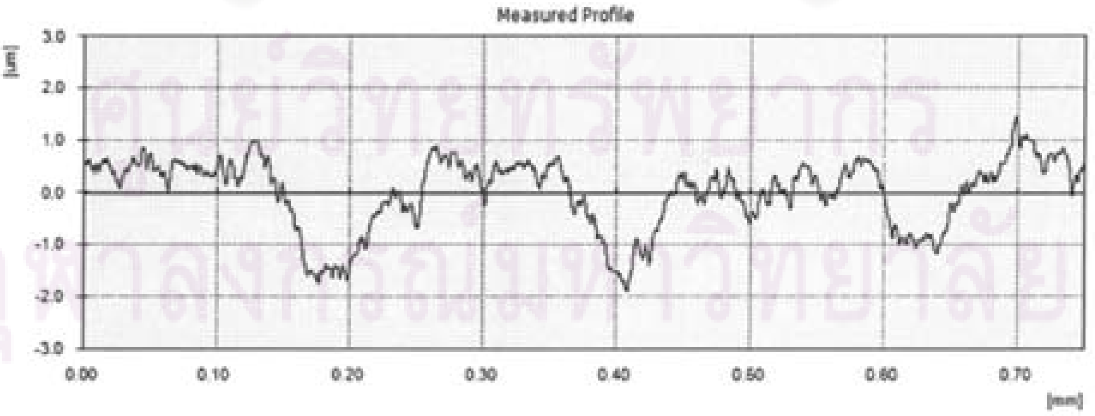
กราฟความหยาบผิวของการปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานด้วยการกักเก็บผงขัด



ภาพที่ ค.1 Ra เริ่มต้น 0.79 μm

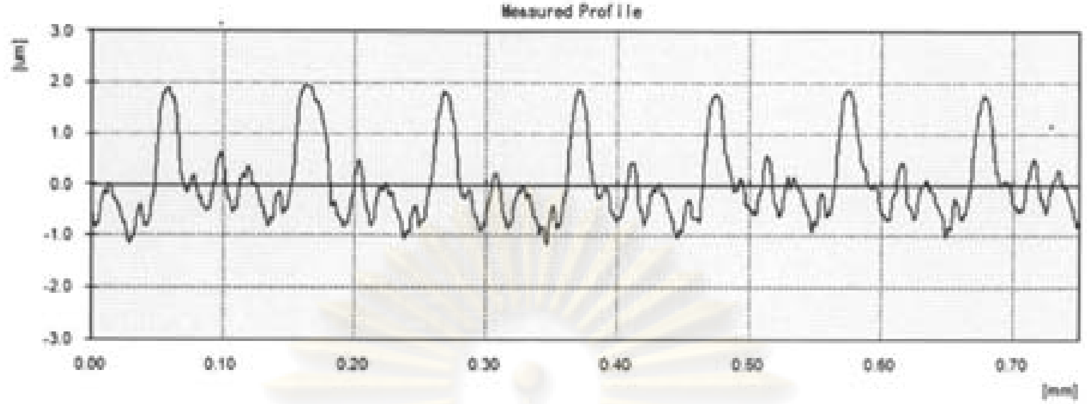


ภาพที่ ค.2 Ra เริ่มต้น 0.67 μm

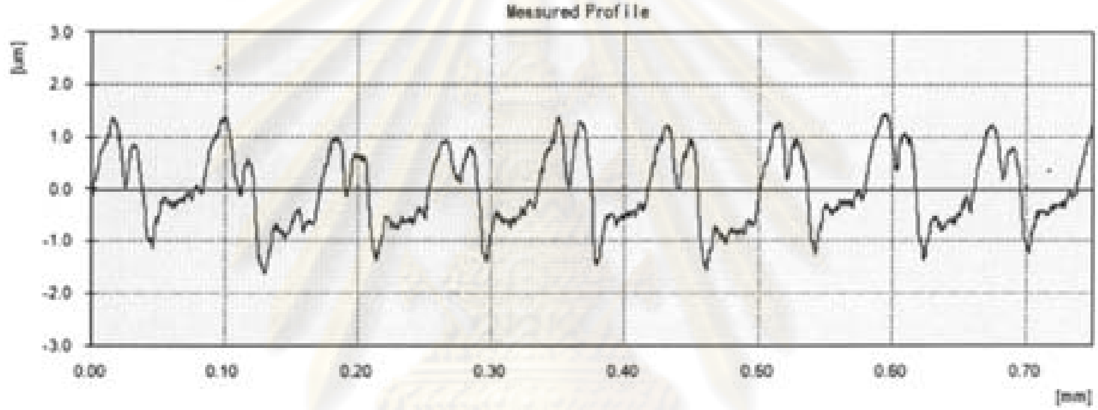


ภาพที่ ค.3 Ra เริ่มต้น 0.44 μm

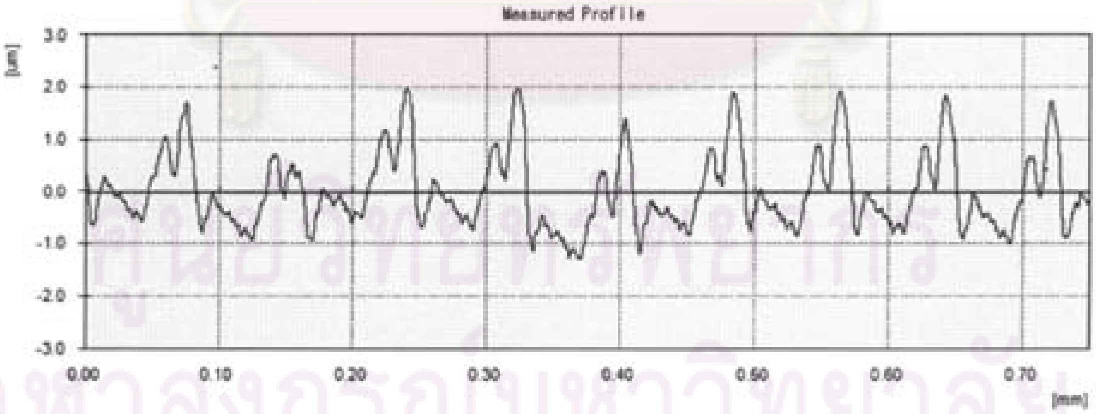
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ค.4 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1

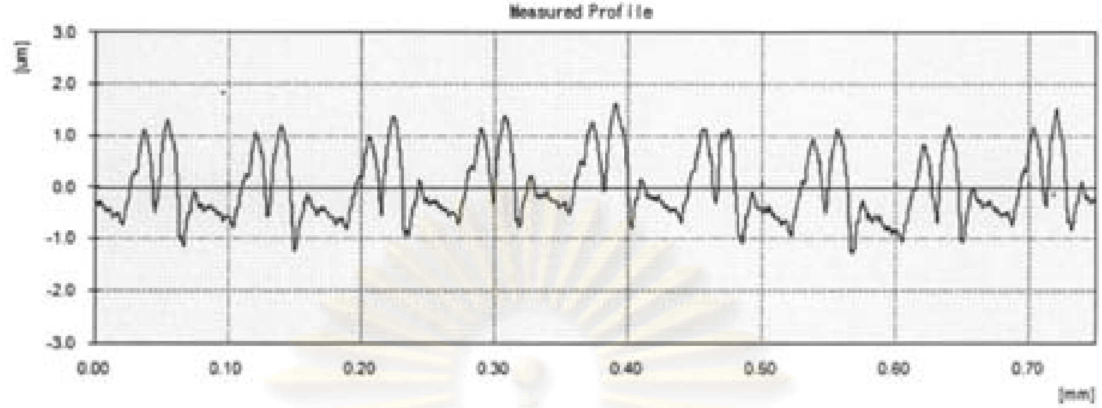


ภาพที่ ค.5 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2

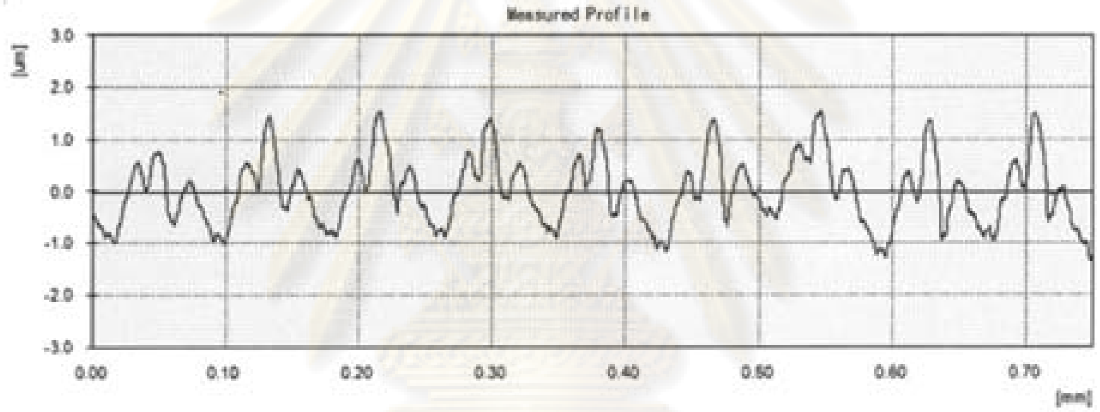


ภาพที่ ค.6 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3

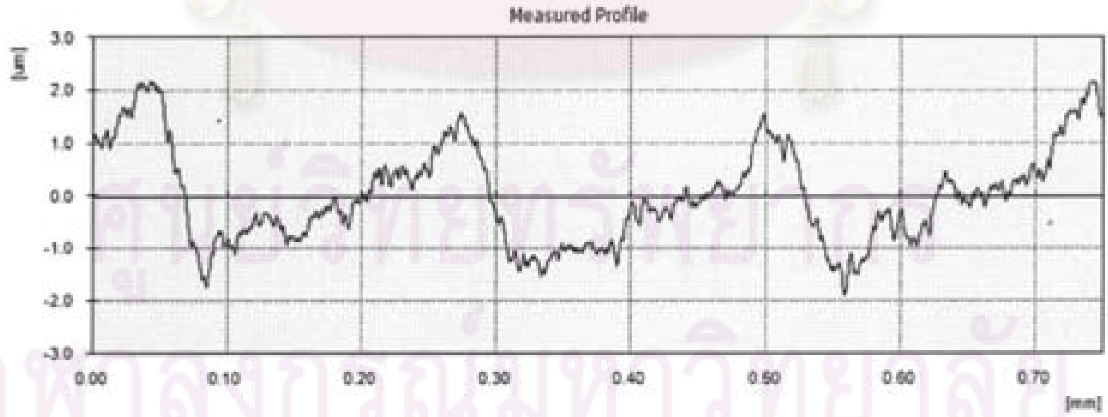
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ค.7 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1

