

การทดลองเปรียบเทียบคุณภาพผิวและการสึกหรอของกระบวนการเจียรนัย  
ผิวภายในทรงกระบอก

AN EXPERIMENTAL COMPARISON OF WORK SURFACE QUALITY AND  
WEARS IN INTERNAL CYLINDRICAL GRINDING PROCESS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2561  
KMITL-2018-EM-M-030-012

การทดลองเปรียบเทียบคุณภาพผิวและการสึกหรอของกระบวนการเจียรนัย  
ผิวภายในทรงกระบอก

AN EXPERIMENTAL COMPARISON OF WORK SURFACE QUALITY AND  
WEARS IN INTERNAL CYLINDRICAL GRINDING PROCESS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EM-M-030-012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AN EXPERIMENTAL COMPARISON OF WORK SURFACE QUALITY AND  
WEARS IN INTERNAL CYLINDRICAL GRINDING PROCESS

ANUCHA SASEAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

KMITL-2018-EN-M-030-012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2018**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

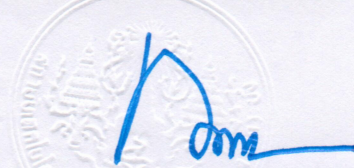
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การทดลองเปรียบเทียบคุณภาพผิวและการสึกหรอของกระบวนการเจียรนัยผิวภายใน  
ทรงกระบอก  
Thesis Title An Experimental Comparison of Work Surface Quality and Wears in Internal  
Cylindrical Grinding Process  
นักศึกษ นายอนุชา สาแสน  
รหัสประจำตัว 57601457  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-030-012

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ฐิตะพล หุยนันท	
ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภินันท์	
ดร.จิตรภรณ์ วงศางาม	
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร	
รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 เวลา 13.00-15.00 น.  
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 3 ชั้น 5 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งเจ้าของลิขสิทธิ์ที่มีการนำไปใช้  
วันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดลองเปรียบเทียบคุณภาพผิวและการสีกรของ กระบวนการเจียรนัยผิวภายในทรงกระบอก
นักศึกษา	นายอนุชา สาเสน
รหัสประจำตัว	57601457
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. จำลอง ปราบแก้ว

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอผลการทดลองเปรียบเทียบคุณภาพผิวและการสีกรของกระบวนการเจียรนัยผิวภายในทรงกระบอกด้วยหินเจียรนัย 5 ชนิด ที่มีขนาดของเม็ดตัดตั้งแต่ 180 ไมครอน ถึง 240 ไมครอน ระดับความแข็งของกาวตั้งแต่ เกรด K (Soft) ถึง เกรด P (Hard) ความหนาแน่นของเม็ดตัดตั้งแต่ 200 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถึง 205 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มาทำการเจียรนัยผิวภายในทรงกระบอกของชิ้นงานส่วนประกอบของลูกปืน ซึ่งหินเจียรนัย 1 ก้อน จะใช้เจียรนัยผิวภายในชิ้นงาน 200 ชิ้นต่อเนื่องกันโดยไม่มีการขึ้นรูปหน้าหินใหม่ พร้อมทั้งกำหนดเงื่อนไขการเจียรนัยเหมือนกันทั้งหมด โดยใช้ความเร็วรอบของหิน 39,231 รอบต่อนาที ความเร็วรอบของชิ้นงาน 1,200 รอบต่อนาที ความเร็วการเจียรหยาบลำดับที่ 1 อยู่ที่ 120 ไมครอนต่อวินาที ความเร็วการเจียรหยาบลำดับที่ 2 อยู่ที่ 100 ไมครอนต่อวินาที ความเร็วการเจียรละเอียดลำดับที่ 3 อยู่ที่ 30 ไมครอนต่อวินาที ความเร็วการเจียรละเอียดลำดับที่ 4 อยู่ที่ 3 ไมครอนต่อวินาที และเวลาการเจียรละเอียดลำดับสุดท้าย อยู่ที่ 0.35 วินาที พร้อมทั้งได้ทำการวัดกำลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในขณะที่ทำการเจียรนัยผิวภายในชิ้นงานด้วยอุปกรณ์วัดกำลังงานทางไฟฟ้าพาวเวอร์มิเตอร์ สำหรับชิ้นงานที่ผ่านการเจียรนัยเสร็จแล้วในทุก ๆ 20 ชิ้น จะนำไปตรวจวัดค่าคุณลักษณะของชิ้นงาน โดยการวัดค่าความหยาบผิวแบบความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต ค่าความกลมแบบพีคทูพีค ค่าการสีกรของหิน และค่าพิคโตรูปร่างของชิ้นงานในลักษณะเส้นตรง จากผลการทดลองพบว่า ที่ขนาดของเม็ดตัดที่เล็กจะส่งผลทำให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมีค่าที่ต่ำ ที่ขนาดเม็ดตัดที่ใหญ่จะส่งผลทำให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมีค่าที่สูง ส่วนที่ระดับค่าความแข็งของกาวเกรดที่อ่อนจะส่งผลทำให้การสีกรของหินมีค่าที่สูงและค่าความกลมของชิ้นงานมีค่าที่ต่ำ ที่ระดับค่าความแข็งของกาวเกรดที่แข็งจะส่งผลทำให้การสีกรของหินมีค่าที่สูงเช่นกันแต่ค่าความกลมของชิ้นงานจะมีค่าที่ต่ำ สุดท้ายค่าความหนาแน่นของเม็ดตัดที่น้อยหรือมากนั้นไม่ส่งผลต่อค่าคุณภาพผิวของชิ้นงานและการสีกรของหินมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	An experimental comparison of work surface quality and wears in internal cylindrical grinding process
<b>Student</b>	Mr. Anucha Sasean
<b>Student ID.</b>	57601457
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Mechanical Engineering
<b>Year</b>	2018
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Chamlong Prabkaew

### ABSTRACT

This thesis presents the comparison results of surface quality and wears of internal cylindrical grinding process with five different types of grinding wheel with grain mesh sizes range from 180  $\mu\text{m}$  to 240  $\mu\text{m}$ , hardness of bond from grade K (Soft) to grade P (Hard) and concentrations range from 200  $\text{g}/\text{cm}^3$  to 205  $\text{g}/\text{cm}^3$  from internal cylindrical grinding bearing workpieces. One grinding wheel was used to grind continuously 200 workpieces with no wheel dressing. The same conditions of grinding were peripheral wheel speed 39,231 rpm and peripheral work speed 1,200 rpm. The grinding steps used in this thesis were (1) rough grinding with the speed of 120  $\mu\text{m}/\text{sec}$ , (2) rough grinding with the speed of 100  $\mu\text{m}/\text{sec}$ , (3) fine grinding with the speed of 30  $\mu\text{m}/\text{sec}$ , (4) fine grinding with the speed of 3  $\mu\text{m}/\text{sec}$  and final fine grinding with the spark out time 0.35 second and electrical power was measured during the grinding process with power meter. After the grinding process ended, workpiece was measured its specification i.e. roughness average (Ra), peak-to-peak roundness, wear amount and straight profile. The result showed that small grain mesh size affected to low roughness, large grain mesh size affected to high roughness, soft hardness of bond affected to high wear amount and low roundness, hard hardness of bond also affected to high wear amount but high roundness and finally low or high concentration did not affect to surface quality and wear of the grinding wheel.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความกรุณาแนะนำและการถ่ายทอดวิชาความรู้จาก รองศาสตราจารย์ ดร. จำลอง ปราบแก้ว ผู้ทำวิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และความทุ่มเทให้กับลูกศิษย์คนนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง อีกทั้งขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกพจน์ ตันตราภิวัดน์ ที่ได้แนะนำและให้คำปรึกษา สนับสนุน การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มาโดยตลอด รวมทั้งคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. และ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ให้ คำปรึกษา คำแนะนำ คำติชม ในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ นาย สวัสดิ์ สาเสน ผู้เป็นบิดา กับ นาง อำไพ สาเสน ผู้เป็นมารดา และบุคคลในครอบครัวเป็นอย่างยิ่ง ที่เฝ้าเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และให้ทุนทรัพย์ในการศึกษาเล่าเรียน รวมทั้งเป็นกำลังใจในการแก้ปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ เสมอมา และอีกสามท่านคือ ขอขอบคุณ นาย ยศวรรธน์ บุรณวิช ผู้จัดการแผนก ที่ให้เวลาและโอกาสในการศึกษาเล่าเรียน ในครั้งนี้อย่างเต็มที่ตลอดมา ขอขอบคุณ นาย ไพรวลัย จอมคำสิงห์ หัวหน้างาน และ ขอขอบคุณ นาย สราวุธ สุกวิสัย น้องร่วมงาน ที่คอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือในทุกด้าน ในเวลาที่เจอปัญหา และท้อแท้ตลอดมาจนประสบความสำเร็จ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สามารถสำเร็จได้ด้วยดี ถ้าไม่มีบุคคลดังที่ได้เอ่ยมาข้างต้นนี้ทั้งหมด ที่คอยเอาใจใส่ให้ความสำคัญ และถ้าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีคุณค่าและประโยชน์กับบุคคลหรือหน่วยงานใด ผู้ทำวิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยอวยพรให้ทุกท่าน มีแต่ความสุขความเจริญ

อนุชา สาเสน

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	4
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
3.1 ล้อหินเจียรนัย.....	7
3.1.1 สารเชิงทราย (Abrasive).....	8
3.1.2 ตัวประสาน (Bonding).....	8
3.1.3 โพรงอากาศหรือรูพรุน (Grain spacing).....	9
3.1.4 การเลือกใช้หินเจียรนัย.....	9
3.2 ความเร็วรอบมอเตอร์.....	10
3.3 ความเร็วตัดของหิน.....	10
3.3.1 การคำนวณหาความเร็วตัดของหิน.....	10
3.3.2 การคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในขณะเจียรนัย.....	11
3.3.3 การคำนวณหาอัตราการตัดเฉือนของการเจียรนัยราบ.....	11
3.3.4 การคำนวณหาอัตราการตัดเฉือนสูงสุดของการเจียรนัยภายใน.....	13
3.3.5 การคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการเจียรนัย.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

3.4	รูปแบบของการเจียรนัย.....	13
3.4.1	การเจียรนัยราบ.....	14
3.4.2	การเจียรนัยกลม.....	15
3.4.3	การเจียรนัยภายใน.....	16
3.5	ความหยาบของผิว (Surface roughness).....	17
3.5.1	ค่าความหยาบของพื้นผิว.....	18
3.5.2	การกำหนดความหยาบของพื้นผิว.....	19
3.5.3	การใช้งานค่าความหยาบ.....	23
3.5.4	ความหยาบจากการผลิต.....	24
3.6	ค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน.....	25
3.6.1	ประเภทการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย.....	25
3.6.2	ประเภทการวัดความหยาบผิวโดยขนาด.....	27
3.7	ค่าความกลมของชิ้นงาน.....	31
บทที่ 4	เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....	34
4.1	เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง.....	34
4.2	ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	36
4.3	คุณสมบัติและส่วนประกอบของหินเจียรนัย.....	38
4.4	หินเจียรนัยทรงกระบอกที่ใช้ในการทดลอง.....	39
4.5	ชิ้นส่วนประกอบของลูกปืนที่ใช้ในการเจียรนัย.....	40
4.6	เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า.....	41
บทที่ 5	ผลการทดลอง.....	42
5.1	ค่ากำลังงานทางไฟฟ้าของมอเตอร์ในขณะเจียรนัยชิ้นงาน.....	42
5.2	ค่าพลังงานทางไฟฟ้าจำเพาะในขณะเจียรนัยชิ้นงาน.....	43
5.3	ค่าการสึกหรอของหินเจียรนัย.....	44
5.4	ค่าความหยาบผิวชิ้นงาน.....	45
5.5	ค่าความกลมของชิ้นงาน.....	46

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	48
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	48
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก.....	52
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างผลการทดลอง.....	53
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	56
ประวัติผู้เขียน.....	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และทั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางค่าตัวเลขความหยาบ.....	20
4.1 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการเจียรนัยชิ้นงาน.....	36
4.2 แสดงคุณสมบัติและส่วนประกอบของหินเจียรนัย.....	38
4.3 แสดงชนิดของเม็ดตัดของหินเจียรนัย.....	39
4.4 แสดงขนาดของเม็ดตัดของหินเจียรนัย.....	39
4.5 แสดงระดับความแข็งของกาว.....	36
4.6 แสดงความหนาแน่นของเม็ดตัดหินเจียรนัย.....	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ VII งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 โครงสร้างของล้อยหินเจียรนัย.....	7
3.2 รูปแบบของการเจียรนัยผิวราบ.....	12
3.3 รูปแบบของการเจียรนัยภายใน.....	12
3.4 การเจียรนัยผิวราบ.....	14
3.5 การเจียรนัยกลม.....	15
3.6 การเจียรนัยภายใน.....	16
3.7 คำศัพท์ต่าง ๆ สำหรับลักษณะของพื้นผิว.....	17
3.8 Surface roughness profile.....	19
3.9 การกำหนดค่าลักษณะของพื้นผิวที่ต้องการ.....	20
3.10 ขนาดที่เหมาะสมสำหรับการกำหนดลักษณะของพื้นผิว.....	20
3.11 แสดงตัวอย่างการกำหนดลักษณะพื้นผิว.....	21
3.12 ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่ใช้ในการกำหนดลวดลาย.....	22
3.13 ตัวอย่างการวางแผนสัญลักษณ์กำหนดลักษณะของพื้นผิว.....	22
3.14 ตัวอย่างการใช้งานค่าความหยาบ.....	23
3.15 ค่าความหยาบของกรรมวิธีการผลิต.....	24
3.16 แสดงวิธีค่าความหยาบผิวเฉลี่ย.....	25
3.17 แสดงวิธีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยกำลังสอง.....	26
3.18 แสดงวิธีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยปริมาณ.....	26
3.19 แสดงวิธีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยรูปร่าง.....	27
3.20 แสดงวิธีค่าความหยาบผิวขนาดโดยรวม.....	27
3.21 แสดงวิธีค่าความหยาบผิวขนาดหลุมลึกสุด.....	28
3.22 แสดงวิธีค่าความหยาบผิวขนาดยอดสูงสุด.....	28
3.23 แสดงวิธีค่าความหยาบผิวขนาดโดยเฉลี่ย.....	29
3.24 แสดงเครื่องมือวัดค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน.....	30
3.25 แสดงลักษณะรูปร่างค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่วัดได้.....	30
3.26 แสดงลักษณะรูปร่างค่าพิกรีปร่างของชิ้นงานที่วัดได้.....	31
3.27 แสดงค่าความกลมแบบพีคทูพีค.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

3.28 แสดงเครื่องมือวัดค่าความกลมของชิ้นงาน .....	32
3.29 แสดงลักษณะรูปร่างค่าความกลมของชิ้นงานที่วัดได้.....	33
4.1 การประกอบเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง.....	34
4.2 แสดงรูปหินเจียรนัยทรงกระบอก.....	39
4.3 แสดงรูปชิ้นส่วนประกอบของลูกปืน.....	40
4.4 แสดงเครื่องมือวัดกำลังงานทางไฟฟ้า.....	41
5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานทางไฟฟ้ากับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วย หินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด.....	42
5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานทางไฟฟ้ากับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วย หินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด.....	43
5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสึกหรอหินกับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วย หินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด.....	44
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบกับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วยหิน เจียรนัยทั้ง 5 ชนิด.....	45
5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความกลมกับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วยหิน เจียรนัยทั้ง 5 ชนิด.....	46

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ต้นทุนการผลิต เป็นปัจจัยสำคัญที่จะกำหนดว่าสินค้าจะมีราคาถูกลงหรือแพง เพราะต้นทุนการผลิตมีส่วนประกอบหลายอย่างที่เป็ปัจจัยหลักในการผลิตทั้ง วัสดุ ค่าแรงงาน ค่าสาธารณูปโภคต่าง ๆ ดังนั้น การลดต้นทุนการผลิต จึงมีความสำคัญอย่างมากในการทำให้สินค้ามีต้นทุนต่ำลงหรือกำไรเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลดีในด้านความสามารถการแข่งขันการตลาด ส่งผลให้ทุกองค์กรมีการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแข่งขัน ราคาสินค้าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลักของทางผู้ผลิต ประกอบด้วย ต้นทุนด้านต่าง ๆ เช่น ด้านวัสดุ ด้านแรงงาน และด้านค่าใช้จ่ายในโรงงาน ดังนั้น จากปัญหาข้างต้นได้มีผู้ทำการศึกษาทดลองหลายท่าน เพื่อที่ที่ต้องการลดต้นทุนการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการเจียรนัย เช่น Krzysztof Nadolny [12] ได้ทำการศึกษาลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเจียรนัยภายในทรงกระบอก ได้ข้อสรุปว่าวิธีที่มีผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานและความเสถียรภาพของการเจียรนัยก็คือ การควบคุมอัตราการตัดเฉือนและวิธีการหล่อเย็น ซึ่งวิธีนี้จะช่วยลดปัญหาในเรื่องค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการสื่อสารหล่อเย็น และลดของเหลวอันตรายที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม โดยทำการทดลองออกแบบโครงสร้างของหินเจียรนัยขนาดเล็กแบบสองชั้นประกบกันที่มีระบบการหล่อเย็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และได้ทำการกำหนดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในการเจียรนัย จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์ โดยวิธีการจำลองการเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและจำนวนช่องการไหลของท่อน้ำหล่อเย็น ด้วยโปรแกรม ANSYS 10.0 จากข้อมูลการวิเคราะห์จำลองเกี่ยวกับผลกระทบของการเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและจำนวนช่องการไหลของท่อน้ำหล่อเย็น ความเร็วการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ไหลผ่านร่องภายในหินเจียรนัยในขณะทำการเจียรนัยชิ้นงาน โดยนำมาเทียบกับผลของการจำลองต้นแบบของหินเจียรนัยแบบสองชั้นประกบกันที่ถูกทำขึ้นและจำนวนของการทดลอง การทดลองบนกระบวนการของการเจียรนัยภายในรูปทรงกระบอกของเหล็กชนิด 100Cr6 ที่มีค่าความแข็งอยู่ที่  $62\pm 2$  HRC. จากผลการทดลองที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้เมื่อใช้วิธีระบายความร้อนแบบใส่น้ำหล่อเย็นจนท่วม ข้อมูลการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของหินเจียรนัยแบบสองชั้นประกบกันช่วยลดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นลงจากเดิมห้าเท่า จาก 5.0 ลิตร/นาที ลดลงมาที่ 1.0 ลิตร/นาที โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานและกำลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการเจียรนัยชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Marinescu et al., [3] ได้ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นในกระบวนการเจียรนัย พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นในกระบวนการเจียรนัยจะนำไปสู่การสร้างความเสียหายต่อผิวของชิ้นงาน เช่น รอยแตกร้าวขนาดเล็ก ๆ การเจียรนัยใหม่หรือโหดความเครียดที่ไม่เอื้ออำนวยในชั้นผิวบนสุด ยิ่งไปกว่านั้นอุณหภูมิที่เพิ่มสูงมากขึ้นในบริเวณการเจียรนัยทำให้เกิดการสึกหรอมากเกินไปของส่วนประกอบของหินเจียรนัย (เม็ดตัดและตัวประสาน) นอกจากนี้ความร้อนอาจทำให้เกิดการสึกหรอของตัวประสานและการแตกหักของเม็ดตัดของหินเจียรนัยก่อนเวลาที่เหมาะสม

Marinescu et al., [6] จำนวนปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการเจียรนัยภายในทรงกระบอก ซึ่งผลจากกระบวนการกลศาสตร์การเคลื่อนไหว อุปสรรคที่สำคัญที่สุดคือ พื้นที่ที่ยาวมากของการสัมผัสกันระหว่างหินเจียรนัยกับชิ้นงาน มักจะเกิดความแตกต่างเล็กน้อยของหินเจียรนัยกับเส้นผ่าศูนย์กลางสถานะที่อยากสำหรับการเจียรนัยคือ การระบายความร้อนที่เหมาะสมของพื้นผิวชิ้นงานกับหินเจียรนัย เช่นเดียวกับความเสถียรภาพของกระบวนการเจียรนัยในระยะเวลานาน ซึ่งเป็นผลมาจากอุปกรณ์เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน พลังงานกลที่เข้าสู่กระบวนการเจียรนัยส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อน ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในพื้นที่ของการสัมผัสกันระหว่างหินเจียรนัยกับชิ้นงาน ส่วนใหญ่เกิดจากการเสียดสีและกระบวนการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในขณะที่เจียรนัย พื้นที่ความยาวของการสัมผัสกันระหว่างพื้นผิวชิ้นงานกับหินเจียรนัย และบริเวณพื้นผิวนี้ทำให้การจำกัดความร้อนจากบริเวณเจียรนัยภายในรูปทรงกระบอกเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญในการดำเนินการที่มีประสิทธิภาพในการตัดเฉือน (Machining)

## 1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาหินเจียรนัยในท้องตลาดมาทำการคัดเลือก
2. ศึกษาผลกระทบของหินเจียรนัยที่มีผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงาน เช่น ค่าความหยาบผิว ค่าความกลมของชิ้นงาน และค่าการสึกหรอของหินเจียรนัย
3. วัดกำลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในขณะที่ทำการเจียรนัยผิวภายในชิ้นงาน

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการทดลองเจียรนัยผิวภายในชิ้นงานส่วนประกอบของลูกปืน จำนวน 200 ชิ้น ต่อหินเจียรนัย 1 ก้อน รวมทั้งหมด 1,000 ชิ้น ซึ่งชิ้นงานที่นำมาทำการเจียรนัยมีคุณสมบัติเป็นเหล็กชนิด SUJ2 มีความแข็งอยู่ที่ 62 HRC นำมาทำการเจียรนัยผิวภายในชิ้นงานด้วยหินเจียรนัยทรงกระบอก 5 ชนิด ที่มีคุณสมบัติและส่วนประกอบที่ต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ได้จากการเจียรนัยด้วยหินเจียรนัยทรงกระบอกทั้ง 5 ชนิด ในเรื่องของ ค่าความกลมของชิ้นงาน (Roundness), ค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน (Roughness), ค่าพิกัดรูปร่าง (Profile), ค่าการสึกหรอของหิน (Wear amount) และกำลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดเฉือนของหินในแต่ละชนิด โดยกำหนดเงื่อนไขในการเจียรนัยเหมือนกันทั้งหมด

### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

สามารถพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติของหินเจียรนัยทรงกระบอกทั้ง 5 ชนิด ที่ได้นำมาทำการเจียรนัยผิวภายในชิ้นงานส่วนประกอบของลูกปืน ในด้านของคุณภาพผิวของชิ้นงานและการสึกหรอของหินเจียรนัยแต่ละชนิด ที่ส่งผลโดยตรงในเรื่องของการควบคุมคุณภาพผิวของชิ้นงานและต้นทุนการผลิตในกระบวนการเจียรนัยผิวภายในชิ้นงานส่วนประกอบของลูกปืน เพื่อที่จะนำมาประกอบการเลือกใช้หินเจียรนัยที่มีความเหมาะสมที่สุดในเรื่องของการลดต้นทุนการผลิต โดยไม่ส่งผลกระทบต่อในเรื่องของคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ได้กำหนดไว้ในมาตรฐาน

### วรรณกรรมปริทรรศน์

การเจียรนัยชิ้นงานด้วยหินเจียรนัยทรงกระบอก 5 ชนิด ที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เพื่อที่ความต้องการเปรียบเทียบคุณภาพผิวของชิ้นงานและอายุการใช้งานของหินเจียรนัยทรงกระบอก โดยการทดลองที่กำหนดเงื่อนไขในการเจียรนัยชิ้นงานแบบเดียวกันหมด ดังนั้นจำเป็นต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับหลักการเจียรนัย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งต้องศึกษางานวิจัยที่มีผู้ทำมาก่อน ซึ่งจากอดีตถึงปัจจุบันนี้มีนักวิจัยทั้งใน และต่างประเทศได้ศึกษาในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ทำวิจัยกำลังศึกษามากมาย อาทิเช่น

Davis [2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับส่วนประกอบของหินเจียรนัย พบว่าเม็ดตัดจะถูกฝังและเชื่อมเข้าด้วยสารยึดเกาะ เนื่องจากรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอของเม็ดตัด โพรงอากาศจะสร้างขึ้นตามธรรมชาติหรือสามารถเกิดจากการสร้างรูโพรงอากาศเทียม โพรงอากาศมีความจำเป็นสำหรับการขนส่งของเหลวและการกวาดล้างเศษออกจากบริเวณกระบวนการ เม็ดตัดและสารยึดเกาะถูกผสมและกดให้เป็นสีเขียวเพื่อสร้างทั้งแบบ ขัดตัวเต็มรูปแบบหรือเป็นชั้นบริเวณเม็ดตัด ต่อจากนั้น รูปร่างชั้นหรือส่วนที่จะรักษาคมตัดจะถูกเคลือบบนหินเจียรนัย สมรรถนะของหินเจียรนัยและลักษณะมีอิทธิพลอย่างมากจากอัตราส่วนจาก เม็ดตัด สารยึดเกาะและโพรงอากาศต่อปริมาตรของหินเจียรนัยทั้งหมด ตัวอย่างเช่น การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารยึดเกาะ ถ้าเม็ดตัดถูกเก็บไว้คงที่ จะนำไปสู่การลดโพรงอากาศและการเพิ่มขึ้นของความแข็งหินเจียรนัย เหตุผลก็คือ การสร้างความเชื่อมโยงระหว่างความแข็งของสารยึดเกาะกับเม็ดตัด การเพิ่มขึ้นของปริมาตรโพรงอากาศจะนำไปสู่การลดคมตัดหรือความแข็งแรงของสารยึดเกาะ นอกเหนือจากผลกระทบทางเทคโนโลยีนี้ อัตราส่วนปริมาณของเม็ดตัดและสารยึดเกาะกับโพรงอากาศยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนเนื่องจากปริมาณวัสดุที่ใช้แล้ว วัสดุเม็ดตัดมีความโดดเด่นเป็นสองกลุ่ม คมตัดแบบเดิมๆ และวัสดุขัดผิวแบบคมตัดพิเศษ วัสดุคมตัดทั่วไปที่ทำจากอลูมิเนียมออกไซด์ที่ไม่มีการหลอม หรืออลูมิเนียมนาโคเซอร์เนียและซิลิคอนคาร์ไบด์จะมีสีดำหรือสีเขียว เม็ดตัดพิเศษทำจากเพชรหรือคิวบิกโบรอนไนไตรด์ (CBN) เพชรเป็นวัสดุที่แข็งที่สุดรองลงมาคือ CBN, ซิลิคอนคาร์ไบด์อลูมิเนียมออกไซด์และเซอร์โคเนียอลูมินา สิ่งที่เกี่ยวข้องกับวัสดุสารยึดเกาะสามารถแยกแยะความแตกต่างของชนิดต่างๆได้ ดังนี้ แก้วเรซินอินทรีย์/เรซินสังเคราะห์ระบบเผาโลหะและระบบเคลือบสารยึดเกาะด้วยไฟฟ้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