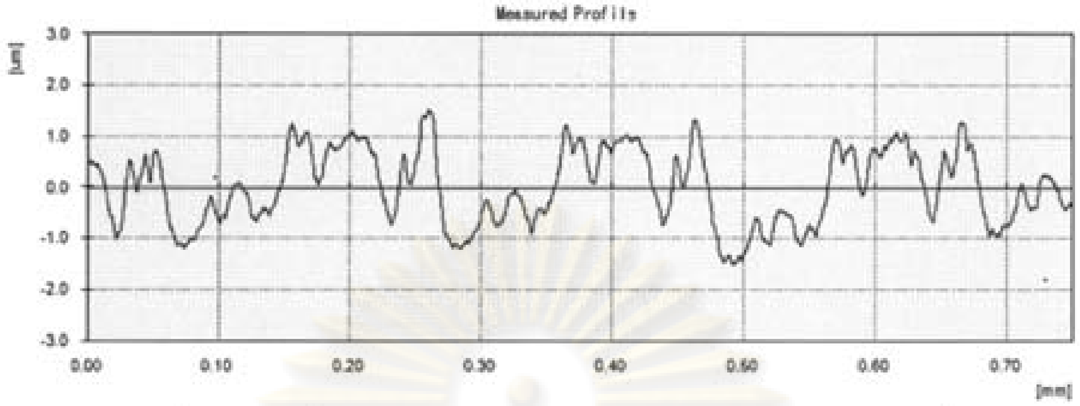


ภาพที่ ค.8 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2

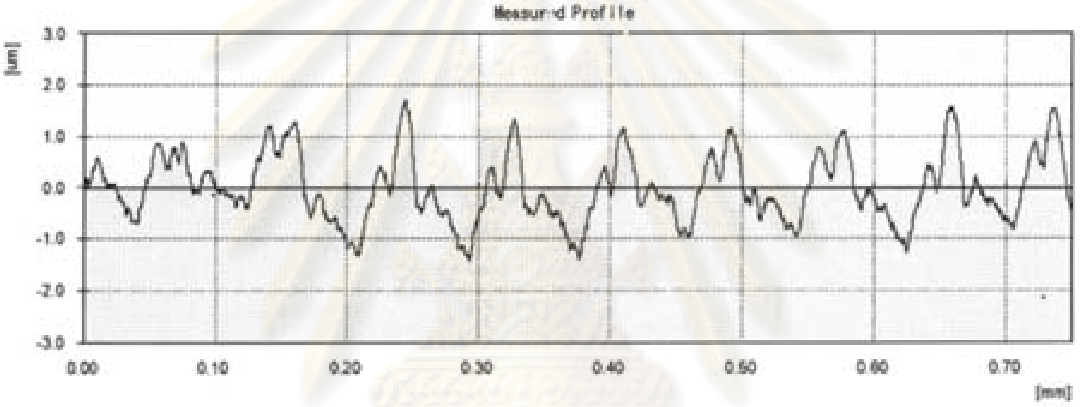


ภาพที่ ค.9 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3

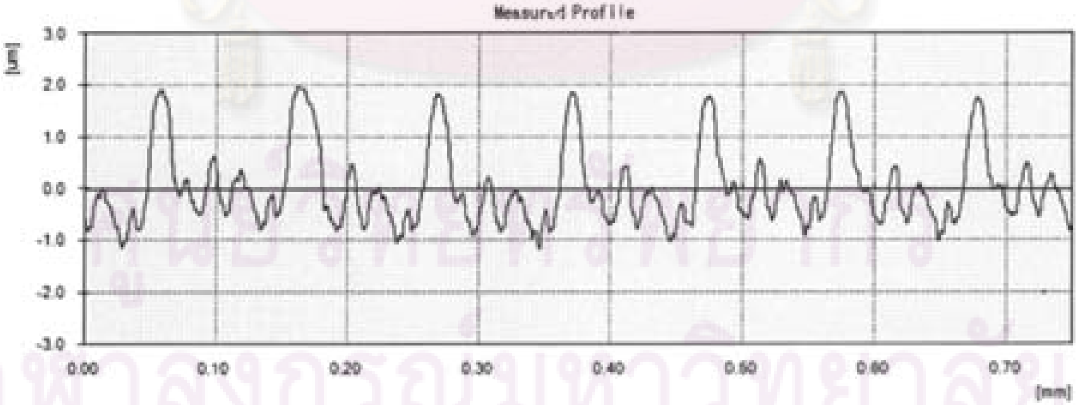
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ค.10 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1

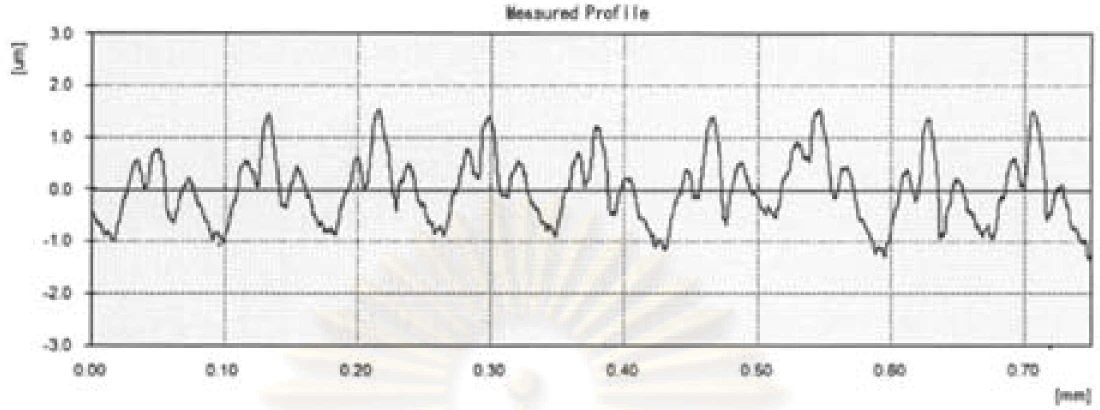


ภาพที่ ค.11 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2

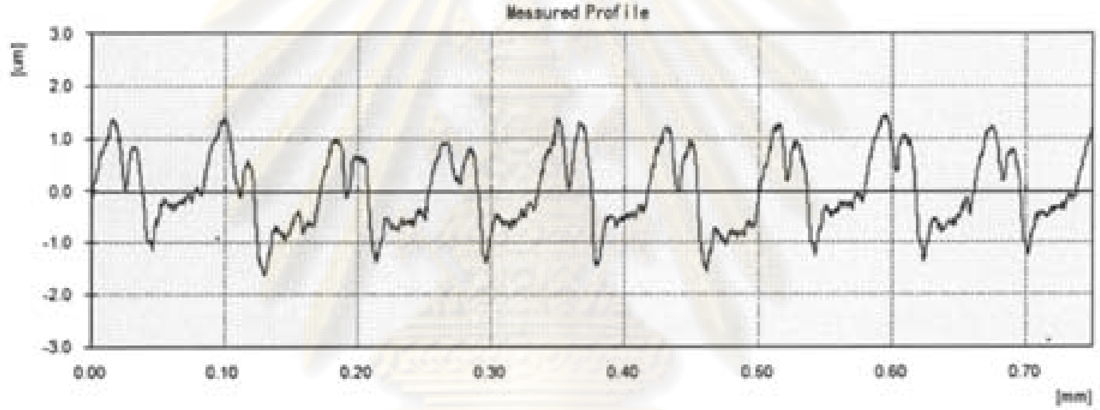


ภาพที่ ค.12 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3

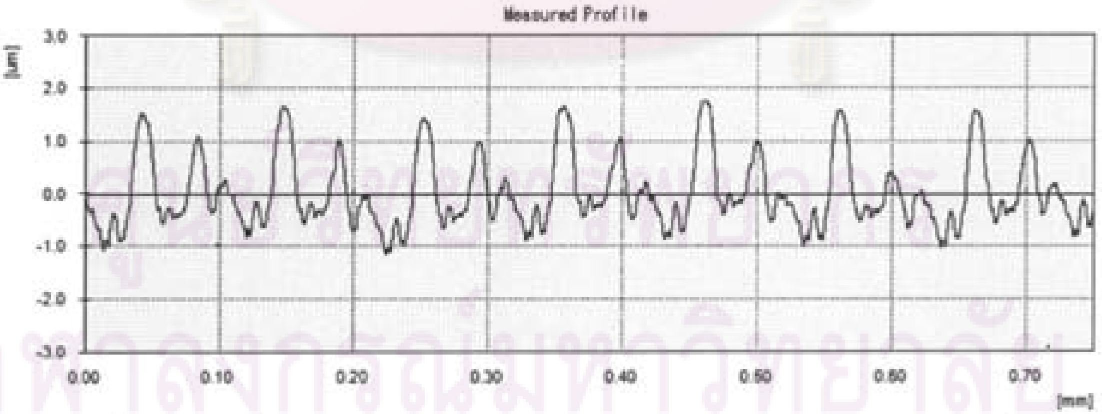
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ค.13 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1

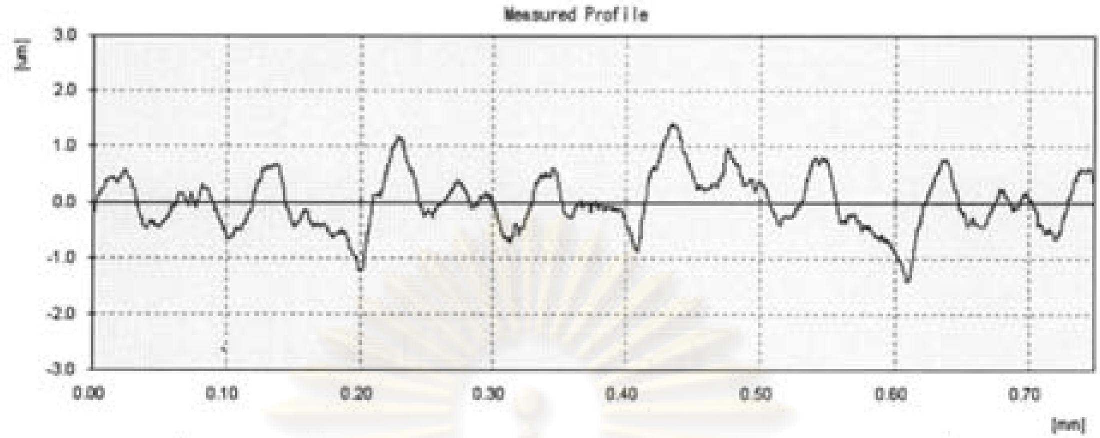


ภาพที่ ค.14 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2

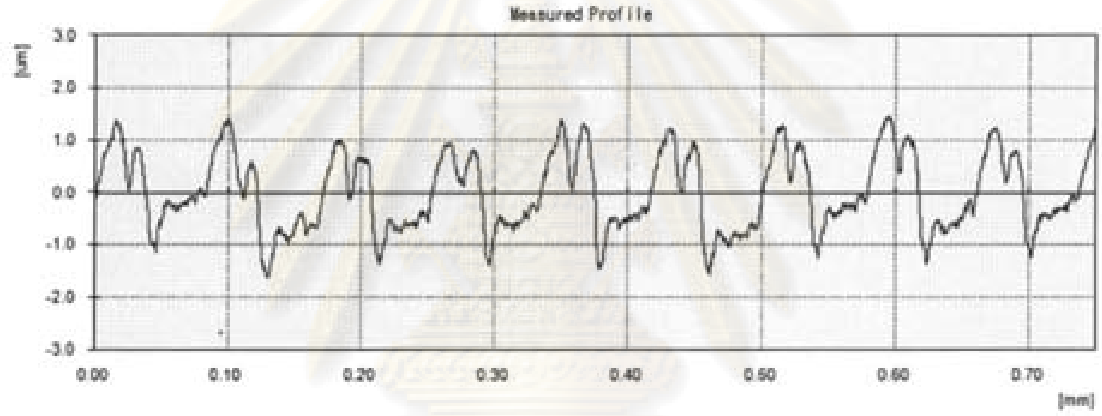


ภาพที่ ค.15 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3

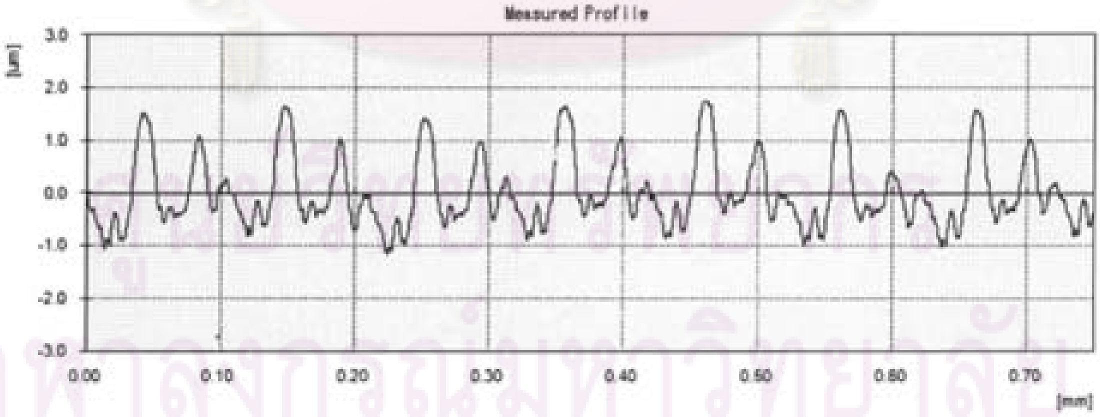
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ค.16 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1

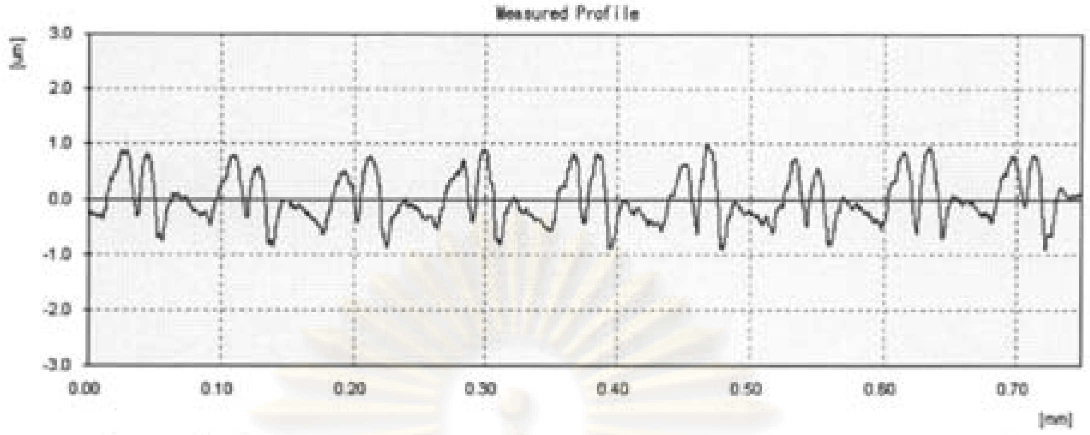


ภาพที่ ค.17 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2

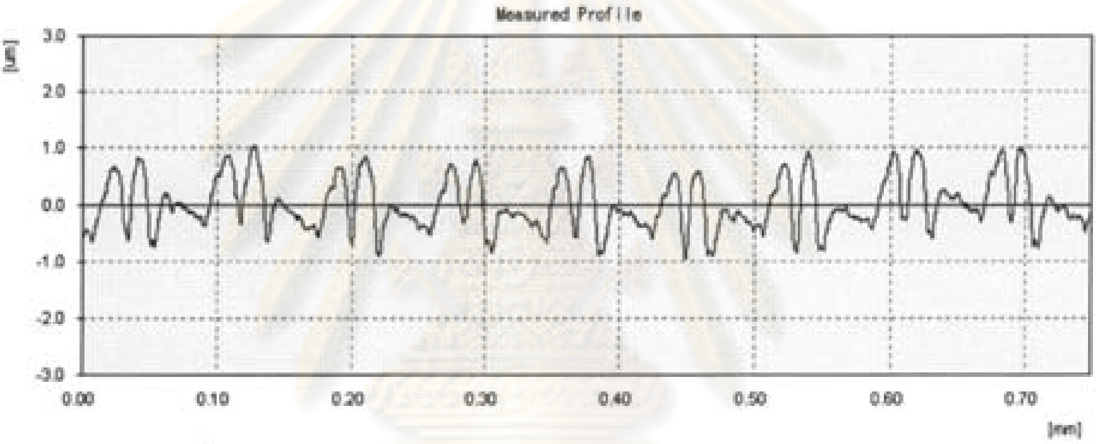


ภาพที่ ค.18 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3

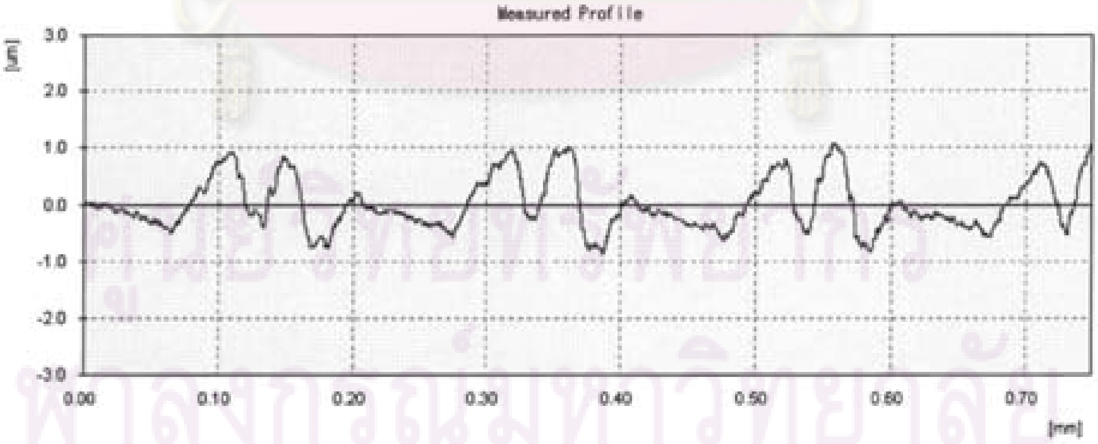
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ค.19 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1

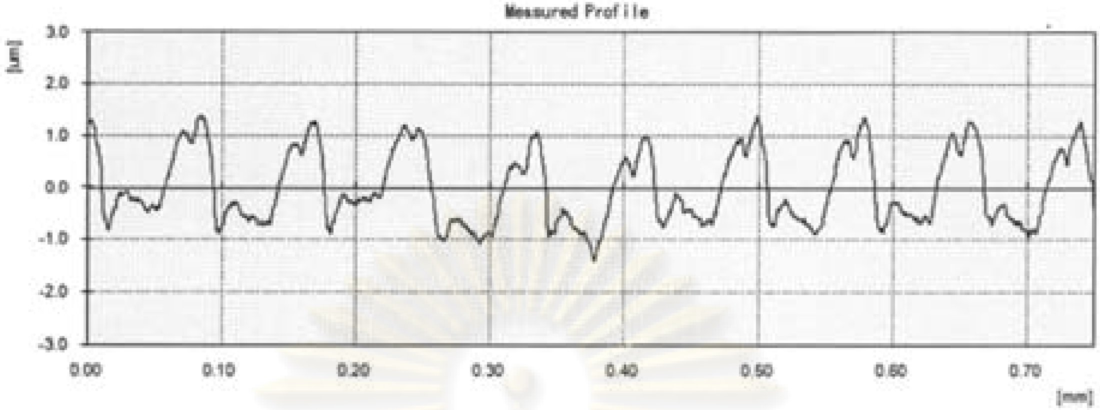


ภาพที่ ค.20 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2

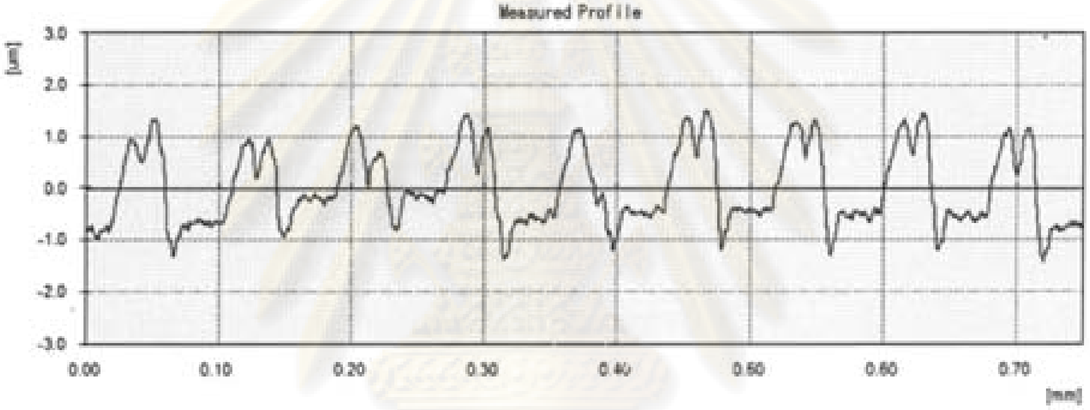


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

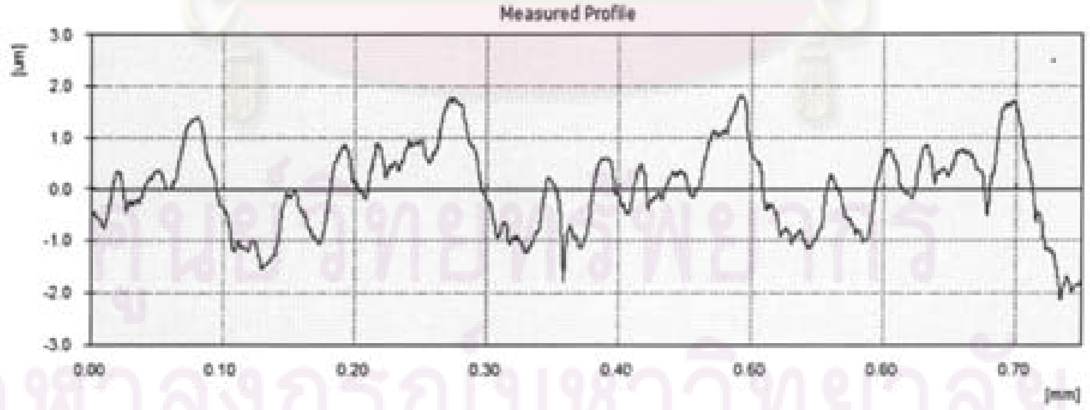
ภาพที่ ค.21 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 100 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3