การออกแบบหินเจียรนัยและการประยุกต์ใช้งานโดยการผสมผสานระหว่างส่วนผสมสารยึดเกาะกับ คมตัดที่สามารถเคลือบบนศูนย์กลางของหินเจียรนัยได้

**Marinescu et al., [3]** ได้ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นในกระบวนการ เจียรนัย พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นในกระบวนการเจียรนัยจะนำไปสู่การสร้างความเสียหายต่อ ผิวของชิ้นงาน เช่น รอยแตกร้าวขนาดเล็กๆ การเจียรนัยใหม่หรือโหลดความเครียดที่ไม่เอื้ออำนวย ในชั้นผิวบนสุด ยิ่งไปกว่านั้นอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในบริเวณการเจียรนัยทำให้เกิดการสึกหรอ มากเกินไปของส่วนประกอบของหินเจียรนัย (เม็ดตัดและตัวประสาน) นอกจากนี้ความร้อนอาจทำให้เกิด การสึกหรอของตัวประสานและการแตกหักของเม็ดตัดของหินเจียรนัยก่อนเวลาที่เหมาะสม

**Krzysztof Nadolny [12]** ได้ทำการศึกษาลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการ เจียรนัยภายในทรงกระบอก ได้ข้อสรุปว่าวิธีที่มีผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานและความเสถียรภาพของ การเจียรนัยก็คือ การควบคุมอัตราการตัดเฉือนและวิธีการหล่อเย็น ซึ่งวิธีนี้จะช่วยลดปัญหาในเรื่อง ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการซื้อการใช้สารหล่อเย็น ตลอดจนการส่งผลกระทบต่อการทำงานของเหลว อันตรายที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม โดยทำการทดลองออกแบบโครงสร้างของหินเจียรนัยขนาดเล็กแบบ สองชั้นประกบกันที่มีระบบการหล่อเย็นแบบแรงเหวี่ยงหินศูนย์ และได้ทำการกำหนดอัตราการไหล ของน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในการเจียรนัย จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์ โดยวิธีการจำลองการเพิ่มขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางและจำนวนช่องการไหลของท่อน้ำหล่อเย็น ด้วยโปรแกรม FEM ANSYS 10.0 จากข้อมูลการวิเคราะห์จำลองเกี่ยวกับผลกระทบของการเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและจำนวน ช่องการไหลของท่อน้ำหล่อเย็น ความเร็วการไหลของน้ำหล่อเย็นที่ไหลผ่านร่องภายในหินเจียรนัย ในขณะที่ทำการเจียรนัยชิ้นงาน โดยนำมาเทียบกับผลของการจำลองต้นแบบของหินเจียรนัยแบบ สองชั้นประกบกันที่ถูกทำขึ้นและจำนวนของการทดลอง การทดลองบนกระบวนการของการเจียรนัย ภายในรูปทรงกระบอกของเหล็กชนิด 100Cr6 ที่มีค่าความแข็งอยู่ที่  $62 \pm 2$  HRC. จากผลการทดลอง ที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้เมื่อใช้วิธีระบายความร้อนแบบใส่น้ำหล่อเย็นจนท่วม ข้อมูล การทดลองได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของหินเจียรนัยแบบสองชั้นประกบกันช่วยลดอัตราการไหล ของน้ำหล่อเย็นลงจากเดิมห้าเท่า จาก 5.0 ลิตร/นาที ลดลงมาที่ 1.0 ลิตร/นาที โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานและกำลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในการเจียรนัยชิ้นงาน

**Kubota et al., [5]** ได้ทำการแสดงขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการ (การผสมการขึ้นรูปและ การบ่ม) ที่ใช้สำหรับการผลิตเรซินออร์แกนิกอินทรีย์/เรซินที่มีความแข็งและสารยึดเกาะโลหะผสม CBN ความแตกต่างอยู่ภายใต้วัสดุที่ใช้แล้ว ดังนั้น จึงต้องใช้ขั้นตอนกระบวนการพารามิเตอร์เฉพาะ (เวลา อุณหภูมิ และความดัน) ขั้นตอนกระบวนการที่ไม่ถูกต้องสำหรับการเคลือบสารยึดเกาะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยไฟฟ้า เนื่องจากมีความแตกต่างกันในกระบวนการผลิต โดยในขั้นตอนมีการสะสมไฟฟ้า เม็ดตัด CBN สารยึดเกาะ โพรงอากาศ และสารเติมแต่งอื่นๆ ผสมในอัตราส่วนที่กำหนดแล้วกดลงใน ชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมโดยกระบวนการบั่น การบ่ม หรือให้ความร้อนขององค์ประกอบ CBN ที่เชื่อมต่อกับ ความแข็ง สามารถทำได้โดยใช้กระบวนการรีดเย็นหรือกระบวนการรีดร้อน ในกระบวนการรีดเย็น องค์ประกอบของ CBN จะหายภายในเวลาหลายชั่วโมงในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 700 ถึง 950 องศาเซลเซียสและไม่มีแรงกดเพิ่มเติม

**Marinescu et al., [6]** จำนวนปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการเจียรนัยภายในทรงกระบอก ซึ่ง ผลจากกระบวนการกลศาสตร์การเคลื่อนไหว อุปสรรคที่สำคัญที่สุดคือ พื้นที่ที่ยาวมากของการสัมผัส กันระหว่างหินเจียรนัยกับชิ้นงาน มักจะเกิดความแตกต่างเล็กน้อยของหินเจียรนัยกับเส้นผ่าศูนย์กลาง สภาพะที่ยากสำหรับการเจียรนัยคือ การระบายความร้อนที่เหมาะสมของพื้นผิวชิ้นงานกับหินเจียรนัย เช่นเดียวกับความเสถียรภาพของกระบวนการเจียรนัยในระยะเวลานาน ซึ่งเป็นผลมาจากอุปกรณ์ เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน พลังงานกลที่เข้าสู่กระบวนการเจียรนัยส่วนใหญ่จะ ถูกเปลี่ยนเป็นความร้อน ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในพื้นที่ของการสัมผัส กันระหว่างหินเจียรนัยกับชิ้นงาน ส่วนใหญ่เกิดจากการเสียดสีและกระบวนการเปลี่ยนรูปของชิ้นงาน ในขณะที่เจียรนัย พื้นที่ความยาวของการสัมผัสกันระหว่างพื้นผิวชิ้นงานกับหินเจียรนัย และบริเวณ พื้นผิวนี้ทำให้การจำกัดความร้อนจากบริเวณเจียรนัยภายในรูปทรงกระบอกเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญใน การดำเนินการที่มีประสิทธิภาพในการตัดเฉือน (Machining)

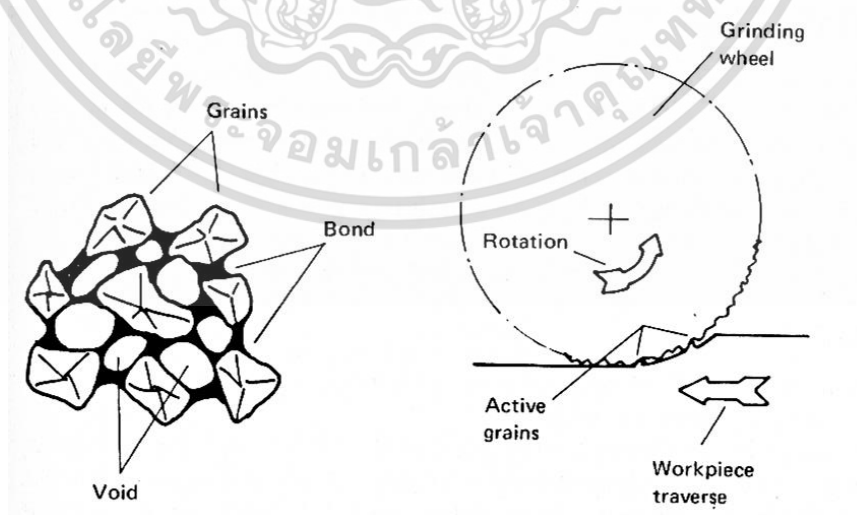
**Webster and Tricard [4]** องค์ประกอบและโครงสร้างของหินเจียรนัยคือ ปัจจัยที่สำคัญที่มี อิทธิพลในการบรรลุลักษณะทางเทคนิคที่กำหนดไว้ สามารถแยกแยะส่วนประกอบของหินเจียรนัยได้ 4 อย่างคือ เม็ดตัด สารยึดเกาะ โพรงอากาศ และศูนย์ล้อหิน ดังนั้นในการศึกษาทดลองนี้ได้ให้ ความสนใจและทำการศึกษาดูการเจียรนัยรูปในชิ้นส่วนประกอบของลูกปืน โดยใช้หินเจียรนัยที่มี คุณสมบัติและส่วนประกอบที่แตกต่างกัน 5 ชนิด เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพผิวและการสึกหรอ ของกระบวนการเจียรนัยผิวภายในทรงกระบอก ซึ่งใช้เงื่อนไขในการเจียรนัยเหมือนกันทั้งหมด อุณหภูมิและค่าความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นมีค่าเท่ากันหมด

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเจียรนัย เป็นกระบวนการลำเลียงเศษตัดออกจากชิ้นงานด้วยการขัดสี ซึ่งสารขัดสีจะประกอบรวมกันเป็นล้อยินขัด และนำมาขัดสีที่ผิวชิ้นงานด้วยความเร็วรอบที่สูงมาก ล้อยินขัดหรือล้อยินเจียรนัยจะมีรูปร่างหลายแบบแตกต่างกันออกไปตามสภาพการใช้งานนั้น ๆ การเจียรนัยมีลักษณะคล้าย ๆ กับการกัดปาดผิว (Milling) การตัดเฉือนโลหะของการเจียรนัยจะเกิดขึ้นที่ด้านข้างหรือหน้าหินเจียรนัย ซึ่งคล้าย ๆ กับการกัดแนวตั้ง และการกัดแนวอน โดยทั่ว ๆ ไปในการเจียรนัยชิ้นงานนั้น จะเป็นการเจียรด้วยหน้าหินเสียมากกว่า ในการเจียรนัยล้อยินจะต้องหมุนด้วยความเร็วสูงอนุภาคของสารขัดสีเล็ก ๆ ที่เกาะกันอยู่ที่หน้าหินขัดจะทำหน้าที่เป็นฟันคมตัดจำนวนมาก และการขัดผิวชิ้นงานจะเกิดจากการบ่อนชิ้นงานเข้าหาล้อยินเจียร

### 3.1 ล้อยินเจียรนัย (Grinding wheel)

หินเจียรนัย ใช้สำหรับเจียรนัยผิวชิ้นงานให้เรียบ ซึ่งหินเจียรนัยจะประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ อยู่ 3 อย่างคือ สารยึดเกาะ (Bond) เม็ดตัด (Grains) โพรงอากาศ (Void) โดยมีโครงสร้างและรายละเอียด ดังภาพด้านล่างนี้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของล้อยินเจียรนัย [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.1.1 สารเชิงทราย (Abrasive)** ทำหน้าที่เจียรนัยหรือขัดผิวชิ้นงาน เป็นวัสดุที่มีความคมและแข็ง จะมีด้วยกันหลายชนิด

**3.1.1.1 สารเชิงทรายธรรมชาติ (Natural abrasive)** เช่น คอร์รันดัม (Corundum) เม็ดหินควอตซ์ (Solid quartz) ผงแร่ (Emery) และเพชร (Diamond) เป็นต้น

**3.1.1.2 สารเชิงทรายสังเคราะห์ (Manufactured abrasive)** ทำการผลิตขึ้นจากเตาไฟฟ้า ได้แก่ ซิลิคอนคาร์ไบด์ ผลิตได้จาก ทรายซิลิกา ถ่านโค้ก ชี้ลื้อย และสารประกอบของกรดเกลือ อลูมิเนียมออกไซด์ผลิตได้จากแร่ดินเหนียว บอโรนคาร์ไบด์ (Boron carbide) เซอโคเนียมออกไซด์ (Zirconium oxide) (แร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของฟลอย)

งานผลิตล้อหินเจียรนัยจากสารเชิงทรายธรรมชาติ

1. บดเม็ดหินให้ได้ขนาดเล็ก ๆ โดยผ่านแผ่นกรองแล้วดูดผงออกจากเม็ดหิน
2. แยกฝุ่นผงสิ่งสกปรกออกจากเม็ดหิน
3. แยกขนาดของเม็ดหินด้วยตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ
4. นำเม็ดหินผสมเข้ากับตัวประสานแล้วหล่อหรือตัดไปเป็นรูปร่างเฉพาะที่ถูกต้อง จากนั้นนำไปให้ความร้อน
5. อัดปลอกและทำให้ได้ขนาดจริง ทำการทดสอบ และตรวจสอบขั้นสุดท้าย

สำหรับสารเชิงทรายสังเคราะห์ จะต้องเอาธาตุซึ่งเป็นส่วนผสมของสารเชิงทรายนำเข้ามาหลอมรวมกันในเตาไฟ

**3.1.2 ตัวประสาน (Bonding)** เป็นตัวสำหรับยึดเม็ดหินต่าง ๆ ให้ติดแน่น และนำไปขึ้นรูปเป็นล้อหินเจียรนัยในรูปแบบต่าง ๆ ตัวประสานที่นิยมใช้ มีรายละเอียดดังนี้

**3.1.2.1 ตัวประสานซิลิเกต (Silicate bond)** ได้มาจากสารประกอบโซเดียมซิลิเกตผสมกับสารเชิงทรายแล้วอัดขึ้นรูป นำไปอบที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 1-3 วัน ตัวประสานใช้ทำล้อหินเจียรนัยขนาดใหญ่ ใช้สำหรับงานลับคมต่าง ๆ เช่น มีดตัด มีดกลึง มีดไส ดอกสว่าน เป็นต้น

**3.1.2.2 ตัวประสานวิตรีไฟท์ (Vitrified bond)** หรือเรียกว่าตัวประสานเซรามิก ได้มาจากการนำแก้วหรือหินเฟลสปาร์ (Feldspar) หรือหินแข็งอื่น ๆ ผสมกับสารเชิงทรายแก้วแล้วอัดขึ้นรูปนำไปเผาใช้อุณหภูมิสูง จะได้ล้อหินเจียรนัยที่มีเม็ดทรายใสเหมือนแก้ว ซึ่งเป็นตัวประสานที่ใช้มาก ถึง

27% มีคุณสมบัติทนต่อน้ำกรด น้ำมัน อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.1.2.3 ตัวประสานเซลแล็ก (Shellac bond)** ได้มาจากพืชผสมสารเชิงทรายแล้วอัดขึ้นรูปใช้ความร้อนจากไอน้ำเข้าช่วย จะได้ล้อยินเจียรนัยจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ในเวลาสั้น ๆ ล้อยินเจียรนัยที่ได้จากวิธีแบบนี้จะมีขนาดบาง มีความแข็งแรงและยึดหยุ่นดี ใช้กับอุณหภูมิไม่ได้ดี นิยมใช้เจียรนัยงานลูกกลิ้งหรือลักษณะงานที่ต้องการความมันวาว

**3.1.2.4 ตัวประสานยาง (Rubber bond)** ได้มาจากยางผสมกำมะถัน แล้วผสมกับสารเชิงทรายแล้วอัดขึ้นรูป ล้อยินเจียรนัยที่ได้จากวิธีนี้จะมีความบาง มีความปลอดภัยสูง จึงสามารถให้ความเร็วรอบสูงได้ นิยมใช้กับลักษณะงานตัดที่บางหรือหนาก็ได้ โดยขณะทำงานไม่ต้องหล่อเย็น

**3.1.2.5 ตัวประสานเบเกอร์ไลท์ (Bakelite bond)** หรือเรียกชื่ออีกอย่าง เรซิน ได้มาจากยางสนหรือยางที่ไม่ละลายน้ำ มาผสมกับเทอร์โมเซตติ้งพลาสติก แล้วนำมาผสมกับสารเชิงทรายจากนั้นนำมาอัดขึ้นรูปล้อยินแล้วนำไปอบ โดยใช้ระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 3-4 วัน ล้อยินเจียรนัยที่ได้จะมีคุณสมบัติมีความแข็งแรง ใช้ได้ในความเร็วรอบสูงประมาณ 2,895-5,000 เมตรต่อนาที ใช้สำหรับงานเจียรนัยทั่วไป หรืองานเจียรนัยผิวงานหล่อได้ดี

**3.1.3 โพรงอากาศหรือรูพรุน (Grain spacing)** คือ ความห่างระหว่างสารเชิงทราย เพื่อให้ล้อยินเจียรนัย เจียรนัยขึ้นงานได้ดี และเศษโลหะไม่อุดตันช่องว่างของล้อยินด้วย ถ้าเป็นการเจียรนัยขึ้นงานที่มีความแข็ง ความห่างของสารเชิงทรายจะน้อย แต่ถ้าเจียรนัยขึ้นงานอ่อน ความห่างของสารเชิงทรายจะมาก

### 3.1.4 การเลือกใช้ล้อยินเจียรนัย

**3.1.4.1 ขนาดของเม็ดสารเชิงทราย** สำหรับเบอร์หยาบเหมาะกับขึ้นงานที่มีความอ่อนและเหนียว สำหรับเบอร์ละเอียดเหมาะกับขึ้นงานที่มีความแข็งและเปราะ

**3.1.4.2 สารเชิงทราย** ถ้าเป็นซิลิคอนออกไซด์ เหมาะกับวัสดุที่อ่อน-เปราะ เช่น เหล็กหล่อเทา อะลูมิเนียม และถ้าเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์เหมาะกับวัสดุงานที่แข็งและเหนียว เช่น เหล็กกล้า เหล็กหล่อเหนียว

**3.1.4.3 เกรดความแข็งของล้อยิน** สำหรับขึ้นงานเจียรนัยอ่อนก็ใช้ล้อยินเกรดแข็ง ถ้าขึ้นงานเจียรนัยแข็งก็ใช้ล้อยินเกรดอ่อน โดยทั่วไปนิยมใช้ G H J K L และ M

**3.1.4.4 โครงสร้างของล้อยินหรือรูพรุน** ถ้าเป็นงานเจียรนัยหยาบก็ใช้โครงสร้างแบบเปิด แต่ถ้าเป็นงานเจียรนัยผิวสำเร็จก็ใช้โครงสร้างแบบปิด ส่วนมากนิยมเลือกใช้แบบ 5, 6, 7, และ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ความเร็วรอบมอเตอร์

ความเร็วรอบมอเตอร์ตามทฤษฎี (Synchronous Speed)  $N_s$  ดังต่อไปนี้

$$N_s = \frac{120F}{P} \quad (1)$$

เมื่อ  $N_s$  = ความเร็วรอบตามทฤษฎี รอบต่อนาที (RPM)

$F$  = Frequency ประเทศไทย ญี่ปุ่น อังกฤษ ใช้ 50 Hz, ส่วนสหรัฐอเมริกาใช้ 60 Hz

ดังนั้น ประเทศไทย  $N_s = 6,000/P$ , สหรัฐอเมริกา  $N_s = 7,200/P$

$P$  = ขั้ว (Poles) แม่เหล็กไฟฟ้า 2, 4, 6

ความเร็วรอบการหมุนตามทฤษฎีของมอเตอร์ในประเทศไทยก็จะเป็นดังนี้

$$6,000/2 = 3,000, 6,000/4 = 1,500, 6,000/6 = 1,000$$

สำหรับมอเตอร์ 2, 4, 6 ขั้วตามลำดับ

### 3.3 ความเร็วตัดของหิน

ในการเจียรนัยภายในของชิ้นส่วนประกอบของลูกปืน จะมีส่วนที่สัมผัสกันระหว่างหินเจียรนัยกับชิ้นงานซึ่งจะมีตัวแปรหลายตัวที่มีผลต่อการเจียรนัยอยู่ในชิ้นส่วนประกอบของลูกปืน เช่น ความเร็วรอบของหิน ความเร็วรอบชิ้นงาน ความเร็วตัดของหิน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหินเจียรนัย

3.3.1 ในกระบวนการตัดเฉือนชิ้นงานจะต้องรู้ค่าความเร็วตัด ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$V = \frac{\pi dn}{1000} \quad (2)$$

เมื่อ  $\pi$  คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 3.14

$d$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหินเจียรนัย

$n$  คือ ความเร็วรอบของหินเจียรนัย

### 3.3.2 พลังงานที่ใช้ในขณะทำการเจียรนัยชิ้นงาน คำนวณได้จากสูตร

$$U = \frac{P}{(VDB\pi)/2000} \quad (3)$$

เมื่อ P คือ กำลังมอเตอร์ที่ใช้ในขณะเจียรนัย

V คือ ความเร็วอัตราการป้อน

B คือ ระยะที่ถูกทำการเจียรนัย

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นงาน

$\pi$  คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 3.14

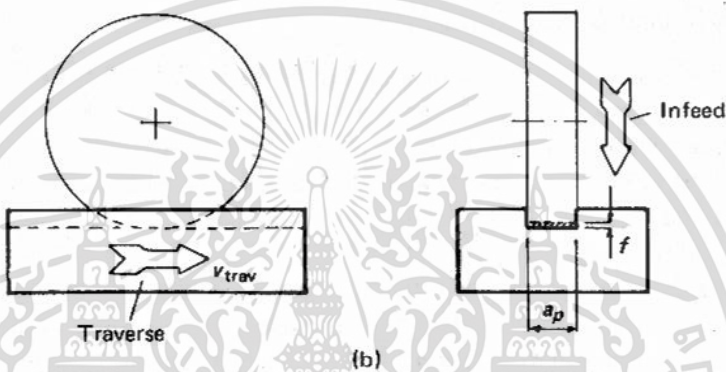
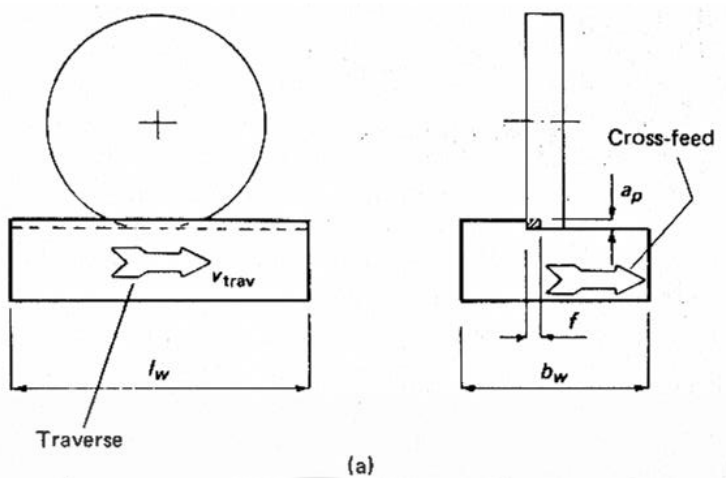
### 3.3.3 อัตราการตัดเฉือนของการเจียรนัยราบ คำนวณได้จากสูตร

$$Zw = fapVtrav \quad (4)$$

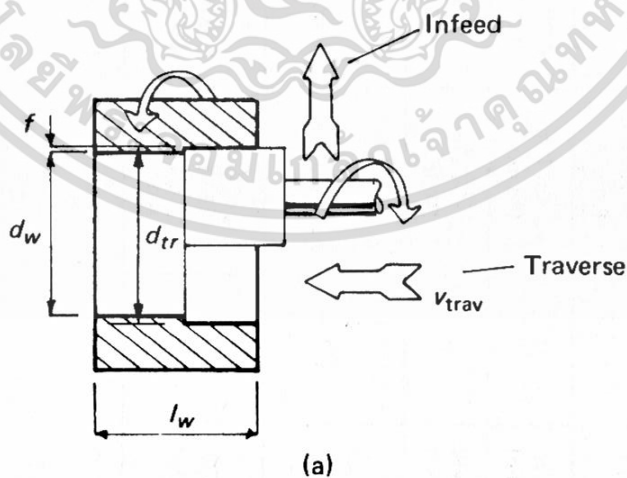
เมื่อ f คือ อัตราการป้อน

ap คือ ระยะการกินผิว

Vtrav คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน



รูปที่ 3.2 รูปแบบของการเจียรนัยผิวราบ [14]



รูปที่ 3.3 รูปแบบของการเจียรนัยภายใน [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4 อัตราการตัดเฉือนสูงสุดของการเจียรนัยภายใน

อัตราการตัดเฉือนสูงสุดแบบ Traverse grinding จะเป็นลักษณะการตัดเฉือนในแนวขนานกันระหว่างหินกับชิ้นงาน โดยการเคลื่อนที่เข้าไปด้วยความเร็วของ Spindle ( $V_{trav}$ ) ในแนวแกน (-Z) พร้อมอัตราการป้อน (Infeed) ในแนวแกน (+X) และเส้นสูดการเจียรด้วยขนาดที่กำหนดไว้ ( $dm$ ) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$Z_{wmax} = \pi f d m V_{trav} \quad (5)$$

เมื่อ  $\pi$  คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 3.14  
 $f$  คือ อัตราการป้อน  
 $dm$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางผิวที่ถูกเจียร  
 $V_{trav}$  คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน

### 3.3.5 เวลาที่ใช้ในการเจียรนัย สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$t_m = \frac{bw}{(2fnr)} \quad (6)$$