ภาพที่ ค.22 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1

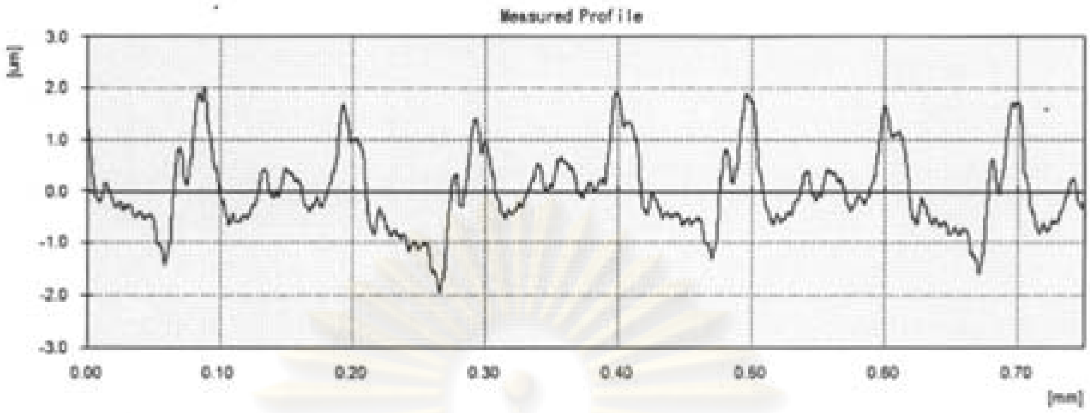


ภาพที่ ค.23 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2

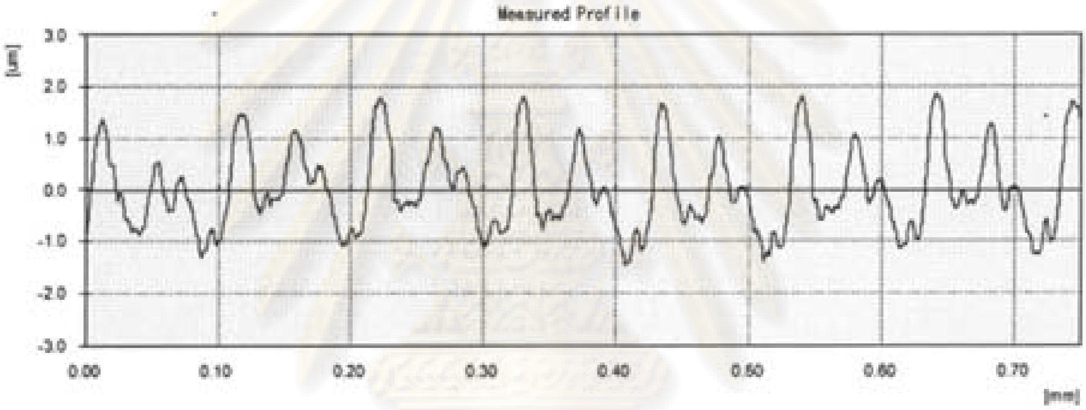


ภาพที่ ค.24 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3

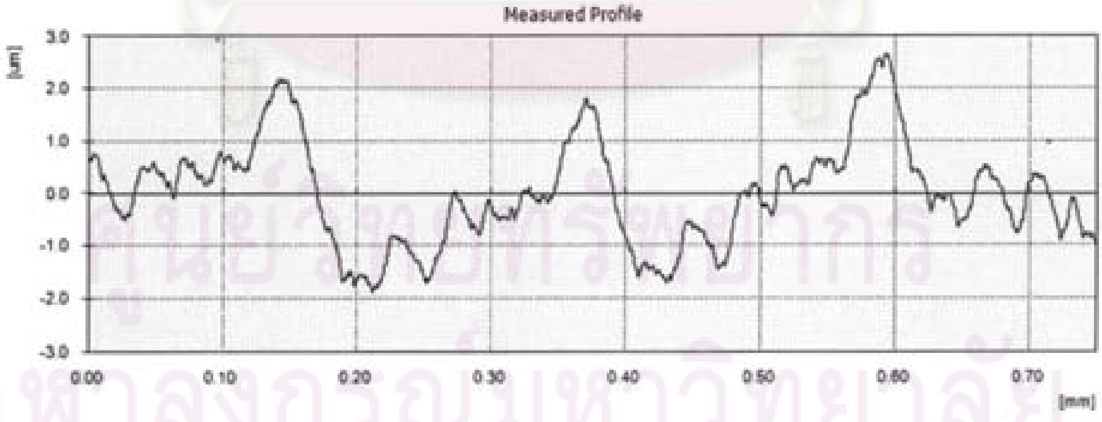
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



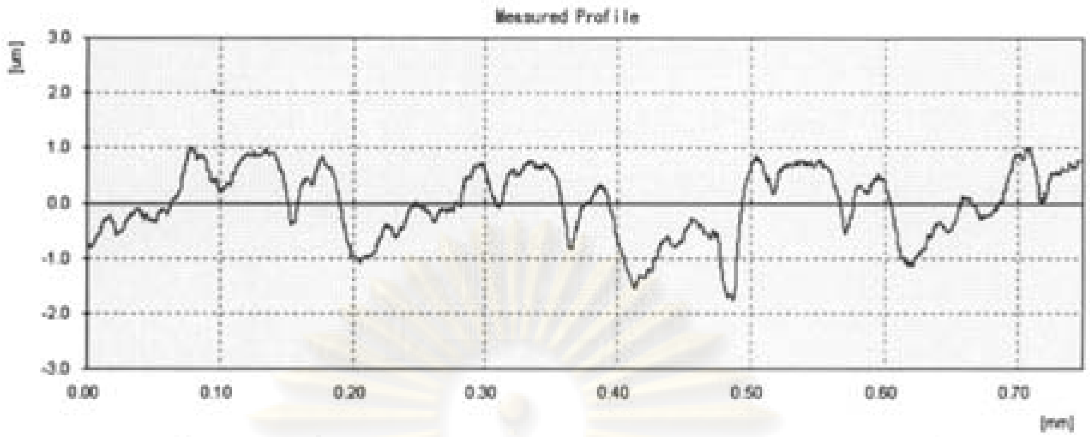
ภาพที่ ค.25 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1



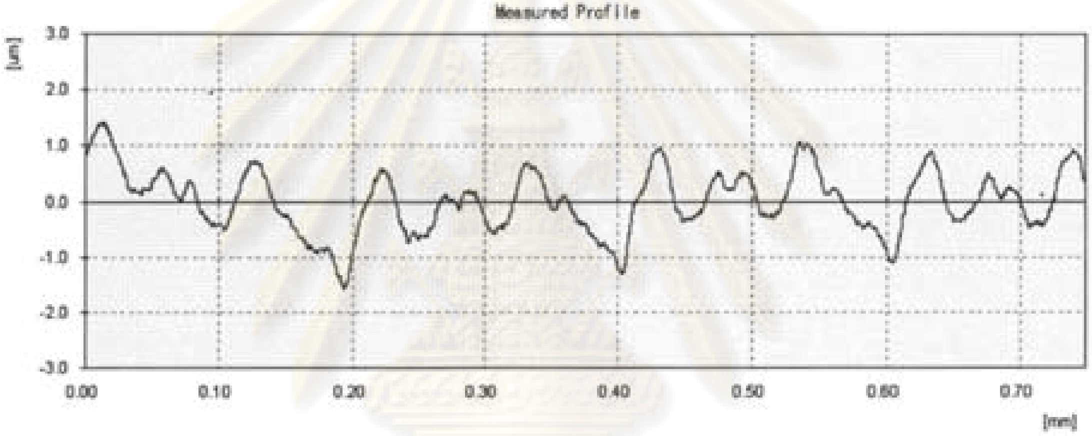
ภาพที่ ค.26 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2



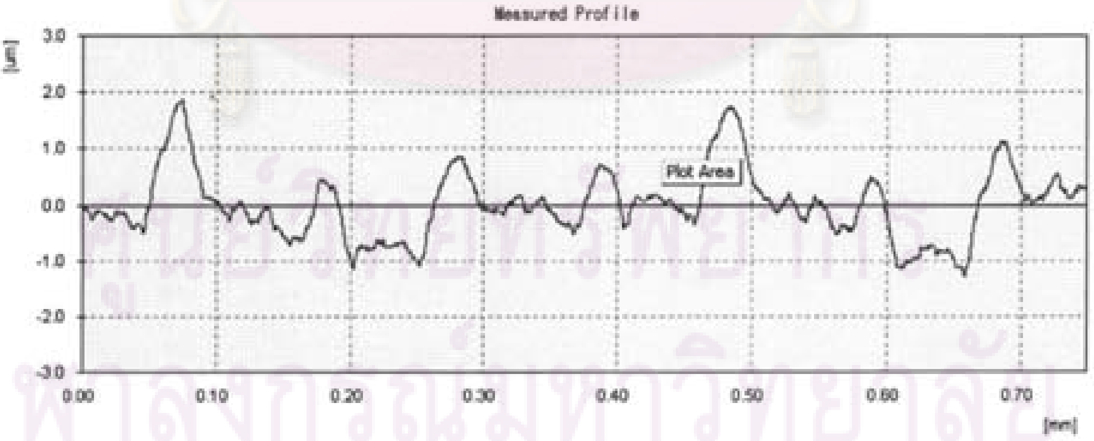
ภาพที่ ค.27 Ra เริ่มต้น 0.79 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3



ภาพที่ ค.28 Ra เริ่มต้น 0.67 µm ผงขัด 60 µm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1

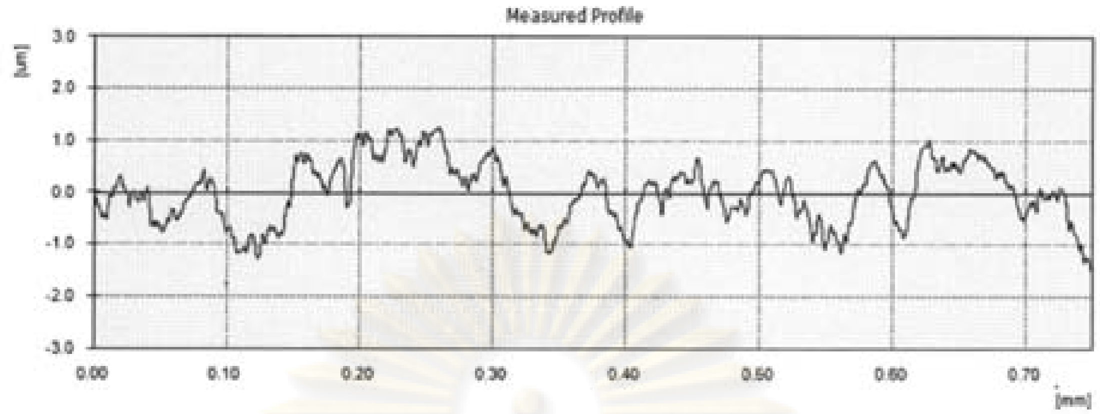


ภาพที่ ค.29 Ra เริ่มต้น 0.67 µm ผงขัด 60 µm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2

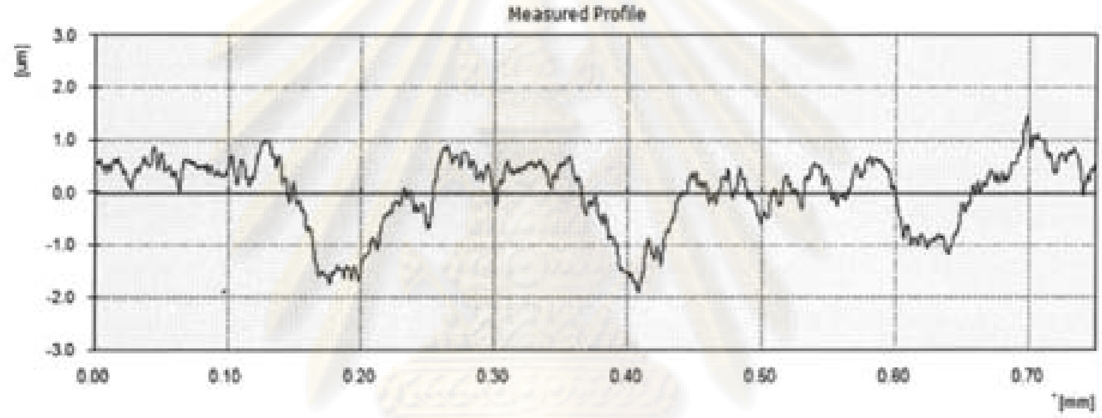


ภาพที่ ค.30 Ra เริ่มต้น 0.67 µm ผงขัด 60 µm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3

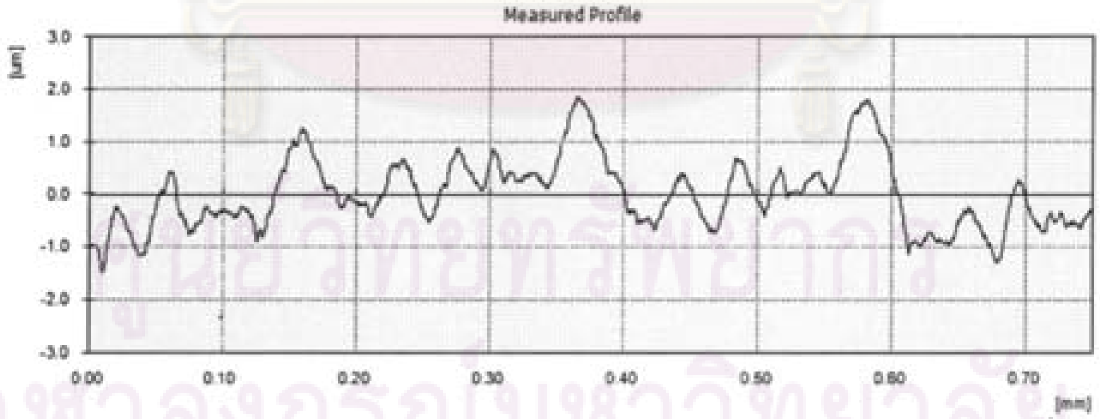
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ค.31 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1

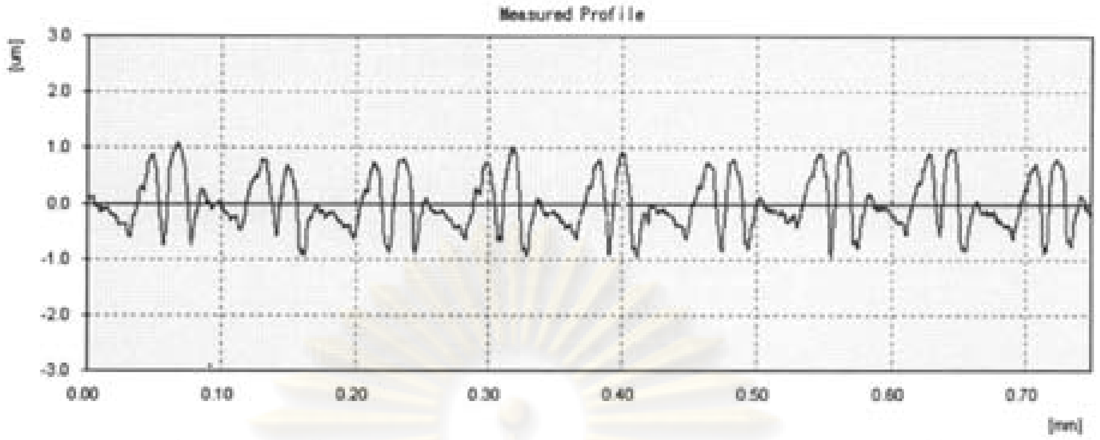


ภาพที่ ค.32 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2

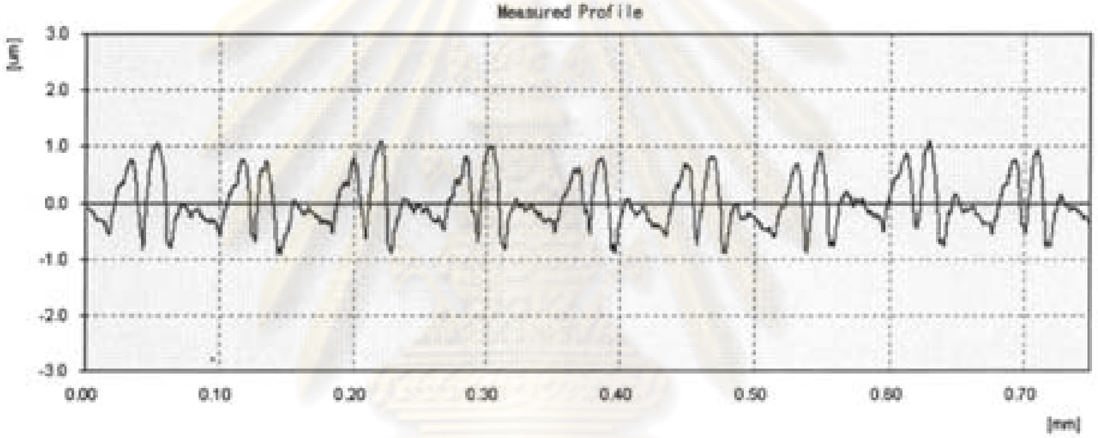


ภาพที่ ค.33 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3

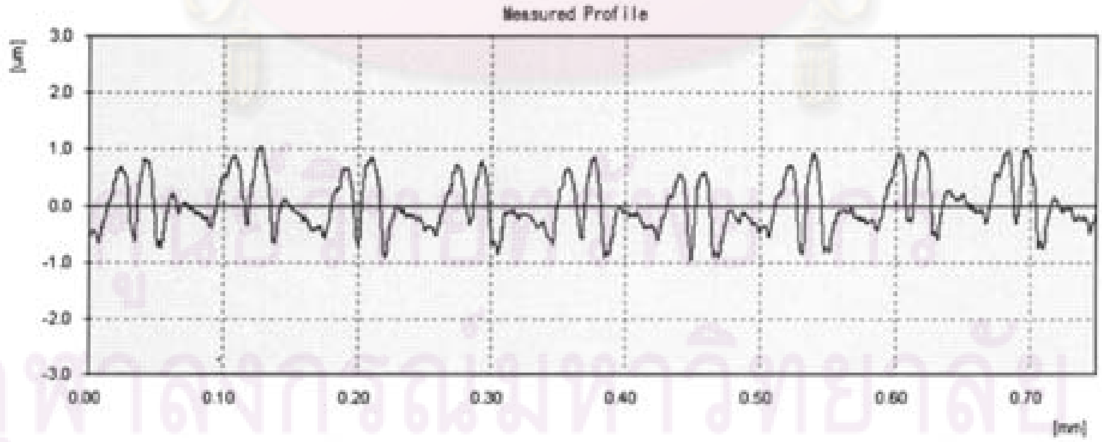
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ค.34 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1