เมื่อ  $bw$  คือ ความกว้างของชิ้นงาน  
 $f$  คือ อัตราการป้อน  
 $nr$  คือ ความเร็วของคูจิ้งหะ

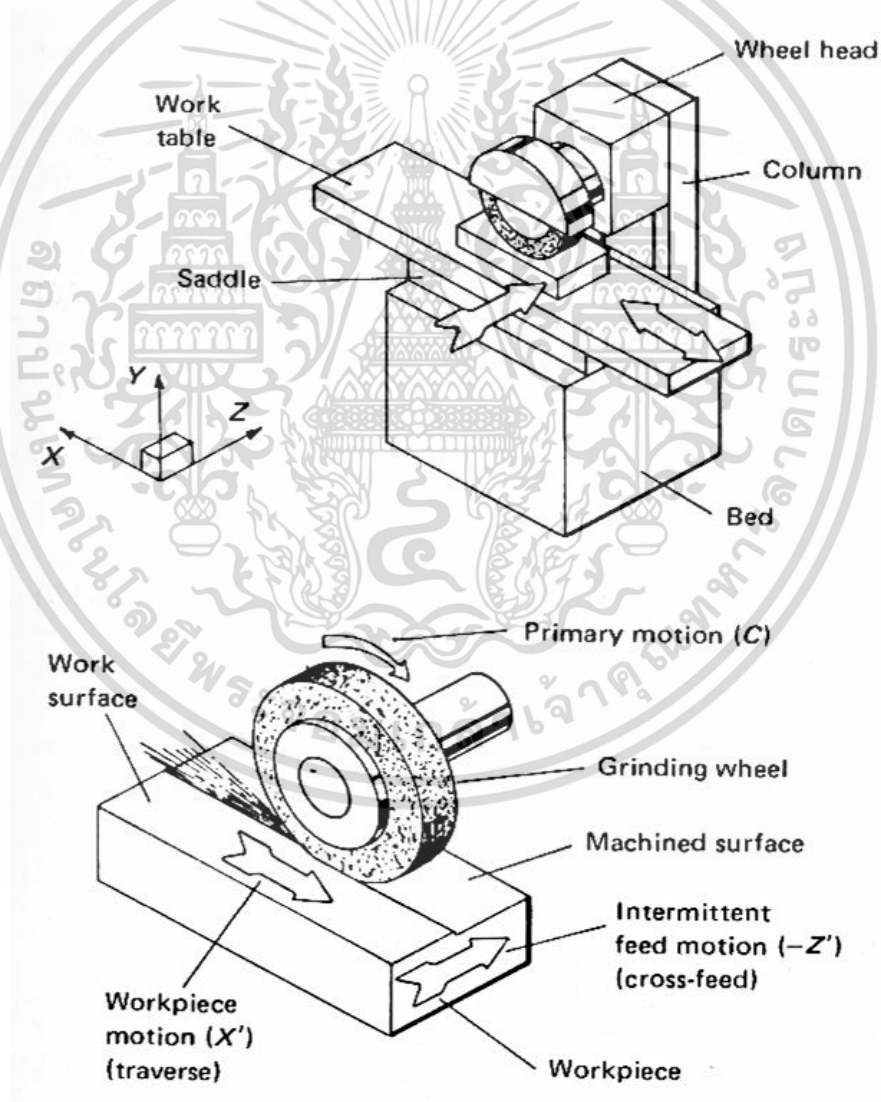
## 3.4 รูปแบบของการเจียรนัย

การเจียรนัยเป็นการแปรรูปวัสดุด้วยการขัดสีด้วยคมตัดที่เป็นวัสดุแข็งที่ถูกยึดให้ติดกันด้วยสารยึดเกาะ (Bond) และขึ้นรูปเป็นแบบฟอร์มต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่าหินเจียรนัย การเจียรด้วยหินเจียรนัยสามารถกระทำได้หลายแบบคือ การเจียรนัยราบ (Surface grinding) การเจียรนัยกลม (Cylindrical grinding) และการเจียรนัยภายใน (Internal grinding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1 การเจียรนัยราบ (Horizontal-Spindle Surface Grinder)

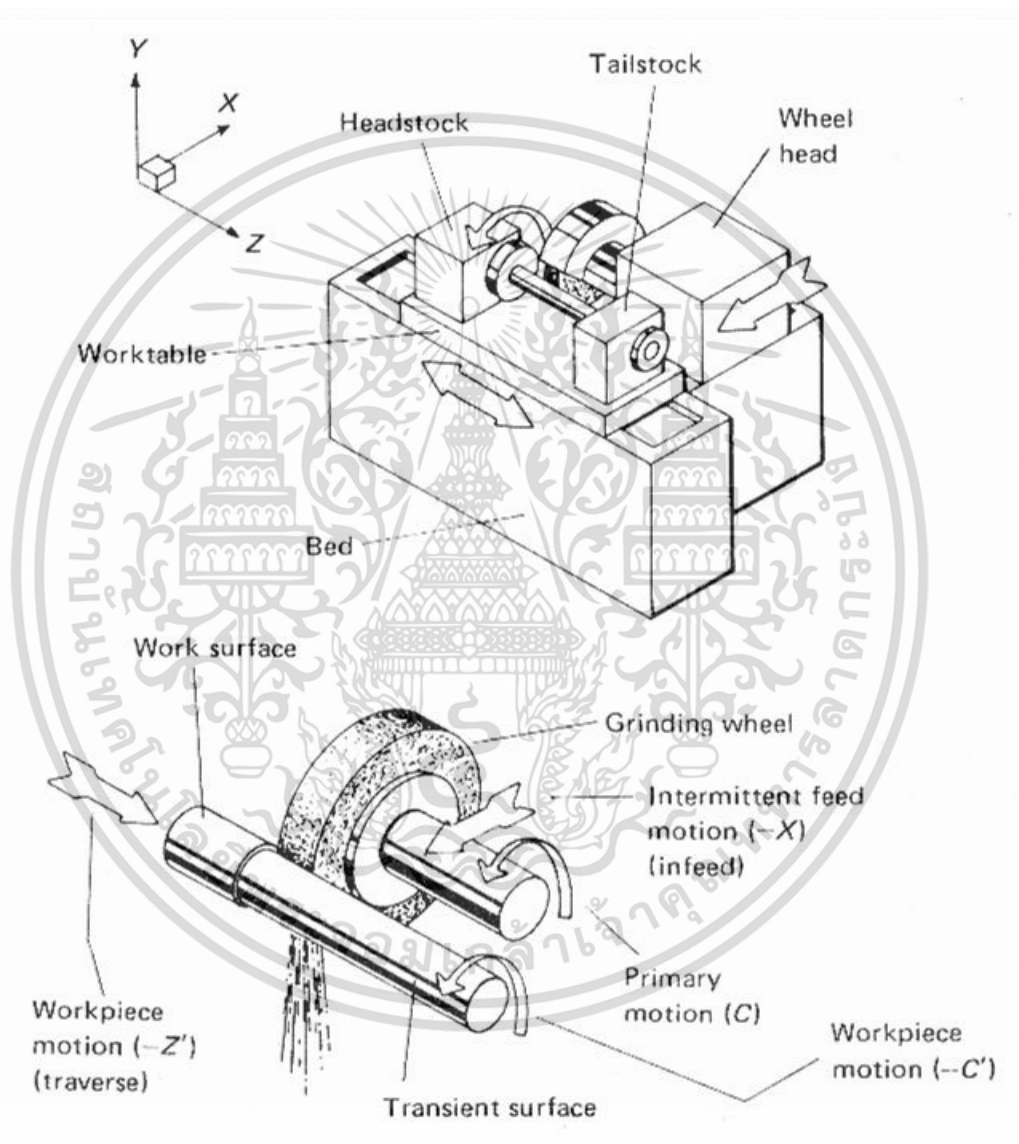
เครื่องเจียรนัยแกนหมุนแนวนอน ในรูปที่ 3.4 มีการเคลื่อนที่ในแนวนอนไปยังล้อหิน (motion C) อัตราการเคลื่อนไหวหลักคือ การตอบสนองของชุดการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน (motion X) การเคลื่อนไหวนี้เรียกว่า การตัดผ่านและดำเนินการด้วยระบบไฮดรอลิก อัตราการเคลื่อนไหวอาจถูกนำมาประยุกต์ใช้กับชุดขับเคลื่อนหิน โดยเลื่อนลงมาในแนวตั้ง (motion -Y) หรือบนโต๊ะโดยการย้ายไปยังแกนขนานกับแกนหมุนของเครื่อง (motion Z) พื้นผิวแนวนอนเริ่มต้นสร้างขึ้นบนชิ้นงานโดยการเคลื่อนที่เข้ามาของชุดชิ้นงาน (motion -Z) อัตราการเคลื่อนไหวนี้ เป็นแบบไม่ต่อเนื่องมักจะใช้งานเป็นแบบไฮดรอลิกและใช้หลังจากในแต่ละจังหวะหรือการเคลื่อนที่ผ่านของชุดชิ้นงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้ใช้ควรนำเข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การเจียรนัยกลม (Cylindrical Grinder)

เป็นการเจียรนัยชิ้นงานทรงกระบอก ซึ่งสามารถกระทำได้ทั้งภายนอกและภายใน การเจียรนัยภายนอก ล้อหินเจียรนัยจะหมุนแนวอน ส่วนชิ้นงานก็หมุนอยู่ในแนวอนเช่นกัน แต่ชิ้นงานยังสามารถเคลื่อนที่ไปกลับตามแนวอนได้ด้วย เพื่อให้สามารถเจียรนัยชิ้นงานที่มีความยาวมาก ๆ ได้

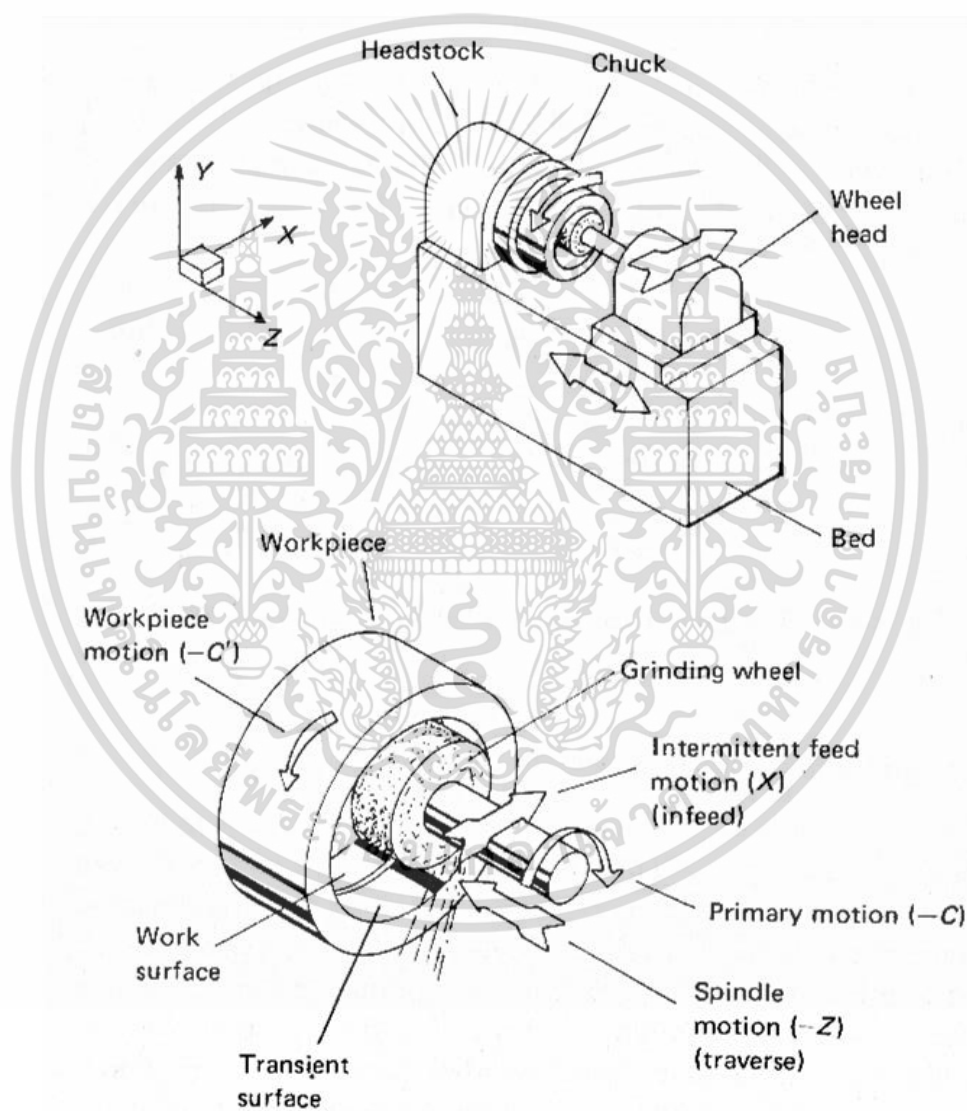


รูปที่ 3.5 การเจียรนัยกลม [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 การเจียรนัยภายใน (Internal Grinder)

ได้แสดงรายละเอียดส่วนประกอบของเครื่องไว้ในรูปที่ 3.6 ซึ่งได้ออกแบบไว้สำหรับการเจียรนัยภายในผิวชิ้นงานทรงกระบอก โดยที่หินเจียรนัยจะรวมเป็นชุดเดียวกับ Spindle ที่สามารถเคลื่อนที่เข้ามาในแนวแกน (Z) ที่ขนานกับชิ้นงานได้ เมื่อขนาดของหินเล็กลง ความเร็วรอบก็จะสูงขึ้น ชิ้นงานจะถูกจับยึดด้วยอำนาจแม่เหล็กและหมุนตามรอบที่กำหนด อัตราการป้อนจะถูกใช้โดยตรงกับชุดหินเจียรนัยในแนวแกน (X)



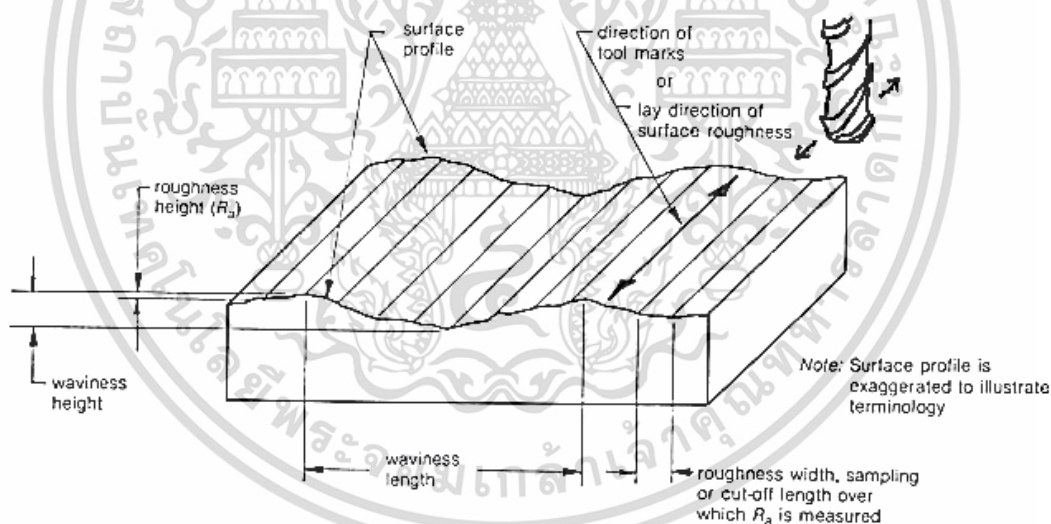
รูปที่ 3.6 การเจียรนัยภายใน [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 ความหยาบของผิว (Surface roughness)

ความหยาบของผิวเป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการผลิตแบบหนึ่ง ความหยาบเกิดขึ้นจากรูปร่างของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน และกรรมวิธีการขึ้นรูป สำหรับการวัดความหยาบ เราจะวัดลักษณะที่เกิดจากความขรุขระของพื้นผิวที่มีความยาวคลื่นน้อย ดังนั้นในการวัดเราจะต้องจำกัดระยะในการวัดให้ต่ำ ลักษณะความเป็นคลื่นระยะนี้เรียกว่า Cut-off length ดังแสดงในรูปที่ 3.7 cut-off length มีมาตรฐานที่ใช้กันมากคือ 0.25 mm, 0.8 mm, และ 2.5 mm ความหยาบของผิวมีความสำคัญต่อการใช้งานหลาย ๆ อย่าง เช่น แรงเสียดทานระหว่างผิว การสึกหรอจากการเสียดสี ความสวยงาม (Looks), ความรู้สึกในการสัมผัส (Feels), และความสามารถในการป้องกันการรั่วซึม (Sealing property)

ในรูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของพื้นผิวอีกอย่างคือ lay (แนวการกัดขึ้นงาน) lay เป็นลักษณะที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป เมื่อจำเป็นเราสามารถกำหนด lay ได้



รูปที่ 3.7 คำศัพท์ต่าง ๆ สำหรับลักษณะของพื้นผิว [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.1 ค่าความหยาบของพื้นผิว

ค่าความหยาบของพื้นผิวนั้นมีผลโดยตรงต่อความเงาของผิวชิ้นงาน เราอาจประมาณค่าความหยาบได้จากความเป็นเงา แต่ถ้าต้องการความแม่นยำแล้วเราจำเป็นต้องมีค่ากำหนดเป็นตัวเลข และมีวิธีการคำนวณที่ชัดเจน ค่าความหยาบที่ใช้กันแพร่หลายเป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของค่าความแตกต่างของความสูงของพื้นผิวจากตำแหน่งความสูงเฉลี่ย รูปที่ 3.8 แสดงค่าต่าง ๆ เกี่ยวกับการคำนวณค่าความหยาบจากค่าความสูงของพื้นผิว การคำนวณทำได้โดยเริ่มจากการหาแนวระดับเฉลี่ย ระดับเฉลี่ยคือ ตำแหน่งระดับที่มีพื้นที่เหนือแนวเฉลี่ยเท่ากับพื้นที่ใต้แนวเฉลี่ย ดังแสดงในรูป

$$(A_1 + A_2 + A_3 + \dots = B_1 + B_2 + B_3 + \dots) \quad (7)$$

หรือถ้าให้ความสูงของพื้นผิวเป็น  $y$  เราจะได้ว่า

$$\bar{y} = \frac{1}{L} \int_0^L y dl, \quad \sum i + A_i = \sum j + B_j \quad (8)$$

เราสามารถคำนวณค่าความหยาบ,  $R_a$  ได้คือ

$$R_a = \frac{(A_1 + A_2 + A_3 + \dots = B_1 + B_2 + B_3 + \dots)}{L} \quad (9)$$

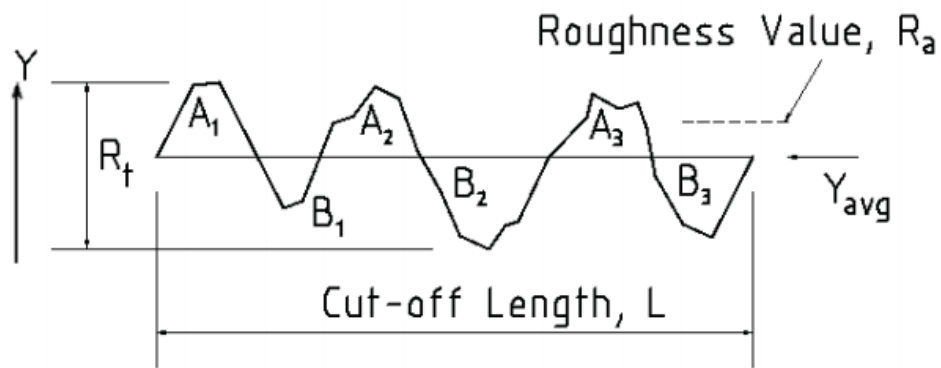
หรือจาก

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L y - \bar{y} dl, \quad R_a = \frac{(\sum i + A_i = \sum j + B_j)}{L} \quad (10)$$

ถ้าระดับพื้นผิวเป็นแบบคลื่นสามเหลี่ยมที่มีระยะจากท้องคลื่นถึงยอดคลื่นเป็น  $R_t$  จะได้ว่า

$$R_a = R_t/4$$

เมื่อใช้ค่า  $R_a$  นี้ในการกำหนดบนแบบชิ้นงาน เราควรจะให้ค่ามาตรฐานในหน่วยไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) ดังต่อไปนี้ คือ 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.3, 12.5, 25, 50 ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ผลิตสามารถเลือกใช้การผลิตที่เหมาะสมได้สะดวก



รูปที่ 3.8 Surface roughness profile [15]

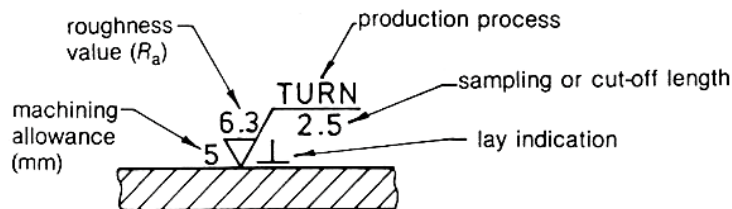
### 3.5.2 การกำหนดความหยาบของพื้นผิว

เรากำหนดค่าความหยาบที่ต้องการและลักษณะอย่างอื่นที่ต้องการได้ดังรูปที่ 3.9 โดยขนาดที่เหมาะสมแสดงดังรูปที่ 3.10 โดย  $h$  คือ ค่าความสูงของตัวหนังสือ ดังแสดงในรูป การกำหนดลักษณะของพื้นผิวที่ต้องการสามารถกำหนด

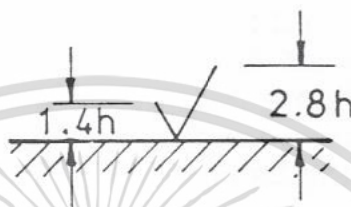
1. ค่าความหยาบ  $R_a$  (Roughness value,  $\mu\text{m}$ )
2. ค่าความยาว Cut-off length  $L$  (mm) สำหรับการวัดค่าความหยาบ
3. วิธีการผลิต (Production process)
4. แนวการกัดชิ้นงาน (Lay)
5. เป็นค่าเพื่อแนะนำสำหรับการสั่งซื้อหรือเตรียมชิ้นงาน เพื่อให้มีเนื้องานพอในการทำกระบวนการต่าง ๆ (Machine allowance, mm)

#### 3.5.2.1 ค่าเลขความหยาบ (Roughness grade number)

การกำหนดค่าความหยาบอาจจะใช้ค่า  $R_a$  ในหน่วย  $\mu\text{m}$  หรือ  $\mu\text{in}$  ก็ได้ ในบางกรณีการกำหนดค่าด้วยค่านี้อาจจะไม่ชัดเจนหรือไม่เหมาะสม เราสามารถให้ค่า Roughness number แทนได้ ค่าความหยาบของ Roughness number แต่ละค่าแสดงในตารางที่ 3.1 นอกจากนี้แล้ว การกำหนดค่าความหยาบอีกแบบที่ใช้กันมากคือ รูปสามเหลี่ยมคว่ำ โดยที่  $\nabla\nabla\nabla$  หมายถึง ค่าความหยาบ  $R_a = 0.4\text{-}1.6$ ,  $\nabla\nabla$  หมายถึงค่าความหยาบ  $R_a = 3.2\text{-}6.3$ , และ  $\nabla$  หมายถึงค่าความหยาบ  $R_a = 12.5\text{-}25$



รูปที่ 3.9 การกำหนดค่าลักษณะของพื้นผิวที่ต้องการ [15]



รูปที่ 3.10 ขนาดที่เหมาะสมสำหรับการกำหนดลักษณะของพื้นผิว [15]

ตารางที่ 3.1 ตารางค่าตัวเลขความหยาบ

Roughness Value ( $R_a$ )		Roughness Grade
$\mu\text{m}$	$\mu\text{in}$	
50	2000	N12
25	1000	N11
12.5	500	N10
6.3	250	N9
3.2	125	N8
1.6	63	N7
0.8	32	N6
0.4	16	N5
0.2	8	N4
0.1	4	N3
0.05	2	N2
0.025	1	N1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2.2 การใช้สัญลักษณ์ต่าง ๆ ในการกำหนดลักษณะของพื้นผิว

การกำหนดลักษณะของพื้นผิวสามารถทำได้หลากหลาย การกำหนดนั้นขึ้นอยู่กับการใช้งานของชิ้นส่วนที่ต้องการผลิต รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการใช้งานของสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในการกำหนดลักษณะพื้นผิวที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป

### 3.5.2.3 สัญลักษณ์การกำหนดลวดลาย

กรรมวิธีการผลิตหลาย ๆ อย่างจะทำให้เกิดลวดลายขึ้นบนพื้นผิว เมื่อต้องการเราสามารถกำหนดลวดลายที่ต้องการได้ รูปที่ 3.12 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ในการกำหนดลวดลาย

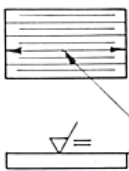
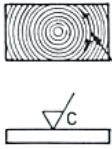
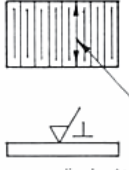
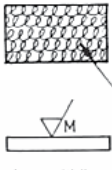
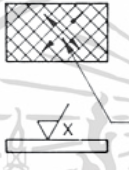
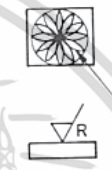
### 3.5.2.4 การวางแนวสัญลักษณ์กำหนดลักษณะของพื้นผิว

การวางสัญลักษณ์กำหนดลักษณะของพื้นผิวนั้น ควรกำหนดให้สามารถอ่านได้สะดวกจากด้านล่างและด้านขวาของแบบ การกำหนดควรวางสัญลักษณ์ในรูปที่เห็นพื้นผิวที่ต้องการเป็นเส้น (Edge view) สามารถใช้ลูกศรหรือเส้น Leader line ได้ รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างการวางแนวสัญลักษณ์ค่าลักษณะของพื้นผิว