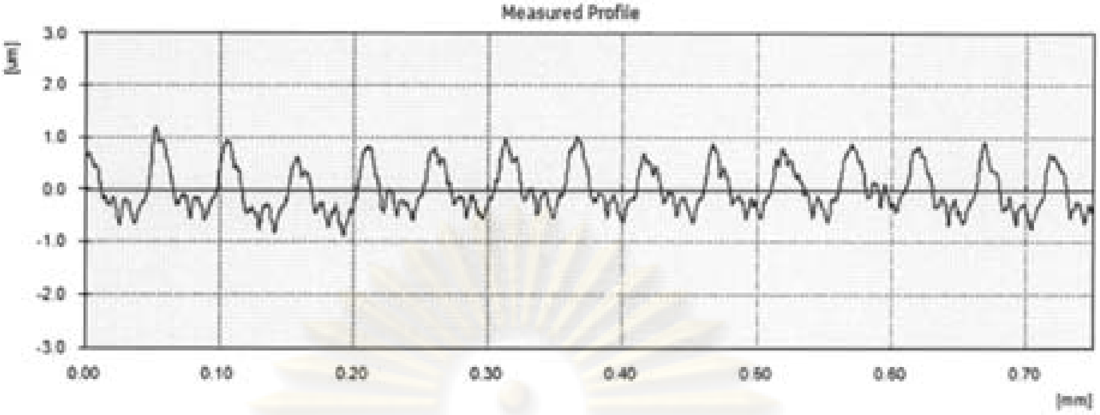


ภาพที่ ค.35 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2

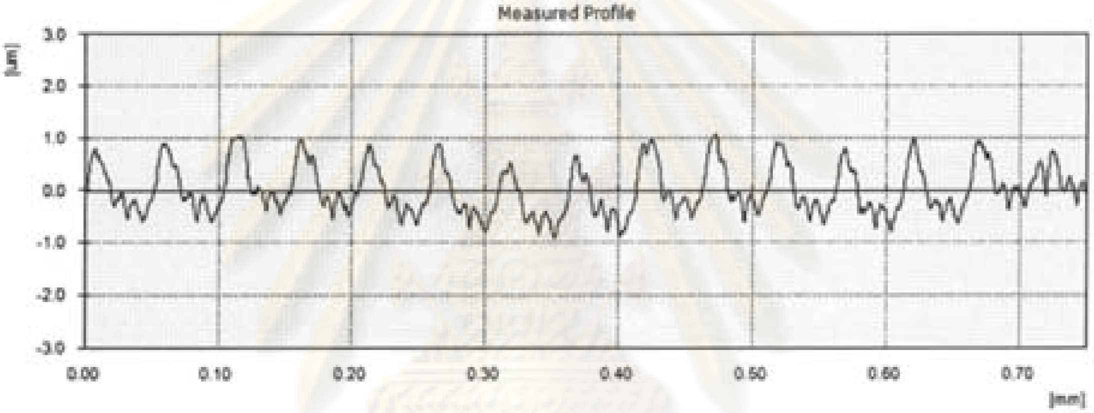


ภาพที่ ค.36 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3

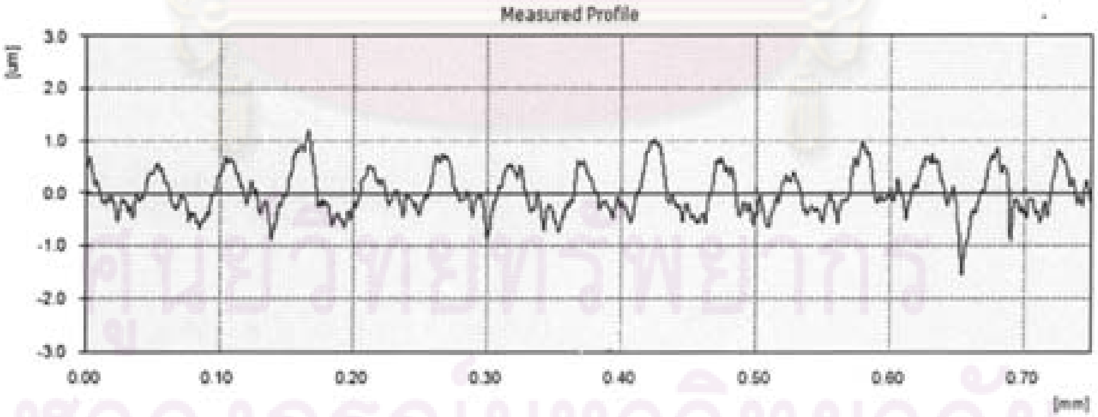
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



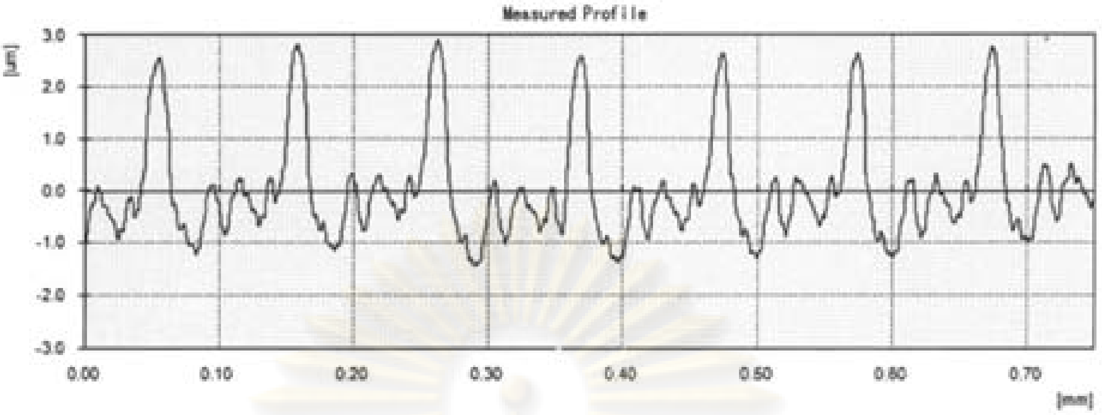
ภาพที่ ค.37 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1



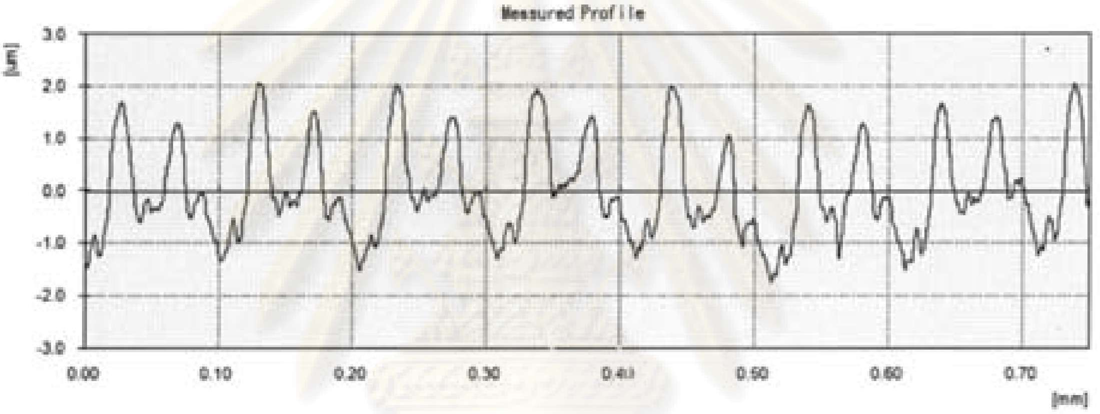
ภาพที่ ค.38 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2



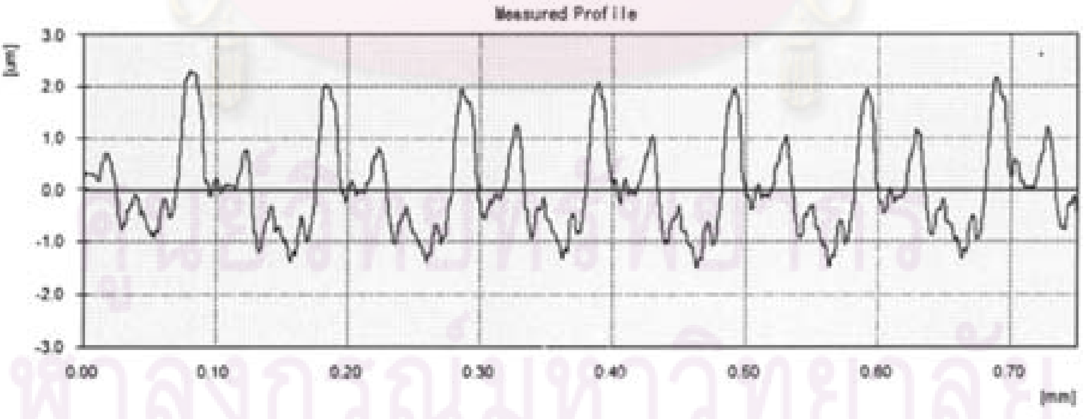
ภาพที่ ค.39 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 60 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3



ภาพที่ ค.40 Ra เริ่มต้น 0.79 µm ผงขัด 35 µm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1

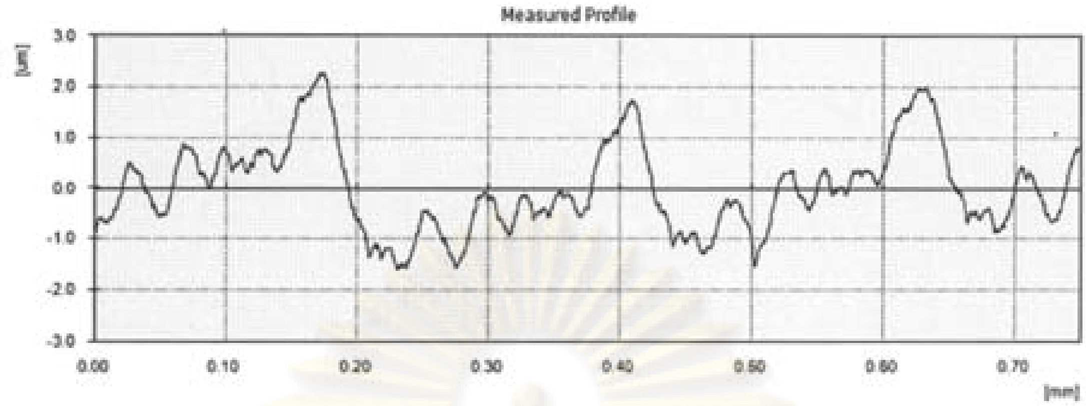


ภาพที่ ค.41 Ra เริ่มต้น 0.79 µm ผงขัด 35 µm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2

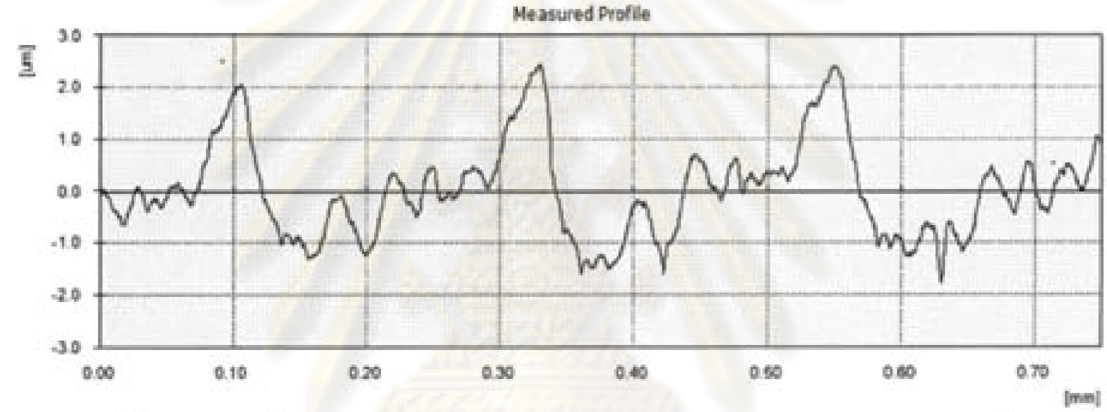


ภาพที่ ค.42 Ra เริ่มต้น 0.79 µm ผงขัด 35 µm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3

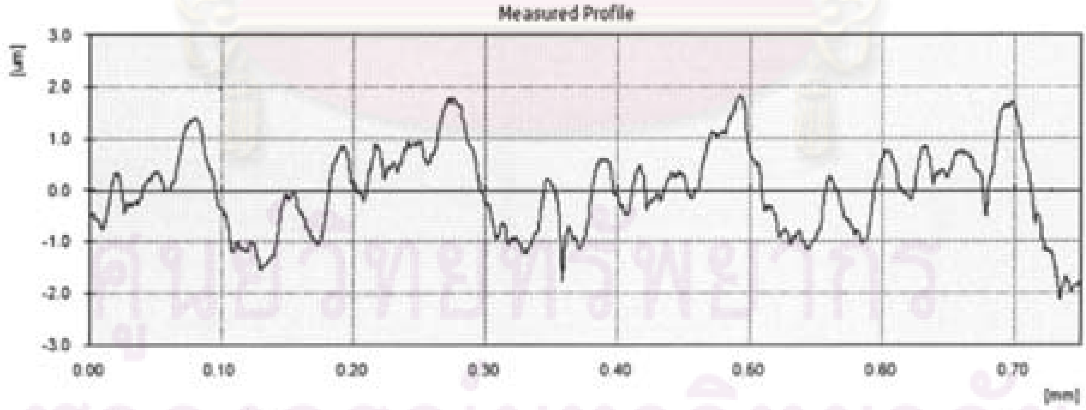
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ค.43 Ra เริ่มต้น 0.79 µm ผงขัด 35 µm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1

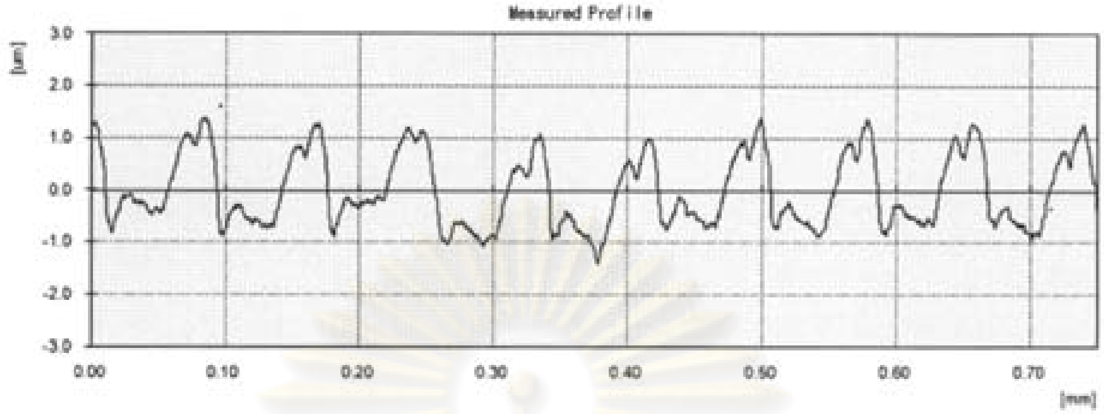


ภาพที่ ค.44 Ra เริ่มต้น 0.79 µm ผงขัด 35 µm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2

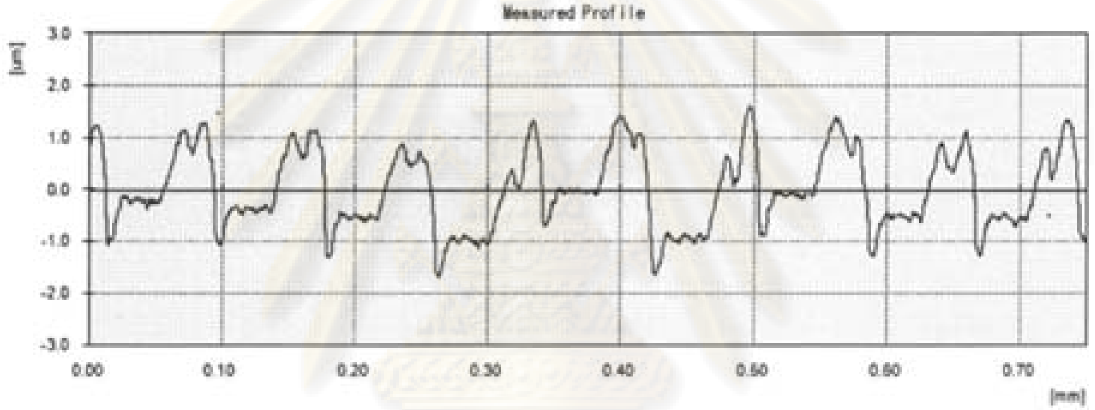


ภาพที่ ค.45 Ra เริ่มต้น 0.79 µm ผงขัด 35 µm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3

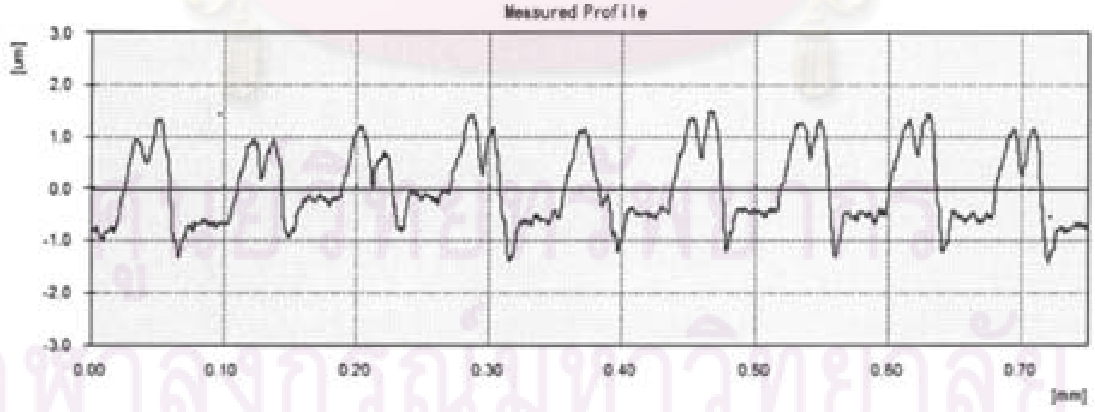
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ค.46 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1

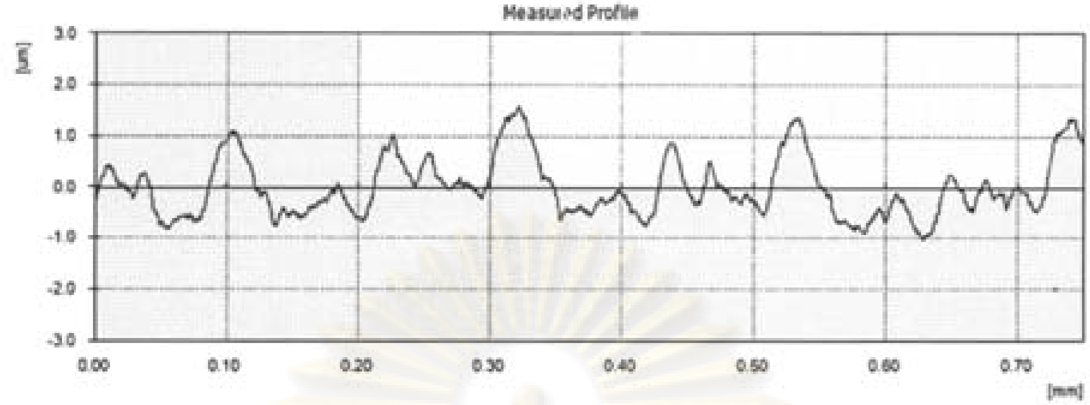


ภาพที่ ค.47 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2

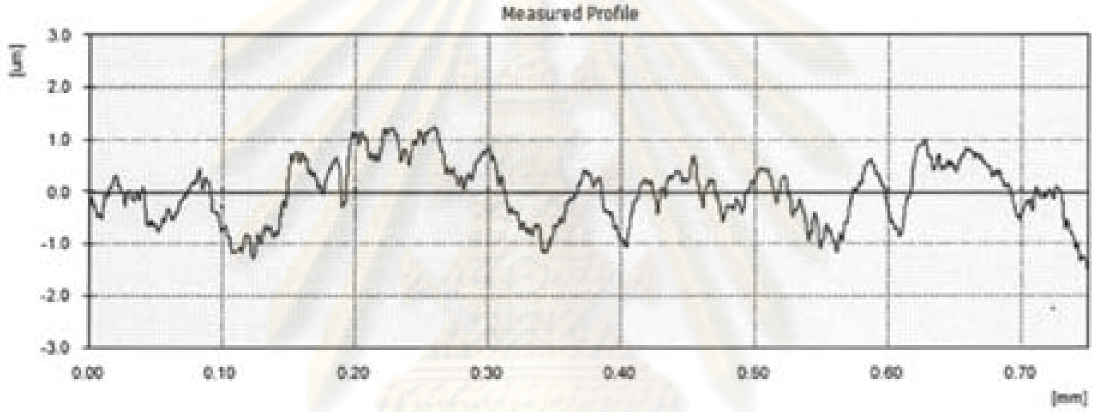


ภาพที่ ค.48 Ra เริ่มต้น 0.67 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3

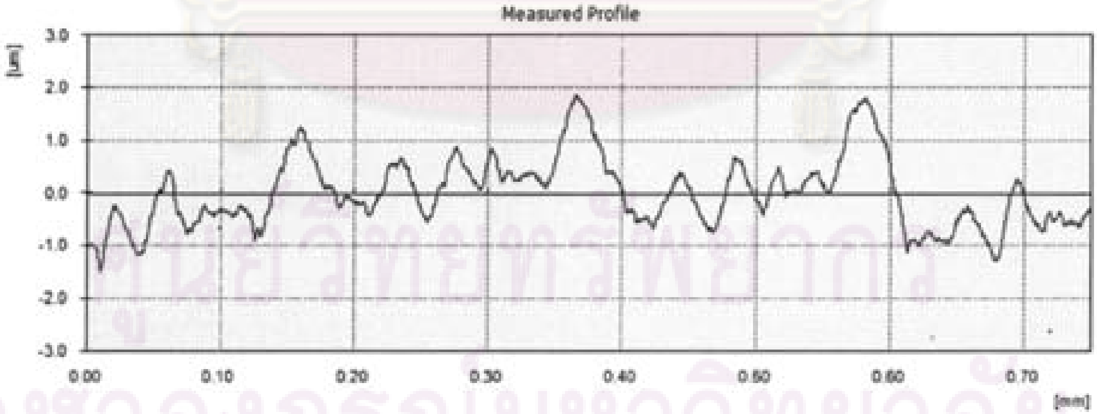
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ค.49 Ra เริ่มต้น 0.67 µm ผงขัด 35 µm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1