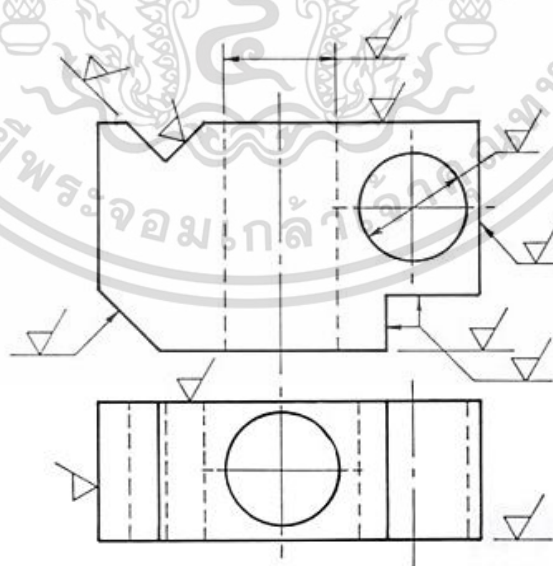
Symbol	Interpretations	Symbol	Interpretations
	the basic symbol—consists of two unequal legs inclined at 60° and resting on the surface to be controlled	0.4/ALL OVER	may be applied in the title block or as a note when a single value applies to all machined surfaces controlled
	used when machining is necessary to obtain the desired texture	6.3/ALL OVER EXCEPT WHERE OTHERWISE INDICATED	may be applied in the title block or as a note when a single value applies to the majority of machined surfaces; exceptions should be indicated on the individual surfaces concerned
	used when the surface texture is to remain as found from the last process and no material, e.g. a cast or forged part, is to be removed	TURN 1.6	used to specify a turning allowance of 2 mm after which a surface texture of 1.6 µm is required
	used to specify maximum and minimum limits of surface roughness obtained by any machining process	N4	used to specify the roughness value by a standard number equivalent to 0.2 µm or 8 µm
	used to specify maximum and minimum limits of surface roughness obtained without machining	3.2/M	used to specify a roughness value together with a multidirectional lay texture
	used to indicate a particular machining process and roughness value	0.8 0.008-4	used to specify a roughness value together with a waviness height of 0.008 mm and spacing of 4 mm
	used to indicate a sampling length in millimetres and a machined surface texture		used when a surface texture specification is complicated and is required on a number of surfaces and space on the drawing is limited; the basic symbol is used on the surfaces in question and its meaning is clearly defined in note form on the drawing as shown
	used to indicate roughness before and after surface treatment; note the use of type J line representing the surface after treatment		

รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการกำหนดลักษณะพื้นผิว [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lay symbol	Description	Lay symbol	Description
=	 <p>direction of tool marks</p> <p>Lay is parallel to the line representing the surface to which the symbol is applied.</p>	C	 <p>direction of tool marks</p> <p>Lay is generally circular relative to the centre of the surface to which the symbol is applied</p>
⊥	 <p>direction of tool marks</p> <p>Lay is perpendicular to the line representing the surface to which the symbol is applied.</p>	M	 <p>direction of tool marks</p> <p>Lay is multidirectional, but generally having some kind of tool mark pattern.</p>
X	 <p>direction of tool marks</p> <p>Lay is slanting in both directions to the line representing the surface to which the symbol is applied.</p>	R	 <p>direction of tool marks</p> <p>Lay is approximately radial to the centre of the surface to which the symbol is applied.</p>

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่ใช้ในการกำหนดลวดลาย [15]



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการวางแนวสัญลักษณ์กำหนดลักษณะของพื้นผิว [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 การใช้งานค่าความหยาบ

การใช้งานค่าความหยาบต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 3.14

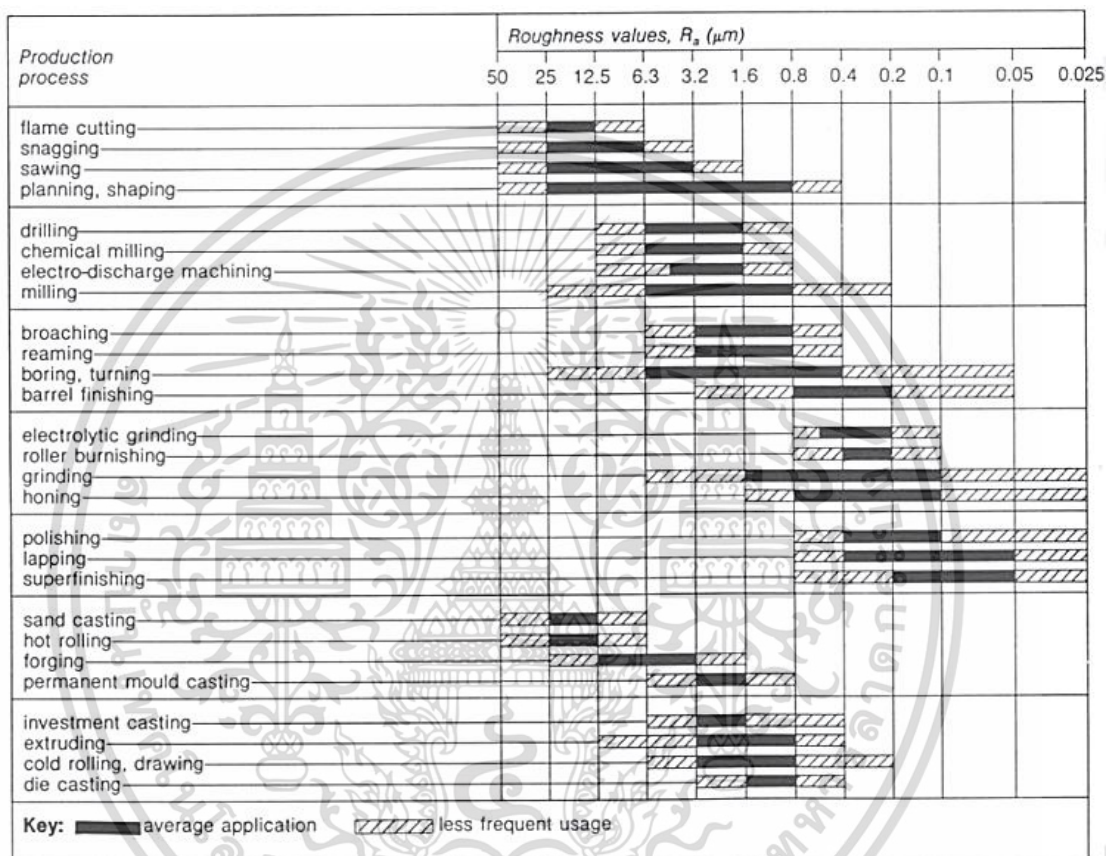
Ra (micron)		Applications
0.025 or 0.075 and 0.05 or 0.25	very fine quality surface finishes, costly to produce	This very smoothly finished surface is produced by fine honing, lapping, buffing or super-finishing machines. It is costly to produce and seldom required. It has a highly polished appearance, depending on the production process, and is normally used on precision instruments such as gauges, laboratory equipment and finely made tools.
0.1 or 0.1		This is similar to the finer grades of finish and has much the same application. Very refined surfaces have this high degree of finish. It is produced by honing, lapping and buffing methods and is costly to produce.
0.3 or 0.3		This fine surface is produced by honing, lapping and buffing methods. This texture could be specified on precision gauge and instrument work, and on high speed shafts and bearings where lubrication is not dependable.
0.4 or 0.4		This fine quality surface can be produced by precision cylindrical grinding, coarse honing, buffing and lapping methods. It is used on high speed shafts, heavily loaded bearings and other applications where smoothness is desirable for the proper functioning of a part.
0.8 or 0.8	medium quality finishes, used where reasonable surfaces are required	This first-class machine finish can be easily produced on cylindrical, surface and centreless grinders but requires great care on lathes and milling machines. It is satisfactory for bearings and shafts carrying light loads and running at medium to slow speeds. It may be used on parts where stress concentration is present. It is the finest finish that it is economical to produce; below this costs rise rapidly.
1.6 or 1.6		This good machine finish can be maintained on production lathes and milling machines using sharp tools, fine feeds and high cutting speeds. It is used when close fits are required but is unsuitable for fast rotating members. It may be used as a bearing surface when motion is slow and loads are light. This surface can be achieved on extrusions, rolled surfaces, die castings and permanent mould castings in controlled production.
3.2 or 3.2		This medium commercial finish is easily produced on lathes, milling machines and shapers. A finish commonly used in general engineering machining operations. It is economical to produce and of reasonable appearance. It is the roughest finish recommended for parts subjected to slow speeds, light loads, vibration and high stress, but it should not be used for fast rotating shafts. This finish may also be found on die castings, extrusions, permanent mould castings and rolled surfaces.
6.3 or 6.3	rough finishes, used where quality surfaces are unimportant	This coarse production finish is obtained by taking coarse feeds on lathes, millers, shapers, boring and drilling machines. It is acceptable when tool marks have no bearing on performance or quality. This texture can also be found on the surfaces of metal moulded castings, forgings, extruded and rolled surfaces, and can be produced by rough hand filing or disc grinding.
12.5 or 12.5		This surface is produced from heavy cuts and coarse feeds by milling, turning, shaping, boring, disc grinding and snagging. It can also be obtained by sand casting, saw cutting, chipping, rough forging and oxy cutting. This finish is rarely specified and is used only where it is not seen or its appearance is unimportant, e.g. on machinery, jigs and fixtures.
25		This very rough finish is produced by sand casting, torch and saw cutting, chipping and rough forgings. Machining operations are not required as this finish is suitable as found, e.g. on large machinery.

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการใช้งานค่าความหยาบ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.4 ความหยาบจากการผลิต

ค่าความหยาบที่สามารถผลิตได้นั้นขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิต สำหรับการออกแบบการเลือกค่าความหยาบ เราจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการผลิตที่มีอยู่ด้วย กรรมวิธีการผลิตแบบต่าง ๆ และช่วงค่าความหยาบที่จะสามารถทำได้นั้นแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ค่าความหยาบของกรรมวิธีการผลิต [15]

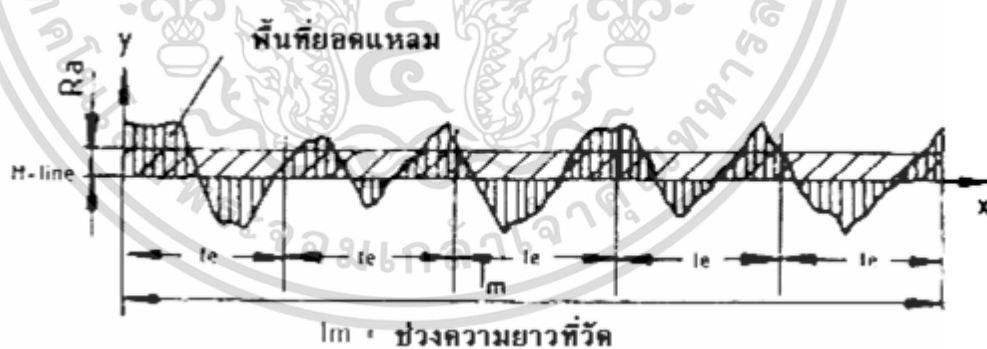
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 ค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

ความหยาบจัดเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งในด้านโลหะวิทยา อุปกรณ์ที่ใช้วัดความหยาบเรียกว่า เครื่องวัดความหยาบหรือเครื่องวัดความเรียบผิว การวัดความหยาบนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ วัดความหยาบผิวโดยค่าเฉลี่ยกับความหยาบผิวโดยขนาด

**3.6.1 ประเภทการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Average parameter)** คือ อาศัยการวัดแล้ว คำนวณค่าความหยาบผิวออกมาเป็นค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ซึ่งจะทำให้เรารู้ระดับความหยาบโดยรวม แต่ไม่สามารถรู้ลักษณะความคลาดเคลื่อนสูงต่ำของความหยาบ วิธีการกลุ่มนี้ ได้แก่ Ra Rku Rq และ Rsk

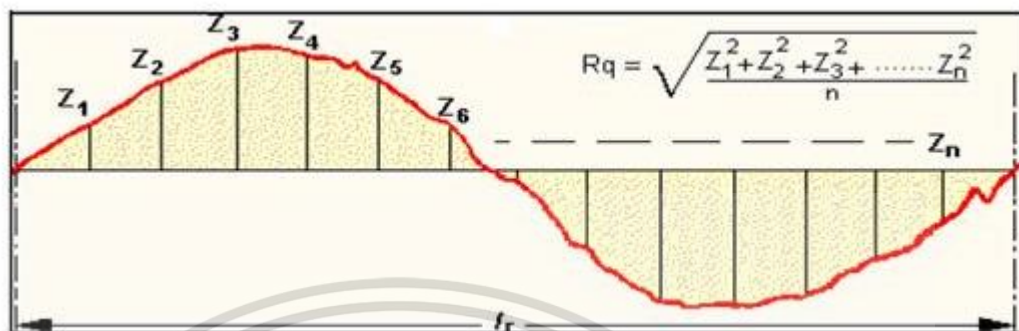
**3.6.1.1 ความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Roughness average : Ra)** เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวด้วยค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของผิวที่วัด ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้กันมากที่สุด และหลายมาตรฐานมักจะนิยมใช้ในการกำหนดมาตรฐานความหยาบผิว วิธีการหาความหยาบผิว การหาความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิตได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (M-Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลางหารด้วยความยาวเฉลี่ย (Lm) โดยค่าของ Ra มีหน่วยวัดเป็น ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงวิธีหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ย [17]

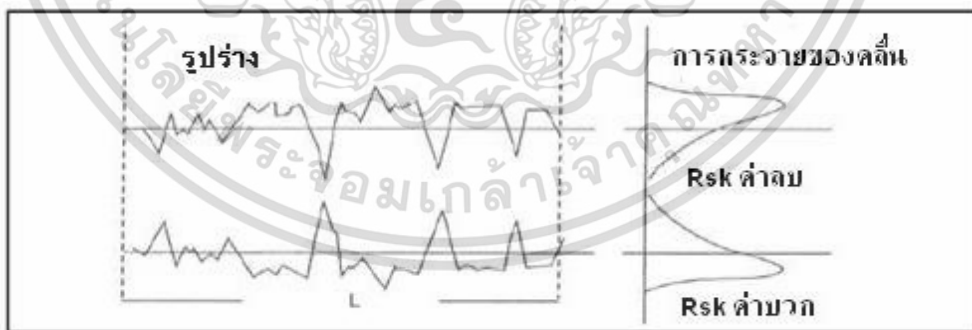
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1.2 ความหยาบผิวเฉลี่ยกำลังสอง (Roughness root mean square : Rq) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวด้วยรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของผิวที่วัด ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงวิธีหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยกำลังสอง [17]

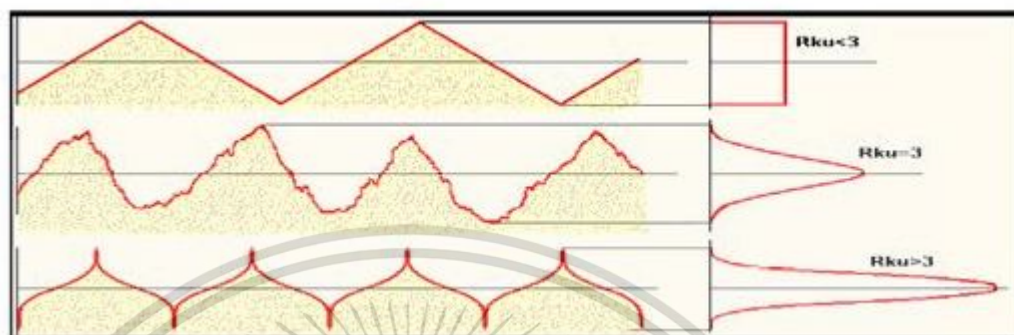
3.6.1.3 ความหยาบผิวเฉลี่ยปริมาตร (Roughness skewness : Rsk) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวโดยการปริมาณของยอดและหลุม โดยปริมาณของยอดให้เป็นค่าบวก ส่วนปริมาณของหลุมให้เป็นค่าลบ หากค่าใดมีมากก็แสดงให้เห็นถึงการมียอดหรือหลุมมากนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงวิธีหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยปริมาตร [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

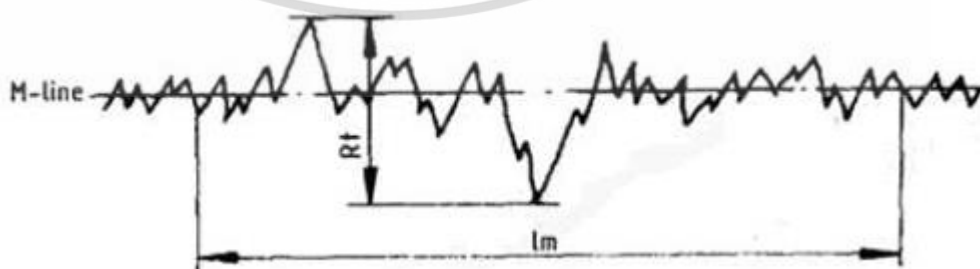
3.6.1.4 ความหยาบผิวเฉลี่ยรูปร่าง (Roughness kurtosis :  $Rku$ ) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวโดยแสดงให้เห็นถึงลักษณะรูปร่างของยอดผิว ว่ามีลักษณะยอดโค้ง ยอดแหลม หรือยอดเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงวิธีหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยรูปร่าง [17]

3.6.2 ประเภทการวัดความหยาบผิวโดยขนาด (Amplitude parameter) คือ อาศัยวัดหาค่าสูงต่ำของขนาดความหยาบของพื้นผิว ซึ่งจะทำให้เรารู้รูปลักษณ์ของความหยาบได้ชัดเจนกว่าวิธีการกลุ่มนี้ได้แก่  $R_t$   $R_v$   $R_p$  และ  $R_z$

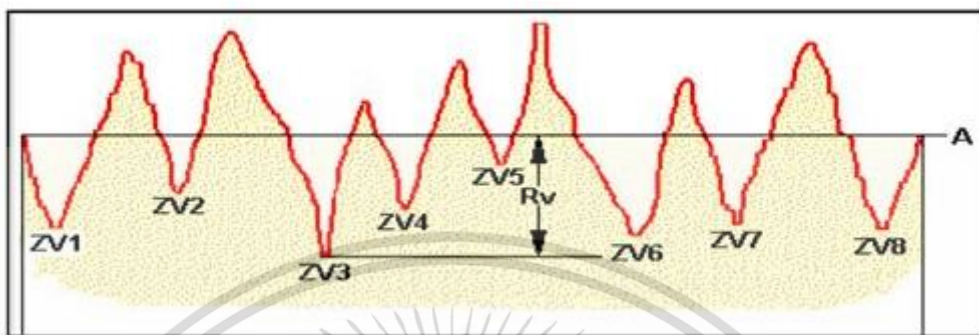
3.6.2.1 ความหยาบผิวขนาดโดยรวม (Roughness total height :  $R_t$ ,  $R_y$ ) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวโดยวัดขนาดความห่างระหว่างยอดสูงสุดถึงหลุมลึกสุดของผิว ค่านี้มีประโยชน์มากตรงที่หากเราต้องการขัดผิวเพื่อขจัดความขรุขระออกให้หมด เพราะได้รู้ว่าจะต้องขัดผิวลงไปลึกกี่ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงวิธีหาค่าความหยาบผิวขนาดโดยรวม [17]

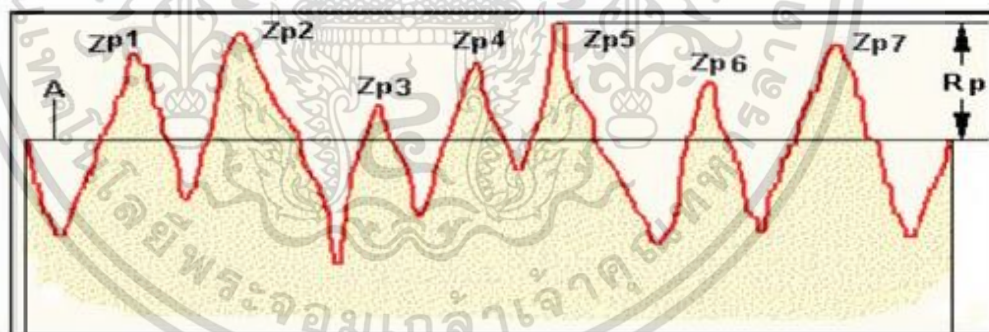
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2.2 ความหยาบผิวขนาดหลุมลึกสุด (Roughness valley :  $R_v$ ) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวโดยวัดขนาดความลึกของหลุม โดยแสดงความลึกหลุมที่มีขนาดลึกที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงวิธีหาค่าความหยาบผิวขนาดหลุมลึกสุด [17]

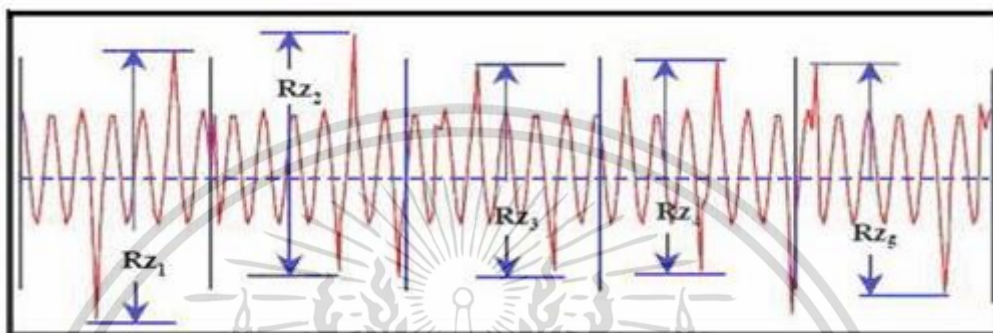
3.6.2.3 ความหยาบผิวขนาดยอดสูงสุด (Roughness Peak :  $R_p$ ) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวโดยวัดขนาดความสูงของยอดที่มีขนาดสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แสดงวิธีหาค่าความหยาบผิวขนาดยอดสูงสุด [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2.4 ความหยาบผิวขนาดโดยเฉลี่ย (Roughness Ten-point mean : Rz) เป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวโดยวัดขนาดความสูงของยอดกับความลึกของหลุม โดยแสดงขนาดเฉลี่ยระยะระหว่างความสูงของยอดกับความลึกของหลุม ทั้งหมด 5 ชุด การวัดทดสอบเป็นช่วงเท่า ๆ กัน 5 ช่วง แล้วนำค่าที่ได้มารวมกันแล้วหารด้วย 5 โดยที่ค่าของ Rz มีหน่วยเป็นไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 แสดงวิธีหาค่าความหยาบผิวขนาดโดยเฉลี่ย [17]

มาตรฐานความหยาบผิว จะใช้สัญลักษณ์ความหยาบผิวจากมาตรฐาน ISO ได้กำหนดสัญลักษณ์ของความหยาบงานไว้ใช้ในงานเขียนแบบ มีการกำหนดชั้นความหยาบออกเป็น 12 ชั้น ตั้งแต่ชั้นที่ N1 ที่มีความหยาบน้อย ไปจนถึง N12 ที่มีความหยาบมาก โดยมาตรฐานจะให้ความสำคัญกับการวัดค่าความหยาบผิว 2 วิธีคือ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Roughness Average: Ra) และค่าความหยาบผิวโดยเฉลี่ย (Roughness ten-point Rz) งานวิจัยนี้จะพิจารณารวัดค่าความหยาบแบบความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Roughness Average: Ra) ในส่วนวิธีการวัดค่าความหยาบผิวและค่าพิกัดรูปร่างของชิ้นงาน จะทำการวัดบริเวณผิวด้านในของชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วยหินเจียรนัย โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความหยาบที่มีชื่อว่า Sureform Tester ดังแสดงในรูปที่ 3.24 ซึ่งลักษณะรูปร่างที่ได้จากการวัดค่าความหยาบผิวและค่าพิกัดรูปร่างของชิ้นงานจะมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.25 และรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.24 แสดงเครื่องมือวัดค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน (Sureform Tester) [18]

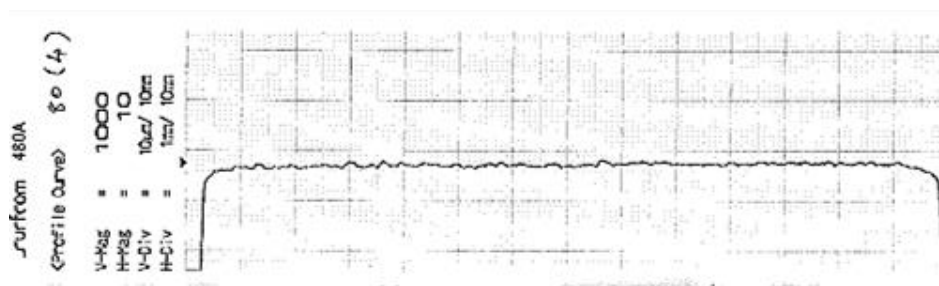
จากรูปเป็นเครื่องวัดความหยาบผิวของชิ้นงานของบริษัท Tokyo Seimitsu Co., Ltd. สามารถใช้วัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานกับค่าพิทช์รูปร่างของชิ้นงานได้ในเครื่องเดียวกัน ซึ่งจะดำเนินการวัดด้วยระบบ CNC



รูปที่ 3.25 แสดงลักษณะรูปร่างค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่วัดได้

จากรูปจะแสดงค่าความหยาบของผิวชิ้นงานที่วัดได้หลังการเจียรนัยเสร็จ จะสังเกตเห็นว่ามีลักษณะเป็นคลื่นสูงต่ำสลับไปมาตลอดความยาว ซึ่งคลื่นที่สูงต่ำสลับไปมาจะบ่งบอกถึงค่าความหยาบของผิวชิ้นงานนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

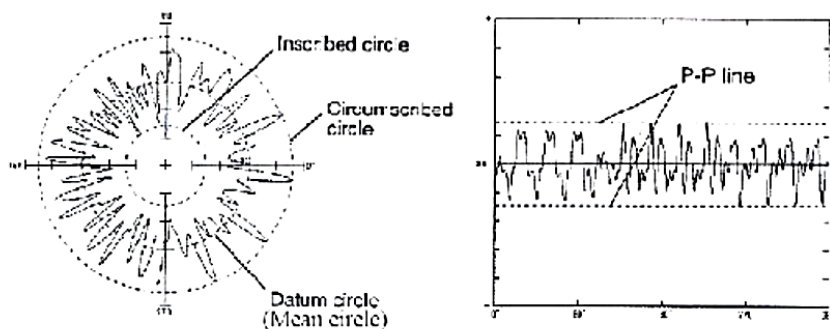


รูปที่ 3.26 แสดงลักษณะค่าพิกัดรูปร่างของชิ้นงานที่วัดได้

จากรูปจะแสดงค่าความหยาบของผิวชิ้นงานที่วัดได้หลังการเจียรนัยเสร็จ จะสังเกตเห็นว่ามีลักษณะเป็นเส้นยาวขรุขระที่ขนานกับเส้นตรงของกรอบสี่เหลี่ยมในแนวแกนนอน ซึ่งเส้นยาวขรุขระนี้จะบ่งบอกถึงค่าพิกัดรูปร่างของชิ้นงานว่ามีลักษณะตรงหรือเอียงมากน้อยเพียงใด

### 3.7 ค่าความกลมของชิ้นงาน

การวัดค่าความกลมของชิ้นงานนั้น สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การหมุนหัววัดความกลมรอบชิ้นงานที่ต้องการวัด และการหมุนชิ้นงานรอบหัววัด การวัดความกลมแต่ละวิธีนั้นในเครื่องวัดค่าความกลมทั่วไปจะต้องใช้การหมุนชิ้นงานหรือหัววัดทั้งหมด 3 รอบด้วยกัน โดยการหมุนรอบแรกจะเป็นการหมุนเพื่อหาจุดศูนย์กลางของชิ้นงาน การหมุนรอบที่สอง จะเป็นการหมุนหารัศมีเฉลี่ยของชิ้นงาน และรอบสุดท้ายจะเป็นการหมุนเพื่อหาค่าความกลมรวมไปถึงรูปร่างของตัวชิ้นงานด้วย ค่าความกลมที่นิยมโดยทั่วไปจะถูกแสดง 2 รูปแบบ ได้แก่ การวัดค่าความกลมแบบเฉลี่ย เป็นการวัดค่าความกลมโดยนำค่าความสูงต่ำที่วัดได้นำมาทำการเฉลี่ยกันโดยเปรียบเทียบกับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย และการวัดค่าความกลมแบบพีคทูพีค เป็นการวัดค่าความกลมโดยพิจารณาความต่างระหว่างที่ขนาดสูงสุดและต่ำสุดของชิ้นงานที่วัดได้ ดังแสดงในรูป 3.27 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการวัดค่าความกลมแบบพีคทูพีค ในส่วนวิธีการวัดค่าความกลมของชิ้นงาน จะทำการวัดบริเวณรูด้านในของชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วยหินเจียรนัย โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความกลมที่มีชื่อว่า Roundcom 41C ดังแสดงในรูปที่ 3.28 ซึ่งลักษณะรูปร่างที่ได้จากการวัดค่าความกลมของชิ้นงานจะมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.29



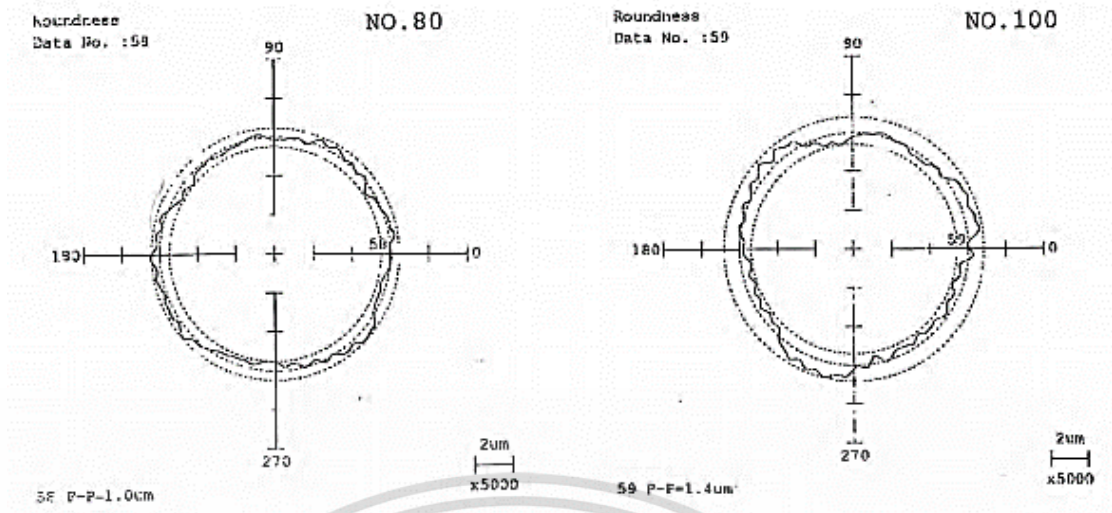
รูปที่ 3.27 แสดงรูปร่างค่าความกลมแบบพีคทูพีค (Tokyo Seimitsu Co., Ltd.) [7]



รูปที่ 3.28 แสดงเครื่องมือวัดค่าความกลมของชิ้นงาน (Roundcom 41C) [19]

จากรูปเป็นเครื่องวัดค่าความกลมของชิ้นงานของบริษัท Tokyo Seimitsu Co., Ltd. ใช้วัดค่าความกลมของชิ้นงาน โดยวิธีการวัดที่ให้ชิ้นงานหมุนรอบหัววัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 แสดงลักษณะรูปร่างค่าความกลมของชิ้นงานที่วัดได้

จากรูปจะแสดงค่าความกลมของชิ้นงานที่วัดได้หลังการเจียรนัยเสร็จ จะสังเกตเห็นว่าเส้นวงกลมที่วัดได้จากชิ้นงานจริงมีลักษณะบิดเบี้ยวออกจากเส้นวงกลมค่าเฉลี่ย ซึ่งการบิดเบี้ยวของเส้นวงกลมที่วัดได้จากชิ้นงานจริงเป็นการบ่งบอกถึงค่าความกลมที่วัดได้จากชิ้นงานนั้น ๆ

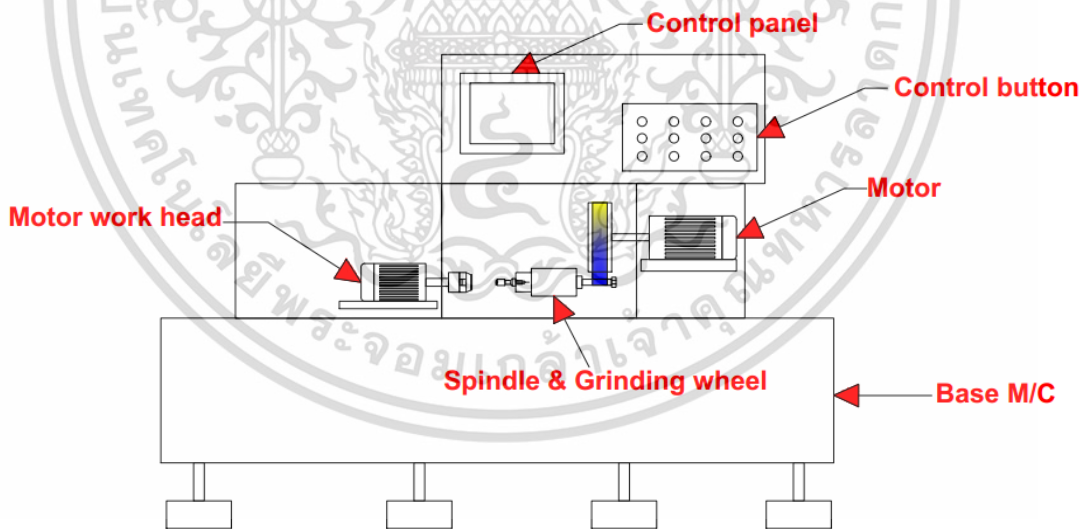
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองเจียรนัยรูในชิ้นงาน อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองและการเก็บข้อมูล การกำหนดเงื่อนไขในการเจียรนัย และขั้นตอนในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของหินเจียรนัยทรงกระบอกทั้ง 5 ชนิด รวมไปถึงหลักการทำงานของเครื่องเจียรนัยรูในชิ้นงาน และการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในเครื่องเจียรนัยรูในชิ้นงานที่ได้ทำการทดลองในครั้งนี้ ดังได้แสดงต่อไปนี้

### 4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

4.1.1 เครื่องเจียรนัยรูในชิ้นงาน (Bore grinding machine) เป็นเครื่องเจียรนัยที่มีระบบการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การประกอบเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีลักษณะการทำงาน คือ เมื่อป้อนชิ้นงานเข้าไปในเครื่องทางด้านทางเข้า ชิ้นงานจะไหลเข้าไปที่ตำแหน่งการไหล โดยที่เครื่องจะมีเซ็นเซอร์ไว้สำหรับตรวจจับว่ามีชิ้นงานหรือไม่ ถ้าเซ็นเซอร์จับว่ามีชิ้นงาน เครื่องจะทำการไหลชิ้นงานเข้าไปที่ตำแหน่งที่พร้อมจะทำการเจียรนัย จากนั้นเครื่องจะสั่งให้ชุดแม่เหล็กทำงาน โดยการดูดจับชิ้นงานให้แนบสนิทกับแผ่นจับยึดชิ้นงานด้านหลัง (Backing plate) ด้วยอำนาจแม่เหล็ก โดยมีชุดตัวรองรับชิ้นงานเอาไว้พร้อมกัน จากนั้นชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนชิ้นงานก็จะพาชิ้นงานหมุนด้วยกันตามความเร็วรอบที่กำหนดคือ 1,200 รอบต่อนาที พร้อมทั้งฉีดน้ำหล่อเย็นออกมาหล่อเย็นที่บริเวณหินเจียรนัยกับชิ้นงาน จากนั้นชุดล้อหินจะเคลื่อนที่ไปหาชิ้นงาน พร้อมกับชุดอุปกรณ์วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Gauge) ที่ระยะกึ่งกลางของชิ้นงาน เสร็จแล้วชุดอัตราการป้อน (Cross slide) ก็จะพาชิ้นงานที่กำลังหมุนอยู่เคลื่อนที่เข้ามาหาหินเจียรนัยที่กำลังหมุนอยู่ เพื่อทำการเจียรนัยชิ้นงานตามอัตราป้อนที่ได้กำหนดไว้จนกว่าจะเจียรนัยได้ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้ตั้งค่าเอาไว้ด้วยอุปกรณ์วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นตัวควบคุม เมื่อได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต้องการชุดอัตราการป้อนก็จะเคลื่อนที่ถอยกลับไปตำแหน่งจุดเริ่มต้นหรือจุดกึ่งกลาง หลังจากนั้นชุดล้อหินเจียรนัยก็จะถอยออกไปจากชิ้นงานกลับไปตำแหน่งเดิม เครื่องก็จะคลายอำนาจแม่เหล็กออก แล้วจะไหลชิ้นงานที่เจียรเสร็จแล้วออกมาจากเครื่อง แล้วไหลลงไปที่ชุดเครื่องมือวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแบบอัตโนมัติ เพื่อทำการวัดตรวจสอบขนาดของ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางว่าได้ตามมาตรฐานหรือไม่ ถ้าได้ตามมาตรฐานเครื่องก็จะปล่อยชิ้นงานมาด้านทางออกตามปกติ แต่ถ้ากรณีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้ตามมาตรฐานเครื่องก็จะโชว์ไฟสัญญาณว่าเป็นชิ้นงานเสียที่ไม่ได้ตามมาตรฐานจากนั้นจะใช้คนหยิบออกพร้อมทำการตั้งค่าเครื่องใหม่จึงจะสามารถเจียรชิ้นงานชิ้นต่อไปได้ ซึ่งชิ้นงานที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางปกติเครื่องก็สามารถเดินเครื่องได้ปกติแบบอัตโนมัติ

เมื่อหินเจียรนัยถูกใช้งานไปเรื่อย ๆ ก็จะเกิดการสึกหรอ ซึ่งเกิดจากหน้าหินเจียรนัยที่สึกหรอ มีค่าความหยาบสูงและหลุดออกจากค่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นเมื่อน้ำหินเจียรนัยสึกหรอไปได้สักระยะหนึ่ง เครื่องจะถูกตั้งค่าไว้ให้เครื่องทำการขึ้นรูปหน้าหินเจียรนัยใหม่ทุก ๆ ครั้ง ตามที่เครื่องถูกกำหนด โดยการขึ้นรูปหน้าหินเจียรนัยใหม่นั้นจะมีล้อหินเพชร ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm หนา 1.5 mm ทำการหมุนและตัดเฉือนหน้าหินส่วนที่สึกหรอออก เพื่อสร้างคมตัดใหม่ของหินตามปริมาณที่ถูกกำหนดไว้ ซึ่งเครื่องเจียรนัยที่ใช้ในการทดลองนี้มีต้นกำเนิดมาจากมอเตอร์ขนาด 3 เฟส 7.5 kW, 60 Hz, 2 Pole ที่มีลักษณะการต่อแบบเดลต้า และเมื่อในขณะที่เจียรชิ้นงาน หินก็จะเกิดแรงต้านส่งผลให้มอเตอร์ใช้กระแสไฟฟ้าและพลังงานเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นหินเจียรนัยแต่ละชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน แรงต้านในการเจียรนัยก็จะต่างกันไปด้วย โดยเฉพาะหินที่มีคมตัดดี

ทนต่อการสึกหรอได้ดีก็จะสามารถตัดเฉือนชิ้นงานได้ดีแรงต้านก็จะน้อย ต่างจากหินเจียรนัยที่มีคมตัด

ไม่ผ่านการใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ไม่ค่อยดีก็จะมีแรงต้านมาก โดยที่แรงต้านนี้สามารถวัดได้จากกำลังของมอเตอร์ที่ขับล้อหิน ซึ่งจะใช้อุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้าวัดกระแสไฟฟ้าและกำลังทางไฟฟ้าจากมอเตอร์ ดังกล่าวนี้ได้ด้วย

จากที่ได้กล่าวมาด้านบนต้นในลักษณะการทำงานของเครื่องเจียรนัยเป็นแบบอัตโนมัติ โดยเราสามารถที่จะป้อนค่าความเร็วอัตราป้อนในพารามิเตอร์ของเครื่องได้เลย ซึ่งเครื่องเจียรนัยก็จะใช้อัตราป้อนอัตโนมัติตามที่ป้อนเข้าไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการเจียรนัยชิ้นงาน

เงื่อนไขการทดลอง	ความเร็ว	หน่วย
ความเร็วในการเข้าไปสัมผัส	150	$\mu\text{m} / \text{sec}$
ความเร็วการป้อนหินเจียรนัยครั้งที่ 1	120	$\mu\text{m} / \text{sec}$
ความเร็วการป้อนหินเจียรนัยครั้งที่ 2	100	$\mu\text{m} / \text{sec}$
ความเร็วการป้อนหินเจียรนัยครั้งที่ 3	30	$\mu\text{m} / \text{sec}$
ความเร็วการป้อนหินเจียรนัยครั้งที่ 4	3	$\mu\text{m} / \text{sec}$
ความเร็วรอบของหิน	39,231	rpm
ความเร็วรอบของชิ้นงาน	1,200	rpm
เวลาการเจียรละเอียด	0.35	Sec

## 4.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

4.2.1 ทำการเปลี่ยนหินตามสเปคที่ต้องการทดลอง โดยเริ่มจากหินก้อนที่ 1 ก่อน

4.2.2 ทำการต่ออุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้าเข้ากับชุดมอเตอร์เครื่องเจียรนัย

4.2.3 ป้อนค่าพารามิเตอร์ อัตราป้อน ความเร็วรอบ และเงื่อนไขตามที่กำหนดไว้ พร้อม Skip dress เท่ากับ 200 ชิ้น เพื่อต้องการหาค่าการสึกหรอสูงสุดของหินเจียรนัย

4.2.4 ทำการขึ้นรูปหน้าหิน ซึ่งเครื่องจะทำการขึ้นรูปหน้าหินอัตโนมัติ จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm ให้เหลือ 29.7 mm

4.2.5 จากนั้นทำการทดลองโดยสตาร์ทเครื่องเจียรนัยแล้วใส่ชิ้นงานเข้าไปในทางเข้าของเครื่องแล้วทำการกดปุ่ม Save ที่เครื่องอุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้าเพื่อเริ่มบันทึกค่ากำลังงานทางไฟฟ้าจากมอเตอร์ เมื่อเครื่องเริ่มเจียรชิ้นงานตัวแรก เครื่องจะทำการโหลดชิ้นงาน เข้า-ออก อัตโนมัติ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่เจียรขึ้นงานเครื่องอุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้าก็จะบันทึกค่ากำลังงานทางไฟฟ้าในทุก ๆ วินาที และจะเจียรขึ้นงานทดลองเป็นจำนวน 200 ขึ้น โดยไม่มีการขึ้นรูปหน้าหินใหม่ หลังจากนั้นจะนำชิ้นงานที่ถูกเจียรเสร็จสิ้นไปทำการวัดค่าคุณภาพผิว ในทุก ๆ 20 ขึ้น ดังนี้ ขึ้นที่ 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, และขึ้นที่ 200 ค่าที่วัดจะเป็นค่าความกลมของชิ้นงาน (Roundness), ค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน (Roughness), ค่าการสึกหรอของหิน (Wear amount), และค่าพิกัดรูปร่างของชิ้นงาน (Profile)

เมื่อทำการเจียรขึ้นงานครบ 200 ขึ้นแล้ว จะทำการหยุดเครื่องเจียรนัย พร้อมกับกดปุ่มหยุดบันทึกค่าที่เครื่องอุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้า เช่นกัน

4.2.6 ทำการเปลี่ยนหินสเปคใหม่ คือ สเปคที่ 2 ตามลำดับ แล้วทำการขึ้นรูปหน้าหินใหม่จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm ให้เหลือ 29.7 mm จากนั้นทำการทดลองดังเดิม คือ กดปุ่มบันทึกค่าที่เครื่องอุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้าและเริ่มทดลองเจียรขึ้นงาน ซึ่งจะทำงานเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบหินทั้ง 5 ชนิด

4.2.7 เมื่อทำการทดลองเสร็จ ก็จะทำการปิดสวิทซ์การทำงานของเครื่องเจียรนัยและเครื่องอุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้าเพื่อปลดสายไฟที่เชื่อมต่อเอาไว้ แล้วเก็บอุปกรณ์ให้เรียบร้อย

4.2.8 นำการ์ดบันทึกข้อมูลมาเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อทำการบันทึกและแปลงไฟล์ให้เป็นไฟล์ Excel

4.2.9 นำไฟล์ Excel ที่ได้จากการทดลองหินทั้ง 5 ชนิด มาทำกราฟเส้นเพื่อหาค่ากำลังงานทางไฟฟ้าแล้วนำมาคำนวณหาค่าพลังงานทางไฟฟ้าที่ได้ในขณะที่ทำการเจียรนัยขึ้นงาน

4.2.10 ชิ้นงานในทุก ๆ ขึ้นที่ 20 ที่นำไปวัดค่าคุณภาพผิว ก็จะใช้เครื่องมือวัดอยู่ 2 ประเภท คือ 1. เครื่อง Roundcom 41C และ 2. เครื่อง Sureform Tester โดยใช้เครื่องในการวัดคุณภาพผิว ดังนี้ วัดค่าความกลม ใช้เครื่อง Roundcom 41C และวัดค่าความหยาบ ค่าการสึกหรอ และค่าพิกัดรูปร่างของชิ้นงาน ใช้เครื่อง Sureform Tester

### 4.3 คุณสมบัติและส่วนประกอบของหินเจียรนัย

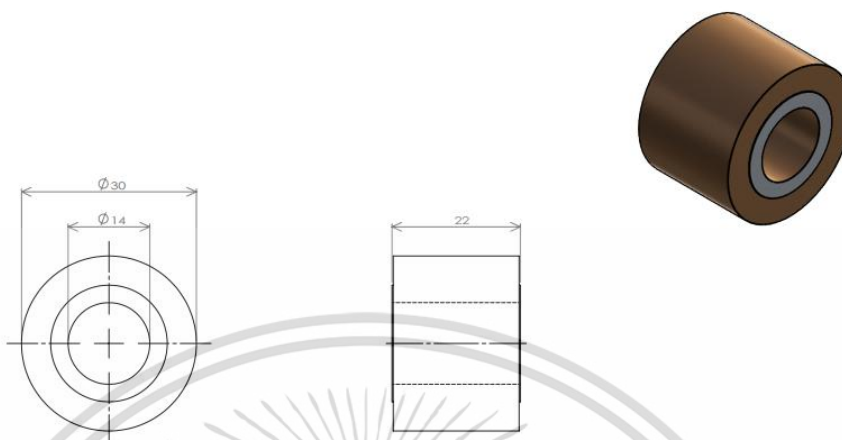
ในการทดลองครั้งนี้ได้นำหินเจียรนัยมาทดลองทั้งหมด 5 ชนิดด้วยกัน โดยที่หินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.8 mm หนา 21 mm เท่ากันทุกชนิด แต่จะแตกต่างกันที่ส่วนผสม ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติของหินเจียรนัยทรงกระบอก 5 ชนิด

ชนิด	คุณสมบัติ	ชนิดของกาว
 1	ขนาดเม็ดตัด 230 (ละเอียด) ความแข็งของกาว P (แข็ง) ความหนาแน่นเม็ดตัด 200 (สูง)	V: Vitriified
ชนิดที่ (1) B230P200VS1C		
 2	ขนาดเม็ดตัด 180 (ละเอียด) ความแข็งของกาว L (ปานกลาง) ความหนาแน่นเม็ดตัด 200 (สูง)	V: Vitriified
ชนิดที่ (2) PBT180LC200VGA-1		
 3	ขนาดเม็ดตัด 240 (ละเอียด) ความแข็งของกาว M (ปานกลาง) ความหนาแน่นเม็ดตัด 205 (สูง)	V: Vitriified
ชนิดที่ (3) PBT240MC205VGA-1		
 4	ขนาดเม็ดตัด 240 (ละเอียด) ความแข็งของกาว N (แข็ง) ความหนาแน่นเม็ดตัด 205 (สูง)	V: Vitriified
ชนิดที่ (4) PBT240NC205VGA-1		
 5	ขนาดเม็ดตัด 240 (ละเอียด) ความแข็งของกาว K (ปานกลาง) ความหนาแน่นเม็ดตัด 205 (สูง)	V: Vitriified
ชนิดที่ (5) PBN240K-C205VGA-1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 หินเจียรนัยทรงกระบอกที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.2 แสดงรูปหินเจียรนัยทรงกระบอก

ตารางที่ 4.3 แสดงชนิดของเม็ดตัดของหินเจียรนัย

ชนิดของเม็ดตัด	
ชนิด	ลักษณะรูปร่าง
PBN	Standard CBN grain having excellent shape-retaining ability, black grain.
PBT	Tough with sharp cutting edges, blackish brown grain.
B	Cubic Boron Nitride.

ตารางที่ 4.4 แสดงขนาดของเม็ดตัดของหินเจียรนัย

ขนาดของเม็ดตัด ( $\mu\text{m}$ )									
60	80	100	120	150	180	220	240	280	320
Coarse	←—————→								Fine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงระดับความแข็งของกาว

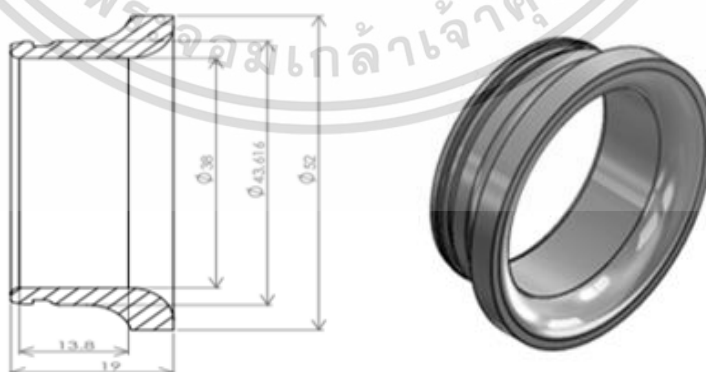
ระดับความแข็งของกาว									
H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Soft ←————→ Hard									

ตารางที่ 4.6 แสดงความหนาแน่นของเม็ดตัดหินเจียรนัย

ความหนาแน่นของเม็ดตัด ( $\text{g/cm}^3$ )							
100	125	150	160	170	180	190	200
Low ←————→ High							

#### 4.5 ชิ้นส่วนประกอบของลูกปืนที่ใช้ในการเจียรนัย

ชิ้นส่วนประกอบของลูกปืนที่ใช้ในการเจียรนัยในครั้งนี้เป็นเหล็กชนิด SUJ2 ที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งทั้งตัว มีค่าความแข็งอยู่ที่ 62 HRC มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 38 mm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 52 mm มีความกว้างของผิวที่จะเจียรนัย 13.8 mm ดังแสดงในรูปที่ 4.3

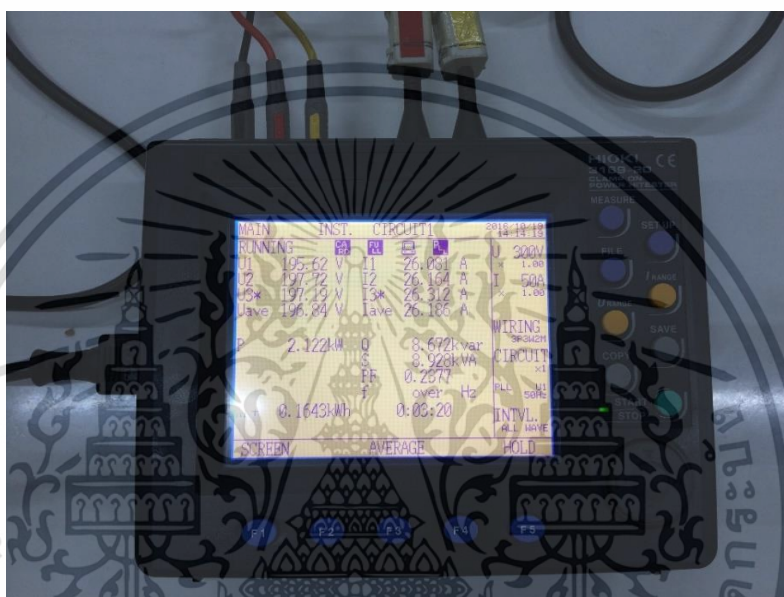


รูปที่ 4.3 แสดงรูปชิ้นส่วนประกอบของลูกปืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า

อุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้าเป็นเครื่องมือวัดกำลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในขณะทำการเสียบร้อยชิ้นงาน โดยเครื่องมือวัดอุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้านี้จะวัดค่าและแสดงผลออกมาในรูปแบบของกระแสไฟฟ้า แรงดัน และกำลังงานทางไฟฟ้า ซึ่งค่าที่ต้องการนำไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบคือค่ากำลังไฟฟ้า (Watt) ซึ่งมีลักษณะรูปร่างดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงเครื่องมือวัดกำลังงานทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

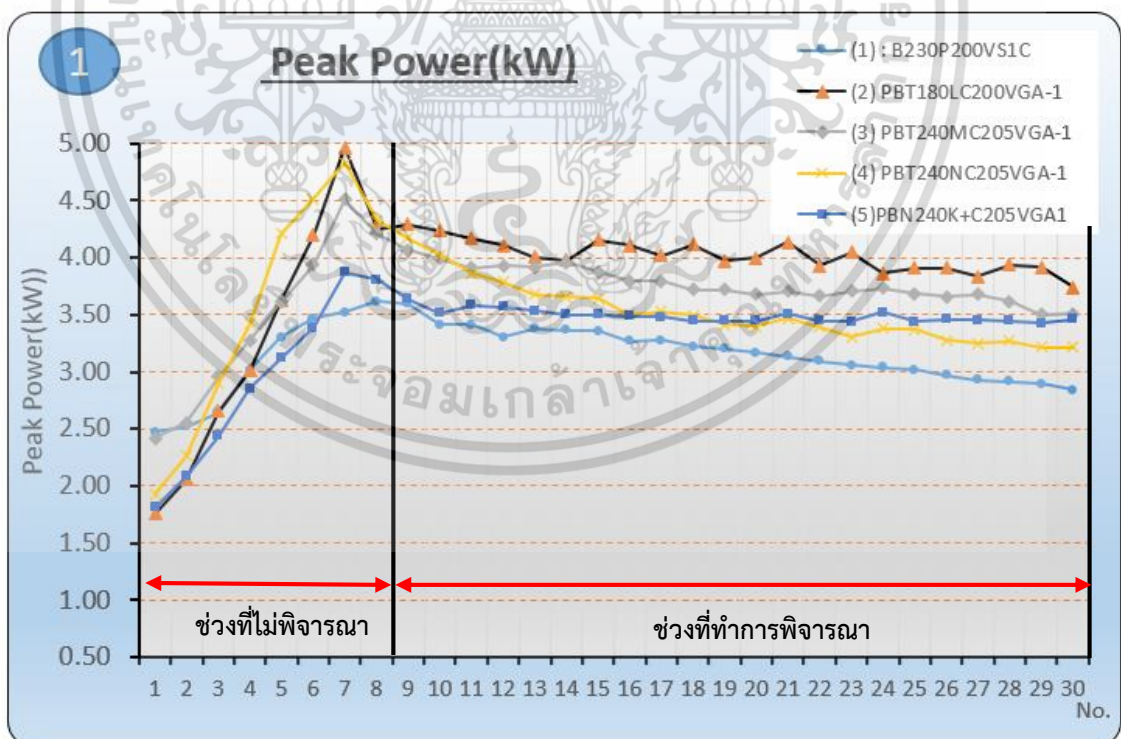
## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จากการวัด ค่ากำลังงานทางไฟฟ้า (Peak power), ค่าพลังงานทางไฟฟ้า (Specific grinding energy), ค่าการสึกหรอของหินเจียรนัย (Wear amount), ค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน (Roughness), และ ค่าความกลมของชิ้นงาน (Roundness), มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชิ้นงานกับหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ถึง 5.5

#### 5.1 ค่ากำลังงานทางไฟฟ้าของมอเตอร์ในขณะเจียรนัยชิ้นงาน

ค่ากำลังงานทางไฟฟ้าของมอเตอร์ในขณะทำการเจียรนัยชิ้นงาน ได้ทำการวัดค่าด้วยอุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้าพาวเวอร์มิเตอร์ที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ขับเคลื่อนหินเจียรนัย ซึ่งค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์โดยตรงได้แสดงในรูปที่ 5.1



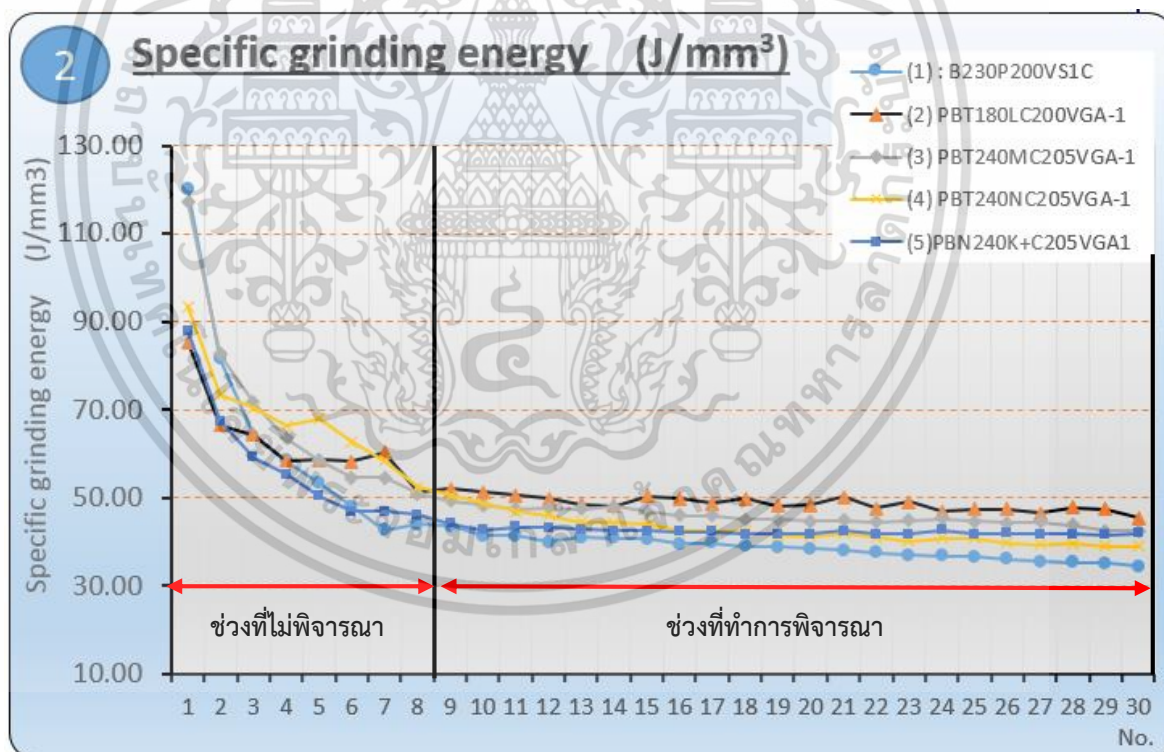
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานทางไฟฟ้ากับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วยหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่า ค่ากำลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้กับหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด มีค่าเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 1.6 ถึง 2.5 กิโลวัตต์ และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ชิ้นงานตัวที่ 6 ถึง 7 โดยจะมีค่าสูงสุดที่ 5.0 กิโลวัตต์ แล้วค่อยๆลดลงมาอยู่ระหว่าง 3.0 ถึง 4.5 กิโลวัตต์ ตั้งแต่ชิ้นงานตัวที่ 8 เป็นต้นไป และได้สรุปว่า หินเจียรนัยชนิดที่ 2 ใช้กำลังงานทางไฟฟ้ามากที่สุดอยู่ที่ 4.9 กิโลวัตต์ และหินเจียรนัยชนิดที่ 1 ใช้กำลังงานทางไฟฟ้าน้อยที่สุดอยู่ที่ 3.6 กิโลวัตต์

## 5.2 ค่าพลังงานทางไฟฟ้าจำเพาะในขณะเจียรนัยชิ้นงาน

ค่าพลังงานทางไฟฟ้าจำเพาะที่ใช้ในขณะทำการเจียรนัยชิ้นงาน เป็นการนำค่ากำลังงานทางไฟฟ้ามาทำการคำนวณหาค่าพลังงานทางไฟฟ้า จากสูตรการคำนวณในบทที่ 3 สมการที่ 3 ซึ่งค่าที่คำนวณออกมาได้ แสดงไว้ในรูปที่ 5.2



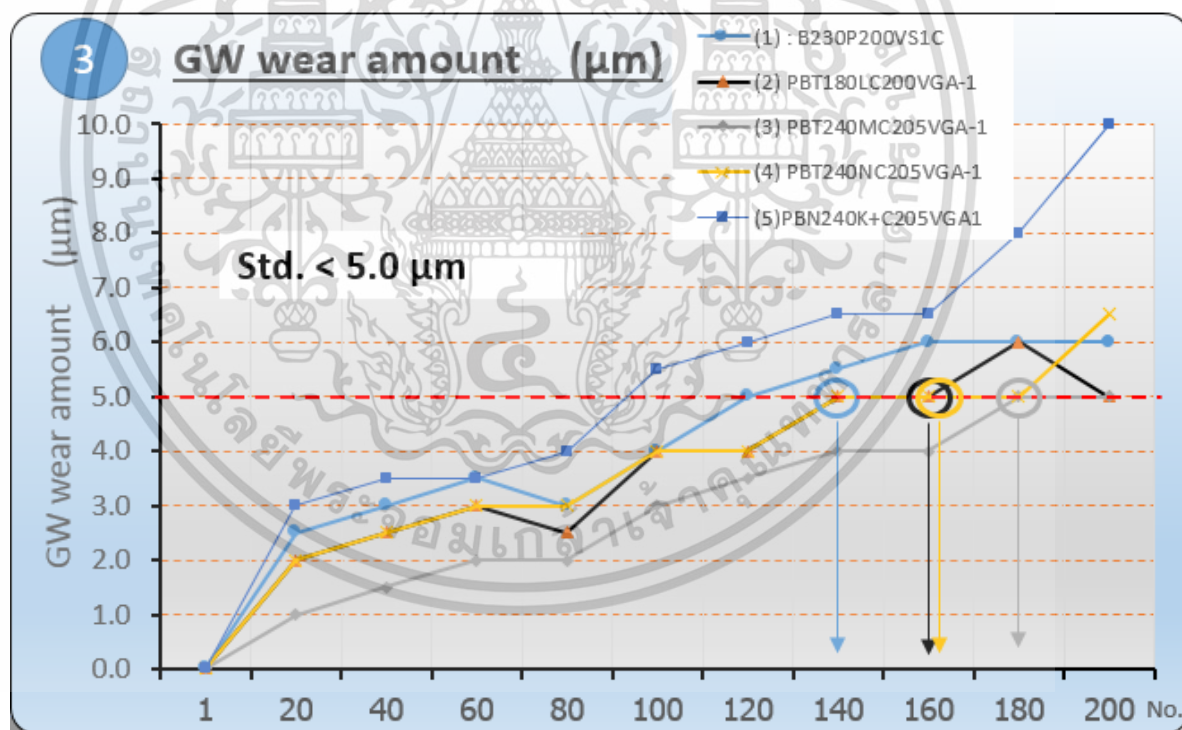
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานทางไฟฟ้ากับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วยหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่า ค่าพลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้กับหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด จะมีค่าเริ่มต้นสูงอยู่ระหว่าง 90.00 ถึง 120.00 จูลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร และค่อยๆลดลงมาจนกระทั่งใกล้เคียงกันที่ 40.00 ถึง 55.00 จูลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ที่ชิ้นงานตัวที่ 8 เป็นต้นไป และได้สรุปว่าหินเจียรนัยชนิดที่ 1 ใช้พลังงานทางไฟฟ้าน้อยที่สุดอยู่ที่ 42.73 จูลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร และหินเจียรนัยชนิดที่ 2 ใช้พลังงานทางไฟฟ้ามากที่สุดอยู่ที่ 51.61 จูลต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร

### 5.3 ค่าการสึกหรอของหินเจียรนัย

การสึกหรอของหินเจียรนัย จะใช้วิธีการวัดแบบเดียวกับการวัดค่าพิคโตรูปร่างของชิ้นงาน โดยการใช้หัววัดลากผ่านบริเวณผิวภายในชิ้นงานเป็นลักษณะเส้นตรงยาวจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดท้ายสุดของผิวภายในชิ้นงาน ซึ่งค่าที่ทำการวัดออกมาได้ แสดงในรูปที่ 5.3



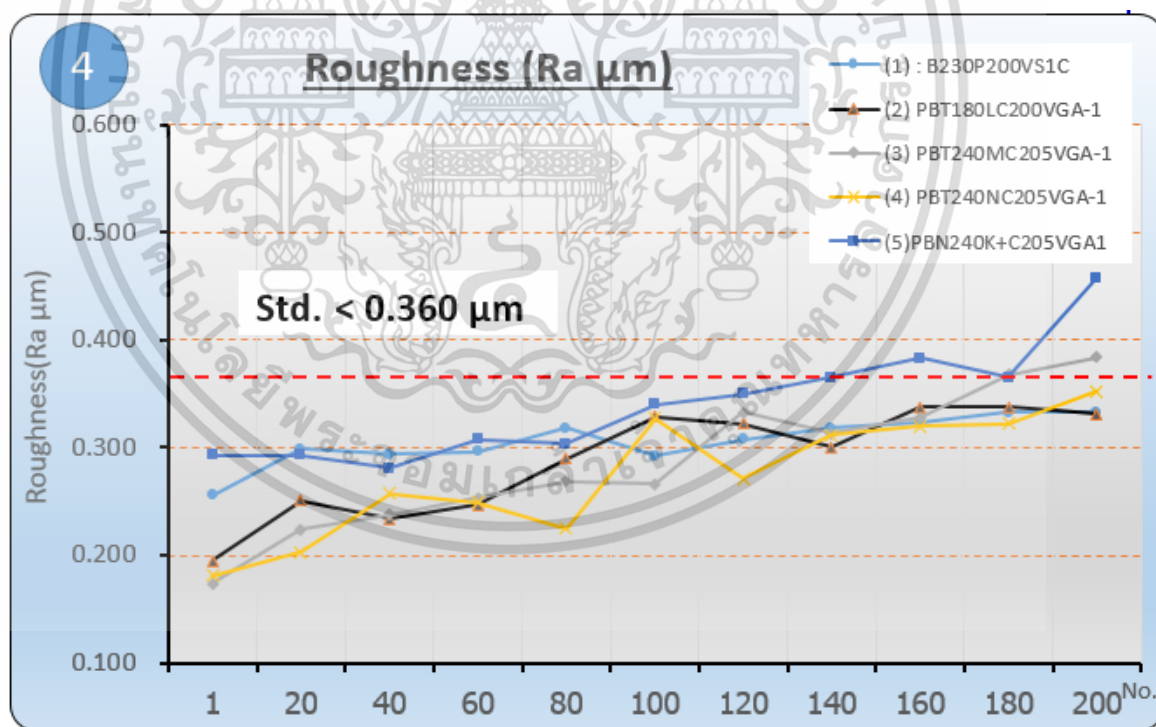
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสึกหรอหินกับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วยหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่า ค่าการสึกหรอของหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด จะมีค่าเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 0.0 ถึง 4.0 ไมครอน ที่ชิ้นงานตัวที่ 1 ถึง 80 แล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ อยู่ระหว่าง 5.5 ถึง 10.0 ไมครอน ที่ชิ้นงานตัวที่ 100 ถึง 200 และได้สรุปว่าหินเจียรนัยชนิดที่ 5 มีค่าการสึกหรอของหินมากที่สุด จากค่าการสึกหรอของหินที่เกินค่ามาตรฐาน อยู่ที่ 5.5 ไมครอน ที่ชิ้นงานตัวที่ 100 เป็นต้นไป และหินเจียรนัยชนิดที่ 3 มีค่าการสึกหรอของหินน้อยที่สุด จากค่าการสึกหรอของหินที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน อยู่ระหว่าง 0.0 ถึง 4.8 ไมครอน ที่ชิ้นงานตัวที่ 1 ถึง 180

#### 5.4 ค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

ค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน เป็นการวัดค่าความหยาบผิวแบบความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Roughness average : Ra) โดยค่าของ (Ra) จะมีหน่วยเป็นไมครอน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีค่าความหยาบผิวของชิ้นงานในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.6.1.1 ดังแสดงในรูปที่ 5.4



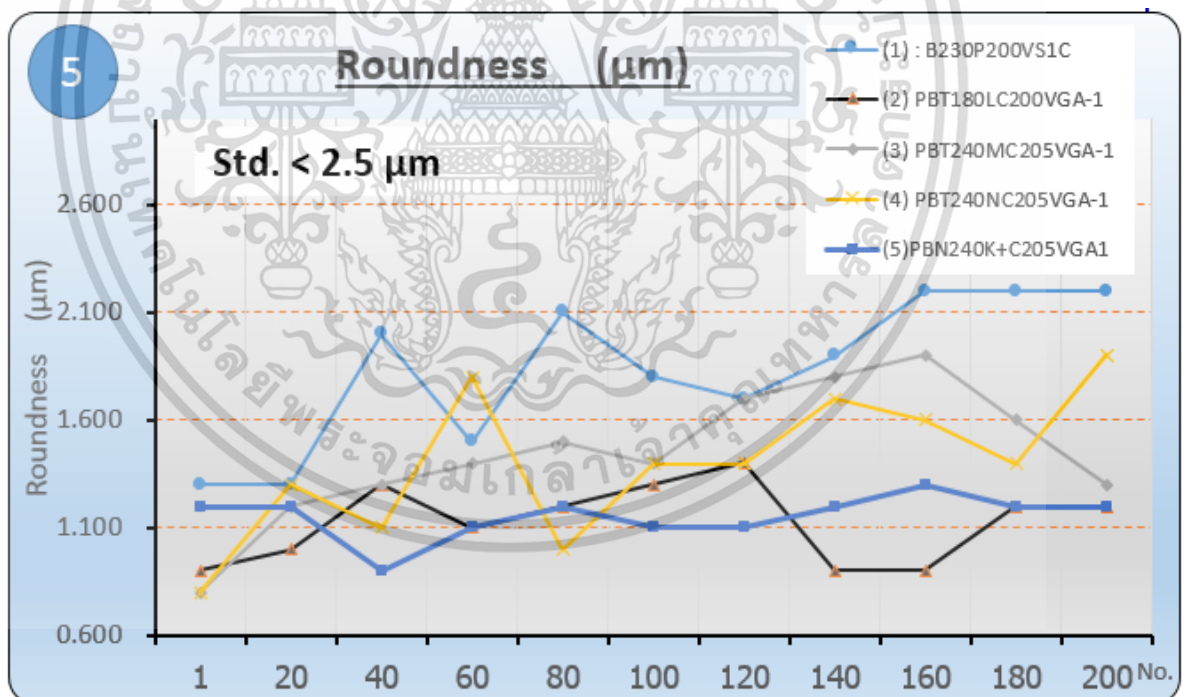
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวกับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วยหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่า ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วยหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด จะมีค่าเริ่มต้นอยู่ระหว่าง 0.180 ถึง 0.350 ไมครอน ที่ชิ้นงานตัวที่ 1 ถึง 120 แล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ อยู่ระหว่าง 0.380 ถึง 0.480 ไมครอน ที่ชิ้นงานตัวที่ 140 ถึง 200 และได้สรุปว่าหินเจียรนัยชนิดที่ 5 มีค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเกินค่ามาตรฐาน อยู่ที่ 0.370 ถึง 0.470 ไมครอน ที่ชิ้นงานตัวที่ 140 เป็นต้นไป และหินเจียรนัยชนิดที่ 1, 2, 4 มีค่าความหยาบผิวของชิ้นงานไม่เกินค่ามาตรฐาน อยู่ที่ 0.180 ถึง 0.350 ไมครอน ที่ชิ้นงานตัวที่ 1 ถึง 200

### 5.5 ค่าความกลมของชิ้นงาน

ค่าความกลมของชิ้นงาน เป็นการวัดค่าความกลมแบบพีคทูพีค โดยจะพิจารณาความต่างระหว่างที่ขนาดสูงสุดและต่ำสุดของชิ้นงานที่วัดได้ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีค่าความกลมของชิ้นงานในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.7 ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความกลมกับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วยหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะสังเกตเห็นว่า ค่าความกลมของชิ้นงานที่ถูกเจียรด้วยหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด จะมีค่าการแกว่งตัวไปมา อยู่ระหว่าง 0.800 ถึง 2.200 ไมครอน ที่ชิ้นงานตัวที่ 1 ถึง 200 ไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ จึงได้สรุปว่าหินเจียรนัยชนิดที่ 1 มีค่าความกลมการแกว่งตัวไปมามากที่สุด อยู่ที่ 1.300 ถึง 2.200 ไมครอน ที่ชิ้นงานตัวที่ 1 ถึง 200 และหินเจียรนัยชนิดที่ 2, 3, 4, 5 มีค่าความกลมการแกว่งตัวไปมาใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 0.800 ถึง 1.900 ไมครอน ที่ชิ้นงานตัวที่ 1 ถึง 200



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองเปรียบเทียบคุณภาพผิวและการสึกหรอของกระบวนการเจียรนัยผิวภายในทรงกระบอกด้วยหินเจียรนัยในท้องตลาด 5 ชนิด ที่มีคุณสมบัติและส่วนประกอบที่แตกต่างกัน คือ ขนาดของเม็ดตัด ระดับความแข็งของกาว ความหนาแน่นของเม็ดตัด มาทำการเจียรนัยผิวภายในชิ้นงานส่วนประกอบของลูกปืน โดยได้กำหนดเงื่อนไขในการเจียรนัยเหมือนกันหมด ผลของการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

หินเจียรนัยที่มีส่วนประกอบของ ขนาดเม็ดตัด 240 ไมครอน ระดับความแข็งของกาวเกรด N ความหนาแน่นของเม็ดตัด 205 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อนำไปทำการเจียรนัยผิวภายในชิ้นงาน ส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวของชิ้นงาน การสึกหรอของหิน และกำลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในขณะที่ทำการเจียรนัยผิวภายในชิ้นงานน้อยที่สุดจากผลการทดลอง เมื่อทำการพิจารณาจะเห็นว่าหินเจียรนัยชนิดนี้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในกระบวนการเจียรนัยผิวภายในชิ้นงานมากที่สุด

หินเจียรนัยที่มีส่วนประกอบของ ขนาดเม็ดตัด 180 ไมครอน จะส่งผลให้ค่าความหยาบของผิวชิ้นงานมีค่าที่ต่ำ เนื่องจากขนาดของเม็ดตัดที่เล็กจะช่วยให้การกินผิวชิ้นงานที่ละน้อยและสม่ำเสมอจึงทำให้ผิวของชิ้นงานมีลักษณะราบเรียบสม่ำเสมอ ในตรงกันข้ามหินเจียรนัยที่มีส่วนประกอบของ ขนาดเม็ดตัด 240 ไมครอน จะส่งผลให้ค่าความหยาบของผิวชิ้นงานมีค่าที่สูง เนื่องจากขนาดเม็ดตัดที่ใหญ่จะกินผิวชิ้นงานได้ดีแต่ไม่ราบเรียบสม่ำเสมอจึงทำให้ผิวของชิ้นงานมีลักษณะหยาบเป็นส่วนใหญ่

หินเจียรนัยที่มีส่วนประกอบของ ระดับความแข็งของกาว เกรด K (Soft) กับ เกรด P (Hard) จะส่งผลให้ค่าการสึกหรอของหินเจียรนัยมีค่าที่สูงเช่นเดียวกัน เนื่องจากที่ระดับความแข็งของกาวเกรด K (Soft) การทำหน้าที่ยึดเกาะเม็ดตัดของกาวทำได้ไม่ดีพอ จึงส่งผลทำให้เม็ดตัดมีลักษณะไม่สม่ำเสมอและหลุดร่อนได้ง่าย จึงทำให้เกิดการสึกหรอของหินเร็วขึ้น ในส่วนของระดับความแข็งของกาว เกรด P (Hard) จะทำให้เม็ดตัดเกิดการแตกหัก เนื่องจากการยึดเกาะของกาวที่แข็งมากเกินไปทำให้เม็ดตัดไม่มีอิสระในการให้ตัวได้ในขณะได้รับโหลดจากแรงกระทำในขณะที่ทำการเจียรนัย จึงทำให้เกิดการสึกหรอของหินเร็วขึ้นเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หินเจียรนัยที่มีส่วนประกอบของ ขนาดเม็ดตัด 180 ไมครอน ระดับความแข็งของกาว เกรด L (Soft) จะส่งผลให้ค่ากำลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในขณะทำการเจียรนัยชิ้นงานมีค่าที่สูง เนื่องจากขนาดเม็ดตัดที่เล็กที่เปรียบเสมือนกระดาษทรายละเอียด เมื่อนำไปทำการเจียรนัยชิ้นงานจะเป็นแบบลักษณะการกินผิวชิ้นงานได้ที่ละน้อย จึงทำให้ต้องใช้กำลังทางไฟฟ้าในขณะทำการเจียรนัยที่มากขึ้น ในส่วนของหินเจียรนัยที่มีส่วนประกอบของ ขนาดเม็ดตัด 180 ไมครอน ระดับความแข็งของกาว เกรด P (Hard) จะส่งผลให้ค่ากำลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในขณะทำการเจียรนัยชิ้นงานมีค่าที่ต่ำ เนื่องจากขนาดเม็ดตัดที่เล็กที่เปรียบเสมือนกระดาษทรายหยาบ เมื่อนำไปทำการเจียรนัยชิ้นงานจะเป็นแบบลักษณะการกินผิวชิ้นงานได้ที่ละมากๆ จึงทำให้ใช้กำลังทางไฟฟ้าในขณะทำการเจียรนัยที่น้อยกว่า

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำการทดลองนี้ก็พบว่ามีการจำกัดในเรื่องของเวลาที่เป็นอุปสรรคในการทดลอง และการให้ข้อเสนอแนะนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงเพิ่มเติมในการทดลองกระบวนการเจียรนัยผิวภายในชิ้นงานส่วนประกอบของลูกปืน ที่จะส่งผลดีในกระบวนการเจียรนัยผิวภายในทรงกระบอกได้

6.2.1 ในการทดลองควรมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการเจียรนัย ในส่วนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับเวลาที่ใช้ในการเจียรนัย เพื่อที่จะต้องการลดเวลาในการเจียรนัยให้เร็วขึ้น

6.2.2 การหาวิธีรักษาความเร็วรอบของหินไว้ให้คงที่ในทุกกรอบของการขึ้นรูปหน้าหินใหม่ โดยการติดตั้งชุด Inverter เพื่อให้สามารถปรับเพิ่มรอบการหมุนของหินในช่วงที่หินค่อย ๆ เล็กลง เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพผิวของชิ้นงานหลังเจียรนัยเสร็จให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ และเป็นการรักษาเม็ดตัดของหินเจียรนัย ซึ่งจะช่วยในเรื่องของการยืดอายุการใช้งานของหินเจียรนัยได้เป็นอย่างดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Nakajima, T., Okamura, K., Uno, Y., 1984. Traverse grinding techniques for improving both productivity and surface finish. In: International Grinding Conference, Fontana, Wisconsin, SME, Mr 84-534, Aug. 27-29
- [2] Davis, J.R., 1995. ASM Specialty Handbook Tool Materials. ASM International, Materials Park, Ohio, USA.
- [3] Marinescu, ID., Rowe, W.B., Dimitrov, B., Inasaki, I., 2004. Tribology of Abrasive Machining Processes. William Andrew, Inc., Norwich.
- [4] Webster, J., Tricard, M., 2004. Innovations in abrasive products of precision grinding. CIRP Ann. Manuf. Technol. 53 (2), 597-671.
- [5] Kubota, O., Furukawa, H., Kiskimoto, M., Ukai, N., 2006. Vitrified grinding wheel and method of manufacturing the same. European Patent 1634678 A4.
- [6] Marinescu, ID., Rowe, W.B., Hitchiner, M., Uhlmann, E., 2007. Handbook of Machining with Grinding wheels. CRC Press, Boca Raton.
- [7] วิวัฒน์ มณีทองคำ (2550) การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความกลมแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยประยุกต์จากเครื่องมือวัดโดยใช้ลม
- [8] Jackson, M.J., J.P., 2010. Machining with Abrasives. Springer, New York.
- [9] Klock, F., 2011. Manufacturing Process 2: Grinding, Honing, Lapping. Springer-Verlag, Berlin.
- [10] Nadolny, K., Slowinski, B., 2011. The effects of wear upon the axial profile of a grinding wheels for internal cylindrical grinding. Adv. Tribol. 2011, 11 doi :<http://dx.doi.org/10.1155/2011/516202> Atricle ID 516202
- [11] Davim, J.P., 2013. Green Manufacturing: Processes and systems. Springer-Verlag, Berlin.
- [12] Krzysztof Nadolny Department of production Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Koszalin University of Technology, Racławicka 15-17, 75-620, Koszalin, Poland
- [13] รศ. ฤชกร จิรกาลวสาน ภาวะและประสิทธิภาพมอเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] GRINDING TECHNOLOGY THEORY AND APPLICATIONS OF MACHINING WITH ABRASIVES S.Malkin
- [15] Pioneer.netserv.chula.ac.t [online]. Available:  
<http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/2103203%20Mech%20drawing/Ch3%20surface%20texture.pdf>.
- [16] Pioneer.netserv.chula.ac.t [online]. Available:  
<http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/2103203%20Mech%20drawing/Ch4%20Fits%20and%20tolerances.pdf>.
- [17] Staimless roughness part 1 [online]. Available:  
<http://tonanasia.com/wordpress/techniques/technical-libraryA1-stainless-roughness>.
- [18] Roughness ness measuring machine [online]. Available:  
<http://www.thaimetrology.com/file/file-10-15-2016-11-07-29-AM.pdf>.
- [19] Roundness ness measuring machine [online]. Available:  
<http://www.thaimetrology.com/file/file-10-15-2016-11-07-29-AM.pdf>.



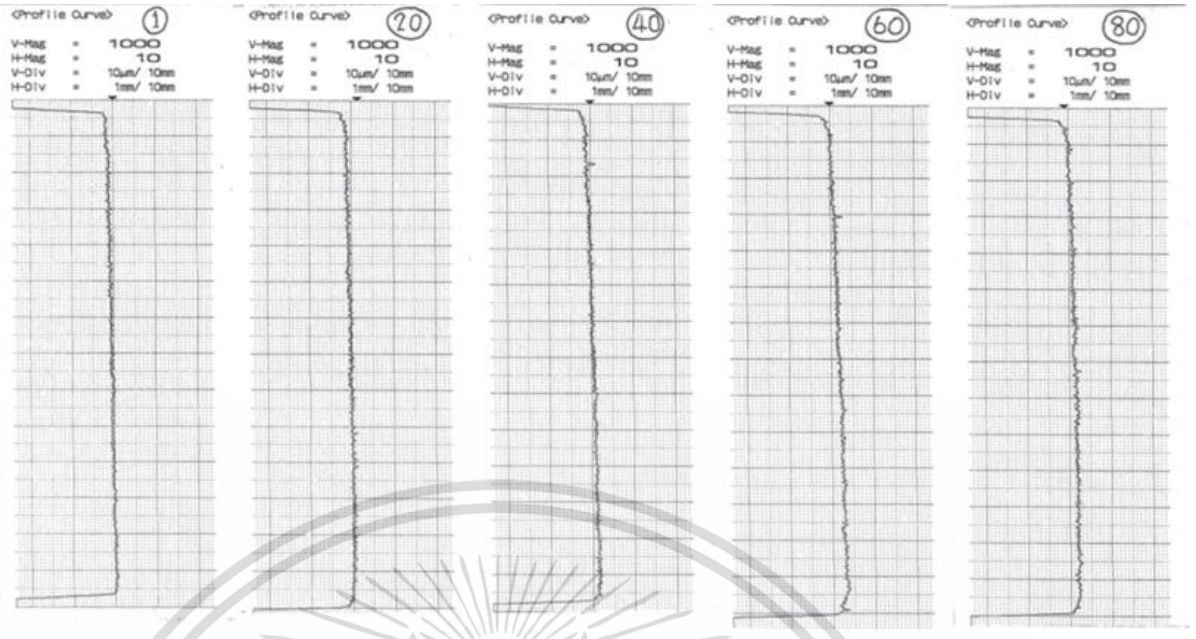
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



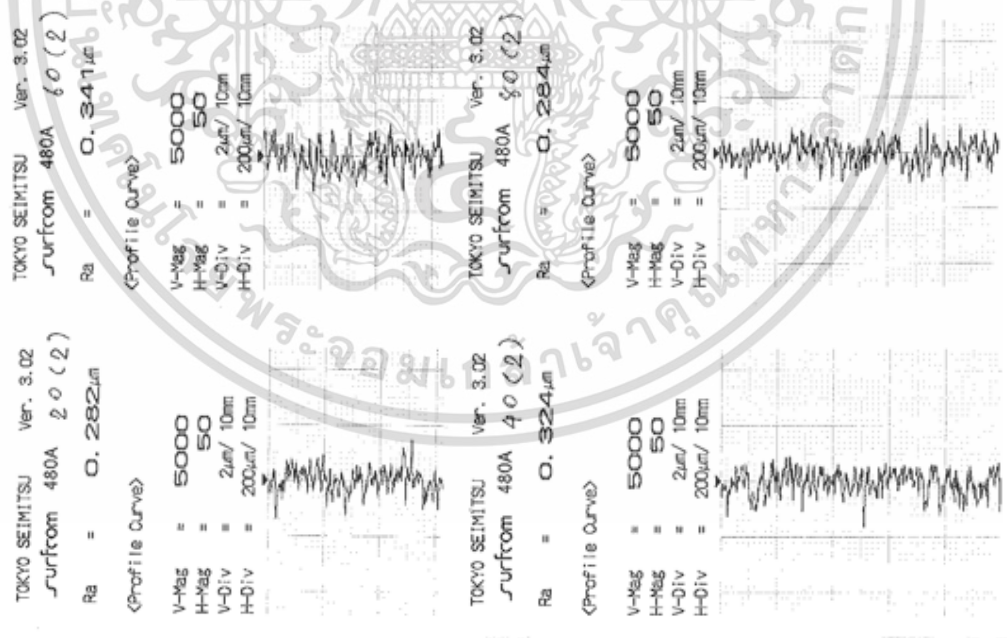
ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

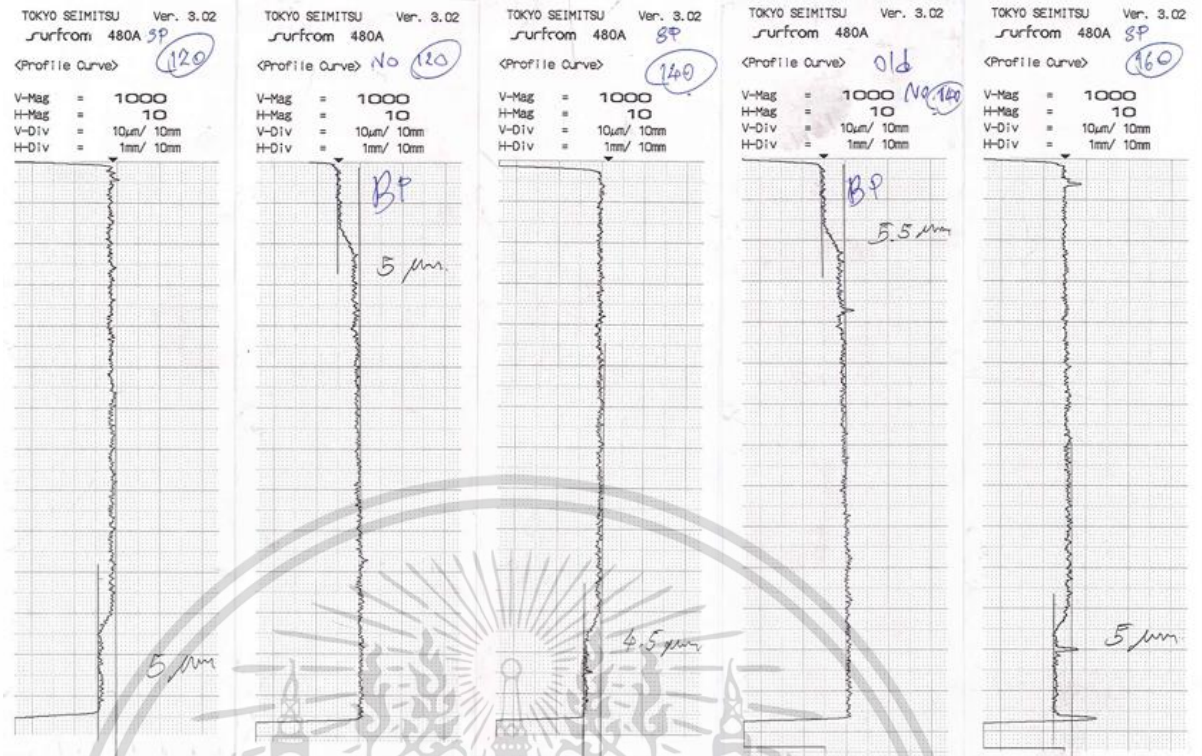


รูปที่ ก. 1 แสดงข้อมูลตัวอย่างการวัดค่าพิคโตรูปร่างของชิ้นงาน

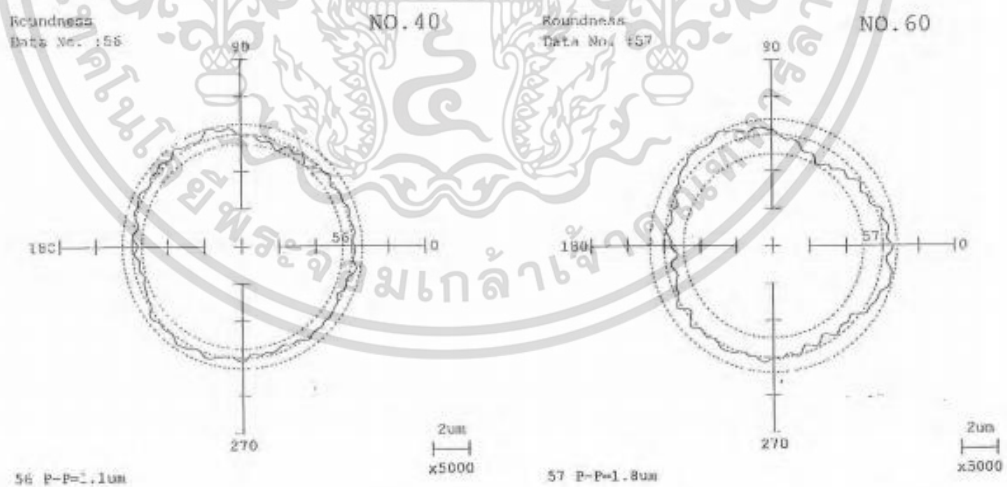


รูปที่ ก. 2 แสดงข้อมูลตัวอย่างการวัดค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก. 3 แสดงข้อมูลตัวอย่างการวัดค่าการสึกหรอหินเจียรนัย



รูปที่ ก. 4 แสดงข้อมูลตัวอย่างการวัดค่าความกลมของชิ้นงาน

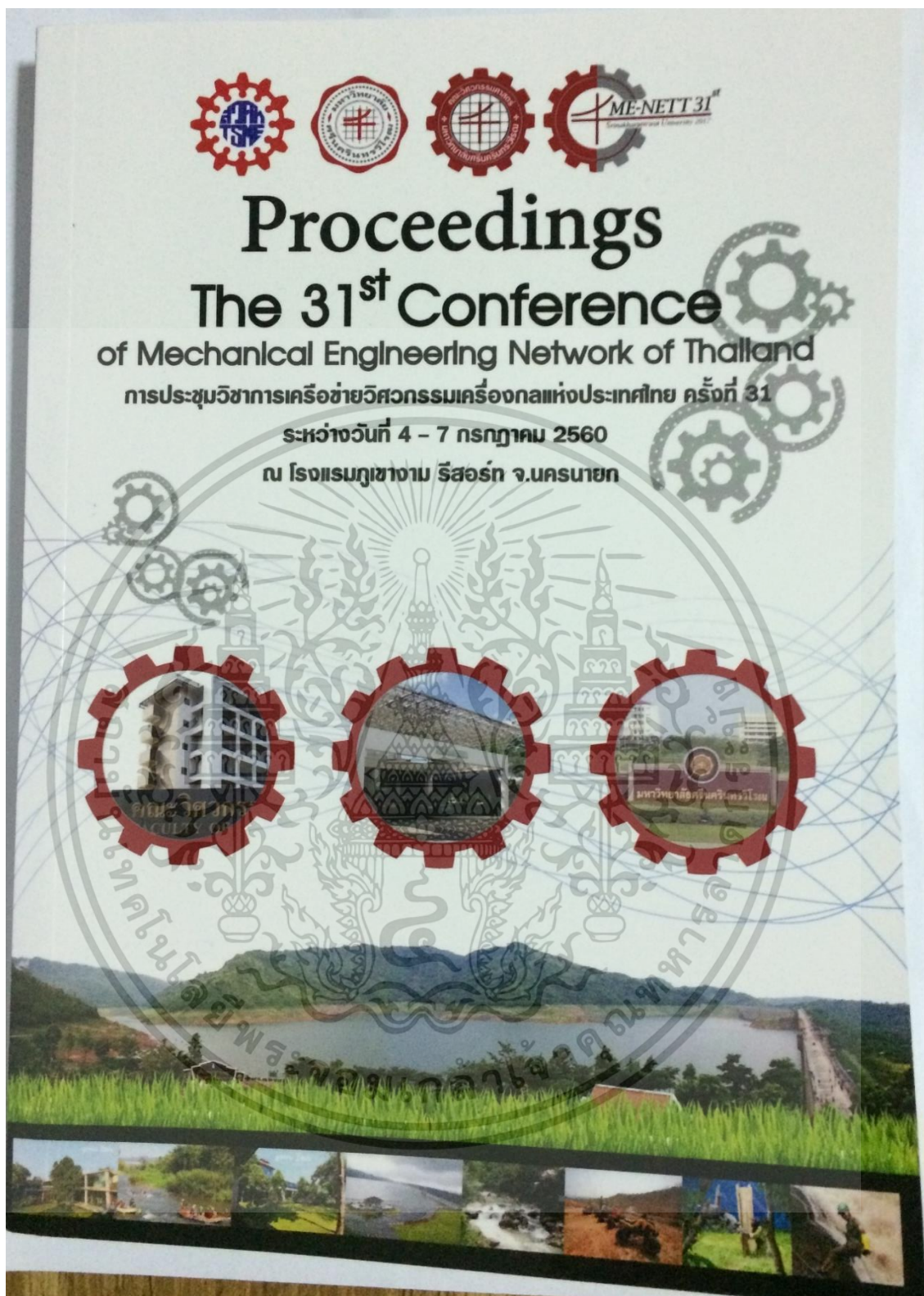
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การทดลองเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพผิวของชิ้นงานและอายุการใช้งานของหินเจียรนัยทรงกระบอก  
A comparison of work surface quality and tool life grinding wheels an experiment

อนุชา สาสน<sup>1\*</sup>, เอกพงษ์ ตันตราภิวัดน์<sup>2\*</sup>, จำลอง ปราบแก้ว<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

<sup>2</sup> อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

\*ติดต่อ: E-mail: s.anucha035@hotmail.co.th , เบอร์โทรศัพท์: (662) 3264197, เบอร์โทรสาร: (662) 32264198

**บทคัดย่อ**

บทความนี้ได้นำเสนอผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพผิวของชิ้นงานและอายุการใช้งานของหินเจียรนัยทรงกระบอก 5 ชนิด ที่มีคุณสมบัติและส่วนประกอบที่แตกต่างกันคือ ชนิดเม็ดตด, ขนาดเม็ดตด, ระดับความแข็งของกาว, ความหนาแน่นของเม็ดตดและชนิดของกาว นำมาทำการเจียรนัยชิ้นงานส่วนประกอบของแบริ่งส์ โดยกำหนดเงื่อนไขการเจียรนัย หินเจียรนัย 1 ก่อน จะเจียรนัยชิ้นงาน 200 ชิ้นต่อเนื่องกันโดยไม่มีการขึ้น รูปหน้าดินใหม่ พร้อมทั้งทำการวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขณะเจียรนัย ส่วนชิ้นงานที่เจียรนัยเสร็จในททุกๆ 20 ชิ้น จะนำไปวัดค่าคุณภาพผิวของชิ้นงาน คือ ค่าความกลมของชิ้นงาน, ค่าความหยาบของชิ้นงาน, ค่าการสึกหรอของหิน และค่าพิกัดรูปร่างของชิ้นงาน จากผลการทดลอง หินเจียรนัยชนิดที่ 1 ใช้กำลังงานทางไฟฟ้าขณะเจียรนัยน้อยที่สุด ในส่วนค่าการสึกหรอของหินจะเห็นว่า ชนิดที่ 3 กับ หินเจียรนัยชนิดที่ 4 มีค่าการสึกหรอของหินที่น้อยใกล้เคียงกัน ค่าความหยาบผิวเมื่อเทียบกันแล้ว หินชนิดที่ 4 มีค่าความหยาบผิวต่ำกว่าหินทุกชนิด สุดท้ายค่าความกลมของชิ้นงานเมื่อเทียบกันแล้ว หินชนิดที่ 2 กับ หินชนิดที่ 5 มีค่าความกลมของชิ้นงานที่ใกล้เคียงกัน

**คำหลัก:** ค่าความกลม, ค่าความหยาบผิว, ค่าการสึกหรอ, ค่าพิกัดรูปร่าง

**Abstract**

This article presents results of an experiment with the aim to compare five different cylindrical grinding wheels for surface qualities of the workpieces and tool life. The comparison parameters include Mesh Size Hardness of Bond, Concentration and Bond Type. Each grinding wheel was used for grinding a number of workpieces which were bearing components. The grinding experiment was under the following configuration machine conditions: one grinding wheel was used to grind 200 workpieces. Every 20 ground workpiece was measured for the surface qualities which include, roundness, roughness, wear, and profile. The results has showed that the 1 type grinding wheel has the least power and electrical power. In term of wear, the 3 type grinding wheel and the 4 type grinding wheel are the same. The roughness is compare to that of the 4 type grinding wheel minimum standard. Finally, the roundness is compare the 2 type grinding wheel and the 5 type grinding wheel are the same.

**Keywords:** Roundness, Roughness, Wear, Profile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 1. บทนำ

ต้นทุนการผลิต เป็นปัจจัยสำคัญที่จะกำหนดว่าสินค้าจะมีราคาถูกหรือแพง เพราะต้นทุนการผลิตมีส่วนประกอบหลายอย่างที่เป็ปัจจัยหลักในการผลิต ทั้งในเรื่อง วัสดุ ค่าแรงงาน ค่าสาธารณูปโภคต่างๆ ดังนั้นการลดต้นทุนการผลิต จึงมีความสำคัญอย่างมากในการทำให้สินค้ามีต้นทุนต่ำลงหรือกำไรเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลในด้านความสามารถการแข่งขันด้านการตลาด ในการแข่งขันที่สูงและรุนแรงในสภาพการตลาดในปัจจุบัน ส่งผลให้ทุกองค์กรมีการดำเนินกิจกรรมต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแข่งขัน ในอุตสาหกรรมก็เช่นเดียวกัน คู่แข่งที่มากขึ้นทุกวันต่างจัดกลยุทธ์ออกมาต่อสู้กัน แต่ที่เห็นมากที่สุดก็คงเป็นเรื่องของราคาขายที่ถูกกว่าซึ่งเป็น การตอบสนองที่ตรงกับความต้องการของลูกค้าที่ต้องการสินค้าที่มีราคาถูกและคุณภาพสินค้าที่ดีไม่ลด หย่อนลด ตราราคาสินค้านั้นๆ แต่การที่จะได้มาซึ่งสินค้าที่มีราคา ถูกและคุณภาพที่ดีนั้น องค์กรประกอบหลักของทางผู้ผลิต ประกอบด้วย ต้นทุนด้านต่างๆ เช่น ด้านวัสดุ ด้าน แรงงาน และด้านค่าใช้จ่ายในโรงงาน ดังนั้น จากปัญหาข้างต้นได้มีผู้ทํการศึกษาทดลองเพื่อต้องการลดต้นทุน การผลิตในด้านวัสดุ ตัวอย่าง เช่น Krzysztof Nadolny [1] ได้ทำการศึกษาลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอน การเจียรนัยภายในทรงกระบอก ได้พบว่าวิธีที่ส่งผลต่อ ประสิทธิภาพและคุณภาพรวมถึงความเสถียรภาพต่อการ เจียรนัยและการทำซ้ำ ก็คือ การควบคุมค่าการตัดเฉือน และวิธีการหล่อเย็น ปัญหานี้มีความสำคัญเป็นพิเศษจาก มุมมองของค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการซื้อการใช้สาร หล่อเย็น ตลอดจนส่งผลกระทบต่อการใช้งานของเหลว อันตรายที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้ทำการออกแบบ อุปกรณ์พิเศษที่ติดตั้งเข้ากับชุดโครงสร้างของหินเจียรนัย ขนาดเล็กแบบสองชั้นประกบกันที่มีระบบการหล่อเย็น แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โดยมีการกำหนดทิศทางการไหล ของน้ำหล่อเย็นให้ไหลผ่านจำนวนช่องที่ออกแบบไว้ที่หิน เจียรนัยโดยตรง จากข้อมูลของการวิเคราะห์จำลอง

เกี่ยวกับผลกระทบของความเร็วของการเจียรนัยและ ขนาดช่องการไหล เช่นเดียวกับจำนวนช่องความเร็วการ ไหลของน้ำหล่อเย็นที่ไหลผ่านร่องในการเจียรนัยด้านใน โดยคำนึงถึงผลของการจำลองต้นแบบของหินเจียรนัย แบบสองชั้นประกบกันที่ถูกทำขึ้นและจำนวนของการ ทดลอง การทดลองบนกระบวนการของการเจียรนัย ภายในรูปทรงกระบอกของเหล็กชนิด 100Cr6 ที่มีค่า ความแข็ง 62±2 HRC ผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้เมื่อใช้วิธีระบายความร้อนแบบใส่นํ้าจนท่วม จากผลการทดลองที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้เมื่อใช้ เมื่อใช้วิธีระบายความร้อนแบบใส่นํ้าจนท่วม ข้อมูลการ ทดสอบได้แสดงการใช้ประโยชน์ของหินเจียรนัยแบบสอง ชั้นประกบกันช่วยลดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นถึง 5 เท่า จาก 5.0 ลิตร/นาที ลดลงถึง 1.0 ลิตร/นาที โดยไม่มี ผลกระทบต่อคุณภาพผิวชิ้นงานและพลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในขณะที่เจียรนัย

(Marinescu et al., 2004; 2007). [2] จำนวน ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการเจียรนัยภายใน ทรงกระบอก ซึ่งผลจากกระบวนการกลศาสตร์การ เคลื่อนไหว อุปสรรคที่สำคัญที่สุดคือพื้นที่ที่ยาวมากของ การสัมผัสกันระหว่างหินเจียรนัยกับชิ้นงาน มักจะเกิด ความ แตก ต่าง เล็ก น้อย ของหิน เจียรนัย กับ เส้นผ่านศูนย์กลาง สภาวะที่ยากสำหรับการเจียรนัย คือ การระบายความร้อนที่เหมาะสมในบริเวณเจียรนัยมี ความสำคัญมากที่จะส่งถึงคุณภาพผิวชิ้นงาน เช่นเดียวกับ ความมั่นคงและการทำซ้ำของกระบวนการเจียรนัยใน ระยะเวลาสั้น อันเป็นผลมาจากเครื่องมือและสิ่งที เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน พลังงานกลที่เข้าสู่ กระบวนการเจียรนัยส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อน ความร้อนนี้เข้าไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในพื้นที่ของ การสัมผัสระหว่างหินเจียรนัยกับชิ้นงาน ส่วนใหญ่เกิด จากการเสียดสีและกระบวนการเปลี่ยนรูปที่นำไปสู่การ ก่อตัวชิปและการจำกัดวัสดุ ระยะของการสัมผัสกัน ระหว่างส่วนประกอบของพื้นผิวเจียรนัยที่ใช้งาน (GWAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



และบริเวณผิวทำให้การกำจัดความร้อนจากบริเวณเจียรนัยภายในรูปทรงกระบอกเป็นหนึ่งปัจจัยที่สำคัญในการดำเนินการที่มีประสิทธิภาพในการตัดเฉือน (Machining).

(Marinescu et al., 2004, 2007; Jackson and Davim, 2012; Klocke, 2009) [3] อุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นในกระบวนการเจียรนัยอาจนำไปสู่การสร้างความบกพร่องของผิวชิ้นงาน เช่น รอยแตกที่ว้าขนาดเล็กๆ การเจียรนัยใหม่หรือไหลของความเครียดที่ไม่เอื้ออำนวยในชิ้นงานที่สุด ยิ่งไปกว่านั้นอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในบริเวณการเจียรนัยทำให้เกิดการสึกหรอมากขึ้นของส่วนประกอบของหินเจียรนัย (เม็ดตัดและตัวประสาน) อิทธิพลของพลาสติกที่มีอุณหภูมิสูงเป็นจุดคมตัดที่ใช้งานอยู่นอกจากนี้ความร้อนอาจทำให้เกิดการสึกหรอของตัวประสานและบิ่นก่อนเวลาที่เหมาะสมของเม็ดตัดของ GWAS ก่อนเวลาที่เหมาะสม

ซึ่งจากตัวอย่างเหล่านี้มีแล้วแต่เป็นวิธีการที่นำไปสู่กระบวนการลดต้นทุนการผลิตนั่นเอง

## 2. ทฤษฎี

ในการเจียรนัยภายในของชิ้นส่วนแบร์ริงส์ จะมีส่วนที่สัมผัสกันระหว่างหินเจียรนัยกับชิ้นงานซึ่งจะมีตัวแปรหลายตัวที่มีผลต่อการเจียรนัยภายในชิ้นส่วนแบร์ริงส์ เช่น ความเร็วรอบของหิน ความเร็วรอบชิ้นงาน ความเร็วตัดของหิน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหินเจียรนัย

2.1 ในกระบวนการตัดเฉือนชิ้นงานจะต้องรู้ค่าความเร็วตัด ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$V = \frac{7C \pi D}{1000} \quad (1)$$

7C คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 3.14

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหินเจียรนัย

n คือ ความเร็วรอบของหินเจียรนัย

2.2 ในการเจียรนัยชิ้นงาน พลังงานที่ใช้ในการตัดเฉือนคำนวณได้จากสูตร

$$U = \frac{F}{(V \times D \times B \times \pi) / 2000} \quad (2)$$

F คือ กำลังที่ใช้ในการเจียรนัย

V คือ ความเร็วตัด

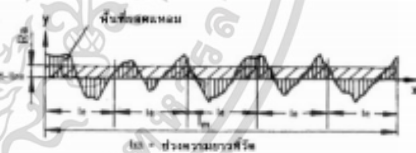
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง Bore ของชิ้นงาน

7C คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 3.14

และมีเกณฑ์ในการวัดคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ผ่านการเจียรนัย คือ

## 2.3 ค่าความหยาบชิ้นงาน

ความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Roughness Average: Ra) เป็นการแสดงความหยาบด้วยค่าเฉลี่ยของพื้นที่ผิวที่วัด ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้กันมากที่สุด และหลายมาตรฐานมักจะนิยมใช้ในการกำหนดมาตรฐานความหยาบผิว วิธีการหาความหยาบผิว การหาความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิตได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (M-Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลางหารด้วยความยาวเฉลี่ย (Lm) โดยค่าของ Ra มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร (µm)



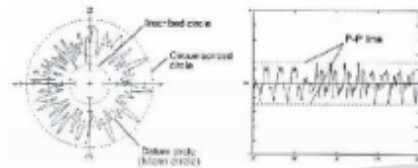
รูปที่ 1 แสดงวิธีหาความหยาบของผิวชิ้นงาน

## 2.4 ค่าความกลมของชิ้นงาน

ค่าความกลมที่ใช้ในงานทดลองนี้ จะใช้เป็นแบบ ค่าความกลมแบบพีคทูพีค (Peak to Peak: P-P) ค่าความกลมแบบนี้มีลักษณะของการหาค่าความกลมแตกต่างของขนาดผิวชิ้นงานที่เบี่ยงเบนออกไปจากเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมากที่สุด ค่าความกลมแบบนี้จะบ่งชี้ความสามารถในการสวมประกอบระหว่างแบร์ริงส์และเพลลา เมื่อค่าความกลมแบบพีคทูพีคนี้มีค่ามากอาจจะแสดงให้เห็นว่าแบร์ริงส์และเพลลาอาจจะเกิดการเสียดสีกันได้ ซึ่งค่าความ



กลมแบบนี้ สามารถหาได้จากค่าขนาดของชิ้นงานโตที่สุด  
ลบด้วยค่าขนาดของชิ้นงานเล็กที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงค่าความกลมแบบพิคทูพิก (Tokyo Seimitsu Co., Ltd.)

### 2.5 กระบวนการเจียรนัย

หลักการทำงานของการเจียรนัยภายในชิ้นส่วนแบร์ริงส์  
โตมีหลักการทำงานดังนี้ ชุดชิ้นงานถูกจับยึดกับ  
Backing plate ด้วยอำนาจแม่เหล็กและรองรับชิ้นงาน  
ด้วย Shoe ชิ้นงานจะหมุนในความเร็วรอบที่กำหนด  
จากนั้นชุดเกจจะเคลื่อนที่เข้ามาวัดชิ้นงานบริเวณจุดที่จะ  
ทำการเจียรนัย หลังจากนั้นชุด Grinding wheel จะ  
เคลื่อนที่เข้ามาตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นงานในแนวแกน  
X(-) จากนั้นชุดชิ้นงานจะเคลื่อนที่เข้ามาหาหินเจียรนัย  
ด้วยความเร็วที่กำหนดไว้จนถึงระยะจุดสิ้นสุดในแนวแกน  
Z(+) ชุดเกจก็จะสั่งงานให้ชุดชิ้นงานถอยออกในแนว  
แกน Z(-) จากนั้นชุด Grinding wheel ก็จะถอยออก  
พร้อมกับชุดเกจในแนวแกน X(+) แล้วเครื่องจะทำการ  
โหดชิ้นงานออกอัตโนมัติซึ่งจะทำในลักษณะเดียวกันใน  
ชิ้นงานตัวต่อไป

2.6 การทำงานของ Mode CBN ไปสู่ Mode normal  
Mode CBN คือ กระบวนการสร้างคมตัดของหินเจียรนัยจาก  
การขึ้นรูปหน้าหินเสร็จ (Dress) ในชิ้นงานตัวที่ 1 ถึง 6  
หลังจากนั้น ชิ้นงานตัวที่ 7 ก็จะกลับมาใช้ Mode  
normal ตามปกติ ซึ่งการทำงานในโหมดนี้ จะเป็นใน  
ลักษณะการป้อนชิ้นงานเข้าหาหิน (Feed) จากอัตราการ

ตัด เฉือนที่น้อยๆ แล้วค่อยเพิ่มขึ้นตามลำดับ มีเหตุผล  
เนื่องจากหลังการขึ้นรูปหน้าหินใหม่ ที่บริเวณผิวหินเจียร  
นัยจะประกอบไปด้วยเม็ดตัดกับตัวประสาน (กาว) จึงมี  
ความจำเป็นต้องการเอาตัวประสานออกในปริมาณที่  
พอดี เพื่อให้เหลือความยาวของเม็ดตัดที่เหมาะสมกับการ  
ใช้งาน

โดยใช้อัตราการตัดเฉือนดังนี้

Mode CBN Rough 2 = 25  $\mu\text{m/s}$

Mode CBN เจียรงาน 6 ชิ้น = 12.5  $\mu\text{m/s}$

ชิ้นที่ 1 อัตราการตัดเฉือน = 25  $\mu\text{m/s}$

ชิ้นที่ 2 อัตราการตัดเฉือน = 37.5  $\mu\text{m/s}$

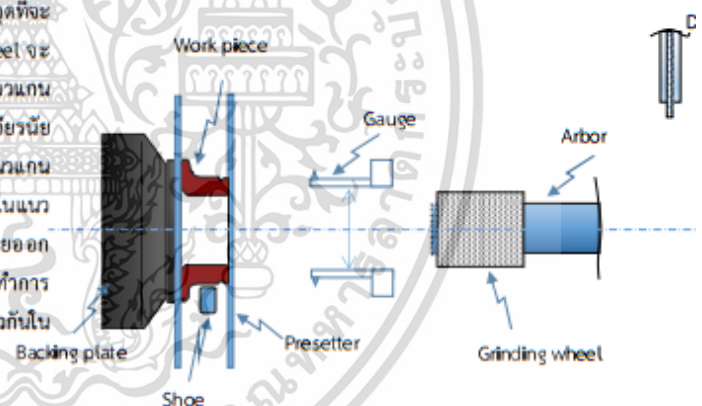
ชิ้นที่ 3 อัตราการตัดเฉือน = 50  $\mu\text{m/s}$

ชิ้นที่ 4 อัตราการตัดเฉือน = 62.5  $\mu\text{m/s}$

ชิ้นที่ 5 อัตราการตัดเฉือน = 75  $\mu\text{m/s}$

ชิ้นที่ 6 อัตราการตัดเฉือน = 87.5  $\mu\text{m/s}$

หลังจากนั้น ก็จะเริ่มเข้าสู่ Mode normal ชิ้นที่ 7 จะใช้  
ความเร็วที่ 100  $\mu\text{m/s}$



รูปที่ 3 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 2.7 รูปชิ้นงานและหินเจียรนัยทรงระบอก



GRINDING WHEELS SPEC			
Type	abrasive Type	Metrcs	No. in case of load
1.หินเจียรนัยทรงระบอก	Aluminum Oxide	18 180 630	1 Buffer
2.หินเจียรนัยทรงระบอก	SiC (White) Diamond	18 180 630	
3.หินเจียรนัยทรงระบอก	SiC (White) Cobalt Diamond	23 180 630	L
4.หินเจียรนัยทรงระบอก	SiC (White) Green Nitride	44 230 1800	ไม่ใช้หิน
5.หินเจียรนัยทรงระบอก	SiC (White) Cobalt Green Nitride	23 230 2300	F
6.หินเจียรนัยทรงระบอก	SiC (White) Cobalt Green Nitride	23 180 2300	ไม่ใช้หิน

รูปที่ 6 แสดงรายละเอียดของหินเจียรนัย

## รูปที่ 4 แสดงภาพพื้นผิวของแบร์ริงส์



## รูปที่ 5 แสดงภาพหินเจียรนัยทรงระบอก



## 2.8 รายละเอียดหินเจียรนัยทรงระบอก

### 3. การทดลอง

1. ทำการเปลี่ยนหินแล้วใส่สเปคหินที่ต้องการทดลอง
2. ทำการต่อ Power meter เข้ากับมอเตอร์
3. ทำการขึ้นรูปหน้าหิน (Dress) ซึ่งเครื่องจะทำการขึ้นรูปหน้าหินอัตโนมัติ โดยขึ้นรูปจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm ให้เหลือ 29.7 mm
4. จากนั้นเริ่มทำการทดลองโดยสตาร์ทเครื่องเจียรนัยและใส่ชิ้นงานลงไปพร้อมกับการเปิด Power meter เพื่อบันทึกค่ากำลังมอเตอร์ เมื่อเครื่องเริ่มเจียรงานชิ้นแรก เครื่องก็จะทำการไหลลดชิ้นงาน เข้า-ออก อัตโนมัติ เราจะทำการเจียรนัยชิ้นงานจำนวน 200 ชิ้นต่อเนื่องกัน โดยไม่มีการขึ้นรูปหน้าหินใหม่เพื่อที่ทำการทราบ limit test ของหินชนิดนั้นๆ หลังจากนั้นจะนำชิ้นที่ถูกเจียรนัยเสร็จสิ้นแล้วไปทำการวัดค่าคุณภาพผิวของชิ้นงานในทุกๆ 20 ชิ้น ดังนี้ ชิ้นที่ 20,40,60,80,100,120,140,160,180 และ ชิ้นที่ 200 ค่าคุณภาพผิวชิ้นงานที่จะทำการวัดคือ ความกลมของชิ้นงาน (Roundness) ความหยาบของผิวชิ้นงาน (Roughness) การสึกหรอของหิน (Wear) และรูปร่างของชิ้นงาน (Profile)

### 3.1 เงื่อนไขในการทดลอง

ในการทดลองนี้ จะใช้เงื่อนไขในการเจียรนัยเดียวกัน

### 4. ผลการทดลอง

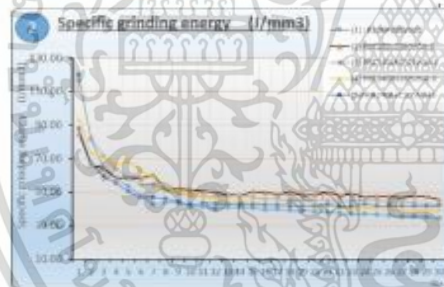
#### 4.1 ค่ากำลังไฟฟ้ามอเตอร์ขณะเจียรนัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 จากกราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานทางไฟฟ้ากับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรนัยด้วยหินเจียรทั้ง 5 ชนิด จากกราฟจะเห็นได้ว่า หินชนิดที่ 1 ใช้กำลังงานทางไฟฟ้าเริ่มจาก 2.48 kw ไปถึง 3.62 kw แล้วค่อยๆ ลดลงมากในค่าที่ใกล้เคียงกัน หินชนิดที่ 2 ใช้กำลังงานทางไฟฟ้าเริ่มจาก 1.76 kw ไปถึง 4.96 kw แล้วค่อยๆ ลดลงมากในค่าที่ใกล้เคียงกัน

#### 4.2 ค่าพลังงานในขณะเจียรนัย

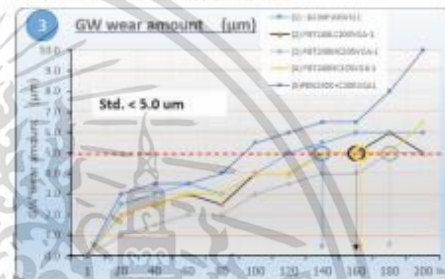


รูปที่ 8 จากกราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานทางไฟฟ้ากับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรนัยด้วยหินเจียรทั้ง 5 ชนิด

จากกราฟจะเห็นได้ว่า พลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ในขณะเจียรนัยชิ้นงานของหินแต่ละชนิดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่มีหินชนิดที่ 1 ใช้พลังงานทางไฟฟ้าเริ่มจาก 120.19 J/mm<sup>3</sup> ลดลงมากที่ 42.73 J/mm<sup>3</sup> (ในชิ้นงานตัวที่ 7 ) แล้วค่อยๆ ลดลงมากในค่าใกล้เคียงกันของชิ้นงาน

ตัวที่ 8 เป็นต้นไป แสดงให้เห็นถึงการตัดเฉือนที่ใช้พลังงานน้อยกว่าหินชนิดอื่น ส่วนหินที่ใช้พลังงานมากกว่าหินชนิดอื่น คือ หินชนิดที่ 2 ใช้พลังงานทางไฟฟ้าเริ่มจาก 85.51 J/mm<sup>3</sup> ลดลงมาที่ 51.61 J/mm<sup>3</sup> (ในชิ้นงานตัวที่ 7 ) แล้วค่อยๆ ลดลงมาในค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นถึงการตัดเฉือนที่ไม่ดี ทำให้ต้องใช้พลังงานมากกว่าหินชนิดอื่น

#### 4.3 ค่าการสึกหรอของหินเจียรนัย

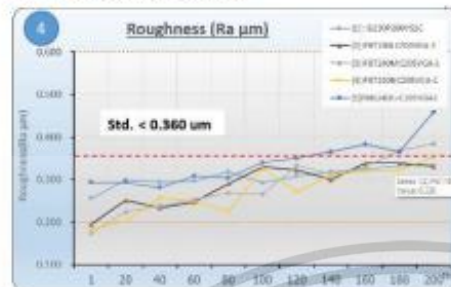


รูปที่ 9 จากกราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสึกหรอหินกับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรนัยด้วยหินเจียรทั้ง 5 ชนิด

โดยค่ามาตรฐานของการสึกหรอของหินต้องไม่เกิน 5 µm เพราะถ้ามากกว่า 5 µm จะส่งผลในส่วนของขนาดชิ้นงานไม่มีความเสถียร แกว่งไปมา ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบการสึกหรอของหินแต่ละชนิด จากกราฟพบว่า หินชนิดที่ 5 เกิดการสึกหรอมากกว่า 5 µm หลังจากเจียรชิ้นงานผ่านไป 100 ชิ้น ซึ่งน้อยกว่าหินชนิดอื่น แสดงให้เห็นถึงอายุการใช้งานที่น้อยกว่าหินชนิดอื่นๆ ส่วนหินชนิดที่ 3,4 เกิดการสึกหรอมากกว่า 5 µm หลังจากเจียรชิ้นงานผ่านไป 180 ชิ้น ซึ่งมากกว่าหินชนิดอื่น แสดงให้เห็นถึงที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหินชนิดอื่น



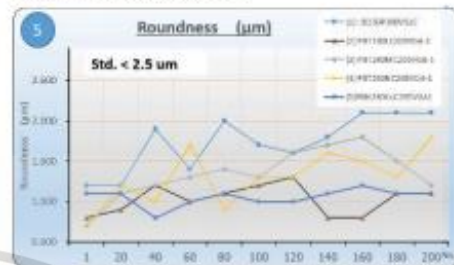
#### 4.4 ค่าความหยาบผิวชิ้นงาน



รูปที่ 10 จากกราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบกับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรนัยด้วยหินเจียรทั้ง 5 ชนิด

โดยมีค่ามาตรฐานความหยาบผิวชิ้นงานไม่เกิน 0.360 um จากกราฟค่าความหยาบของผิวชิ้นงานที่ผ่านการเจียรนัยจากหินในแต่ละชนิด มีแนวโน้มและทิศทางความหยาบผิวจากน้อยไปหามากขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นด้วย จากหินทั้ง 5 ชนิด จะเห็นว่าหินชนิดที่ 1,2,4 มีค่าความหยาบผิวชิ้นงานที่ไม่เกิน 0.360 um จากการเจียรชิ้นงาน 200 ชิ้น แสดงให้เห็นถึงคุณภาพผิวชิ้นงานที่ดี ถึงแม้จะผ่านการใช้งานที่นานแต่หินยังสามารถรักษาคมตัดได้ดี ส่วนหินชนิดที่ 3,5 มีค่าความหยาบผิวชิ้นงานเกิน 0.360 um ตั้งแต่ชิ้นงานที่ 120 และ 180 แสดงให้เห็นว่าหินสามารถรักษาคมตัดได้ไม่นานส่งผลให้คุณภาพผิวชิ้นงานไม่ดี

#### 4.5 ค่าความกลมของชิ้นงาน



รูปที่ 11 จากกราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความกลมกับจำนวนชิ้นงานที่ถูกเจียรนัยด้วยหินเจียรทั้ง 5 ชนิด

โดยมีค่ามาตรฐานความกลมชิ้นงานไม่เกิน 2.5 um จากกราฟหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด เจียรนัยชิ้นงานชนิดละ 200 ชิ้น พบว่าหินชนิดที่ 2,3,4,5 มีค่าความกลมชิ้นงานไม่เกิน 2.5 um แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของคมตัดหินกับความเร็วรอบการหมุนของหินกับชิ้นงานไปในทิศทางเดียวกันไม่เกิดแรงต้านมากกว่าแรงคมตัด ส่วนหินชนิดที่ 1 มีค่าความกลมชิ้นงานเกิน 2.5 um และค่ากระแสไหลไปมา เมื่อเจียรชิ้นงานผ่านไป 150 ชิ้น แสดงให้เห็นถึงความเร็วรอบหินกับชิ้นงานไม่สัมพันธ์กันเนื่องจากหินเกิดการหลุดร่อนของเม็ดตัดที่มากเกินไป

#### 5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองและเปรียบเทียบค่าต่างๆของหินเจียรนัยทั้ง 5 ชนิด

หินชนิดที่ 1 B230P200V51C ใช้กำลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางไฟฟ้าน้อยกว่าหินชนิดอื่น แต่มีค่าการสึกหรอของหินที่มากเกินค่ามาตรฐาน 5 um เมื่อเจียรนัยชิ้นงานผ่านไป 120 ชิ้น เท่านั้นเอง และค่าความกลมของชิ้นงานก็สูงเกินค่ามาตรฐาน 2.5 um เมื่อเจียรนัยชิ้นงานผ่านไป 160 ชิ้น แต่มีค่าความหยาบผิวชิ้นงานอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

หินชนิดที่ 2 PBT180LC200VGA-1 ใช้กำลังไฟฟ้าและพลังงานทางไฟฟ้ามากกว่าหินชนิดอื่น และมีค่าการสึก



หรืออยู่ในระดับปานกลาง แต่มีค่าความหยาบและค่าความกลมของชิ้นงานไม่เกินมาตรฐาน

หินชนิดที่ 3 PBT240MC205VGA-1 ใช้กำลังไฟฟ้าและพลังงานทางไฟฟ้าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง แต่มีค่าการสึกหรอที่น้อยกว่าหินชนิดที่ 1,2,5 และค่าความหยาบผิวเกินมาตรฐานเมื่อเจียรนัยชิ้นงานผ่าน 180 ขึ้น ส่วนค่าความกลมชิ้นงานอยู่ในระดับดี

หินชนิดที่ 4 PBT240NC205VGA-1 ใช้กำลังไฟฟ้าและพลังงานทางไฟฟ้าอยู่ในระดับปานกลาง มีค่าการสึกหรอที่น้อยกว่าหินชนิดที่ 1,2,5 สามารถเจียรนัยชิ้นงานผ่าน 180 ขึ้น ค่าการสึกหรอยังไม่เกินมาตรฐาน มีค่าความหยาบและค่าความกลมของชิ้นงานอยู่ในมาตรฐานทั้งหมด

หินชนิดที่ 5 PBN240KC205VGA-1 ใช้กำลังไฟฟ้าและพลังงานทางไฟฟ้าอยู่ในระดับปานกลาง แต่มีการสึกหรอของหินมากกว่าหินชนิดอื่น เมื่อเจียรนัยชิ้นงานผ่าน 100 ขึ้น และมีค่าความหยาบเกินมาตรฐานที่ชิ้นงานตัวที่ 120 ส่วนค่าความกลมชิ้นงานอยู่ในระดับปานกลาง

เมื่อเปรียบเทียบอายุการใช้งานของหินแต่ละชนิด จากค่าการสึกหรอของหินพบว่า หินชนิดที่ 3,4 มีค่าการสึกหรอที่น้อย สามารถเจียรนัยชิ้นงานได้ถึง 180 ขึ้น ต่อการขึ้นรูปคมตัดหินหนึ่งครั้ง ซึ่งจะให้อายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหินชนิดอื่น แต่เปรียบเทียบระหว่างหินสองชนิดนั้นเรื่องคุณภาพความหยาบผิวและความกลมของชิ้นงาน หินชนิดที่ 4 เป็นหินที่ดีกว่าหินชนิดที่ 3 ถ้านำไปใช้งานในกระบวนการผลิตหินชนิดที่ 4 จะมีความคุ้มค่าในด้านคุณภาพและด้านต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างดี

## 6. เอกสารอ้างอิง

### 6.1 บทความจากวารสาร (Journal)

- [1] Krzysztof Nadolny Department of production Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Koszalin University of Technology, Racławicka 15-17,75-620, Koszalin, Poland

[2] Davim, J.P., 2013. Green Manufacturing: Processes and systems. Springer-Verlag, Berlin.

[3] Jackson, M.J., Davim, J.P., 2010. Machining with Abrasives. Springer, New York.

[4] Klock, F., 2011. Manufacturing Process 2: Grinding, Honing, Lapping. Springer-Verlag, Berlin.

[5] Marinescu, ID., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, W.B., Inasaki, I., 2007. Handbook of Machining with grinding Wheels. CRC Press, Boca Raton.

[6] Marinescu, ID., Rowe, W.B., Dimitrov, B., Inasaki, I., 2004. Tribology of Abrasive Machining Processes. William Andrew, Inc., Norwich.

[7] Nadolny, K., Slowinski, B., 2011. The effects of wear upon the axial profile of a grinding wheels for internal cylindrical grinding. Adv. Tribol. 2011, 11 doi : <http://dx.doi.org/10.1155/2011/516202> Article ID 516202

[8] Nakajima, T., Okamura, K., Uno, Y., 1984. Traverse grinding techniques for improving both productivity and surface finish. In: International Grinding Conference, Fontana, Wisconsin, SME, Mr 84-534, Aug. 27-29.

### 6.2 รายงาน

- [1] วิวัฒน์ เมณีองกล้า (2550) การออกแบบและสร้างเครื่องวัดความกลมแบบกึ่งอัตโนมัติโดยประยุกต์จากเครื่องมือวัดโดยใช้ลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย อนุชา สาเสน

วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 18 เดือน มีนาคม พ. ศ. 2530 ที่จังหวัดจันทบุรี

ที่อยู่ 86/5 ม.8 ต.ทับไทร อ.โป่งน้ำร้อน จ.จันทบุรี 22140

ประวัติการศึกษา 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพร

ประวัติการทำงาน พ.ศ. 2552-2553 ตำแหน่ง ช่างเทคนิค แผนก Paint B  
บริษัทสยามคูโบต้าแทรกเตอร์ จำกัด มหาชน อำเภอบางบาล  
จังหวัด ชลบุรี  
พ.ศ. 2554-ปัจจุบัน ตำแหน่ง วิศวกร  
แผนก Production Engineer  
บริษัท NSK BEARING MANUFACTURING (THAILAND)  
CO.,LTD. อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้