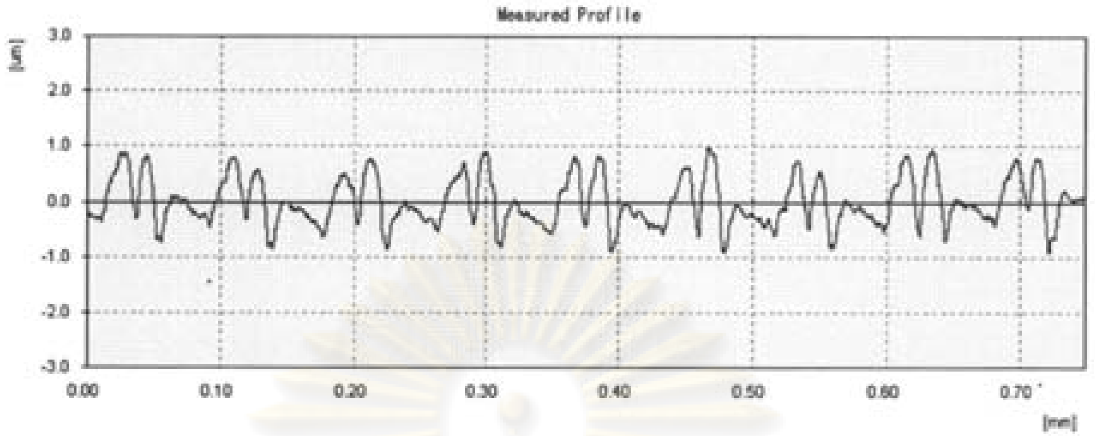


ภาพที่ ค.50 Ra เริ่มต้น 0.67 µm ผงขัด 35 µm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2

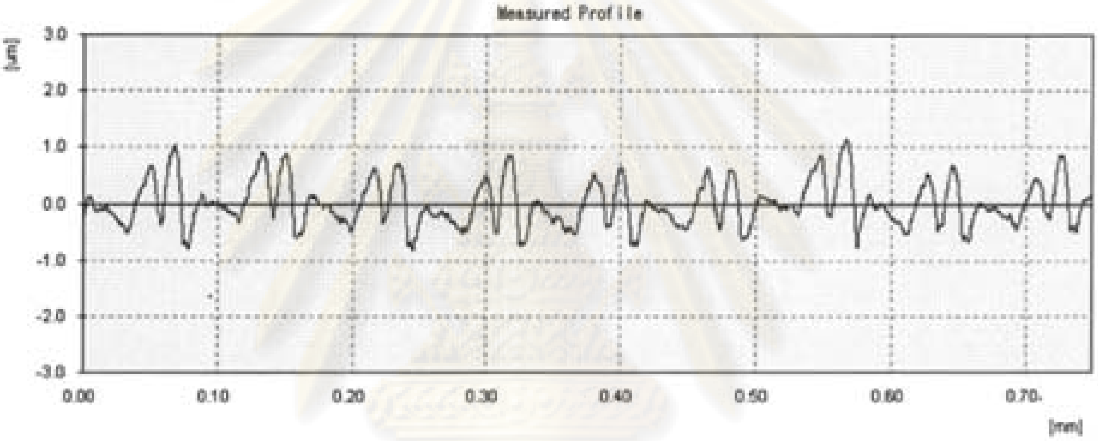


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

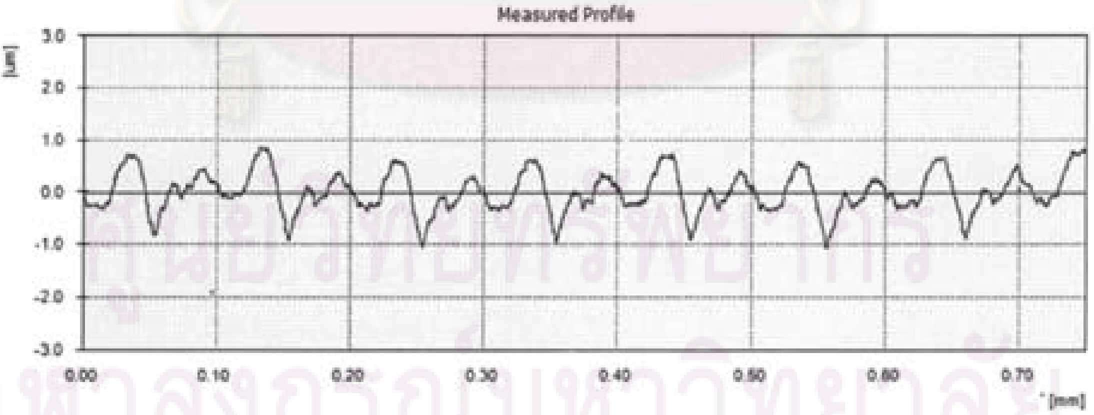
ภาพที่ ค.51 Ra เริ่มต้น 0.67 µm ผงขัด 35 µm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3



ภาพที่ ค.52 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 1

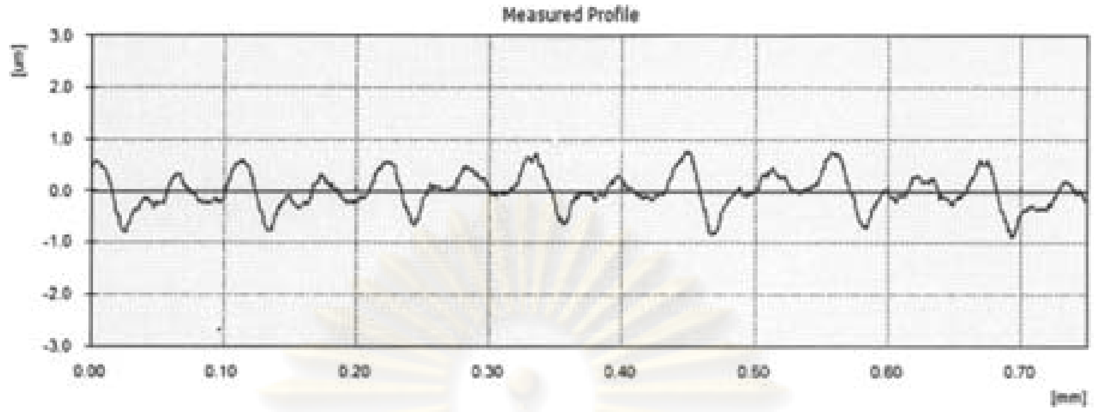


ภาพที่ ค.53 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 2

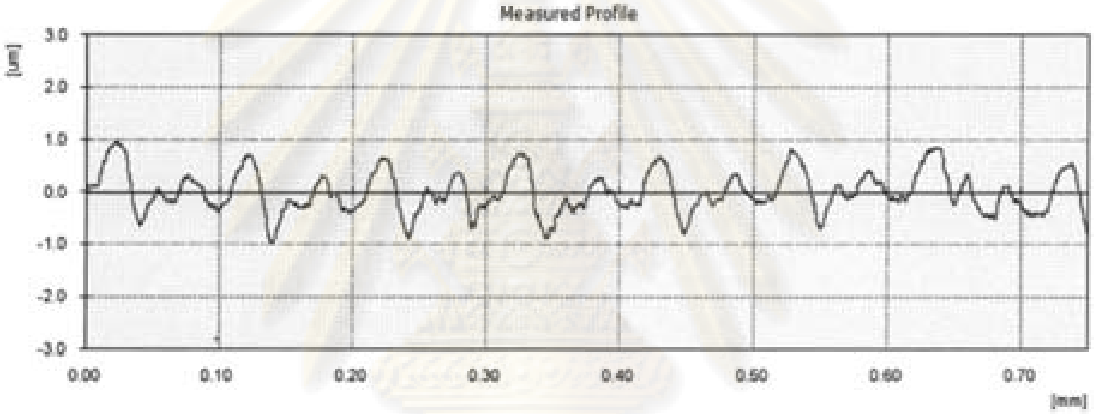


ภาพที่ ค.54 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบปกติ ตำแหน่งที่ 3

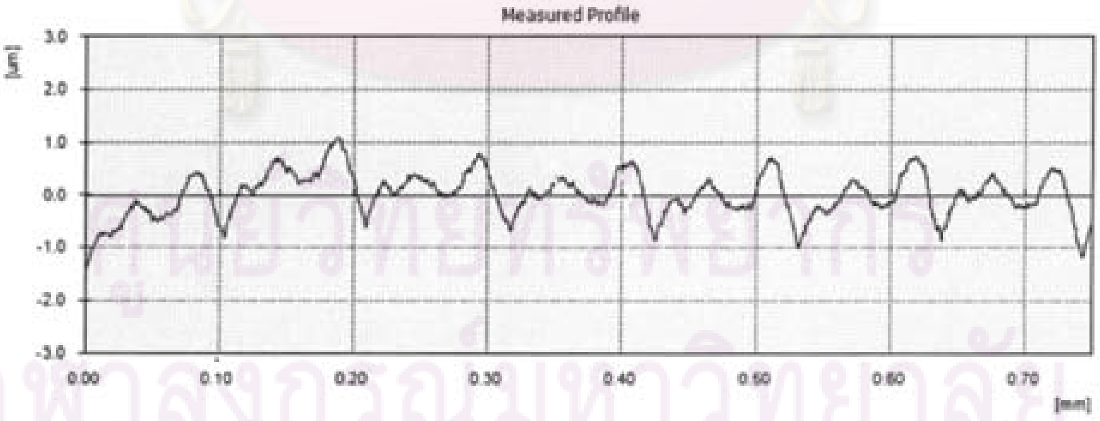
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ค.55 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 1



ภาพที่ ค.56 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 2



ภาพที่ ค.57 Ra เริ่มต้น 0.44 μm ผงขัด 35 μm ขัดแบบมีผงขัดหมุนวน ตำแหน่งที่ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศุภวัฒ เจียมลักษณไพศาล เกิดเมื่อวันที่ 23 สิงหาคม ปีพ.ศ. 2527 เป็นชาวกรุงเทพมหานคร เข้าศึกษาชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนประชานิเวศน์ เมื่อสำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ได้สอบเข้าศึกษาต่อชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนเบญจมราชานุสรณ์ หลังจากนั้นได้สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวทยาลัย ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย