

การหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการเจียรในฝัวนอกโลหะขึ้นงาน
ทรงกระบอก

OPTIMIZATION OF THE PERFORMANCE OF EXTERNAL CYCLINDER
GRINDING PROCESS

อนุสรณ์ วัชรวิไล
ANUSON WATCHARAWILAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL-2007-EN-M-030-119

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการเจียรระไนผิวนอกโลหะชิ้นงาน
ทรงกระบอก

OPTIMIZATION OF THE PERFORMANCE OF EXTERNAL CYLINDER
GRINDING PROCESS



อนุสรณ์ วัชรวิไล

ANUSON WATCHARAWILAI

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 77989
วัน,เดือน,ปี..... 12 ก.พ. 2551

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

KMITL-2007-EN-M-030-M9

**OPTIMIZATION OF THE PERFORMANCE OF EXTERNAL CYCLINDER
GRINDING PROCESS**

ANUSON WATCHARAWILAI

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

KMITL-2007-EN-M-030-M9

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการเจียรไนผิวนอก โลหะชิ้นงานทรงกระบอก
นักศึกษา	นายอนุสรณ์ วัชรวิไล
รหัสประจำตัว	45060612
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. มิ่ง โลกกิจแสงทอง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาขอบเขตที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องขัดผิวค้ำนอกของชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก โดยการศึกษาทำการทดลองบนเครื่องจักรสำหรับเจียรไนชิ้นงานทรงกระบอกที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต วัสดุคืบที่ใช้ในการทดลอง คือ FCD250C ความแข็ง 50 HRC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ± 0.4 มิลลิเมตร และความยาวของชิ้นงาน 20 มิลลิเมตร ซึ่งตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญสำหรับงานเจียรไนนี้ประกอบด้วย ความเร็วในการป้อนหินเจียรไน (grinding infeed velocity) v_s ความเร็วในการปาดหน้าหิน (dressing infeed velocity) v_d และความเร็วขอบหินเจียรไน v_g ก่อนที่จะนำมาหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดจะต้องหาสมการวัตถุประสงค์ในรูปตัวแปรของเวลา และสมการควบคุมในรูปตัวแปรของความเรียบผิว สมการทั้งสองนี้ได้มาโดยขั้นตอนแรกเป็นการเก็บข้อมูลคืบจากการทดลองในสภาพการทำงานจริงในโรงงานอุตสาหกรรมและขั้นตอนที่สองใช้วิธี quadratic regression ในการหาสมการที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และทำการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะได้ค่ารอบเวลาที่เหมาะสมที่สุดแล้วนำไปตรวจสอบเทียบกับการใช้งานจริงของเครื่องจักร ซึ่งรอบเวลาจากการใช้งานจริงแตกต่างจากการคำนวณจริงประมาณ 1 %

Thesis	Optimization of the Performance of External Cylinder Grinding Process
Student	Mr. Anuson Watcharawilai
Student ID.	45060612
Degree	Master degree
Program	Mechanical Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Asst.Prof. Ming Lokitsangtong

ABSTRACT

The purpose of this research is to study optimal cycle time for external cylinder grinding machine. The experiment was done on the actual machine in the manufacturing process. The raw material in the test is FCD250C with hardness of 50 HRC, diameter of 50 ± 0.4 mm and length of 20 mm. The involved independent parameters consist of infeed velocity, v_s for grinding, dressing infeed velocity, v_d and grinding wheel velocity, v_g . Prior to applying optimization technique, the objective function and constrained function have been obtained by firstly collecting raw data from the grinding machine in factory and then by the quadratic regression method. By using a computer program on optimization techniques, the optimal cycle time was computed and its value was then checked on the grinding machine. The cycle time of actual operation differs from that of calculation by 1 %.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการเจียรในผิวนอกโลหะขึ้นงานทรงกระบอก สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการให้คำปรึกษาและความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่ง โลกกิจแสงทอง ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บริษัทไทยฟูโกกุ จำกัด และคุณอดุลย์ มิ่งมโน หัวหน้าแผนกงานกลึงที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งด้านอุปกรณ์ เครื่องจักร และบุคลากรที่ช่วยในการทำการทดลองเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ร่วมสถาบันจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือเข้าพเจ้าในทุกๆ ด้านให้ทำงานวิจัยสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ภรรยา ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษา

ขอขอบพระคุณในทุกประการที่ให้แก่งานวิจัยเรื่องนี้ไว้ ณ. โอกาสนี้

อนุสรณ์ วัชรวิไล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	12
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง.....	12
3.2 คุณลักษณะและวิธีการทำงานของเครื่องจักร.....	12
3.3 เครื่องมือและวิธีการวัดค่าความเรียบผิว.....	14
3.4 การออกแบบตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดลอง.....	16
3.5 เงื่อนไขการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของสมการวัตถุประสงค์ และสมการควบคุม	16
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง และวิธีการสร้างรูปแบบจำลอง.....	23
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	23
4.2 วิธีการสร้างรูปแบบจำลอง.....	41
4.2.1 การหาสมการวัตถุประสงค์ (Objective function).....	40
4.2.2 การหาสมการควบคุม (Constrain function).....	43
บทที่ 5 การหาสภาพที่เหมาะสมที่สุด.....	46

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1 สมการ.....	46
5.2 ทฤษฎี.....	46
5.3 ผลลัพธ์จากการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของรอบเวลา.....	50
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	54
6.1 สรุปผลการทดลอง	54
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	55
เอกสารอ้างอิง.....	56
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก.....	58
ภาคผนวก ข.....	80
ประวัติผู้เขียน.....	88

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.16	เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วขอบของหิน เจียรไนมีความเร็ว 183 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.8 mm/min.....21
3.17	เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วขอบของหิน เจียรไนมีความเร็ว 183 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.8 mm/min.....21
3.18	เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวจากการเปลี่ยนแปลง ความเร็ว รอบชิ้นงาน.....22
3.19	เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวจากความสัมพันธ์ระหว่าง v_s และ v_u22
4.1	ข้อมูลจากการทดลองที่เลือกนำมาหาความสัมพันธ์ของรอบเวลาการผลิต.....42
4.2	ข้อมูลจากการทดลองที่เลือกนำมาหาความสัมพันธ์ของความเร็วผิว.....43
5.1	การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณและจากการผลิต.....51
ก-1	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียรไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน200 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ 244 m/min59
ก-2	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียรไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน400 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ 244 m/min.....60
ก-3	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียรไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน600 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ 244 m/min.....61
ก-4	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียรไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน200 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ 229 m/min.....62
ก-5	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียรไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน400 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ 229 m/min.....63
ก-6	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียรไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน600 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ 229 m/min.....64
ก-7	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียรไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน200 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ 214 m/min.....65
ก-8	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียรไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน400 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ 214 m/min.....66
ก-9	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียรไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน600 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ 214 m/min.....67

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 200 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 198 m/min.....	68
ก-11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 400 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 198 m/min.....	69
ก-12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 600 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 198 m/min.....	70
ก-13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 200 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 183 m/min.....	71
ก-14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 400 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 183 m/min.....	72
ก-15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 600 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 183 m/min.....	73
ก-16 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วรอบชิ้นงาน.....	74
ก-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วผิวและความเร็วรอบชิ้นงาน.....	74
ก-18 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วผิวที่ความเร็วในการเจียร์ไน 0.3 mm/min...	75
ก-19 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วผิวที่ความเร็วในการเจียร์ไน 0.8 mm/min...	76
ก-20 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วผิวที่ความเร็วในการเจียร์ไน 1.3 mm/min...	78

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในกระบวนการเจียระไน.....	3
2.1 หินเจียระไนในการทดลอง (a. Al ₂ O ₃ grain), (b.CBN with microcrystalline 1B grain),(c. CBN with monocrystalline 3B grain)	4
2.2 แสดงแนวคิดของความเรียบผิว.....	4
2.3 แสดงแผนภาพการทดลองของการเจียระไนผิวด้านใน.....	5
2.4 การออกแบบระบบที่ชาญฉลาดในการทำงานเจียระไน.....	6
2.5 แสดงอุปกรณ์การวัดค่าแรงโดยมีการติดตั้งเซนเซอร์ 2 จุด.....	7
2.6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทำงานบนเครื่องเจียระไน CNC.....	7
2.7 แสดงแรงที่เกิดแนวเส้นรอบวงและแรงกระทำตามปกติภายใต้ภาระที่ไม่ต่อเนื่อง.....	8
2.8 แสดงความถี่สัญญาณของแรงที่ความลึกในการเจียระไน 1 ไมคอนเมตร.....	9
2.9 แสดงภาพ 3 มิติของแรงเมื่อเริ่มเกิดตำหนิขึ้นที่ชิ้นงาน.....	9
2.10 แสดงหลักการทำงานของงานเจียระไนทรงกระบอก.....	10
2.11 แสดงระยะเวลาการทำงานในหนึ่งรอบการทำงานของการเจียระไน.....	11
3.1 เครื่องเจียระไนผิวนอกชิ้นงานที่มีลักษณะทรงกระบอก.....	12
3.2 เปรียบเทียบผิวชิ้นงานก่อนและหลังการเจียระไนผิวนอกของชิ้นงาน เครื่องจักรที่ใช้ในภาคศึกษามีความสามารถที่ถูกกำหนดโดยผู้ผลิต.....	13
3.3 หลักการทำงานของเครื่องเจียระไน.....	13
3.4 เครื่องมือวัดค่าความเรียบผิว Mitutoyo SJ-301.....	14
3.5 รูปแบบการตรวจวัดค่าความเรียบผิวแบบ Ra.....	15
3.6 จุดตรวจสอบความเรียบผิวของชิ้นงาน.....	15
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_p) ที่ความเร็วในการปาด หน้าหิน (v_s) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียระไนเท่ากับ (v_c) 244 m/min.....	23
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_p) ที่ความเร็วในการปาด หน้าหิน (v_s) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียระไนเท่ากับ (v_c) 229 m/min	23
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_p) ที่ความเร็วในการปาด หน้าหิน (v_s) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียระไนเท่ากับ (v_c) 214 m/min	24
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_p) ที่ความเร็วในการปาด หน้าหิน (v_s) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียระไนเท่ากับ (v_c) 198 m/min	24

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลากับความเร็วปาดหน้าหินที่ความเร็วในการเจียรในต่างๆ	39
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วผิวชิ้นงานกับความเร็วในการปาดหน้าหินที่ความเร็วในการ เจียรในต่างๆ.....	40
5.1 แผนภูมิการหาค่าที่เหมาะสมโดยวิธี augmented Lagrange multiplier.....	48
5.2 เปรียบเทียบผลจากการคำนวณรอบเวลาการผลิตจริงและรอบเวลาการผลิตที่ $v_s=1.17$ mm/min	51
5.3 เปรียบเทียบผลการคำนวณความเร็วผิวและความเร็วผิวผลิตที่ได้จากการผลิตจริงที่ $v_s=1.17$ mm/min.....	52
5.4 ผลลัพธ์ Cpk ของกระบวนการเจียรในก่อนการเปลี่ยนเงื่อนไข.....	53
5.5 ผลลัพธ์ Cpk ของกระบวนการเจียรในจากเงื่อนไขที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	53

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

ALM	คือวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบ AUGMENTED LAGRANGE MULTIPLIER
Cpk	คือ process capability ratio
N	เป็นระยะในการคำนวณของเครื่องวัดความเรียบผิว
R	คือตัวแปรความเรียบผิว
Ra	คือวิธีการคำนวณค่าความเรียบผิวเฉลี่ย, μm
t	คือรอบเวลาการทำงานของเครื่องเจียรไน, min
w_s	คือความเร็วรอบหินเจียรไน, rpm
w_w	คือความเร็วรอบของชิ้นงาน, rpm
v_d	คือความเร็วในปาดหน้าหิน, mm/min
v_g	คือความเร็วขอบหินเจียรไน, m/min
v_s	คือความเร็วป้อนหินเจียรไน, mm/min
a	คือความลึกในการเจียรไน, mm

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเจียรระไนเป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับงานผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการความเรียบผิว และ พิกัดเผื่อที่มีความแม่นยำสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตแบบอื่นๆ งานเจียรระไนคือ กระบวนการที่ทำให้เกิดต้นทุนที่สูง ดังนั้นจะต้องใช้เงื่อนไขในการผลิตที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน ถึงแม้ว่าในอดีตสาขานี้จะมีการใช้งานอย่าง กว้างขวาง แต่บางครั้งพบบ่อยว่าผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจน้อยมาก สำหรับทุกๆ กระบวนการของ การเจียรระไนรวมถึงการแก้ไขปัญหาซึ่งบ่อยๆ ครั้งจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของพนักงานมากกว่า จะใช้ความรู้ตามหลักวิทยาศาสตร์ ซึ่งโดยทั่วไปมักมองว่ากระบวนการเจียรระไนมีความยุ่งยาก อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยจำนวนมากตลอดระยะเวลา 40 ปีที่มีการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ทำให้เกิดความเข้าใจแง่มุมหรือมุมมองต่างๆ สำหรับกระบวนการเจียรระไน และวิธีการที่ประสบ ความสำเร็จในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด (Malkin S. and Guo C. 2001 : 1-19)

การศึกษาการออกแบบ การควบคุม และการค้นหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในระบบการ เจียรระไนเป็นพื้นฐานที่สำคัญเพราะความต้องการสำหรับงานเจียรระไนมีดังนี้ ต้นทุนสำหรับกระบวนการผลิตงานเจียรระไนเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องลดลง ซึ่งการที่จะทำเช่นนี้ได้ จำเป็นที่จะต้องลดการสึกหรอของอุปกรณ์ต่างๆ อย่างเช่นหินเจียรระไน และหัวข้ออื่นๆ ที่สำคัญคือ

- ลดของเสียจากกระบวนการผลิต และประกันคุณภาพของชิ้นงาน
- ลดปัญหาในการที่จะมีบุคคลเข้าไปแก้ไขตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
- การเปลี่ยนรุ่นในกระบวนการผลิตจะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน

โดยทั่วไปการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการเจียรระไนมุ่งเน้นเพื่อที่จะทำให้ต้นทุนใน กระบวนการผลิตน้อยที่สุดแต่ก็ต้องประกอบ ไปด้วยการผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพซึ่งต้นทุนใน กระบวนการเจียรระไนที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย

- ต้นทุนที่เกิดจากเครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิตเช่นอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน
- ต้นทุนเครื่องจักร
- ต้นทุนน้ำหล่อเย็นรวมถึงการทำความสะอาด และการขนส่ง
- ต้นทุนแรงงาน , วัสดุคืบ และผลจากการเกิดเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิต
- ต้นทุนที่เกิดจากหินเจียรระไน

ในการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับงานเจียรระไนดังที่กล่าวมาข้างต้นจะพบเสมอว่าสิ่งที่เป็นตัว แปรในการควบคุมกระบวนการเจียรระไนจะประกอบด้วย (Malkin S. 1976 : 56-62)

- ความสามารถหรือความพร้อมของเครื่องจักร
- กำลังงานของเครื่องจักร
- การ สึกหรอของหินเจียรไน
- ค่าพิักควบคุมขนาดของชิ้นงาน
- พื้นผิวของชิ้นงานสำเร็จรูป
- คุณสมบัติของวัตถุดิบชิ้นงาน
- ความเสียหายของชิ้นงานจากอุณหภูมิที่เกิกระยะเสียดสี

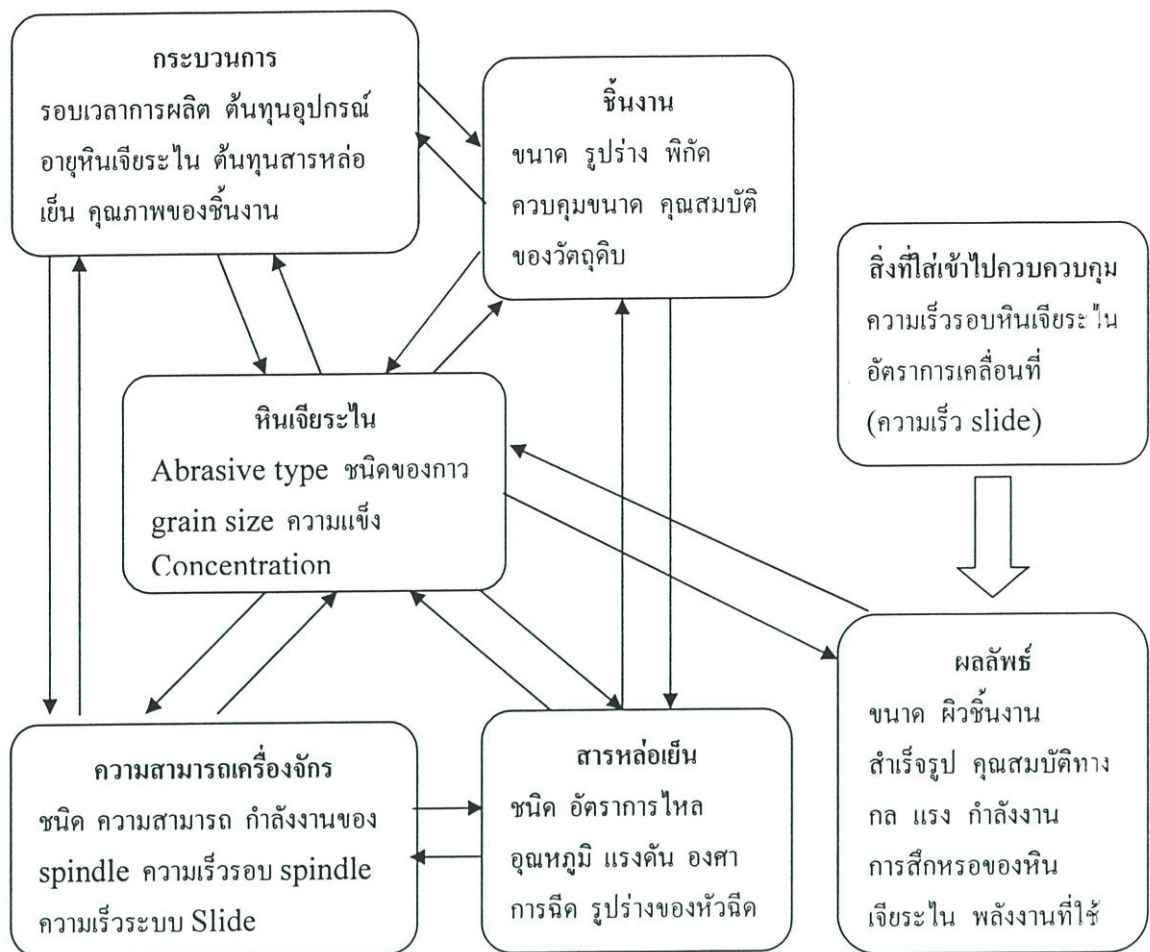
การค้นหาสภาพที่เหมาะสมสำหรับงานเจียรไน จำเป็นที่จะต้องศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ ที่มีส่วนควบคุมกระบวนการผลิตและส่วนประสิทธิผลในการเจียรไน ผลลัพธ์ของการหาสภาพที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันซึ่งเป็นผลมาจากการเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยสรุปจากที่กล่าวมารอบเวลาในการผลิตชิ้นงานที่ต่ำที่สุดจะมีผลต่อต้นทุนในการผลิตที่ลดลงซึ่งการจะทำให้รอบเวลาในการผลิตต่ำสุดโดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขในด้านคุณภาพก็ไม่สามารถที่จะทำได้ เพราะความเรียบผิวที่ถูกกำหนดขึ้นมีผลต่ออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานในการลดแรงเสียดทาน เช่น ชิ้นส่วนที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องยนต์ และชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เป็นต้น

จากรูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นส่วนประกอบพื้นฐานของกระบวนการเจียรไนซึ่งในการวิเคราะห์หาความเหมาะสมจะเลือกจากตัวแปรต่างๆ นี้ในการทำการทดลองว่าจะกำหนดตัวแปรใดเป็นตัวแปรที่คงที่ และตัวแปรตามจะเห็นได้ว่างานเจียรไนนี้นี้มีความสัมพันธ์กันหลายๆ ตัวแปร ซึ่งผู้ที่ทำการศึกษายจะต้อง ทราบความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร โดยจากการทดลองหรืองานวิจัยที่ผ่านมา (R.Debkowski and M.Urbaniak, 2000 : 71-77)

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์หารอบเวลาการผลิตที่น้อยที่สุด ซึ่งจำนวนผลผลิตที่ได้จะขึ้นอยู่กับรอบเวลา โดยการศึกษามุ่งเน้นที่จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการที่จะนำมาใช้สำหรับผลิตชิ้นงาน โดยมีเป้าหมายจากการศึกษานี้จะทำให้สามารถทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตของชิ้นงานกระบวนการเจียรไนเป็นการลดต้นทุนสำหรับการผลิต และมีผลต่อการตัดสินใจลงทุนเครื่องจักรใหม่ในอนาคต

และจากการศึกษาวิจัยยังทำให้ทราบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีส่วนเกี่ยวข้องอันจะนำไปสู่การวิจัยในส่วนอื่นๆ ต่อไปเช่นลดการ สึกหรอของหินเจียรไน การปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานเจียรไน และการเจียรไนให้ใช้พลังงานอย่างประหยัดที่สุด เป็นต้น



รูปที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในกระบวนการเจียรไน

1.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องจักรและออกแบบตัวแปรในระบบงานเจียรไนที่เกี่ยวข้องต่อวัตถุประสงค์ในการศึกษา

1.3.2 ออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ออกแบบ

1.3.3 นำข้อมูลที่ได้สร้างความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการวัตถุประสงค์ และสมการควบคุม

1.3.4 ทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากสมการที่ได้จากการทดลอง

1.3.5 นำผลที่ได้จากการคำนวณไปทดสอบในกระบวนการผลิตจริง

1.3.6 ทำการสรุปผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับค่าคำนวณ กับการผลิตจริง

1.3.7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

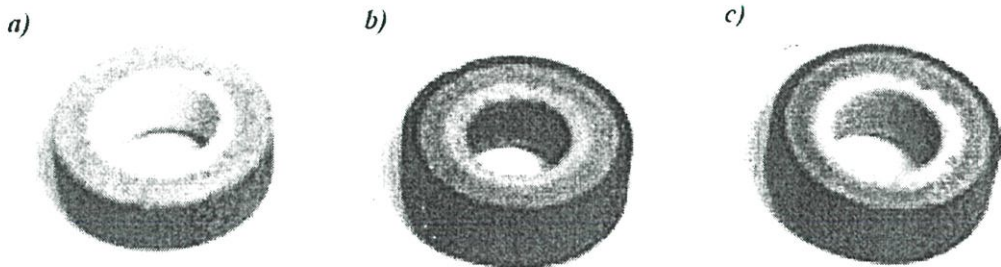
1.3.8 เขียนรายงานวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

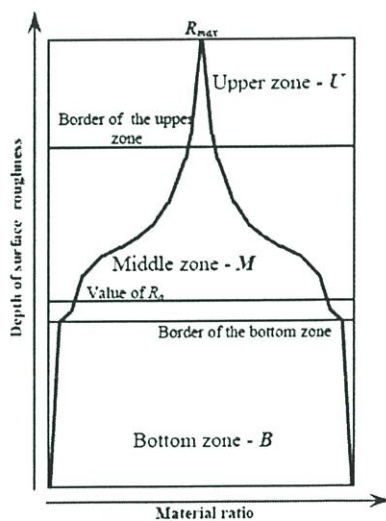
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เรื่องลักษณะของผิวเจียรไนชิ้นงานแบบภายในโดยใช้วัสดุหินเจียรไนแบบ CBN และ Al_2O_3 งานวิจัยเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผิวของชิ้นงานเจียรไนแบบภายในโดยวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบระหว่างหินเจียรไนแบบ CBN และ Al_2O_3 โดยมีตัวแปรที่มีผลเกี่ยวข้องกับความเร็วผิว Ra โดยขึ้นอยู่กับ v_s, v_{fa}, v_w, a_c . จากงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้คุณภาพของความเรียบผิวที่ดีที่สุด และใช้พลังงานงานที่น้อยที่สุด

การทดสอบจะทำการหาค่าความเรียบผิวจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือ v_s, v_{fa}, v_w, a_c การตรวจสอบค่าความเรียบจะทำ 5 ตัวอย่าง โดยมีหินเจียรไนที่ทำการทดสอบแสดงดังรูป

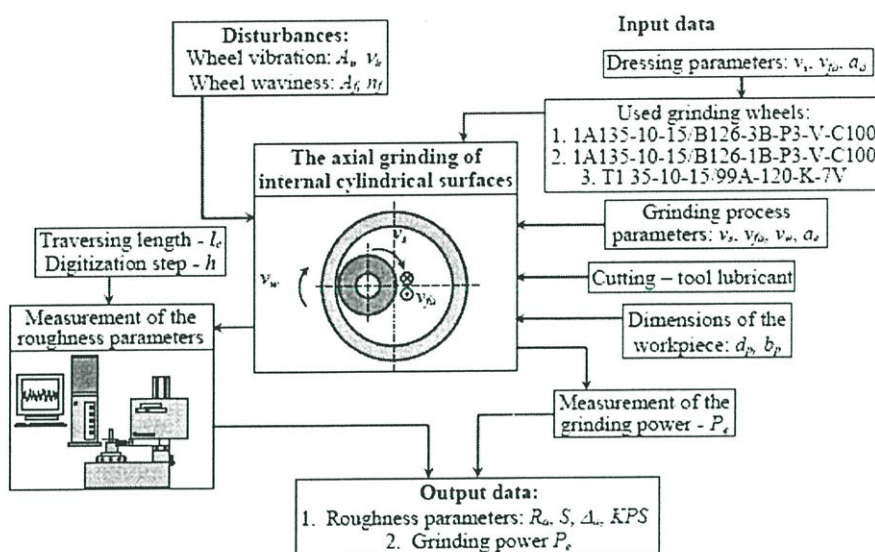


รูปที่ 2.1 หินเจียรไนในการทดลอง (a. Al_2O_3 grain), (b. CBN with microcrystalline 1B grain), (c. CBN with monocrystalline 3B grain)



รูปที่ 2.2 แสดงแนวคิดของความเรียบผิว

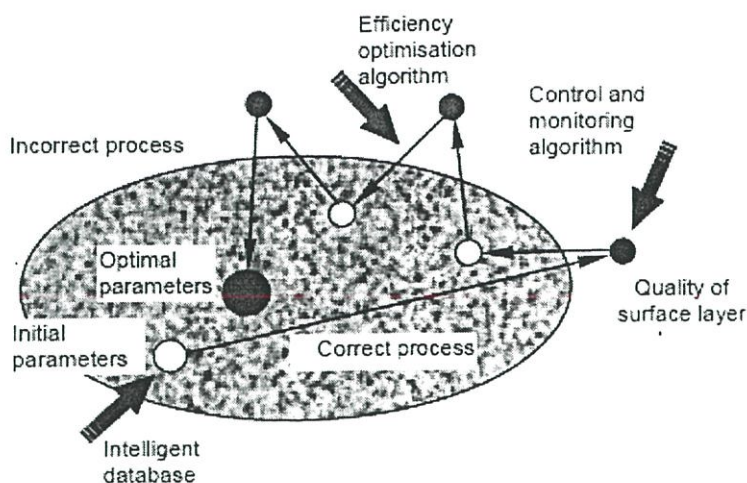
จากรูปที่ 2.2 แสดงกราฟของ material ratio ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างของระดับในการพิจารณาความเรียบผิว โดยแบ่งออกเป็นเป็น 3 ส่วน โดยส่วนบนสุดจะมีลักษณะแถบลงแสดงให้เห็นว่าเป็นส่วนที่มีค่าความเรียบผิวส่วนในระดับ B เป็นส่วนล่างสุดเป็นส่วนที่ใช้วิเคราะห์ 100 % ของ material ratio รวมถึงในส่วนขอบบริเวณ M ด้วย และการพิจารณารูปแบบของความเรียบผิวจะสมมาตรกัน



รูปที่ 2.3 แสดงแผนภาพการทดลองของการเจียรระโนผิวด้านใน

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าหินเจียรระโนที่ดีที่สุดจากการทดสอบคือหินเจียรระโนแบบ microcrystalline CBN grain ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในเรื่องของความเรียบผิวและพลังงานในการเจียรระโน ส่วนวัสดุ monocrystalline CBN จะให้ค่าความเรียบผิวและการใช้พลังงานในระดับที่รองลงมา และพบว่าหินเจียรระโนที่ทำจากวัสดุ Al_2O_3 จะทำให้ผิวหน้าของชิ้นงานมีลักษณะใหม่ และใช้พลังงานสูงในการเจียรระโน (R.Debkowski and M.Urbaniak. 2000 : 71-77)

2. ระบบให้การปรึกษาสำหรับงานวางแผนงานเจียรระโน ในการปรับปรุงเพื่อใช้ในการตัดสินใจวางแผนงานเจียรระโนส่วนที่สำคัญประกอบไปด้วย หินเจียรระโน เงื่อนไขการเจียรระโน และเงื่อนไขการปาดหน้าหิน ซึ่งทั้งหมดจะถูกออกแบบให้อยู่ในรูปแบบ โครงข่ายแบบระบบผสม ซึ่งจะทำหน้าที่พยากรณ์ประสิทธิภาพของงานเจียรระโนแสดงดังรูปที่ 2.4

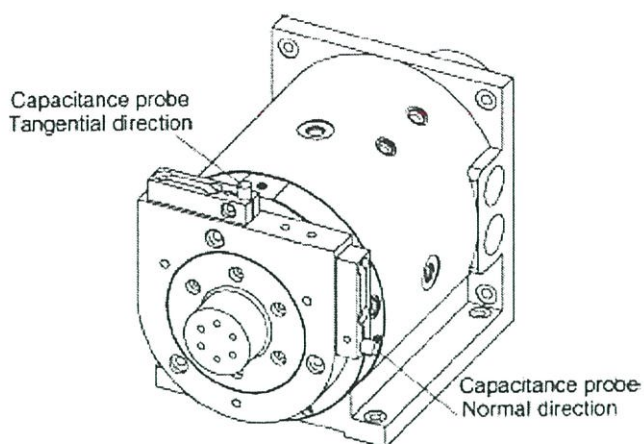


รูปที่ 2.4 การออกแบบระบบที่ชาญฉลาดในการทำงานเจียรไน

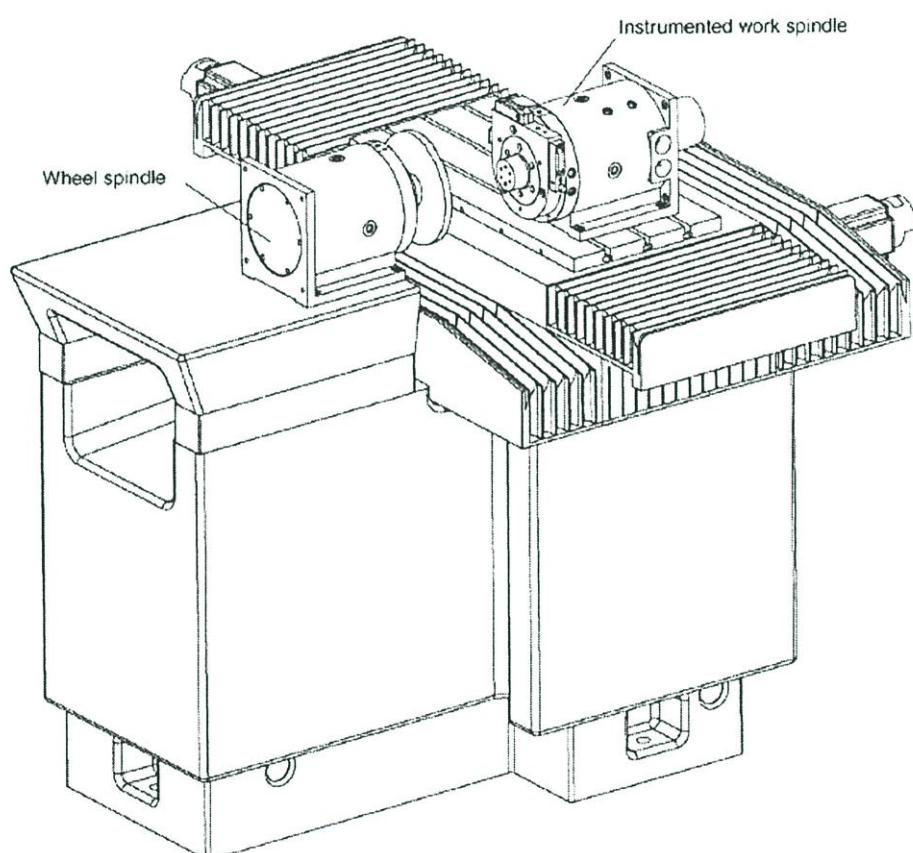
ในงานวิจัยนี้ได้สรุปให้เห็นว่ามีการนำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาร่วมออกแบบเพื่อหา Condition ในการเจียรไนเป็นการลดความผิดพลาดของบุคคลกร ลดเวลาการเปลี่ยนรุ่น และของเสียได้อีกด้วย (P. Kochaniewicz, T. Kapinski. 2001 : 72)

3. การติดตามคูแรงแรงกระทำที่เกิดในกระบวนการเจียรไนชิ้นงานทรงกระบอก ในการผลิตเพล่าที่มีค่าความแม่นยำสูงมากๆ และการเคลื่อนที่ค่าความผิดพลาดต่ำๆที่ 5-25 nm แรงแรงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเจียรไนจะต้องมีขนาดเล็กซึ่งจะต้องอาศัยความท้าทายในการสร้างกระบวนการที่น่าเชื่อถือในการติดตามผล ในการหาค่าจะทำการศึกษาติดตั้งเซนเซอร์วัดระยะห่างในแกนเพล่าที่หมุนซึ่งการสอเทียบแรงแรงที่เกิดจะวัดจากช่องว่างที่เกิดระหว่าง rotor และ stator การทดลองแบ่งออกเป็น 4 อย่างเพื่อหาผลลัพธ์แรงแรงที่เกิดที่ผิวสัมผัส ดูผลของกระบวนการในขณะที่ตั้งความลึกในการเจียรไนน้อยๆ และประเมินการสึกหรอของหินเจียรไนต่อแรงแรงกระทำ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดแรงแรงกระทำสามารถที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์การเจียรไนที่มีความแม่นยำสูง รวมถึงการแก้ไขปัญหาและตรวจสอบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงหนึ่งรอบการหมุนของหินเจียรไน แรงแรงที่เกิดในกระบวนการเจียรไนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานในการเจียรไน ซึ่งพบว่า ส่วนประกอบในการเจียรไนประกอบด้วย เศษที่เกิดขึ้น การขัดชิ้นงาน และการสไลด์ ในการวัดแรงแรงในกระบวนการเจียรไนวิธีการ วัดแบบ Acoustic emission เป็นวิธีการนิยมและใช้ต้นทุนต่ำรวมถึงสะดวกในการติดตั้ง และไม่ทำให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพลดลง จากรูปที่ 2.5 เป็นการแสดงอุปกรณ์การวัดแรงแรงที่กระทำขณะเกิดการเจียรไนโดยเป็นอุปกรณ์ติดตั้งเพื่อจับชิ้นงานขณะหมุนโดยมีการติดตั้งเซนเซอร์ภายในเพื่อจับสัญญาณที่เป็นระยะห่างของ Rotor และ stator โดย

เซนเซอร์จะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 2 mV/nm รูปที่ 2.6 แสดงการติดตั้งบนเครื่องจักรในการทดสอบ ซึ่งจะต้องทำการสอบเทียบแรงที่เกิดดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.5 แสดงอุปกรณ์การวัดค่าแรง โดยมีการติดตั้งเซนเซอร์ 2 จุด



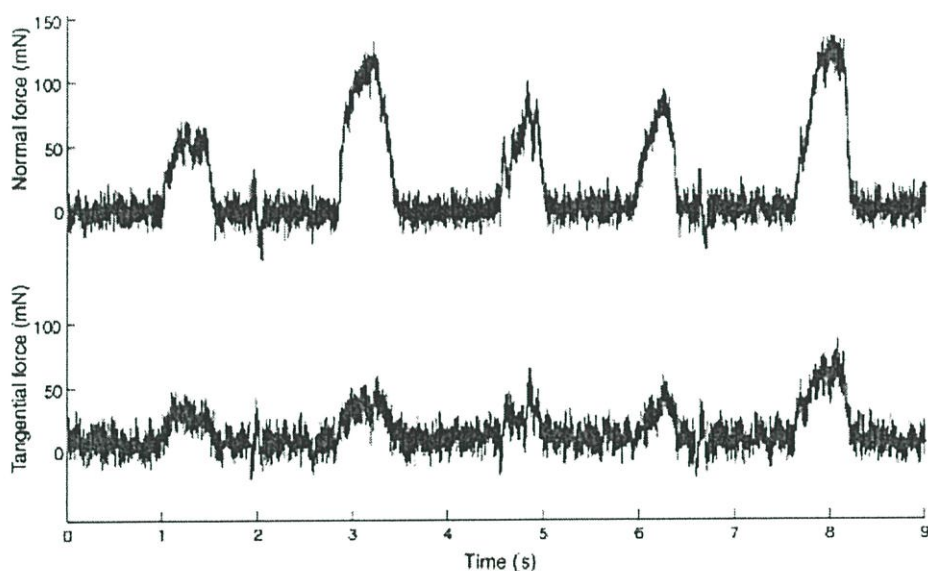
รูปที่ 2.6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทำงานบนเครื่องเจียระไน CNC

ตารางที่ 2.1 แสดงการสอบเทียบแรงที่เกิดขึ้นขณะตั้งความลึกในการเจียรระไนที่ระดับต่างๆ

Average sensor signals during grinding	
Depth of cut (μm)	Normal force (N)
-1.0	0.02
0.1	0.26
0.2	0.44
0.4	0.60
0.8	0.99
1.6	1.57
3.2	2.84
6.4	4.15

วัสดุที่นำมาทำการทดลองเป็นสแตนเลสสตีลมีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรมีความยาว 18 มิลลิเมตร และมีความแข็ง 416 -440 C และมีเงื่อนไขในการทดลองคือ ชั่งงานหมุนความเร็ว 500 rpm ใช้หินเจียรระไนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว และมีความหนาครึ่งนิ้ว หมุนที่ความเร็วรอบ 3300 rpm การปาดหน้าหินใช้หัวเพชรหนึ่งหัวและความเร็วในการปาดหน้าหินที่ 375 mm/min และใช้พื้นที่ในการปาดหน้าหินเพียง 3 มิลลิเมตรเท่านั้นส่วนอัตราการป้อน และความเร็วการเจียรระไนจะเปลี่ยนตามการทดลอง

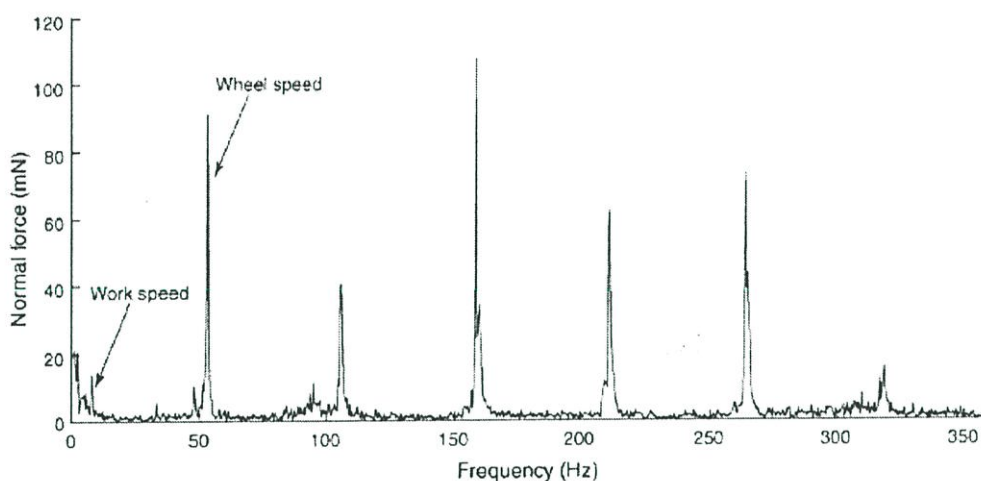
สรุปผลการทดลองที่หนึ่งผลของการวัดค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการวัดที่แกนหมุนขณะที่มีการสัมผัสชิ้นงานแบบเบาๆ เราจะได้แรงกระทำและแรงที่จุดสัมผัสดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงแรงที่เกิดแนวเส้นรอบวงและแรงกระทำตามปกติภายใต้ภาระที่ไม่ต่อเนื่อง

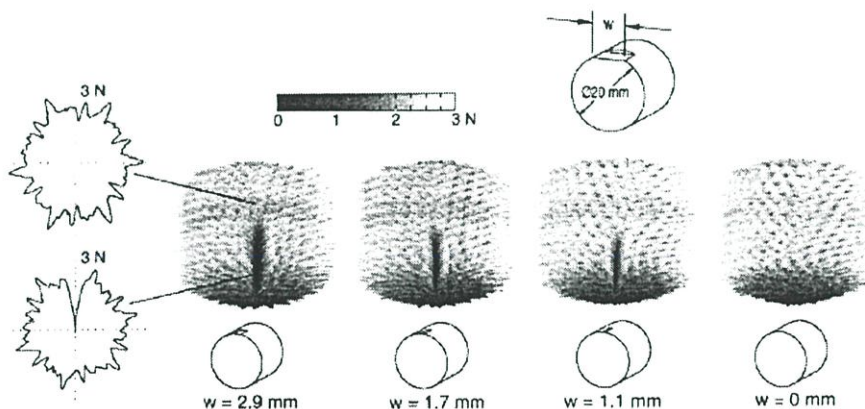
การทดลองจะนำหินเจียรระไนสัมผัสเพียงชั่วขณะให้เกิดประกายไฟ แรงที่เกิดขึ้นจะแสดงแรงกระทำปกติและแรงที่เกิดในแนวเส้นรอบวง การทดสอบนี้จะแสดงให้เห็นแรงที่เกิดมีหน่วยเป็น

มิลลินิวตัน ซึ่งแรงที่เกิดขึ้น 60 mN มีความสัมพันธ์กับระยะทางที่เปลี่ยนแปลงของเครื่องมือวัด 3 mm ระหว่าง rotor และ stator การทดสอบจะแบ่งช่วงของการทดสอบออกเป็น 25 mN เนื่องจากลดผลกระทบจากการรบกวนในระบบไฟฟ้า และในการทดลองที่ 2 คือพิจารณาแรงขณะที่ยินเจียรไนเริ่มสัมผัสกับชิ้น โดยกำหนดความลึกที่ 1 ไมคอนเมตร โดยวัสดุที่ทดลองคือ สเตนเลส สตีลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 416 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงความถี่สัญญาณของแรงที่ความลึกในการเจียรไน 1 ไมคอนเมตร

การทดลองที่ 3 พิจารณาเครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจสอบตำหนิที่ชิ้นงาน ตำหนิที่ชิ้นงานที่แบนเรียบเล็กๆ บนผิวนอกของชิ้นงานสเตนเลสสตีล 416 โดยเริ่มตั้งแต่ขนาดตำหนิเล็ก 0.18 mm มีผลทำให้ผิวมีความกว้างระนาบ 3 mm จนกระทั่งความยาวรวม 19 mm ที่ความกว้างระนาบ 8 mm ชิ้นงานหมุนที่ความเร็ว 150 mm/min ความลึกในการเจียรไนในแนวเส้นรอบวง 5 μm ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 2.9



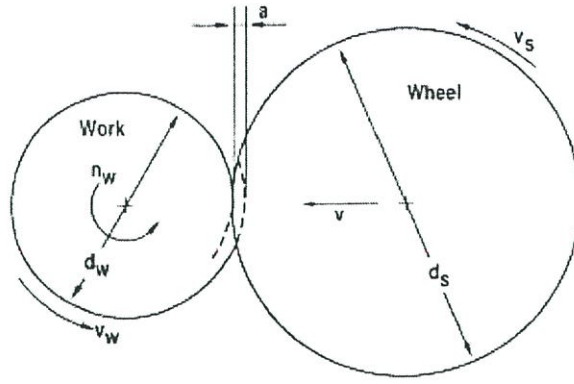
รูปที่ 2.9 แสดงภาพ 3 มิติของแรงเมื่อเริ่มเกิดตำหนิขึ้นที่ชิ้นงาน

สรุปการติดตามแรงกระทำที่เกิดกับการเจียรไนผิวชิ้นงานทรงกระบอกมีประโยชน์ในการออกแบบเงื่อนไขกระบวนการให้เหมาะสมที่สุด ปรับปรุงการควบคุมกระบวนการ และผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพสูงซึ่งเป็นสิ่งท้าทายในการผลิตที่ต้องการความแม่นยำสูง ในบทความนี้แสดงให้เห็นการนำเอาเครื่องมือวัดแบบเพลลาหมุนในอากาศมาติดตั้งบนเครื่องจักรทำให้สามารถประเมินแรงกระทำขณะที่เกิดการเจียรไน เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์การเกิดของเสีย และการสึกหรอของหินเจียรไนต่อไป

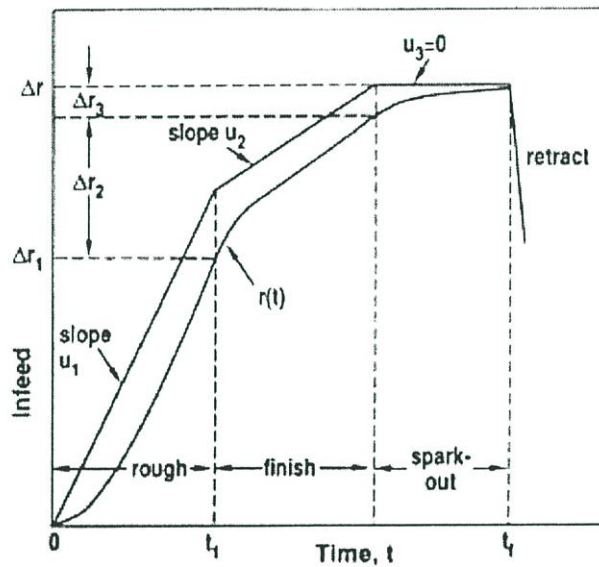
4. งานเจียรไนเป็นกระบวนการสุดท้ายสำหรับงานผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการความเรียบผิวและการควบคุมขนาดที่มีความละเอียดสูง ซึ่งตลอดระยะเวลา 40 ปีมีการทำงานวิจัยอย่างกว้างขวางเพื่อที่จะสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการเจียรไน สำหรับงานเขียนนี้จะแสดงให้เห็นความเข้าใจในกระบวนการเจียรไนสามารถที่จะพยากรณ์เกี่ยวกับพฤติกรรมและการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการทำงาน มีการออกแบบพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการเจียรไนแบบทรงกระบอก ซึ่งโปรแกรมมีการออกแบบให้โดยมี 3 ระบบหลักๆ คือการจำลอง(simulation) การสอบเทียบ(calibration) และการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด(optimization) สำหรับการจำลองจะมีหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรทั้งหมดเพื่อจะพยากรณ์พฤติกรรมของกระบวนการและคุณภาพของชิ้นส่วน การสอบเทียบจะเรียนรู้จากพฤติกรรมจริงโดยจะสร้างรูปแบบที่มีความสัมพันธ์โดยอ้างอิงจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือ พลังงาน ความเรียบผิว และความกลม และการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด จะใช้สำหรับเป็นตัวกำหนดค่าตัวแปรของการเจียรไนและการปาดหน้าหิน เพื่อให้ได้เวลาที่น้อยที่สุด ซึ่งมีการควบคุมในเรื่องของคุณภาพชิ้นงาน

ในงานเขียนนี้แสดงให้เห็นความรู้พื้นฐานสำหรับงานเจียรไนสามารถที่จะพยากรณ์พฤติกรรมของการเจียรไนและนำมาวิเคราะห์หาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงาน ความรู้นี้อยู่ในรูปแบบทางฟิสิกส์ และจากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง รายละเอียดของตัวแปรสำหรับกระบวนการเจียรไนประกอบด้วย ความเร็วในการป้อน แรง กำลังงาน พลังงานเฉพาะ การสึกหรอของหินเจียรไน อุณหภูมิ ความเรียบผิว และความกลม

รอบการทำงานของการเจียรไนที่มีความเร็วป้อนต่อเนื่อง พิจารณาจากกระบวนการเจียรไนแบบทรงกระบอกแสดงดังรูปที่ 2.10 ระบบการควบคุมของเครื่องจักรประกอบด้วยอัตราป้อนแนวรัศมี(radial infeed rate $u(t)$) ที่หินเจียรไนซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาแต่ค่าจริงของอัตราป้อนแนวรัศมี(actual radial infeed rate $v(t)$) จะค่อยๆ ลดลงหลังจากที่เกิดระบบการโก่งงอ(deflection) และการสึกหรอของหินบริเวณขอบรัศมี ในรูปที่ 2.11 แสดงการควบคุมการป้อนในหนึ่งรอบการทำงานประกอบด้วย 3 ระยะเวลา คือช่วงเจียรไนหยาบ ช่วงเจียรไนละเอียด และช่วงขัดเงา และการลดขนาดจริง(size reduction $r(t)$)



รูปที่ 2.10 แสดงหลักการทำงานของงานเจียรระไนทรงกระบอก



รูปที่ 2.11 แสดงระยะเวลาการทำงานในหนึ่งรอบการทำงานของการเจียรระไน

การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการเจียรระไนซึ่งจะต้องพิจารณาถึงตัวแปรควบคุม เป็นปกติสำหรับงานเจียรระไนผิวโดยทั่วไปจะหาค่ารอบเวลาที่น้อยที่สุด โดยมีตัวแปรควบคุมคือการไหม้ของชิ้นงาน ความเรียบผิว และความกลม ซึ่งหนึ่งรอบเวลาการทำงานเจียรระไนแสดงดังรูปที่ 2.11 (Malkin S. and Guo C. 1976 : 1-19)

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลอง

การวิจัยนี้ทำบนเครื่องจักรที่มีความสามารถผลิตงานได้จริงในอุตสาหกรรมรถยนต์เป็นเครื่องเจียรระไนผิวด้านนอกของชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก บริษัทผู้ผลิตเครื่องจักร OKAMOTO MACHINE TOOL WORK รุ่นของเครื่องจักรคือ OGM -225 P

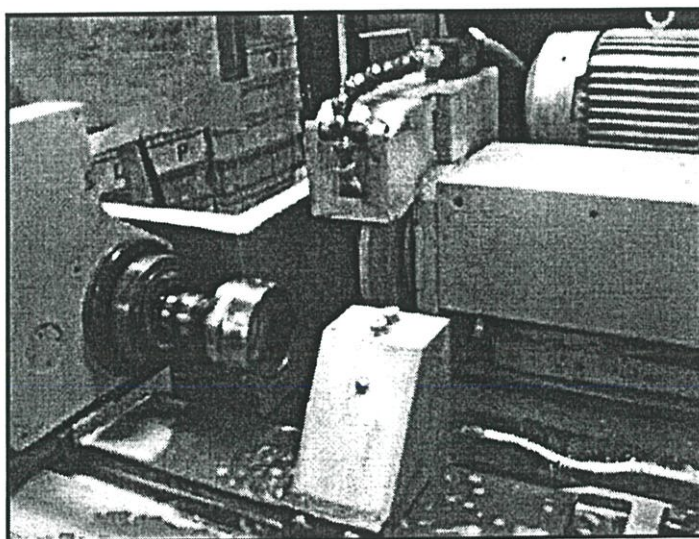
สถานที่ทำการทดลองอยู่ภายในบริษัทไทยฟูโกกุ จำกัด เลขที่ 104/1 นิคมอุตสาหกรรมเวด โกลด์ ต. บางสมักร อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็กหล่อเทาที่มีชื่อทางการว่า FCD 250C ชิ้นงานจะถูกชุบแข็งให้มีความแข็งของผิว 50 HRC(Min.)

เครื่องมือวัดที่ใช้ตรวจสอบความเรียบผิวในการทดลองเป็นเครื่องมือวัดชื่อ SURFACE TEST รุ่น SJ-301 บริษัทผู้ผลิต MITUTOYO และเครื่องมือวัดได้รับการสอบเทียบจากสถาบันภายนอก

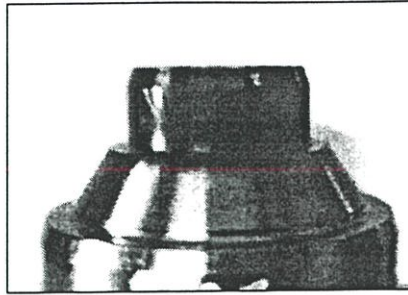
3.2 คุณลักษณะและวิธีการทำงานของเครื่องจักร

เครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องเจียรระไนผิวนอกของชิ้นงานแบบทรงกระบอก ผู้ผลิตคือบริษัท OKAMOTO MACHINE TOOL WORK รุ่นของเครื่องจักรคือ OGM -225 P เป็นเครื่องจักรที่อยู่ในกระบวนการเจียรระไนชิ้นงานมีหน้าที่เจียรระไนผิวนอกของชิ้นงานให้เกิดความเรียบผิว แสดงดังรูปที่ 3.1

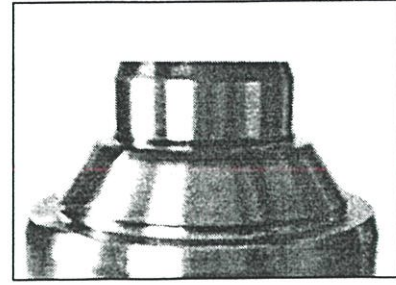


รูปที่ 3.1 เครื่องเจียรระไนผิวนอกชิ้นงานที่มีลักษณะทรงกระบอก

ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเจียรระโนจะมีลักษณะผิวเรียบเทียบก่อนและหลังแสดงดังรูปที่ 3.2

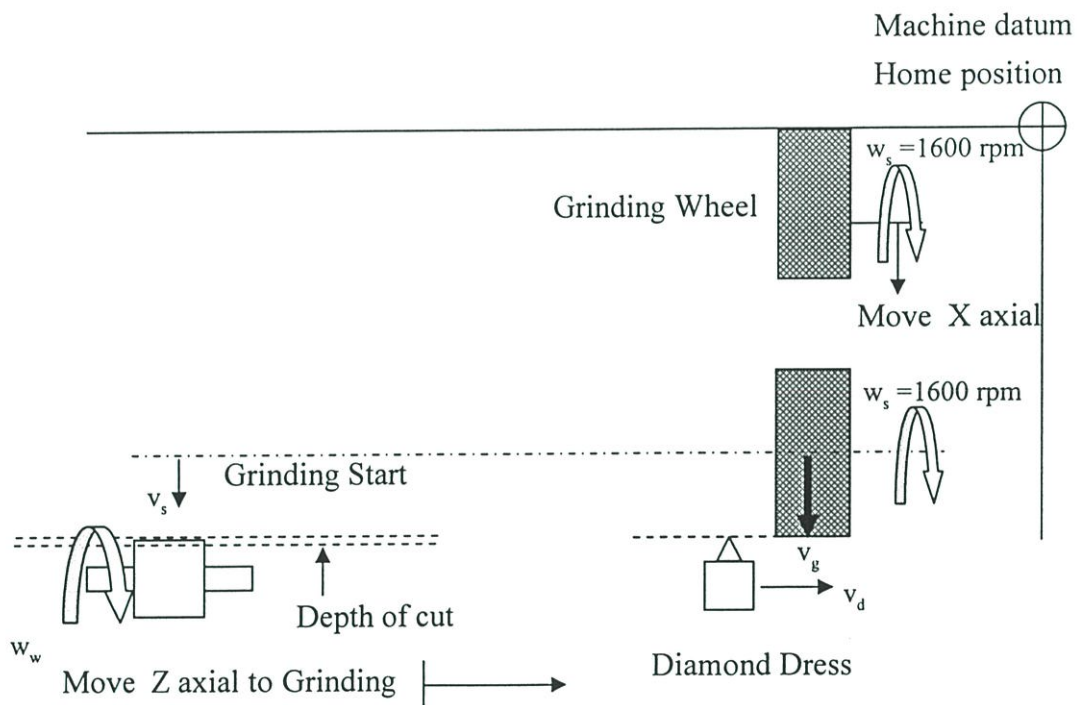


ก่อนการเจียรระโน



หลังการเจียรระโน

รูปที่ 3.2 เปรียบเทียบผิวชิ้นงานก่อนและหลังการเจียรระโนผิวนอกของชิ้นงานเครื่องจักรที่ใช้ในการศึกษามีความสามารถที่ถูกระหนดโดยผู้ผลิต



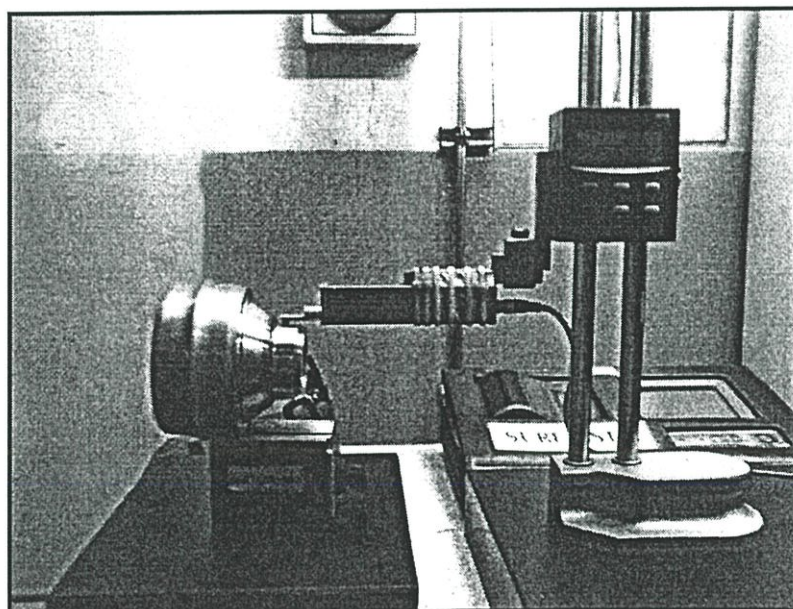
รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของเครื่องเจียรระโน

หลักการทำงานของเครื่องจักรแสดงดังรูปที่ 3.3 เครื่องจักรจะถูกกำหนดให้เริ่มทำงานในตำแหน่ง Home position เมื่อเริ่มกดปุ่ม Start หินเจียรระโนจะเลื่อนลงมาตามแนวแกน X ในตำแหน่งพร้อมที่จะทำการปาดหน้าของหินเจียรระโน ลำดับถัดมา Slide แกน Z จะเลื่อนหัวเพชรที่

ติดตั้งอยู่บน Slide แกน Z เข้ามาและเลื่อนปาดหน้าหินเจียรไนในจุดนี้เครื่องจักรสามารถที่จะใส่ค่าได้ในโปรแกรมของเครื่องจักรได้ในรูปแบบของระยะในการลดขนาดหินโดยปาดผิวหน้าหินออก และความเร็วในการปาดหน้าหิน (dressing Infeed velocity) ซึ่ง ณ.ขั้นตอนนี้หินเจียรไนจะมีขนาดลดลงทุกรอบที่มีการเข้ามาปาดหน้าหินซึ่งการปาดหน้าของหินเจียรไนนั้น จะช่วยในเรื่องการกำหนดขนาดและความเรียบของความเรียบผิวหน้าหินเจียรไนและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหิน ในลำดับถัดมาหินเจียรไนเคลื่อนที่ถอยกลับตามแนวแกน X กลับสู่ตำแหน่งที่ตั้งค่าไว้เรียกว่าระยะ Clear OD. แต่ไม่ถึงตำแหน่ง Home position เพื่อให้การทำงานในรอบต่อไปทำงานได้เร็วขึ้น ลำดับถัดมาชิ้นงานที่ติดตั้งอยู่บน Slide แกน z จะเลื่อนมาในตำแหน่งตรงกับหน้าหินเจียรไน ณ.ตำแหน่งนี้หินเจียรไนจะเลื่อนเข้าเจียรไนชิ้นงานโดยสามารถกำหนดความเร็วในการเข้าเจียรไนได้ในโปรแกรมเมื่อหินเจียรไนทำงานถึงระยะทางที่กำหนดโดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานจึงจบกระบวนการเจียรไนหินเจียรไนจะเลื่อนกลับในตำแหน่ง Clear OD. ที่กำหนดไว้ เช่นเดียวกับ Slide แกน Z ก็จะกลับเข้าสู่ตำแหน่งที่กำหนดระยะไว้โดยให้ระยะทางการเริ่มทำงานในครั้งต่อไปสั้นที่สุด

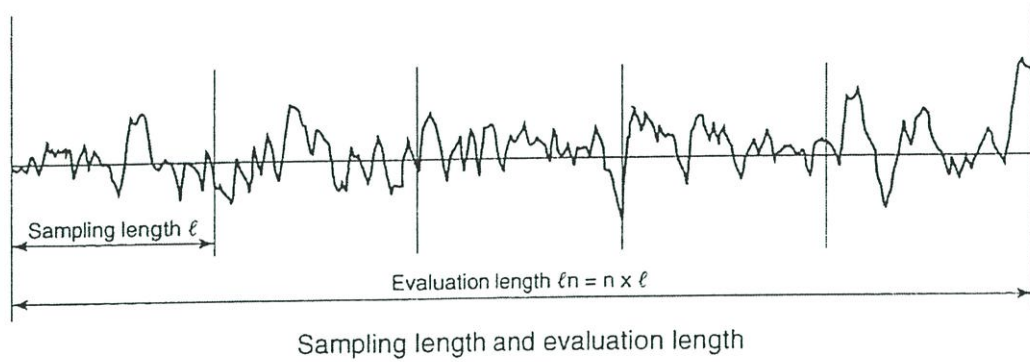
3.3 เครื่องมือและวิธีการวัดค่าความเรียบผิว

ค่าความเรียบผิวจะถูกกำหนดวิธีการวัดโดยผู้ออกแบบชิ้นส่วนโดยในการศึกษาครั้งนี้ ชิ้นงานถูกกำหนดให้วัดค่าความเรียบผิวโดยใช้ลักษณะการวัดในรูปแบบของ Ra การวัดค่าความเรียบผิวในการศึกษานี้ใช้เครื่องมือวัด Mitutoyo รุ่น SJ-301 หลักการใช้งานแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดค่าความเรียบผิว Mitutoyo SJ-301

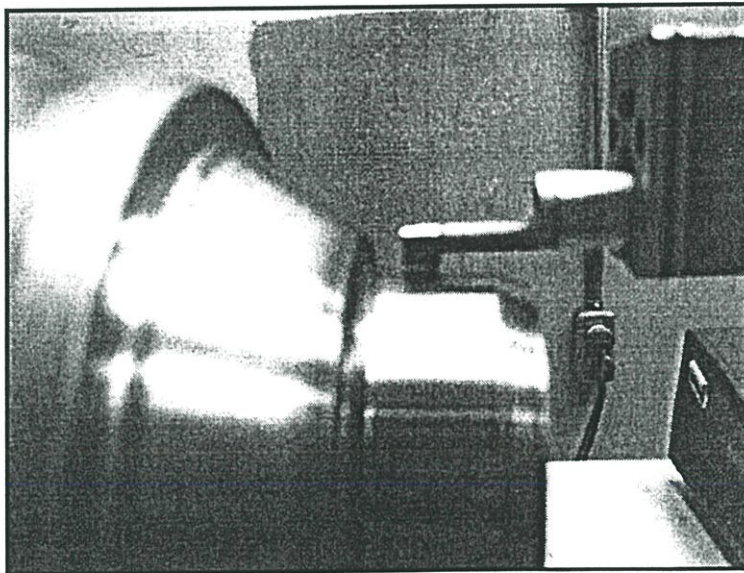
การวัดค่าความเรียบผิวด้วยการประมวลผลแบบ Ra เป็นการเฉลี่ยความเรียบผิว (Arithmetic mean deviation of the profile) ภายในระยะทางที่กำหนดโดยหลักการคำนวณแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 3.5 รูปแบบการตรวจวัดค่าความเรียบผิวแบบ Ra

$$Ra = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_i| \quad (3.1)$$

การประมวลผลของเครื่องมือจะแสดงออกบนหน้าจอของเครื่องมือวัดใน Mode ของ Ra ที่กำหนดไว้ได้



รูปที่ 3.6 จุดตรวจสอบความเรียบผิวของชิ้นงาน

การบันทึกความเรียบผิวเนื่องจากลักษณะของชิ้นงานเป็นทรงกระบอกการอ่านค่าจากการทดลองกำหนดให้ทำการตรวจวัดค่าบนผิวชิ้นงาน 3 จุดและนำค่าความเรียบผิวที่อ่านได้มาเฉลี่ยข้อกำหนดในการวัดค่าความเรียบผิวในเครื่องมือวัดกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้

- Cutoff length(mm) = 0.8
- Evaluation Length(mm) = 5
- Speed control = 0.5 mm/min

3.4 การออกแบบตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาการหาเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเจียรในผิวนอกโลหะชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกการพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานเจียรในเพื่อตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ของการหาเวลาที่เหมาะสมที่สุดโดยมีการควบคุมในเรื่องของความเรียบผิวชิ้นงาน ดังนั้นการออกแบบการทดลองเบื้องต้นจึงพิจารณาตัวแปรต่างๆ ของเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนที่ได้ และสามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ในการควบคุมความเร็ว จากรูปที่ 3.3 แสดงถึงหลักการในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร เงื่อนไขรวมถึงทิศทางในการการทำงานของเครื่องจักร นำมาพิจารณาออกแบบตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

t คือรอบเวลารวมของเครื่องจักรในการการผลิตชิ้นงานรอบเวลานี้มีผลต่อจำนวนผลผลิตต่อวันของการทำงาน

- v_s เป็นความเร็วป้อนที่กำหนดให้หินเจียรในเคลื่อนที่เข้ามาทำการเจียรในผิวของชิ้นงานโดยความเร็วนี้จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในระบบควบคุมของเครื่องจักร

- v_d เป็นความเร็วขณะที่ปาดลดขนาดหินเจียรในกับหัวเพชร (Diamond dress) ความเร็วจุดนี้ก็สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ในระบบควบคุมของเครื่องจักร

- w_w เป็นความเร็วรอบของชิ้นงานมีหน่วยวัดเป็น rpm ซึ่งชิ้นงานที่จะทำการเจียรในจะยึดแน่นกับแกนเพลลาโดยอุปกรณ์จับยึดและความเร็วรอบที่หมุนสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในระบบควบคุมเครื่องจักร

- w_s เป็นความเร็วรอบของหินเจียรในมีความเร็วเชิงมุมคงที่ที่ 1600 rpm

- v_g เป็นความเร็วขอบผิวของหินเจียรในที่เกิดจากความเร็วรอบของหินเจียรในคูณกับขนาดรัศมีของหินเจียรใน ซึ่งเครื่องจักรออกแบบให้ความเร็วรอบของหินเจียรในทำงานคงที่ที่ 1600 rpm จะมีเพียงรัศมีของหินเจียรในที่ลดลงจากการปาดออกทุกๆ รอบที่มีการผลิต

- R คือ ความเรียบผิวของชิ้นงานสำเร็จหลังจากที่ผ่านกระบวนการเจียรในซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากที่สุดของงานเจียรใน

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากการออกแบบตัวแปรที่ได้อธิบายถึงความสำคัญดังกล่าวมาแล้วในลำดับถัดมาคือการตั้งสมการวัตถุประสงค์(Objective function) โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อรอบเวลาดังนี้

$$t = f_1(v_s, v_d, v_g, w_w) \quad (3.2)$$

จากความสัมพันธ์ที่ตั้งขึ้นมายังไม่สามารถทราบรูปแบบของสมการได้ว่าตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างไรจึงต้องทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ที่มีผลต่อรอบเวลา

การออกแบบสมการควบคุม (Constrain function) พิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อความเรียบผิว โดยการออกแบบการทดลองครั้งนี้ได้ตัดการพิจารณาในส่วนของชนิดของหินเจียรระไน และระบบการหล่อเย็นซึ่งจะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ไม่นำพิจารณาดังนั้นจะเหลือตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อความเรียบผิวดังนี้

$$R = f_2(v_s, v_d, v_g, w_w) \quad (3.3)$$

3.5 เงื่อนไขการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของสมการวัตถุประสงค์ และสมการควบคุม

จากสมการวัตถุประสงค์และสมการควบคุมยังไม่ทราบถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่ออกแบบมาดังนั้นจึงกำหนดแนวทางการทดลองโดยเริ่มจากเงื่อนไขของตัวแปรอิสระจากการผลิตเดิมที่ใช้อยู่ และทดลองเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของตัวแปรอิสระเพื่อให้เห็นทิศทางหรือแนวโน้ม โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองดังตาราง

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการเจียรระไน(Grinding Condition)

Wheel speed	1600 rpm (None adjust)
Wheel Diameter	305 mm (Max.) – 229 mm (Min)
Wheel width	25 mm
Wheel grinding type	RF x m KB-SA-AA100-WR7
Coolant	Semi synthetic
Work piece material	FCD250C 50 HRC

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการปาดหน้าหิน(Dressing condition)

Dress type	Single diamond
Diamond width	1.1 mm
No.of dressing passes	1 time
Dressing depth	0.030 mm

ตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 แสดงเงื่อนไขที่ควบคุมในการทดลองโดยค่าที่แสดงจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง ซึ่งถือว่าเป็นตัวแปรที่กำหนดให้อยู่ในค่าคงที่ หินเจียรไนที่ใช้ในการทดลองหินจะมี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น 305 mm และหลังจากการใช้งานแล้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก ที่สุดที่ทำการเปลี่ยนคือ 229 mm

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วขอบ ของหินเจียรไนมีค่ามากที่สุด 244 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.3 mm/min

ผลลัพธ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_u (rpm)
t_1, R_1	0.3	200	150
t_2, R_1	0.3	400	150
t_3, R_3	0.3	600	150

ตารางที่ 3.4 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วขอบ ของหินเจียรไนมีค่ามากที่สุด 244 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.8 mm/min

ผลลัพธ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_u (rpm)
t_1, R_1	0.8	200	150
t_2, R_1	0.8	400	150
t_3, R_3	0.8	600	150

ตารางที่ 3.5 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วขอบ ของหินเจียรไนมีค่ามากที่สุด 244 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 1.3 mm/min

ผลลัพธ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_u (rpm)
t_1, R_1	1.3	200	150
t_2, R_1	1.3	400	150
t_3, R_3	1.3	600	150

ตารางที่ 3.6 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วรอบของหิน
เจียรไนมีความเร็ว 229 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.3 mm/min

ผลิตภัณฑ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_w (rpm)
t_1, R_1	0.3	200	150
t_2, R_1	0.3	400	150
t_3, R_3	0.3	600	150

ตารางที่ 3.7 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วรอบของหิน
เจียรไนมีความเร็ว 229 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.8 mm/min

ผลิตภัณฑ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_w (rpm)
t_1, R_1	0.8	200	150
t_2, R_1	0.8	400	150
t_3, R_3	0.8	600	150

ตารางที่ 3.8 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วรอบของหิน
เจียรไนมีความเร็ว 229 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 1.3 mm/min

ผลิตภัณฑ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_w (rpm)
t_1, R_1	1.3	200	150
t_2, R_1	1.3	400	150
t_3, R_3	1.3	600	150

ตารางที่ 3.9 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วรอบของหิน
เจียรไนมีความเร็ว 214 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.3 mm/min

ผลิตภัณฑ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_w (rpm)
t_1, R_1	0.3	200	150
t_2, R_1	0.3	400	150
t_3, R_3	0.3	600	150

ตารางที่ 3.10 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วขอบของ
หินเจียรไนมีความเร็ว 214 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.8 mm/min

ผลลัพธ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_w (rpm)
t_1, R_1	0.8	200	150
t_2, R_1	0.8	400	150
t_3, R_3	0.8	600	150

ตารางที่ 3.11 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วขอบของ
หินเจียรไนมีความเร็ว 214 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 1.3 mm/min

ผลลัพธ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_w (rpm)
t_1, R_1	1.3	200	150
t_2, R_1	1.3	400	150
t_3, R_3	1.3	600	150

ตารางที่ 3.12 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วขอบของ
หินเจียรไนมีความเร็ว 198 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.3 mm/min

ผลลัพธ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_w (rpm)
t_1, R_1	0.3	200	150
t_2, R_1	0.3	400	150
t_3, R_3	0.3	600	150

ตารางที่ 3.13 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วขอบของ
หินเจียรไนมีความเร็ว 198 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.8 mm/min

ผลลัพธ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_w (rpm)
t_1, R_1	0.8	200	150
t_2, R_1	0.8	400	150
t_3, R_3	0.8	600	150

ตารางที่ 3.14 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วรอบของ
หินเจียรไนมีความเร็ว 198 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 1.3 mm/min

ผลิตภัณฑ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_w (rpm)
t_1, R_1	1.3	200	150
t_2, R_1	1.3	400	150
t_3, R_3	1.3	600	150

ตารางที่ 3.15 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วรอบของ
หินเจียรไนมีความเร็ว 183 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.3 mm/min

ผลิตภัณฑ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_w (rpm)
t_1, R_1	0.3	200	150
t_2, R_1	0.3	400	150
t_3, R_3	0.3	600	150

ตารางที่ 3.16 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วรอบของ
หินเจียรไนมีความเร็ว 183 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.8 mm/min

ผลิตภัณฑ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_w (rpm)
t_1, R_1	0.8	200	150
t_2, R_1	0.8	400	150
t_3, R_3	0.8	600	150

ตารางที่ 3.17 เงื่อนไขการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวที่ความเร็วรอบของ
หินเจียรไนมีความเร็ว 183 m/min ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน 0.8 mm/min

ผลิตภัณฑ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	w_w (rpm)
t_1, R_1	1.3	200	150
t_2, R_1	1.3	400	150
t_3, R_3	1.3	600	150

ตารางที่ 3.18 เส้นใยการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวจากการเปลี่ยนแปลง
ความเร็วรอบชิ้นงาน

ผลิตภัณฑ์	w_w (rpm)	ตัวแปรควบคุม
t_1, R_1	100 – 500 :step 50	$v_s=0.8$ mm/min, $v_d = 150$ mm/sec, $w_w = 150$ rpm , $v_g = 214$ m/min

ตารางที่ 3.19 เส้นใยการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็วผิวจากความสัมพันธ์
ระหว่าง v_s และ v_d

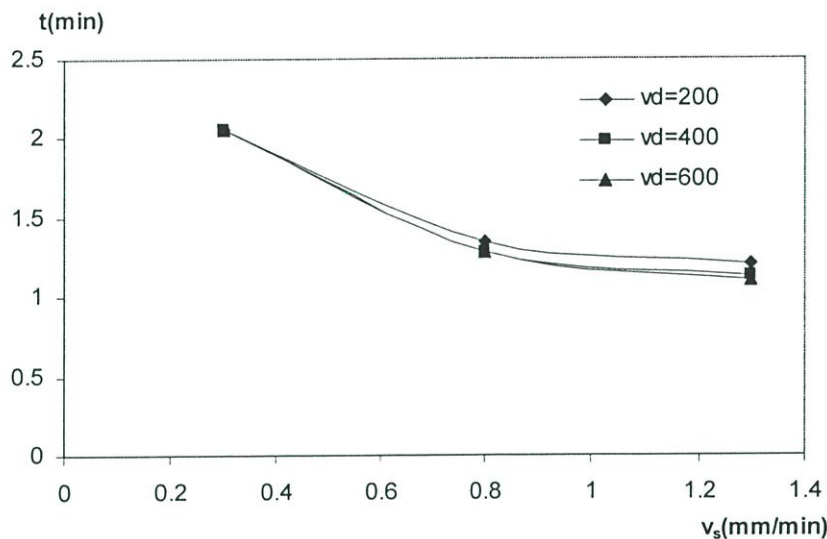
ผลิตภัณฑ์	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)	ตัวแปรควบคุม
t_1, R_1	0.3	50 -1500;step 50	$w_w = 150$ rpm , $v_g = 214$ m/min
t_2, R_2	0.8	50 -1500;step 50	$w_w = 150$ rpm , $v_g = 214$ m/min
t_3, R_3	1.3	50 -1500;step 50	$w_w = 150$ rpm , $v_g = 214$ m/min

บทที่ 4

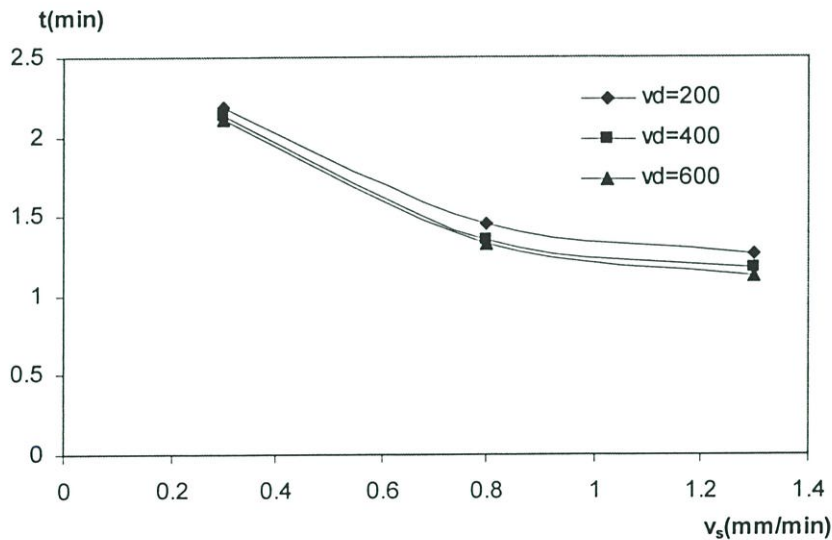
การวิเคราะห์ผลการทดลอง และวิธีการสร้างรูปแบบจำลอง

4.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

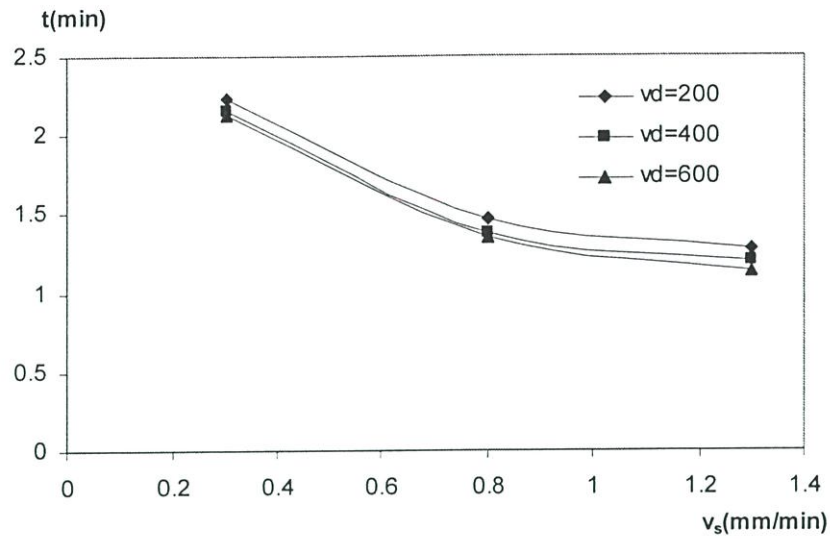
ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.3 ถึง 3.17 ผลลัพธ์ในรูปแบบของรอบเวลาเปรียบเทียบกับความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_s) ที่ความเร็วขบหินเจียรไน (v_c) 244, 229, 214, 198 และ 183 m/min



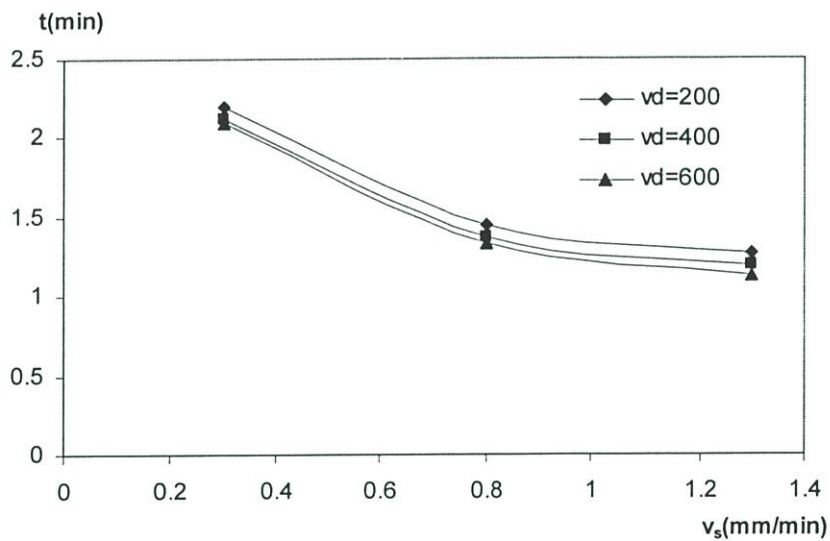
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_s) ที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน (v_c) ระยะต่างๆ และความเร็วขบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_c) 244 m/min



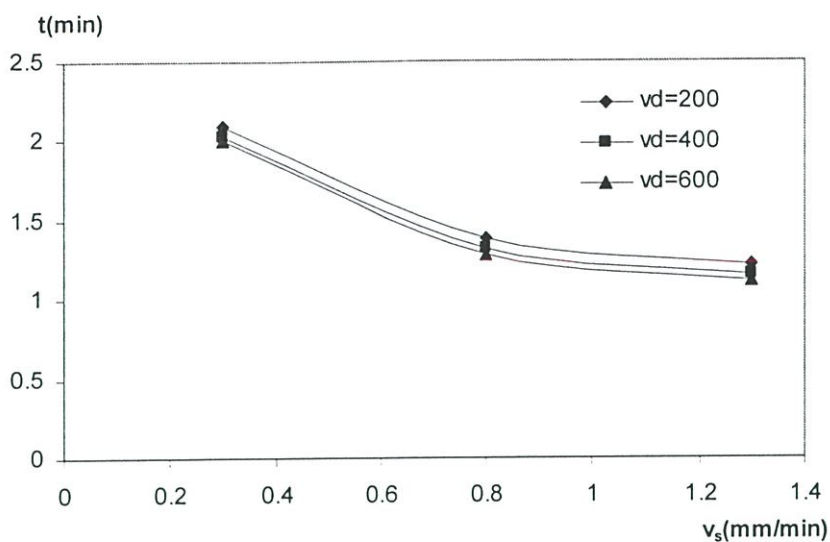
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_s) ที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน (v_c) ระยะต่างๆ และความเร็วขบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_c) 229 m/min



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_s) ที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน (v_d) ระยะต่างๆ และความเร็วยกของหินเจียระไนเท่ากับ (v_p) 214 m/min

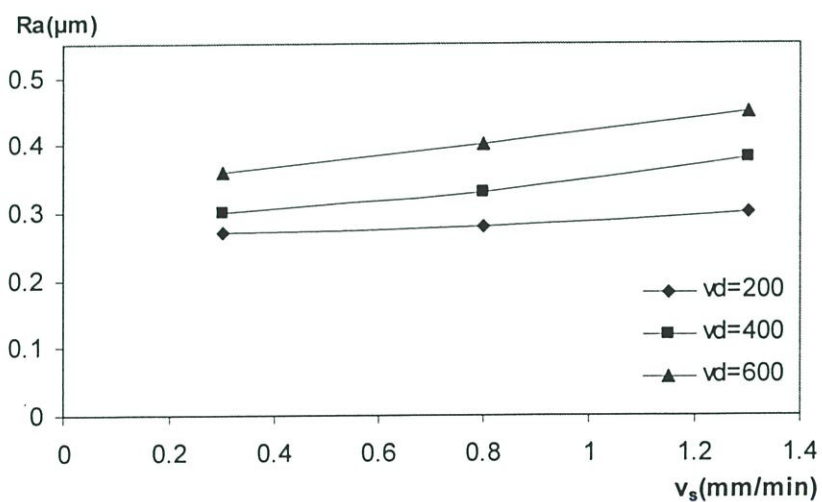


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_s) ที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน (v_d) ระยะต่างๆ และความเร็วยกของหินเจียระไนเท่ากับ (v_p) 198 m/min



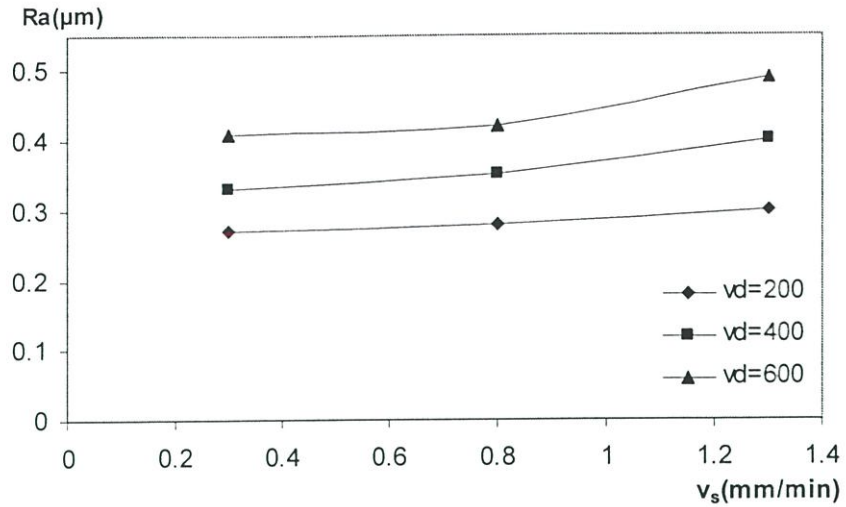
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_c) ที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน (v_d) ระยะต่างๆ และความเร็วยกของหินเจียระไนเท่ากับ (v_s) 183 m/min

จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.5 จะเห็นรูปแบบความสัมพันธ์ของรอบเวลาด้วยความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_c) มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลง คือรอบเวลาจะแปรผกผันกับความเร็วยกในการเจียระไนคือเมื่อเพิ่มความเร็วยกในการเจียระไนเพิ่มขึ้นจะทำให้รอบเวลามีแนวโน้มลดลงและเริ่มมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแบบความชันลดลงหลังจาก v_s มากกว่า 1.3 mm/min

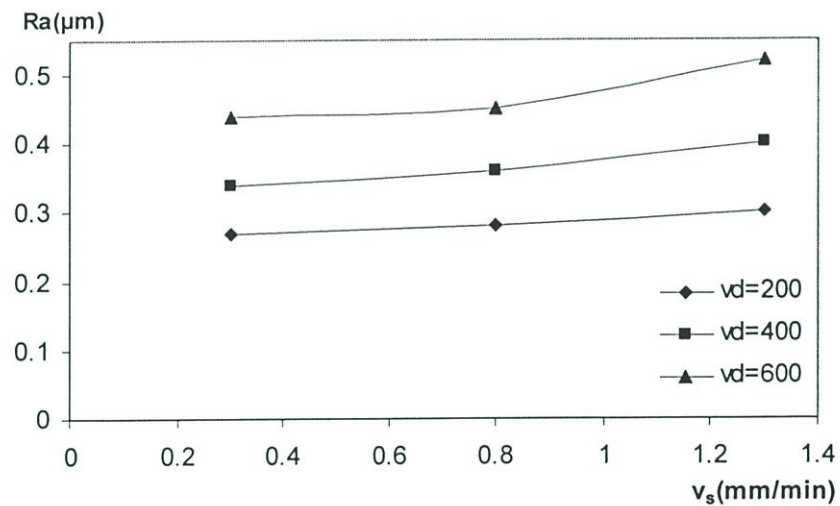


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_c) ที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน (v_d) ระยะต่างๆ และความเร็วยกของหินเจียระไนเท่ากับ (v_s)

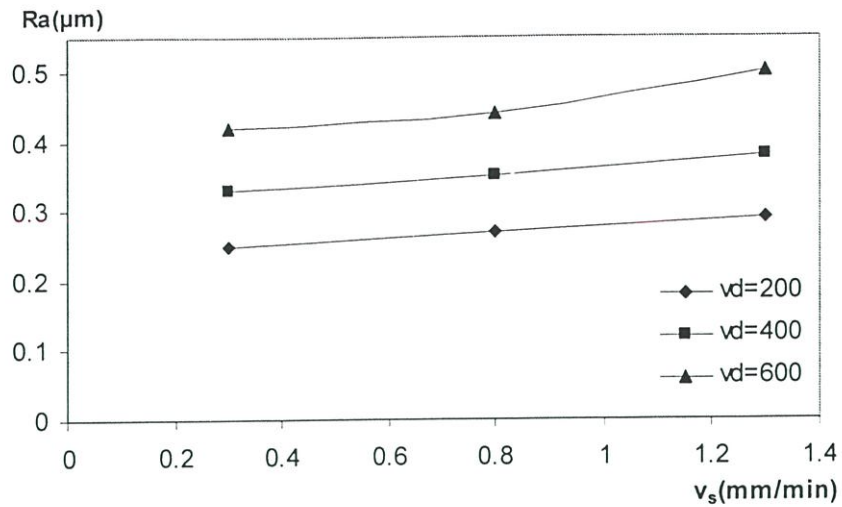
244 m/min



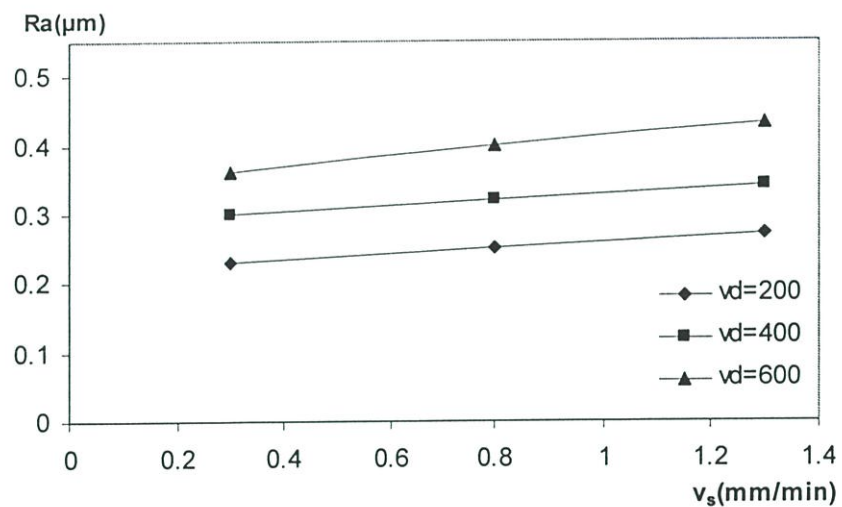
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_s) ที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน (v_d) ระยะต่างๆ และความเร็วยกของหินเจียระไนเท่ากับ (v_c) 229 m/min



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_s) ที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน (v_d) ระยะต่างๆ และความเร็วยกของหินเจียระไนเท่ากับ (v_c) 214 m/min



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วป้อนในการเจียรระไน (v_c) ที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน (v_d) ระยะต่างๆ และความเร็วยกของหินเจียรระไนเท่ากับ (v_p) 198 m/min

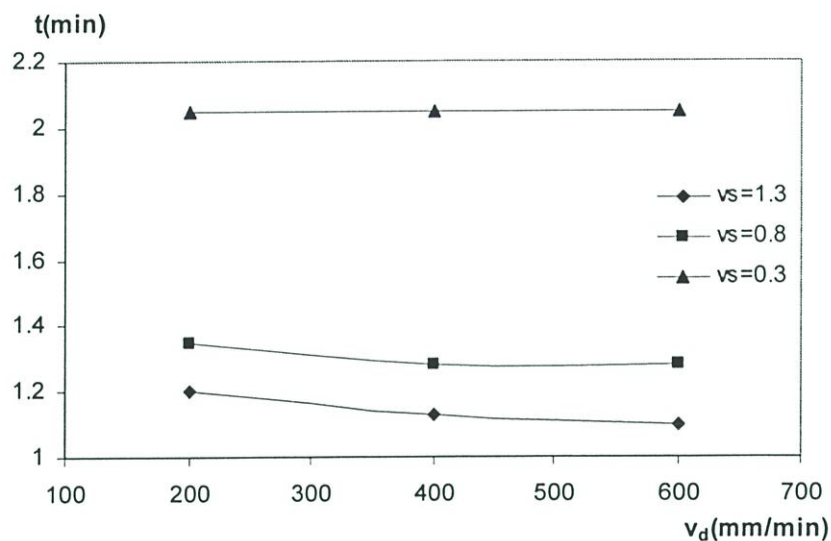


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วป้อนในการเจียรระไน (v_c) ที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน (v_d) ระยะต่างๆ และความเร็วยกของหินเจียรระไนเท่ากับ (v_p) 183 m/min

ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.3 ถึง 3.17 ผลลัพธ์ในรูปแบบของความเรียบผิวเปรียบเทียบกับความเร็วในการป้อน (v_c) ที่ความเร็วยกของหินเจียรระไน (v_d) 244, 229, 214, 198 และ 183 m/min จากรูปที่ 4.6 และ 4.10 จะเห็นได้ว่ารูปแบบความสัมพันธ์ความเรียบผิวกับความเร็วในการเจียรระไน (v_c) มีลักษณะเป็นเชิงเส้นตรงโดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงคือเมื่อเพิ่มความเร็วในการเจียรระไน จะทำให้ความเรียบผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและจากแนวโน้มข้อมูลของเส้นกราฟที่ $v_d=200$

mm/min จะเห็นว่าความเรียบผิวเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เป็นเส้นตรงที่มีความชันของเส้นกราฟเท่าๆ กันในทุกๆ ความเร็วขอบของหินเจียรไน ที่ $v_d = 400$ mm/min จะเห็นว่าความเรียบผิวมีการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบเส้นตรงเหมือนกันแต่จะมีค่าความเรียบผิวสูงกว่า $v_d=200$ mm/min ซึ่งหมายความว่าความเรียบผิวแปรผันตามกับความเร็วในการปาดหน้าหิน โดยเส้นกราฟออกมาขนานกับเส้นกราฟ $v_d=200$ mm/min แสดงให้เห็นว่าความชันของกราฟคงที่ และที่เส้นกราฟ $v_d=600$ mm/min พบว่าค่าของความเรียบผิวจะมีการเปลี่ยนแปลงความชันมากจากจุด $v_s=0.8$ mm/min ไปเป็น $v_s=1.3$ mm/min แสดงให้เห็นอิทธิพลของความเร็วป้อนในการเจียรไนและความเร็วในการปาดหน้าหิน

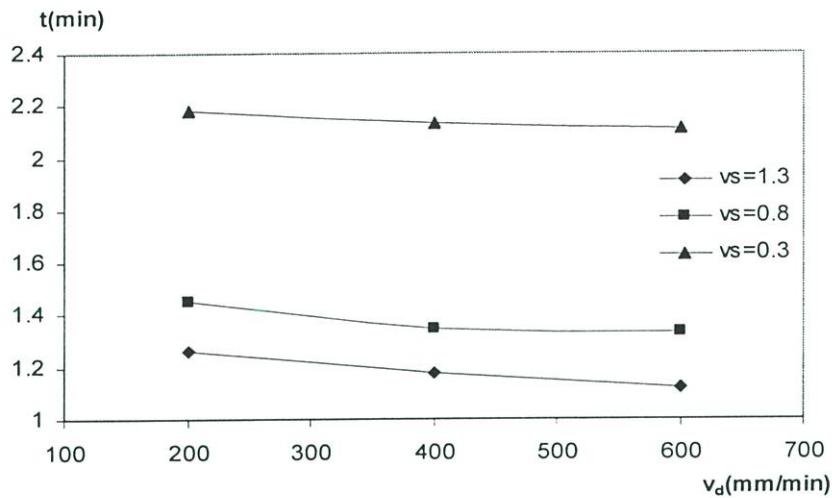
ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.3 ถึง 3.17 ผลลัพธ์ในรูปแบบของรอบเวลาเปรียบเทียบกับความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) ที่ความเร็วขอบหินเจียรไน (v_s) 244,229,214,198 และ 183 m/min



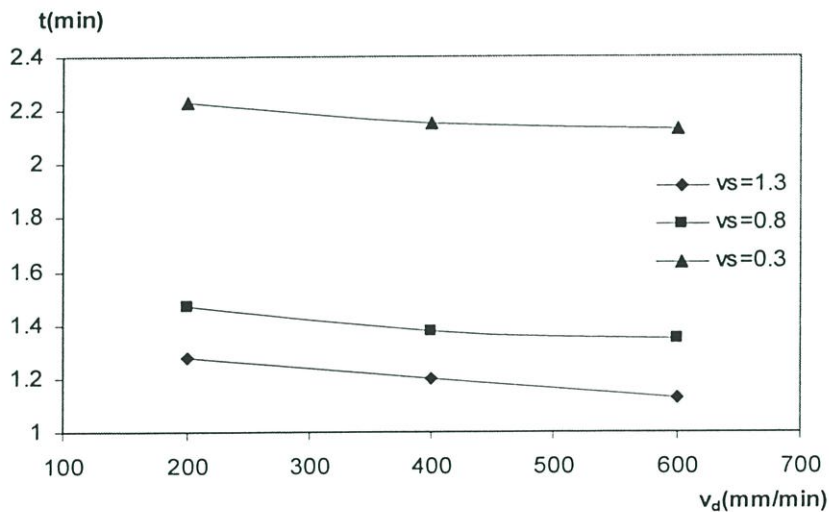
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) ที่ความเร็วป้อนหินเจียรไน (v_s) ระยะเวลาต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_s) 244 m/min

จากรูปที่ 4.11 ถึง 4.15 จากรูปภาพพบว่ารอบเวลา มีลักษณะการแปรผันผกผันแบบเป็นเชิงเส้น ใ้คงกับความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับรูปกราฟของความเร็วป้อนในการเจียรไนแล้วจะเห็นว่าเส้นโค้งของกราฟจะมีความชัดเจนกว่ามาก จากรูปที่ 4.11 จะพบว่าที่ความเร็วขอบหินเจียรไนสูงสุดมีกราฟที่รอบเวลาคงที่คือ $v_s = 0.3$ mm/min จะเห็นว่ารอบเวลาไม่เปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไนที่เพิ่มขึ้น แต่ผลการทดลองที่ $v_s = 0.8$

และ 1.3 mm/min จะพบว่ารอบเวลาลดลงตามความเร็วในการปาดหน้าหินที่มีการเพิ่มขึ้น และจากรูปที่ 4.12 ถึง 4.15 พบว่ารอบเวลาจะมีการแปรผันผกผันกับความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรระไนที่ความเร็วป้อนในการเจียรระไนค่าต่างๆ และจะเห็นได้ชัดเจนว่าระยะห่างของเส้นกราฟที่ผลการทดลอง $v_s = 0.8$ mm/min มาถึง $v_s = 1.3$ mm/min มีความแตกต่างกันมากเนื่องจากอิทธิพลของความเร็วป้อนในการเจียรระไนนั่นเอง

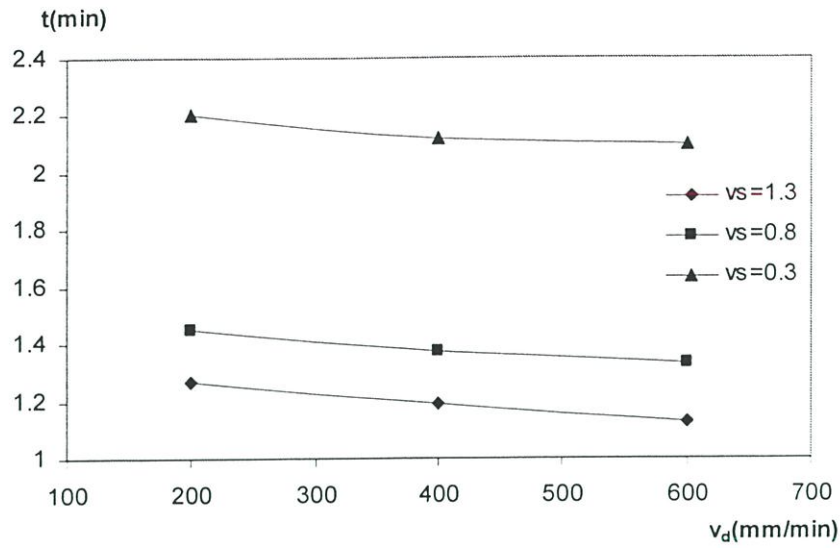


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรระไน (v_d) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรระไน (v_s) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียรระไนเท่ากับ (v_y) 229 m/min



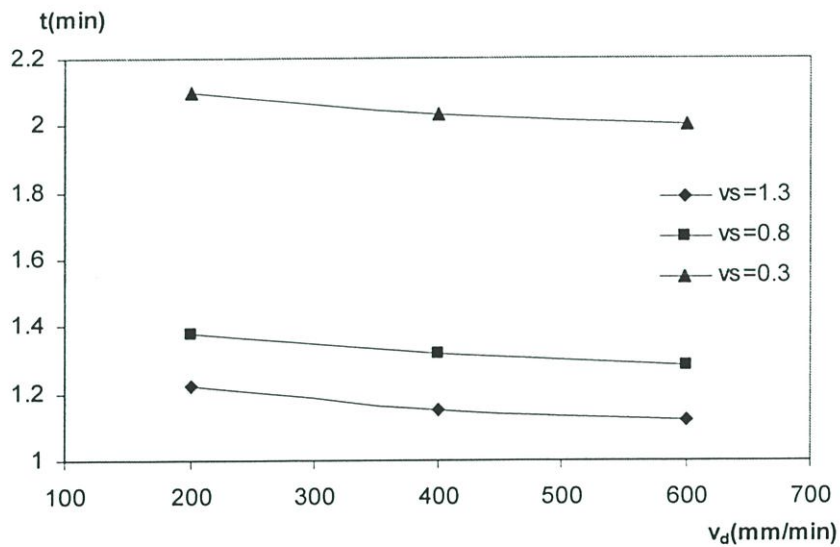
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรระไน (v_d) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรระไน (v_s) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียรระไนเท่ากับ (v_y)

214 m/min



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_s) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_c)

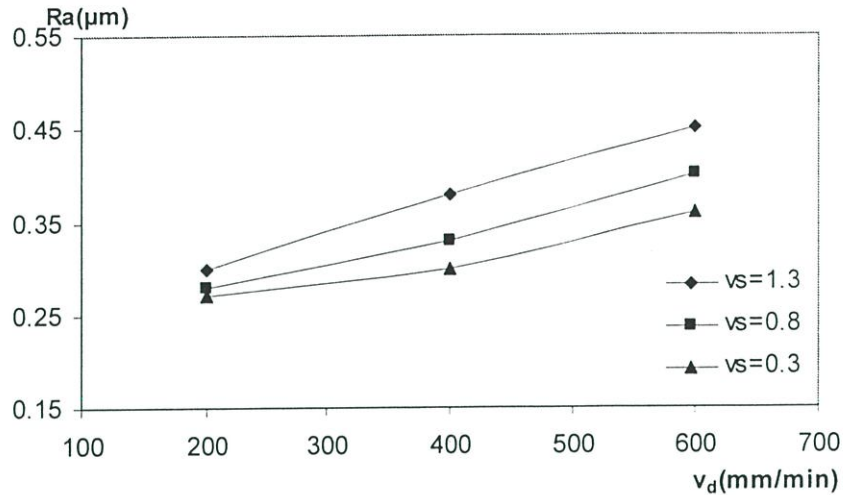
198 m/min



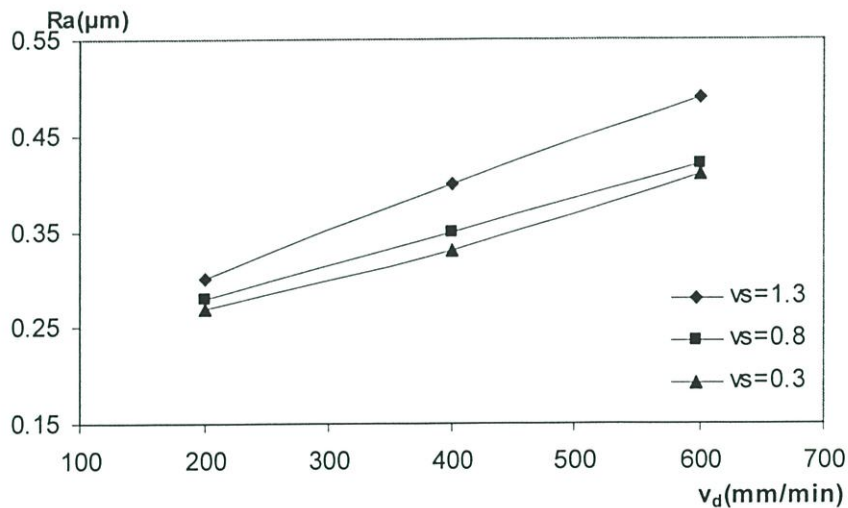
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_s) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_c)

183 m/min

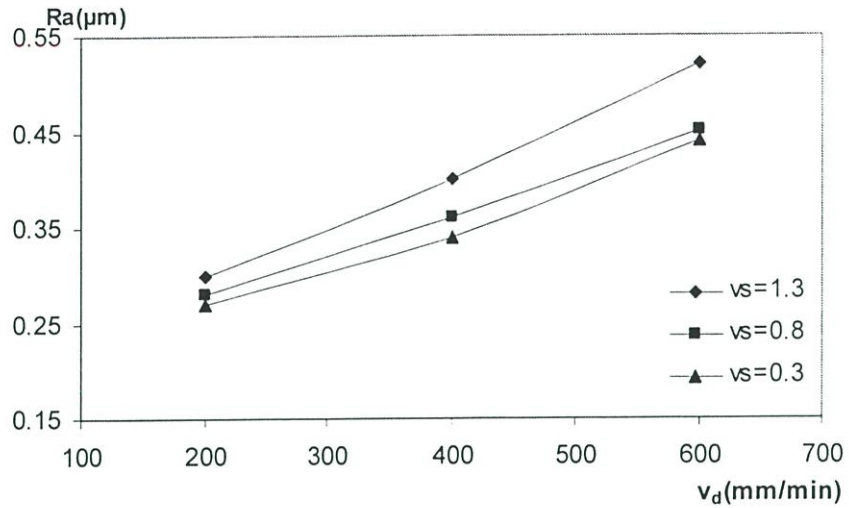
ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.3 ถึง 3.17 ผลลัพธ์ในรูปแบบของความเรียบผิวเปรียบเทียบกับความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) ที่ความเร็วขอบหินเจียรไน (v_g) เท่ากับ 244,229,214,198 และ 183 m/min



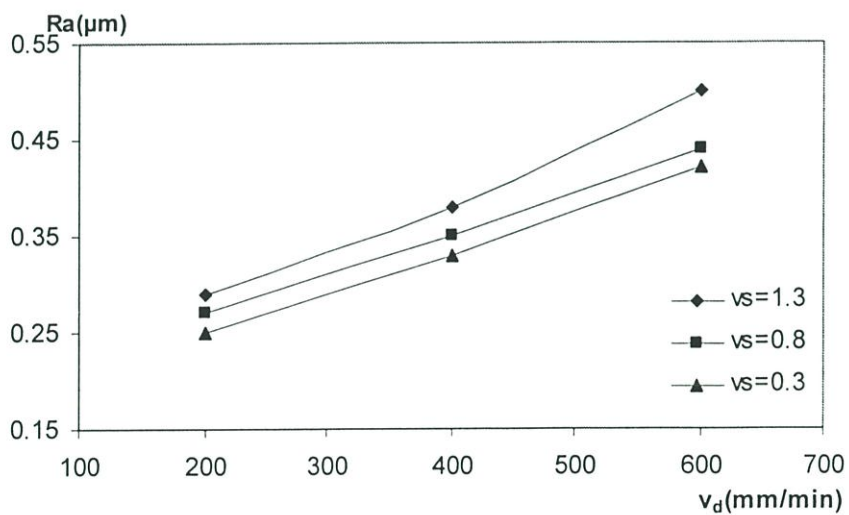
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_f) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_g) 244 m/min



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_f) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_g) 229m/min

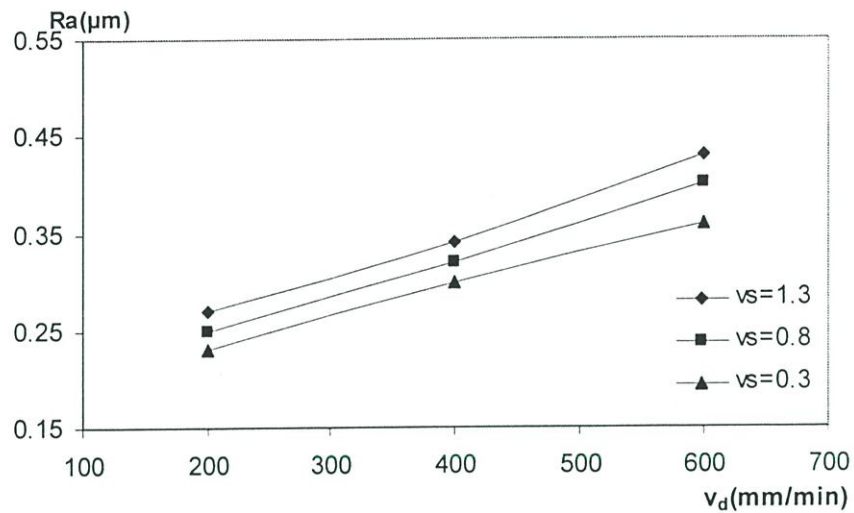


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_f) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_g) 214 m/min



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) ที่

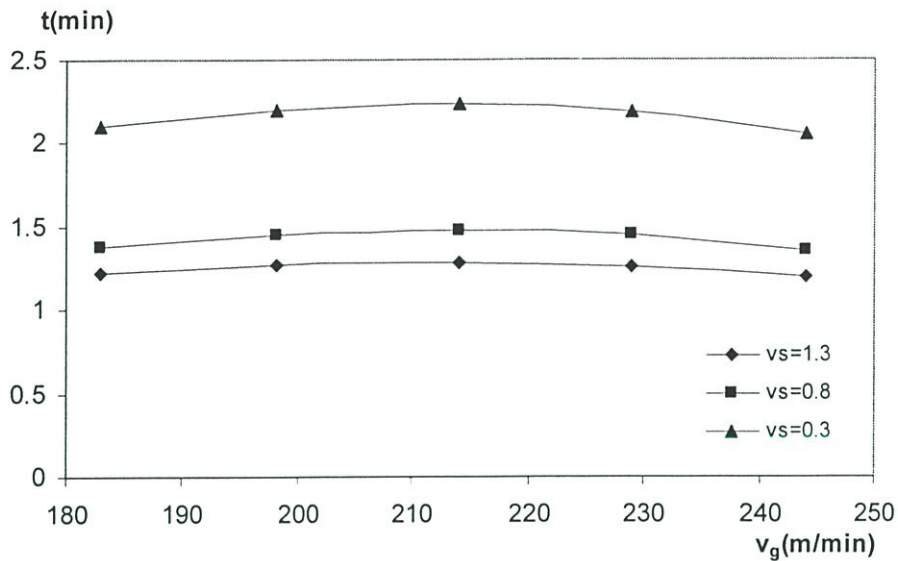
ความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_f) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียระไนเท่ากับ (v_s) 198 m/min



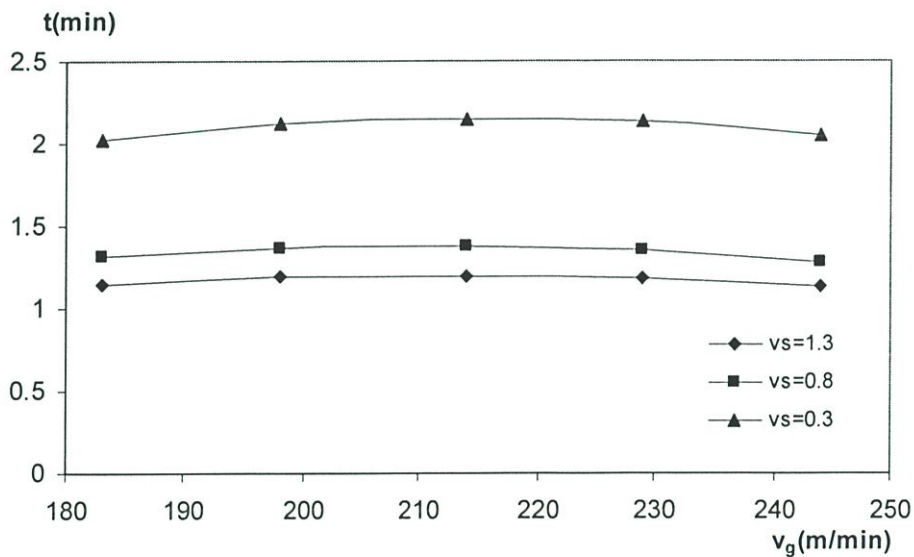
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วในการปาดหน้าหินเจียระไน (v_d) ที่ความเร็วป้อนในการเจียระไน (v_f) ระยะต่างๆ และความเร็วขอบของหินเจียระไนเท่ากับ (v_s) 198 m/min

จากรูปที่ 4.16 ถึง 4.20 จะได้ว่าค่าความเรียบผิวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเร็วในการปาดหน้าหินเจียระไนซึ่งการแปรผันเป็นแบบแปรผันตามกัน เมื่อเราเปรียบเทียบค่าความเรียบผิวที่พล็อตเปรียบเทียบระหว่าง ความเร็วในการปาดหน้าหินเจียระไนกับความเร็วป้อนในการเจียระไนพบว่ากราฟที่พล็อตระหว่างความเรียบผิวกับความเร็วในการปาดหน้าหินเจียระไนมีความชันของเส้นกราฟมากกว่าแสดงให้เห็นว่าความเร็วในการปาดหน้าหินเจียระไนจะมีอิทธิพลสูงกว่าความเร็วป้อนในการเจียระไน และจากรูปกราฟทั้ง 5 รูปพบว่าที่ความเร็วขอบหินเจียระไนที่ 214 m/min จะมีความชันของกราฟมากที่สุด

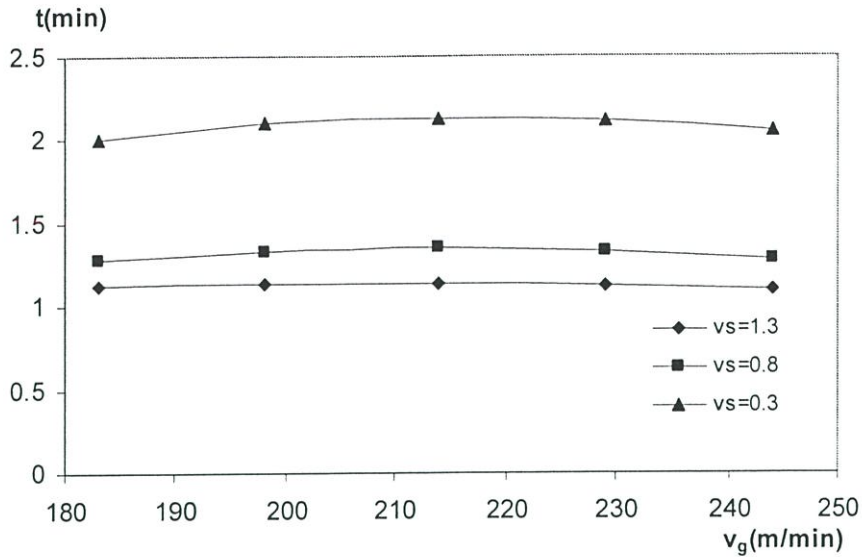
ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.3 ถึง 3.17 ผลลัพธ์รูปแบบความสัมพันธ์ของรอบเวลา กับความเร็วขอบหินเจียรไน (v_g)



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_g) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_s) ระยะต่างๆ ที่ความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) เท่ากับ 200 mm/min



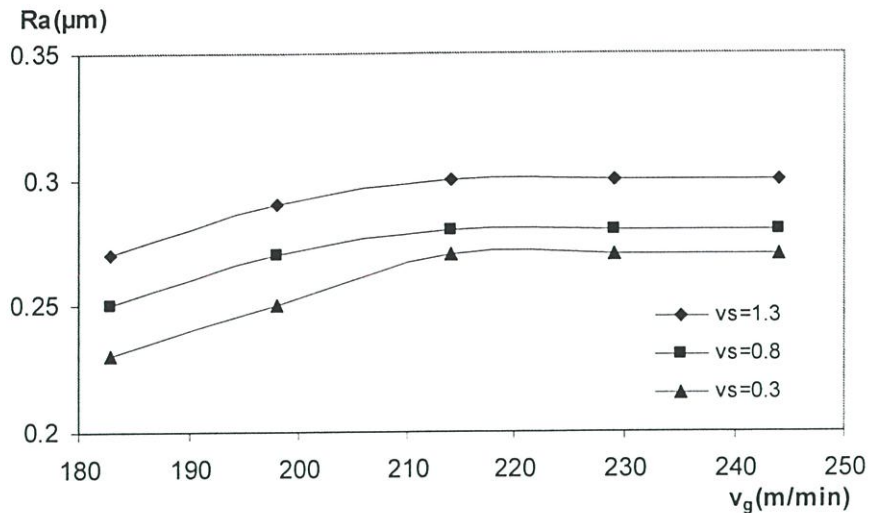
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_g) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_s) ระยะต่างๆ ที่ความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) เท่ากับ 400 mm/min



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_c) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_f) ระยะต่างๆ ที่ความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_a) เท่ากับ 600 mm/min

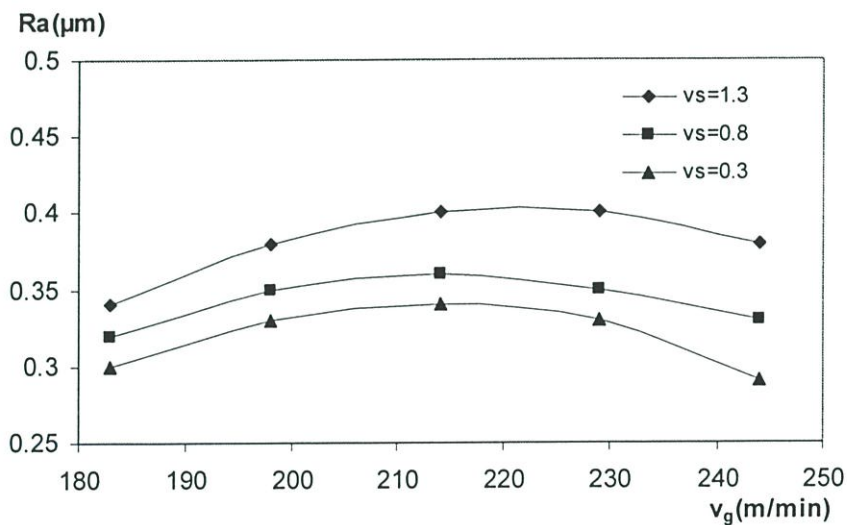
จากรูปที่ 4.21 ถึง 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วขอบของหินเจียรไน v_c ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อขนาดหินเจียรไนมีขนาดโตที่สุดจะมีความเร็วขอบหินเจียรไนสูงสุด และจะถูกใช้งานจนกระทั่งหินเจียรไนเล็กที่สุดจะมีความเร็วขอบหินเจียรไนต่ำที่สุดเมื่อหินเจียรไนเล็กลงก็จะทำการเปลี่ยนหินออกซึ่งภาพรวมของเส้นกราฟที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่ารอบเวลาที่มีความสัมพันธ์กับรอบเวลาลักษณะเป็นรูปโค้งคว่ำลง โดยมีค่าเริ่มต้นและค่าสิ้นสุดใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงสุดที่ความเร็วขอบหินค่ากึ่งกลางหรือหินเจียรไนถูกใช้งานไปแล้วครึ่งหนึ่ง ด้วยที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากเมื่อหินเจียรไนถูกลดขนาดลงก็จะทำให้ระยะทางเพิ่มมากขึ้นในการที่หินเจียรไนจะเข้ามาในระยะที่กำหนดเมื่อหินเจียรไนใช้งานผ่านไปครึ่งหนึ่งเครื่องจักรจะมีระบบอัตโนมัติเพื่อปรับระยะทางให้สมดุลคงจะเห็นว่ารอบเวลาจะลดลงอีกเมื่อความเร็วขอบหินลดจากค่ากึ่งกลางจนถึงความเร็วขอบหินเจียรไนต่ำที่สุด และจากทุกรูปที่รอบเวลาเมื่อขนาดหินใหญ่ที่สุด และเล็กที่สุดของกราฟแต่ละเส้นมีรอบเวลาที่ใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าความเร็วปาดหน้าหินเจียรไน และความเร็วป้อนในการเจียรไน ณ.จุดใดๆ ไม่ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรอบเวลา

ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.3 ถึง 3.17 ผลลัพธ์รูปแบบความสัมพันธ์ของความเปรียบเทียบกับความเร็วขอบหินเจียรไน (v_c) ที่ความเร็วในการปาดหน้าหินต่างๆ



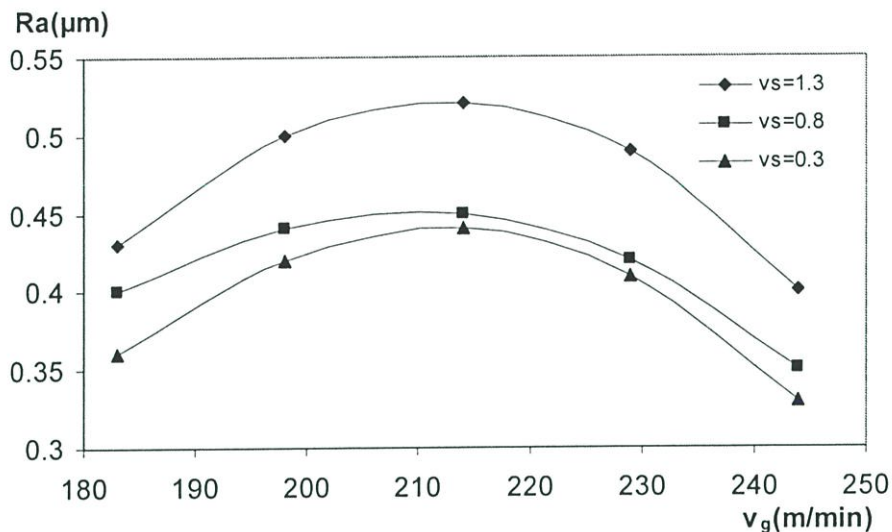
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_g) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_f) ระยะเวลาต่างๆ และที่ความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) เท่ากับ 200 mm/min

จากรูปที่ 4.2.4 ผลการทดลองแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวกับความเร็วขอบของหินเจียรไนจะแปรผันแบบตามกันในช่วงที่ความเร็วขอบของหินเจียรไน $v_g = 183$ m/min จนถึง 214 m/min และพบว่าทุกๆ ความเร็วป้อนในการเจียรไนให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกัน และจากกราฟจะเห็นได้ว่าหลังจากที่ $v_g = 214$ mm/min ถึง $v_g = 244$ mm/min พบว่าเส้นกราฟมีแนวโน้มคงที่ในทุกๆ ความเร็วป้อนในการเจียรไน



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_g) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_f) ระยะเวลาต่างๆ และที่ความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) เท่ากับ 400 mm/min

จากรูปที่ 4.25 ผลการทดลองแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวกับความเร็วขอบของหินเจียรไนจะมีลักษณะของเส้นกราฟที่โค้งคว่ำลง โดยจากรูปกราฟที่ได้จากการทดลองสรุปได้ว่าที่ความเร็วขอบของหินเจียรไน $v_g = 214$ m/min จะมีค่าความเรียบผิวสูงที่สุด และผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นกับทุกๆ เงื่อนไขการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วป้อนในการเจียรไน และจากรูปกราฟที่จุด $v_g = 244$ m/min จะเห็นได้ค่าความเรียบผิวมีค่ามากจากอิทธิพลของความเร็วในการปาดหน้าหินและความเร็วป้อนในการเจียรไน



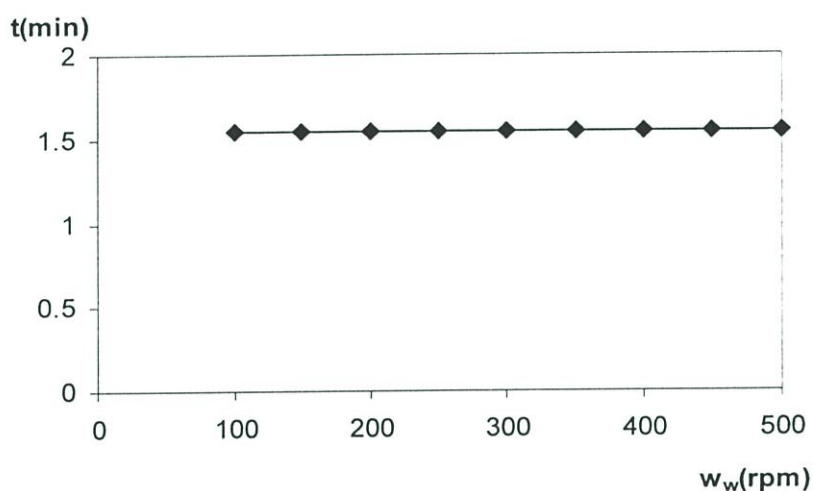
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ (v_g) ที่ความเร็วป้อนในการเจียรไน (v_s) ระยะเวลาต่างๆ และที่ความเร็วในการปาดหน้าหินเจียรไน (v_d) เท่ากับ 600 mm/min

จากรูปที่ 4.26 ผลการทดลองแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวกับความเร็วขอบของหินเจียรไนจะมีลักษณะของเส้นกราฟที่โค้งคว่ำลง โดยจากรูปกราฟที่ได้จากการทดลองสรุปได้ว่าที่ความเร็วขอบของหินเจียรไน $v_g = 214$ m/min จะมีค่าความเรียบผิวสูงที่สุด และผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นกับทุกๆ เงื่อนไขการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วป้อนในการเจียรไน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.24 และ 4.25 จะเห็นได้ว่ารูปที่ 4.26 มีลักษณะของเส้นโค้งที่มีความชันสูงกว่าทุกรูปแสดงให้เห็นอิทธิพลของความเร็วในการปาดหน้าหินที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วขอบของหินเจียรไน และจากรูปแสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วขอบของหินเจียรไนสูงสุดจะมีค่าความเรียบผิวน้อยกว่าขอบของหินเจียรไนต่ำสุดที่เงื่อนไขซึ่ง

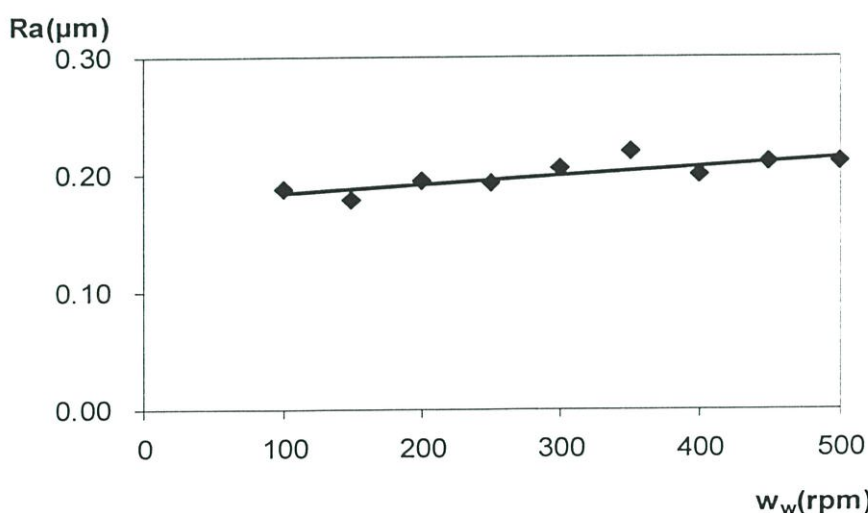
แตกต่างจากเงื่อนไขการทดลองของรูปที่ 4.24 และ 4.25 ที่ค่าความเรียบผิวที่ความเร็วรอบของหินเจียรในสูงสุดจะมีค่าความเรียบผิวมากกว่าค่าความเรียบผิวน้อยกว่าขอบของหินเจียรในต่ำสุด

จากการผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อออกแบบตัวแปรที่จะนำมาสร้างสมการวัตถุประสงค์และสมการควบคุมสรุปได้ว่าอิทธิพลจากความเร็วรอบของหินขัดจะเกิดขึ้น โดยที่ตัวแปรดังกล่าวไม่สามารถควบคุมได้ และจากการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถให้มีการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการผลิตในทุกๆ จุดที่ขนาดหินเปลี่ยนไปได้ ในการวิจัยครั้งนี้จึงกำหนดขอบเขตในการเก็บข้อมูลเพื่อทำวิจัย โดยเก็บข้อมูลที่ระยะกึ่งกลางหินเจียรในมาพิจารณาในการเก็บข้อมูลเนื่องจากที่จุดนี้มีอิทธิพลสูงสุดต่อรอบเวลาการทำงานและความเรียบผิว

การทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.18 ผลลัพธ์ในรูปแบบของรอบเวลา และความเรียบผิว



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลากับความเร็วรอบของชิ้นงาน

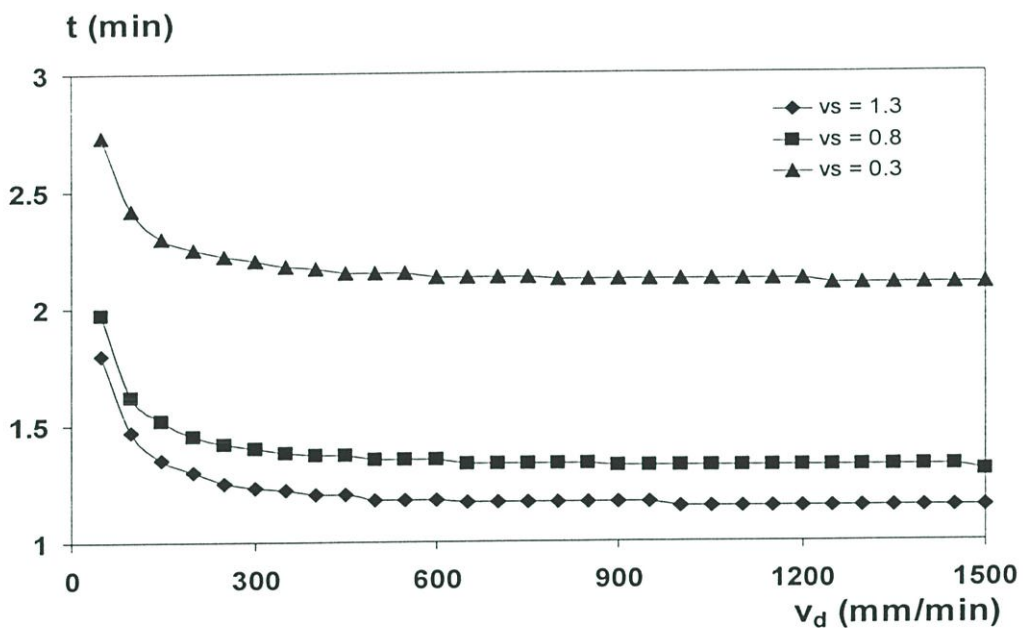


รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวของชิ้นงานและความเร็วรอบของชิ้นงาน

จากรูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลากับความเร็วรอบของชิ้นงาน มีลักษณะที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังจะเห็นว่าเมื่อการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของชิ้นงานจาก $w_s = 100 - 500$ rpm รอบเวลาที่ได้จากการทดลองก็จะมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4.28 ได้สร้างเส้นแนวโน้มขึ้นระหว่างข้อมูลการทดลองซึ่งสรุปความสัมพันธ์ของความเรียบผิวกับความเร็วรอบของชิ้นงานมีความสัมพันธ์กันในลักษณะแปรผันตามกันคือเมื่อความเร็วรอบของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้น ความเรียบผิวก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจากผลการทดลองนี้ทางผู้ทำวิจัยจึงมีความคิดในการให้ตัวแปร w_s เป็นค่าที่ควบคุมโดยเลือกความเร็วรอบของชิ้นงานที่ 150 rpm โดยพิจารณาจากข้อมูลที่จุดนี้จะให้ค่าความเรียบผิวที่ดีที่สุดจากการทดลอง และเป็นความเร็วรอบของชิ้นงานที่ผู้ผลิตเครื่องจักรแนะนำให้ใช้ในการควบคุมการผลิต

ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.19 ผลลัพธ์ในรูปแบบของรอบเวลาการผลิต

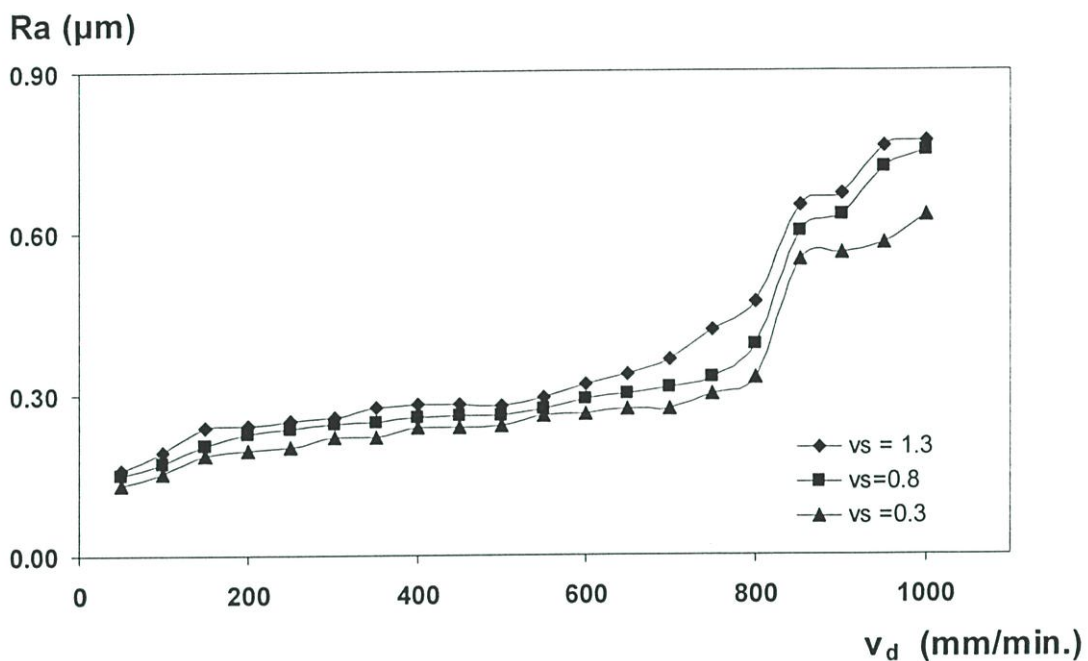


รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลากับความเร็วปาดหน้าหินที่ความเร็วในการเจียรระนาบต่างๆ

จากกราฟจะเห็นได้ว่ารูปแบบความสัมพันธ์ของรอบเวลากับความเร็วในการปาดหน้าหิน (v_d) มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงคือเมื่อเพิ่มความเร็วในการปาดหน้าหิน จะทำให้รอบเวลาที่มีแนวโน้มลดลง และจะเห็นว่าเส้นกราฟของเวลาจะเริ่มมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและมีแนวโน้มคงที่ที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 800 mm/min เป็นต้นไปและจากกราฟจะ

เห็นได้ว่าการกำหนดความเร็วในการเจียรไนที่ระยะห่างของความเร็วเท่าๆ กันคือที่ $v_s=0.3, 0.8$ และ 1.3 mm/min ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่ารอบเวลา มีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเจียรไน ในลักษณะแปรผกผันคือ เมื่อความเร็วในการเจียรไนเพิ่มขึ้นรอบเวลาจะลดลง และอธิบายเพิ่มเติมได้ว่ารอบเวลาไม่ได้มีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนที่คงที่กับความเร็วในการเจียรไนดังจะเห็นจากที่ $v_s=0.3 \text{ mm/min}$ จะมีผลทำให้รอบเวลาเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบเป็นสัดส่วน

ผลการทดลองตามเงื่อนไขตารางที่ 3.19 ผลลัพธ์ในรูปแบบของความเรียบผิว



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวชิ้นงานกับความเร็วในการปาดหน้าหินที่ความเร็วในการเจียรไนต่างๆ

จากกราฟจะเห็นได้ว่ารูปแบบความสัมพันธ์ความเรียบผิวกับความเร็วในการปาดหน้าหิน (v_d) มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงคือเมื่อเพิ่มความเร็วในการปาดหน้าหิน จะทำให้ความเรียบผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและจะเห็นว่าเส้นกราฟแสดงค่าของความเรียบผิวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่ $v_d = 800 - 1100 \text{ mm/min}$. และจะเริ่มลดลงหลังจาก $v_d = 1200 \text{ mm/min}$ และจากกราฟจะเห็นได้ว่าการกำหนดความเร็วในการเจียรไนที่ระยะห่างของความเร็วเท่าๆ กันคือที่ $v_s=0.3, 0.8$ และ 1.3 mm/min ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเรียบผิวมีความสัมพันธ์สัมพันธ์กับความเร็วในการเจียรไน โดยลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผกผันตามคือเมื่อความเร็วในการเจียรไนเพิ่มขึ้นความเรียบผิวก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยและจากระยะห่างของกราฟมี

ลักษณะของระยะห่างที่มีแนวโน้มขนานกันในทุกๆ ช่วงความเร็วในการเจียรไนในช่วง $v_d = 50 - 600$ mm/min หมายความว่าในช่วงนี้ความเร็วผิวมีการเพิ่มในสัดส่วนที่คงที่กับความเร็วในการเจียรไน แต่หลังจากระยะนี้ไปสัดส่วนระหว่างความเร็วผิวกับความเร็วในการเจียรไนจะไม่คงที่ ที่ $v_s = 0.3$ mm / min และช่วง $v_d = 800 - 1100$ mm/min แต่หลังจากที่ระยะ $v_d = 1200$ mm/min ความสัมพันธ์ของความเร็วผิวและความเร็วในการเจียรไนก็มีแนวโน้มคงที่อีกครั้ง

สรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองทางผู้วิจัยได้สรุปในการเลือกแนวทางในการเก็บข้อมูลโดยกำหนดให้เก็บข้อมูลในช่วงที่หินเจียรไนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 267 mm หรือที่ความเร็วรอบของหินเจียรไนมีค่าเท่ากับ 214 m/min ทำให้ตัวแปร v_s ถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ และเช่นกันความเร็วรอบของชิ้นงาน w_w จากผลการทดลองพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของรอบเวลาตามความเร็วรอบของชิ้นงาน และจากเอกสารงานวิจัยมีการเสนอความสัมพันธ์ของความเร็วรอบชิ้นงานในรูปแบบของสมการดังนี้ (Malkin S. and Guo C. 1976 : 1-19)

$$v_s = aw_w \quad (4.1)$$

จากสมการจะเห็นว่าความเร็วรอบของชิ้นงานเป็นฟังก์ชันของความเร็วป้อนหินเจียรไนซึ่งเป็นอีกเหตุผลที่จะตัดตัวแปรความเร็วรอบของชิ้นงานออกจากการสมการของรอบเวลา ดังนั้นเราสามารถสรุปสมการวัตถุประสงค์และสมการควบคุมได้ดังนี้

$$t = f_1(v_s, v_d) \quad (4.2)$$

$$R = f_2(v_s, v_d) \quad (4.3)$$

4.2 วิธีการสร้างรูปแบบจำลอง

การสร้างรูปแบบสมการที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้นำวิธีการ Quadratic regression ช่วยสร้างสมการความสัมพันธ์โดยมีรูปแบบสมการดังนี้ (สมชาย วงศ์วิเศษ. 2541:4-16)

$$y = c_1 + c_2x_1 + c_3x_1^2 + c_4x_2 + c_5x_2^2 + c_6x_1x_2 + c_7x_1^2x_2 + c_8x_1x_2^2 + c_9x_1^2x_2^2 \quad (4.4)$$

จากนั้นทำการแทนข้อมูลทั้ง 9 ข้อมูลและแก้สมการหาค่า c_1 ถึง c_9

4.2.1 การหาสมการวัตถุประสงค์ (Objective function)

จากผลการทดลองทำให้สามารถออกแบบตัวแปรที่มีผลต่อรอบเวลาเขียนความสัมพันธ์ตามสมการที่ (4.1) จากรูปที่ 4.29 พบว่ารอบเวลาจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงน้อยจนสังเกตได้ว่าการเปลี่ยนแปลงจะมีค่าคงที่ที่ v_d มีค่ามากกว่า 800 mm/min ขึ้นไปทำให้การคำนวณเราจะพิจารณาเลือกข้อมูลมาคำนวณหาความสัมพันธ์ในช่วง v_d เท่ากับ 50 - 800 mm/min วิธีการหาความสัมพันธ์ดำเนินการตามขั้นตอนได้ดังนี้

เลือกข้อมูล 9 จุดที่ได้จากการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการทดลองที่เลือกนำมาหาความสัมพันธ์ของรอบเวลาการผลิต

		v_s (mm/min)		
		0.3	0.8	1.3
v_d mm/min)	200	2.23	1.47	1.28
	400	2.15	1.38	1.2
	600	2.13	1.35	1.13

ดำเนินการตามวิธีการ Quadratic regression โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$t = c_1 + c_2 v_s + c_3 (v_s)^2 + c_4 v_d + c_5 (v_d)^2 + c_6 v_s v_d + c_7 (v_s)^2 v_d + c_8 v_s (v_d)^2 + c_9 (v_s)^2 (v_d)^2 \quad (4.5)$$

แทนค่าและแก้สมการหาค่า c_1 ถึง c_9

$$\begin{bmatrix} 1 & 0.3 & 0.3^2 & 200 & 200^2 & 60 & 4.5 & 750 & 225 \\ 1 & 0.3 & 0.3^2 & 400 & 400^2 & 90 & 27 & 27000 & 8100 \\ 1 & 0.3 & 0.3^2 & 600 & 600^2 & 240 & 72 & 192000 & 57600 \\ 1 & 0.8 & 0.8^2 & 200 & 200^2 & 40 & 32 & 2000 & 1600 \\ 1 & 0.8 & 0.8^2 & 400 & 400^2 & 240 & 192 & 72000 & 57600 \\ 1 & 0.8 & 0.8^2 & 600 & 600^2 & 640 & 512 & 521000 & 409600 \\ 1 & 1.3 & 1.3^2 & 200 & 200^2 & 65 & 84.5 & 3250 & 4225 \\ 1 & 1.3 & 1.3^2 & 400 & 400^2 & 390 & 507 & 117000 & 152100 \\ 1 & 1.3 & 1.3^2 & 600 & 600^2 & 1040 & 1352 & 832000 & 1081600 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \\ c_7 \\ c_8 \\ c_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.23 \\ 2.15 \\ 2.13 \\ 1.47 \\ 1.38 \\ 1.35 \\ 1.28 \\ 1.20 \\ 1.13 \end{bmatrix}$$

แก้สมการหาค่า c_1 ถึง c_9 ได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\begin{array}{lll} c_1 = 3.06 & c_2 = -2.6 & c_3 = 1 \\ c_4 = -0.000592 & c_5 = 0.00000045 & c_6 = -0.001145 \\ c_7 = 0.00095 & c_8 = 0.000001375 & c_9 = -0.00000125 \end{array}$$

นำผลลัพธ์ที่คำนวณได้แทนลงในสมการที่ (4.5) ได้สมการวัตถุประสงค์ดังนี้

$$t = 3.06 - 2.60v_s + v_s^2 - 0.00592v_d + 0.00000045v_d^2 - 0.001145v_s v_d + 0.00095v_d v_s^2 + 0.000001375v_d^2 v_s - 0.00000125v_d^2 v_s^2 \quad (4.6)$$

โดยที่ t ; $(0.3 \leq v_s \leq 1.3$, $50 \leq v_d \leq 800)$

ค่าคุณภาพของเส้นเหมาะสม $r^2 = 0.92$

4.2.2 การหาสมการควบคุม (Constrain function)

จากผลการทดลองและได้กำหนดขอบเขตในการพิจารณารอบเวลาที่ผ่านมาในหัวข้อ 4.2.1 สมการควบคุมจำเป็นต้องกำหนดขอบเขตในการพิจารณาอยู่ในช่วงเดียวกันคือ R ; $(0.3 \leq v_s \leq 1.3$; $50 \leq v_d \leq 800)$ และได้ความสัมพันธ์ของสมการควบคุม(4.2) ดังนี้

$$R = f_2(v_s, v_d) \leq 0.3$$

เลือกข้อมูล 9 จุดที่ได้จากการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจากการทดลองที่เลือกนำมาหาความสัมพันธ์ของความเรียบผิว

		v_s (mm/min)		
		0.3	0.8	1.3
v_d mm/min)	200	0.27	0.28	0.3
	400	0.34	0.36	0.4
	600	0.44	0.45	0.52

ดำเนินการตามวิธีการ Quadratic regression โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$R = c_1 + c_2 v_s + c_3 (v_s)^2 + c_4 v_d + c_5 (v_d)^2 + c_6 v_s v_d + c_7 (v_s)^2 v_d + c_8 v_s (v_d)^2 + c_9 (v_s)^2 (v_d)^2 \quad (4.7)$$

แทนค่าและแก้สมการหาค่า c_1 ถึง c_9

$$\begin{bmatrix} 1 & 0.3 & 0.3^2 & 200 & 200^2 & 15 & 4.5 & 750 & 225 \\ 1 & 0.3 & 0.3^2 & 400 & 400^2 & 90 & 27 & 27000 & 8100 \\ 1 & 0.3 & 0.3^2 & 600 & 600^2 & 240 & 72 & 192000 & 57600 \\ 1 & 0.8 & 0.8^2 & 200 & 200^2 & 40 & 32 & 2000 & 1600 \\ 1 & 0.8 & 0.8^2 & 400 & 400^2 & 240 & 192 & 72000 & 57600 \\ 1 & 0.8 & 0.8^2 & 600 & 600^2 & 640 & 512 & 521000 & 409600 \\ 1 & 1.3 & 1.3^2 & 200 & 200^2 & 65 & 84.5 & 3250 & 4225 \\ 1 & 1.3 & 1.3^2 & 400 & 400^2 & 390 & 507 & 117000 & 152100 \\ 1 & 1.3 & 1.3^2 & 600 & 600^2 & 1040 & 1352 & 832000 & 1081600 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \\ c_7 \\ c_8 \\ c_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.27 \\ 0.34 \\ 0.44 \\ 0.28 \\ 0.36 \\ 0.45 \\ 0.30 \\ 0.40 \\ 0.52 \end{bmatrix}$$

แก้สมการหาค่า c_1 ถึง c_9 ได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$c_1 = 0.2252$$

$$c_2 = -0.238$$

$$c_3 = 0.18$$

$$c_4 = 0.000051$$

$$c_5 = 0.000000575$$

$$c_6 = 0.001335$$

$$c_7 = -0.00085$$

$$c_8 = -0.000001875$$

$$c_9 = 0.00000125$$

นำผลลัพธ์ที่คำนวณได้แทนลงในสมการที่ (4.3) ได้สมการวัตถุประสงค์ดังนี้

$$R = 0.2252 - 0.238 v_s + 0.18 v_s^2 + 0.000051 v_d - 0.000000575 v_d^2 + 0.001335 v_s v_d - 0.00085 v_d v_s^2 - 0.000001875 v_d^2 v_s + 0.00000125 v_d^2 v_s^2 \leq 0.3 \quad (4.8)$$

โดยที่ R ; $(0.3 \leq v_s \leq 1.3, 50 \leq v_d \leq 800)$

ค่าคุณภาพของเส้นเหมาะสม $r^2 = 0.95$

จากการคำนวณเราสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของรอบเวลาซึ่งเป็นสมการ
วัตถุประสงค์ และความเรียบผิวคือสมการควบคุม จึงสามารถนำสมการทั้งสองเข้าสู่วิธีการหาค่าที่
เหมาะสมที่สุด ดังในบทต่อไป

บทที่ 5

การหาสภาพที่เหมาะสมที่สุด

5.1 สมการ

จากความมุ่งหมายที่กล่าวมาข้างต้นทำการสำรวจกระบวนการผลิตชิ้นงานเจียรระโนเพื่อค้นหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรอบเวลาโดยสร้างเป็นรูปแบบความสัมพันธ์ เรียกสมการความสัมพันธ์ที่ต้องการทราบว่าเป็นสมการวัตถุประสงค์(Objective function)

$$t = f(v_s, v_d) \quad (5.1)$$

กระบวนการผลิตชิ้นงานเจียรระโนยังมีเงื่อนไขที่ควบคุมคือความเรียบผิวของชิ้นงานสำเร็จรูปที่จะถูกกำหนด โดยผู้ออกแบบชิ้นส่วนสามารถเขียนเป็นสมการควบคุม(Constrain function)

$$R = f(v_s, v_d) \leq 0.3 \quad (5.2)$$

จาก(5.2) จะใช้รูปแบบของสมการเนื่องจากค่าความเรียบผิวที่ถูกกำหนดโดยผู้ออกแบบถูกกำหนดไว้ที่ 0.63 Ra (Max.) แต่ในการนำมาคำนวณหาค่าที่เหมาะสมจำเป็นต้องพิจารณารวมถึงความสามารถของกระบวนการผลิตโดยในงานอุตสาหกรรมจะกำหนดความสามารถของกระบวนการไว้ที่มากกว่า 1.33 ($Cpk > 1.33$) จากข้อกำหนดดังกล่าวจึงได้มาซึ่งขอบเขตของสมการควบคุม

5.2 ทฤษฎี

ทฤษฎีการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธี AUGMENTED LAGRANGE MULTIPLIER เป็นรูปแบบสมการที่จะทำการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุด(SINGIRESU S.RAO. 1996:521)

5.2.1 กรณีที่ปัญหาเป็นแบบ Equality – Constrain

วิธี augmented Lagrange multiplier (ALM) เป็นการรวมวิธี Lagrange multiplier และวิธีการของ penalty function เข้าด้วยกันโดยรูปแบบสมการดังนี้

$$\text{Minimize } f(X) \quad (5.3)$$

มีเงื่อนไขควบคุม

$$h_j(X) = 0 \quad j=1,2,\dots,p, \quad p < n \quad (5.4)$$

ใช้วิธีของลากรองจ์รวมสมการ (5.3) และ (5.4) ได้ดังนี้

$$L(X, \lambda) = f(X) + \sum_{j=1}^p \lambda_j h_j(X) \quad (5.5)$$

ซึ่ง $\lambda_j, j=1,2,\dots,p$, คือ Lagrange multiplier เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับ $L(X, \lambda)$ ประกอบด้วยระบบสมการที่มีเงื่อนไขบังคับแบบเท่ากับดังสมการ(5.4) วิธีการ penalty function ใช้สำหรับการสร้างสมการวัตถุประสงค์ $A(X, \lambda, r_k)$ แสดงในรูปแบบของ augmented Lagrange function ดังนี้

$$A(X, \lambda, r_k) = f(X) + \sum_{j=1}^p \lambda_j h_j(X) + r_k \sum_{j=1}^p h_j^2(X) \quad (5.6)$$

r_k คือ penalty พารามิเตอร์ สามารถลดรูปสมการ A เป็น Lagrangian ถ้า $r_k = 0$ และที่สมการ ϕ ใช้สำหรับวิธีการ classical penalty function method ถ้าที่ $\lambda_j = 0$ ซึ่งแสดงการหาค่าที่เหมาะสมโดยวิธี Lagrange multiplier ค่าที่เหมาะสมที่สุด λ_j^* ค่าต่ำสุดของ $A(X, \lambda, r_k)$ แสดงวิธีการแก้ไขของปัญหาตามสมการ (5.3) และ (5.4) โดยดำเนินการครั้งละหนึ่งทุกๆ ครั้งที่เป็ค่า r_k ในบางกรณีไม่ต้องการที่จะหาค่าต่ำสุดของสมการ A สำหรับการเพิ่มขึ้นของค่า r_k ซึ่งค่าของ λ_j^* จะไม่ทราบก่อนล่วงหน้า การกระทำซ้ำจะเป็นแผนในการใช้แก้ไขปัญหานี้ การแก้ไขครั้งที่หนึ่งจะให้ $(k=1)$ โดยค่าของ $\lambda_j^{(k)}$ เลือกให้เท่ากับศูนย์ ค่าของ r_k จะกำหนดให้เท่ากับค่าคงที่ใดๆ และสมการ A จะมีค่าต่ำสุดเมื่อค่า X เปลี่ยนเป็น $X^{(k)}$ ค่าของ $\lambda_j^{(k)}$ และ r_k จะเปลี่ยนแปลงเพื่อจะเป็นการเริ่มต้นของการทำซ้ำในครั้งต่อไป เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับจุดของ L แสดงดังสมการ(5.5) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^p \lambda_j^* \frac{\partial h_j}{\partial x_i} = 0, \quad i = 1,2,\dots,n \quad (5.7)$$

ที่ λ_j^* ค่าของ Lagrange multipliers ที่จุดของ L เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับจุดต่ำสุดของ A สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial A}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^p (\lambda_j^* + 2r_k h_j) \frac{\partial h_j}{\partial x_i} = 0, \quad i = 1,2,\dots,n \quad (5.8)$$

เปรียบเทียบสมการด้านขวามือของสมการ (5.7) และ (5.8)

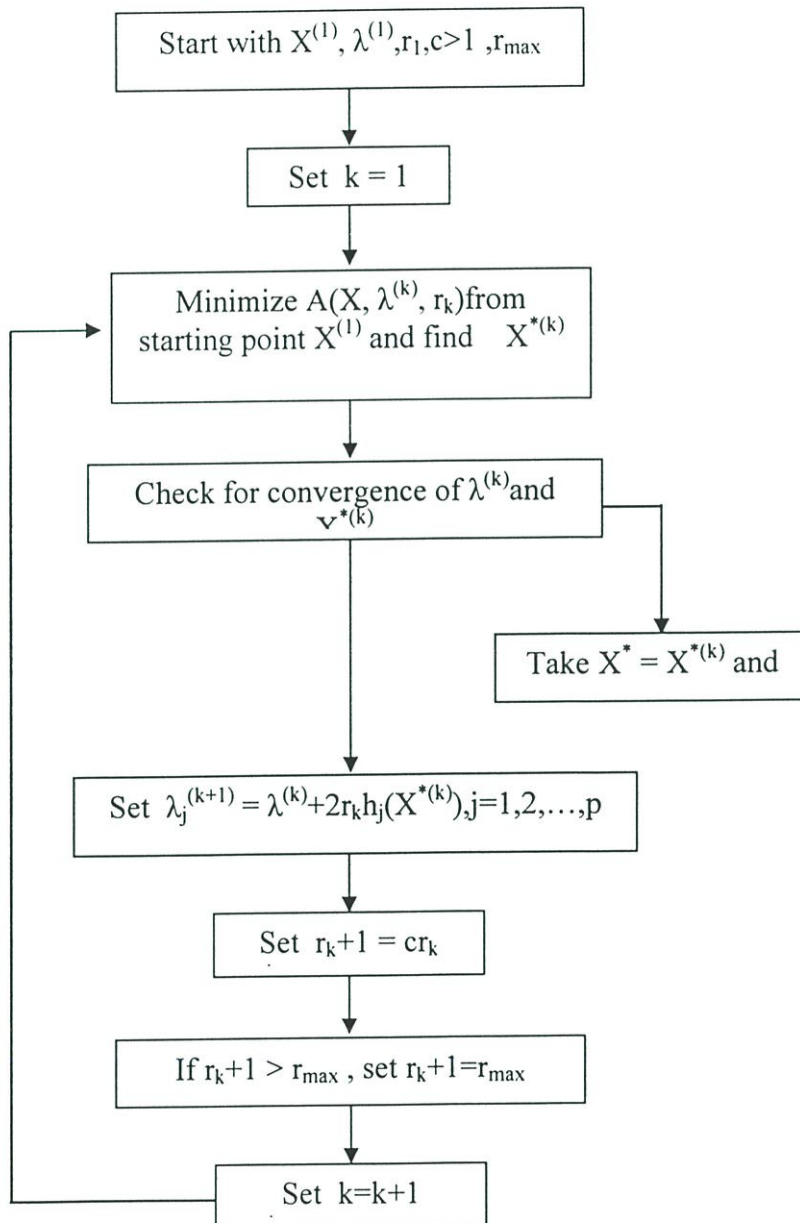
$$\lambda_j^* = \lambda_j + 2r_k h_j, \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (5.9)$$

สมการที่ใช้นี้ในการปรับเปลี่ยนค่าของ λ_j

$$\lambda_j^{(k+1)} = \lambda_j^{(k)} + 2r_k h_j(X^{(k)}), \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (5.10)$$

ซึ่ง $X^{(k)}$ คือค่าเริ่มต้นในการหาค่าต่ำสุดของ A ค่าของ r_k เปลี่ยนแปลงดังสมการ

$$r_{k+1} = cr_k, \quad c > 1 \quad (5.11)$$



รูปที่ 5.1 แผนภูมิการหาค่าที่เหมาะสมโดยวิธี augmented Lagrange multiplier

ฟังก์ชัน A จะมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้วิธีการทำซ้ำโดยการหาค่า X เป็น $X^{(k+1)}$ จนกระทั่งได้ค่าผลลัพธ์สำหรับ $\lambda_j^{(k)}$ หรือ X^* ถ้าค่าของ r_{k-1} มีค่าเกินกว่าค่าสูงสุดของ r_{\max} ให้กำหนดมีค่าเท่ากับ r_{\max} กระบวนการในการทำซ้ำแสดงดังรูปที่ 5.1

5.2.1 กรณีที่ปัญหาเป็นแบบ Inequality – Constrain

พิจารณาปัญหาที่เป็นสมการควบคุมแบบอสมการดังนี้

$$\text{Minimize } f(X) \quad (5.12)$$

มีรูปแบบสมการควบคุมคือ

$$g_j(X) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5.13)$$

ประยุกต์วิธีการ ALM ในรูปแบบสมการควบคุมแบบอสมการ(inequality constrain)ตามสมการ (5.13) ให้เปลี่ยนเป็นรูปแบบของสมการควบคุมแบบเท่ากับ (equality constrain)

$$g_j(X) + y_j^2 = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5.13)$$

ซึ่ง y_j^2 คือ ตัวแปร Slack นำมาสร้างเป็นสมการ augmented Lagrangian function ได้ดังนี้

$$A(X, \lambda, Y, r_k) = f(X) + \sum_{j=1}^m [g_j(X) + y_j^2] + \sum_{j=1}^m r_k [g_j(X) + y_j^2]^2 \quad (5.14)$$

ซึ่งเวกเตอร์ตัวแปร slack Y, แสดงโดย

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ y_m \end{bmatrix}$$

ถ้าตัวแปร slack $y_j, j=1,2,\dots,m$. สามารถพิจารณาเพิ่มตัวไม่ทราบค่าได้ ฟังก์ชัน A จะมีค่าต่ำสุดเมื่อ X และ Y เป็นค่าเฉพาะของ λ_j และ r_k แสดงให้เห็นการเพิ่มขนาดของปัญหาและฟังก์ชัน A แสดงดังสมการ(5.14) คือเทียบได้กับ

$$A(X, \lambda, Y, r_k) = f(X) + \sum_{j=1}^m \lambda_j \alpha_j + r_k \sum_{j=1}^m \alpha_j^2 \quad (5.15)$$

ซึ่ง

$$\alpha_j = \max \left\{ g_j(X), -\frac{\lambda_j}{2r_k} \right\} \quad (5.16)$$

วิธีการแก้ไขปัญหของขั้นตอนนี้อยู่ตามสมการที่(5.12) และ(5.13) สามารถหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชัน A ได้โดยใช้สมการ (5.15) ในกรณีสมการควบคุมเป็นแบบเท่ากับใช้วิธีการเปลี่ยนแปลงค่าตามสูตร

$$\lambda_j^{k+1} = \lambda_j^{(k)} + 2r_k \alpha_j^{(k)}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5.17)$$

แล้วใส่ค่าในสมการที่ (5.10) แสดงให้เห็นฟังก์ชัน A (5.15) และกระทำเช่นนี้ไปแบบต่อเนื่อง

5.3 ผลลัพธ์จากการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของรอบเวลา

สมการวัตถุประสงค์

$$t = 3.06 - 2.60v_s + v_s^2 - 0.00592v_d + 0.00000045v_d^2 - 0.001145v_s v_d + 0.00095v_d v_s^2 + 0.000001375v_d^2 v_s - 0.00000125v_d^2 v_s^2$$

โดยที่ t ; $(0.3 \leq v_s \leq 1.3, 50 \leq v_d \leq 800)$

สมการควบคุม

$$R = 0.2252 - 0.238 v_s + 0.18 v_s^2 + 0.000051 v_d - 0.000000575 v_d^2 + 0.001335v_s v_d - 0.000085 v_d v_s^2 - 0.000001875 v_d^2 v_s + 0.00000125 v_d^2 v_s^2 \leq 0.3$$

โดยที่ R ; $(0.3 \leq v_s \leq 1.3, 50 \leq v_d \leq 800)$

นำสมการทั้งสองเขียนในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้การวิเคราะห์ตามทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น ได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$v_s^* = 1.17 \text{ mm / min}$$

$$v_d^* = 226 \text{ mm / min}$$

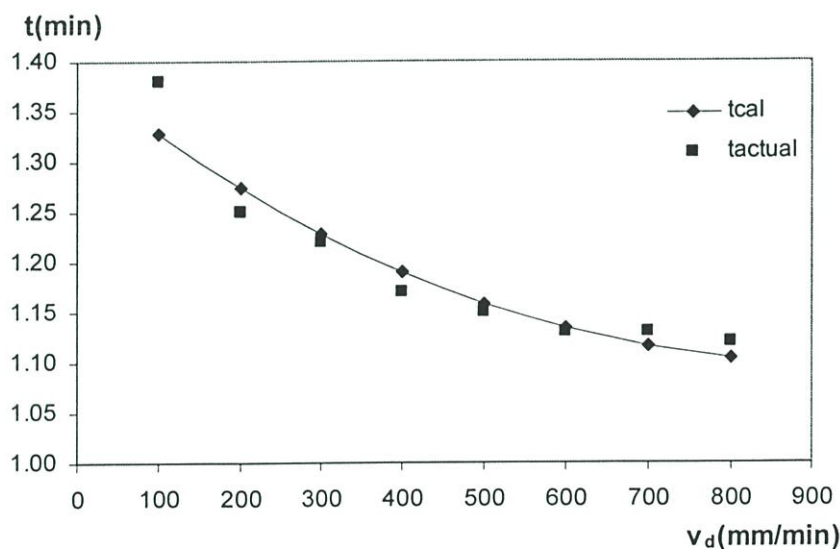
$$t^* = 1.27 \text{ min}$$

จากผลจากการคำนวณได้นำผลลัพธ์ที่คำนวณได้ไปปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการผลิตชิ้นงานในเครื่องจักรซึ่งสรุปผลได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณและจากการผลิต

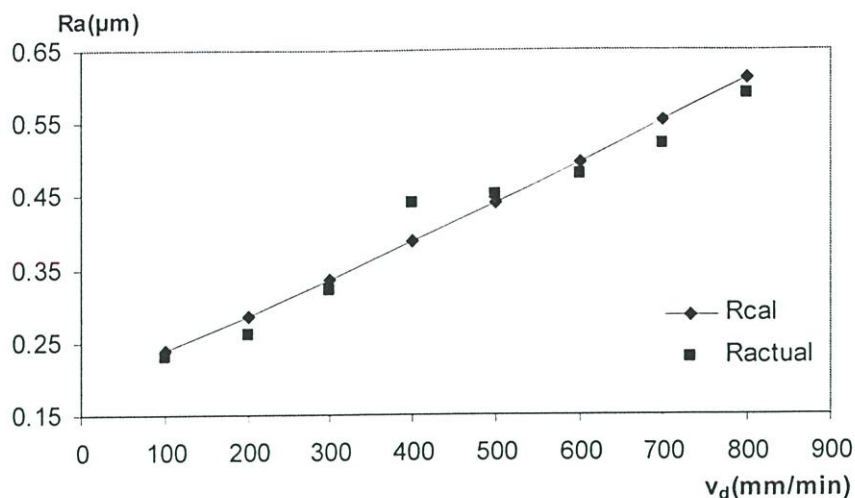
ผลลัพธ์จากการคำนวณ	ผลลัพธ์จากการผลิต
$t^* = 1.27 \text{ min}$	$t_{\text{actual}} = 1.25 \text{ min}$
$Ra = 0.3 \text{ }\mu\text{m}$	$Ra(\text{avg.}) = 0.26 \text{ }\mu\text{m}$

ผลลัพธ์จากการคำนวณหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการเจียรระโนจะเห็นว่าผลลัพธ์จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทดสอบจริงจะมีความแตกต่างกันอยู่ทั้งนี้เนื่องจากการสร้าง Model ที่ใช้แทนข้อมูลจากการทดลองจะมีค่าความผิดพลาดอยู่แสดงให้เห็นดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบผลจากการคำนวณรอบเวลาการผลิตจริงและรอบเวลาการผลิตที่

$$v_s = 1.17 \text{ mm/min}$$

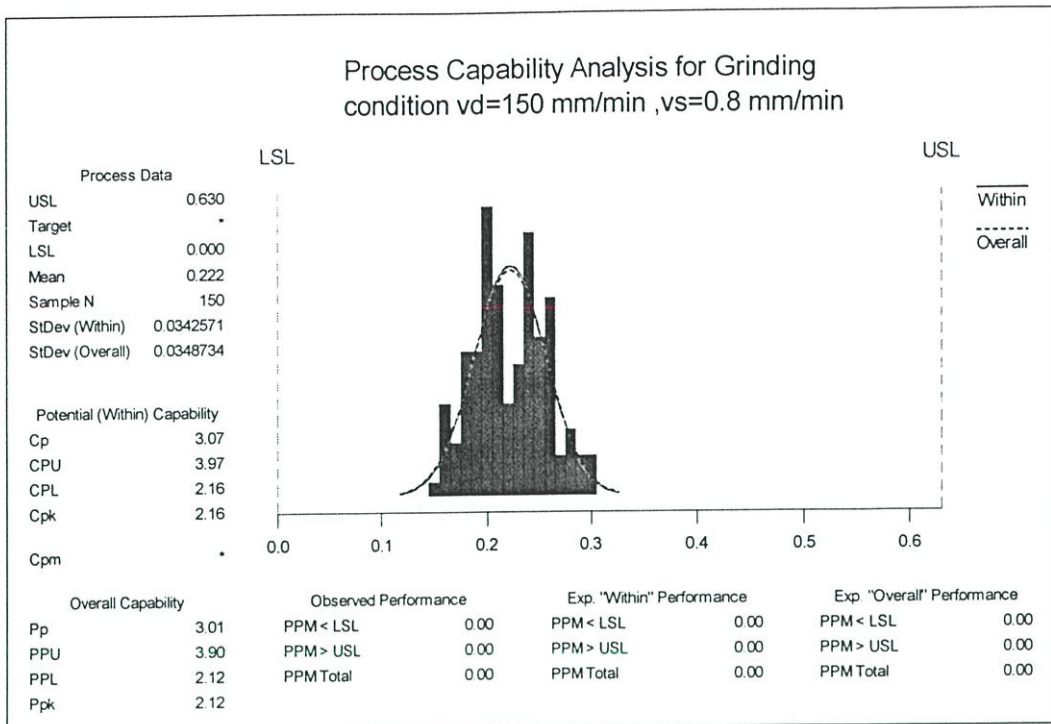


รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบผลการคำนวณความเรียบผิวและความเรียบผิวผลิตที่ได้จากการผลิตจริงที่

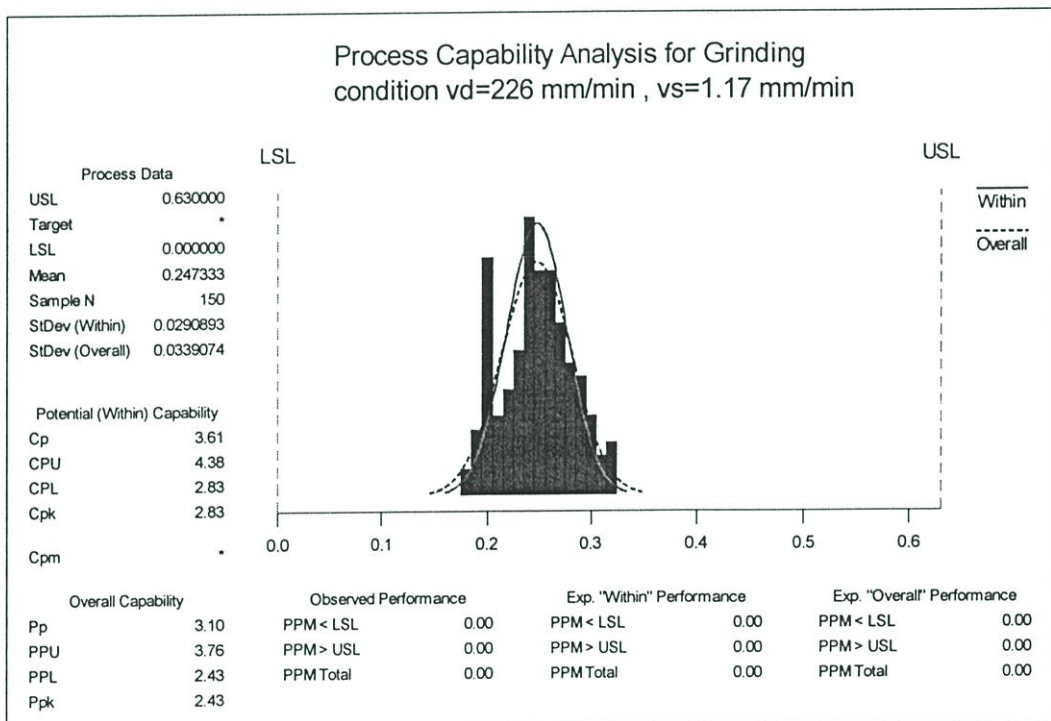
$$v_s = 1.17 \text{ mm/min}$$

รูปที่ 5.3 เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อดูแนวโน้มผลของความเรียบผิวที่ได้จากการคำนวณและจากค่าที่ตรวจวัดได้จริงซึ่งจากกราฟพบว่าที่จุด $v_d = 400 \text{ mm/min}$ มีค่าความเรียบผิวสูงกว่าที่ได้จากการคำนวณแบบผิดปกติไปซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดในการทดลองหรือการตรวจสอบ

มาตรฐานในการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตมีความจำเป็นต้องคำนึงถึงความสามารถในการควบคุมคุณภาพเราเรียกว่า Process capability ratio (Cpk) ซึ่งหลังจากที่มีการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการผลิตในงานเจียรไนมีการเก็บข้อมูลเพื่อตรวจสอบค่า Cpk เพื่อแสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการผลิตไม่ส่งผลกระทบต่อความเสี่ยงในการเกิดปัญหาคุณภาพหลุดจากกระบวนการผลิตซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 150 ตัวอย่างในการประเมินค่า Cpk เพื่อเปรียบเทียบผลก่อนและหลังที่ได้มีการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการผลิตของกระบวนการเจียรไนดังรูปที่ 5.3 เป็นค่า Cpk ของกระบวนการเจียรไนเดิมก่อนมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไข และรูปที่ 5.4 เป็นค่า Cpk ของกระบวนการเจียรไนหลังมีการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขตามผลลัพธ์ที่ได้จากการหาเวลาที่เหมาะสมที่สุด จากการผลการคำนวณค่า Cpk ที่เงื่อนไขการผลิตหลังการเปลี่ยนเงื่อนไขเปรียบเทียบกับก่อนเปลี่ยนเงื่อนไขพบว่าค่า Cpk ของทั้ง 2 เงื่อนไขมากกว่า 1.33 แสดงให้เห็นว่าการผลิตด้วยเงื่อนไขใหม่ก็ยังคงมีความมั่นใจได้ในการควบคุมคุณภาพของชิ้นงาน แม้ว่าค่าความเรียบผิวจะมีค่าเฉลี่ยที่เพิ่มสูงขึ้นกว่าเงื่อนไขก่อนหน้า



รูปที่ 5.4 ผลลัพธ์ Cpk ของกระบวนการเจียรระไนก่อนการเปลี่ยนเงื่อนไข



รูปที่ 5.5 ผลลัพธ์ Cpk ของกระบวนการเจียรระไนจากเงื่อนไขที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการเจียรไน ผิวนอกโลหะชิ้นงานทรงกระบอก สามารถสรุปได้ดังนี้

1. รอบเวลาการผลิตของกระบวนการเจียรไนมีความสัมพันธ์กับความเร็วในการเจียรไน และความเร็วในการปาดหน้าหิน โดยลักษณะเป็นการแปรผันแบบผกผันคือเมื่อเพิ่มความเร็วในการเจียรไนเพิ่มเวลาจะลดลงโดยเส้นกราฟของรอบเวลากับความเร็วในการเจียรไนจะให้ลักษณะเป็นเส้นโค้งและที่ความเร็วในการเจียรไนต่ำๆ อิทธิพลต่อรอบเวลาสูง ส่วนความเร็วในการปาดหน้าหินก็จะแปรผกผันเช่นกันแต่จะมีการแปรผกผันในลักษณะของเส้นตรง

2. ขนาดของหินเจียรไนมีความสัมพันธ์ต่อรอบเวลาการผลิตก็จะมีลักษณะเส้นกราฟโค้งคว่ำซึ่งจะมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดเท่ากันอธิบายได้ว่าระยะหินเจียรไนที่ถูกปาดลดขนาดทำให้ระยะห่างระหว่างหินและชิ้นงานใกล้ขึ้นเรื่อยๆจึงมีผลแต่เครื่องจักรมีระบบอัตโนมัติในการคำนวณและปรับระยะทางให้กลับมาอยู่ในระยะที่สมดุลดังจะเห็นว่าเมื่อหินมีขนาดเล็กที่สุดรอบเวลาจะกลับมาเท่าเดิม

3. ความเรียบผิวของงานเจียรไนมีความสัมพันธ์กับความเร็วเจียรไนแบบเป็นเชิงเส้นตรง โดยลักษณะมีการแปรผันแบบแปรตามกันคือเมื่อความเร็วในการเจียรไนเพิ่มความเรียบผิวจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4. ความเรียบผิวของงานเจียรไนมีความสัมพันธ์กับความเร็วในการปาดหน้าหินโดยมีลักษณะการแปรผันเป็นแบบแปรผันตรงจากการทดลองสรุปได้ว่าความเร็วในการปาดหน้าหินมีอิทธิพลต่อค่าความเรียบผิวมาก

5. ขนาดของหินเจียรไนพบว่ามีความสัมพันธ์ต่อความเรียบผิวเช่นกันซึ่งลักษณะกราฟจะเป็นโค้งคว่ำโดยเมื่อหินเจียรไนถูกใช้งานมาถึงระยะกึ่งกลางหรือความเร็วขอบหินเจียรไนค่ากลางพบว่าจะมีอิทธิพลทำให้ค่าความเรียบผิวหยาบที่สุด

6. จากผลการทดลองนำมาสู่การคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตนั้นพบว่าผลจากการคำนวณทำให้เราสามารถที่จะลดเวลาในการผลิตชิ้นงานซึ่งจากเดิม รอบเวลาในการผลิตอยู่ที่ 1.52 นาที โดยหลังจากที่ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการผลิตตามผลที่ได้จากการด้วยกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตขึ้นได้อีก 18 % ในช่วงเวลาการทำงานเดียวกันซึ่งจะเห็นว่าการนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาประยุกต์ใช้จะทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตโดยที่ยังไม่ต้องลงทุนอื่นๆ

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ยังพบว่ามิดวแปรที่มีผลต่อค่าความเรียบผิวอื่นๆ ที่น่าสนใจที่จะนำมาศึกษาได้อีกเพื่อพัฒนากระบวนการเจียรไนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเช่น

1. ชนิดของสารหล่อเย็นเนื่องจากงานเจียรไนเป็นลักษณะของการเสียดสีทำให้เกิดความร้อนบริเวณผิวเจียรไนลักษณะเช่นนี้ถ้าสามารถทดสอบหรือหาสารหล่อเย็นที่มีประสิทธิภาพมาวิเคราะห์วิจัย รวมถึงตำแหน่งการหล่อเย็นก็ยังเป็นส่วนที่น่าสนใจในการศึกษาถึงผลที่จะเกิดขึ้นกับค่าความเรียบผิว เมื่อระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพก็สามารถเพิ่มผลผลิต ลดของเสียได้

2. การศึกษาเปรียบเทียบหินเจียรไนเราพบว่าในงานอุตสาหกรรมเจียรไนยังขาดผู้ที่มีความรู้ในการที่จะแนะนำหินเจียรไนที่มีประสิทธิภาพมากดังจะเห็นจากในงานวิจัยจากต่างประเทศมีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบหินเจียรไนชนิดต่างๆ ที่ให้ผลลัพธ์ในเรื่องของความเรียบผิวที่ดีที่สุด และให้ผลลัพธ์ในด้านการใช้พลังงานในการผลิตที่ต่ำด้วย

เอกสารอ้างอิง

สมชาย วงศ์วิเศษ. การออกแบบและการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดทางความร้อน.
กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2541.

Singiresu S. RAO. Engineering Optimization Theory and Practice. Third Edition. New York :
John Wiley & Sons, Inc. 1996.

P. Kochaniewicz, T. Kapinski. "The properties of the internal surfaces ground using CBN
and Al₂O₃ grinding wheels" Archives of Civil and Mechanical Engineer., Vol.I, 2001. pp 72-77

R. Debkowski, M. Urbaniak. "Advisory system for grinding operation planning" Archives of
Civil and Mechanical Engineer., Vol. 2, 2000. pp 62-71

Malkin S., Guo C. "Model Based Simulation of Grinding Processes" United Technology
Research Center, Massachusetts, USA, 2001. pp 1-19

Malkin S. "Selection of operation parameter in surface grinding" ASME J. of Eng. For Ind.,
vol.98, 1976. pp 56-62

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลการทดลองของงานวิจัยระโนผวนอกโลหะทรงกระบอก

ตารางที่ ก-1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 200 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 244 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	1.3	1.2	0.33
2			1.2	0.3
3			1.2	0.35
4			1.2	0.31
5			1.2	0.3
		Avg	1.2	0.32

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	0.8	1.35	0.31
2			1.35	0.36
3			1.35	0.31
4			1.35	0.29
5			1.35	0.29
		Avg	1.35	0.31

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	0.3	2.05	0.26
2			2.05	0.25
3			2.05	0.28
4			2.05	0.27
5			2.05	0.29
		Avg	2.05	0.27

ตารางที่ ก-2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 400 mm/min และความเร็วยอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 244 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	1.3	1.13	0.37
2			1.13	0.38
3			1.13	0.36
4			1.13	0.39
5			1.13	0.38
		Avg	1.13	0.38

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	0.8	1.28	0.32
2			1.28	0.34
3			1.28	0.33
4			1.28	0.37
5			1.28	0.29
		Avg	1.28	0.33

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	0.3	1.97	0.31
2			1.97	0.27
3			1.97	0.24
4			1.97	0.29
5			1.97	0.25
		Avg	2.05	0.27

ตารางที่ ก-3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 600 mm/min และความเร็วยอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 244 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	1.3	1.1	0.44
2			1.1	0.39
3			1.1	0.38
4			1.1	0.35
5			1.1	0.42
		Avg	1.1	0.40

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	0.8	1.28	0.39
2			1.28	0.32
3			1.28	0.36
4			1.28	0.33
5			1.28	0.34
		Avg	1.28	0.35

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	0.3	1.97	0.36
2			1.97	0.31
3			1.97	0.32
4			1.97	0.31
5			1.97	0.35
		Avg	2.05	0.33

ตารางที่ ก-4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 200 mm/min และความเร็วยอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 229 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	1.3	1.26	0.29
2			1.26	0.3
3			1.26	0.3
4			1.26	0.29
5			1.26	0.3
		Avg	1.26	0.30

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	0.8	1.45	0.27
2			1.45	0.28
3			1.45	0.27
4			1.45	0.29
5			1.45	0.28
		Avg	1.45	0.28

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	0.3	2.18	0.28
2			2.18	0.26
3			2.18	0.27
4			2.18	0.25
5			2.18	0.27
		Avg	2.18	0.27

ตารางที่ ก-5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 400 mm/min และความเร็วยอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 229 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	1.3	1.18	0.43
2			1.18	0.41
3			1.18	0.38
4			1.18	0.39
5			1.18	0.39
		Avg	1.18	0.40

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	0.8	1.35	0.35
2			1.35	0.34
3			1.35	0.37
4			1.35	0.36
5			1.35	0.35
		Avg	1.35	0.35

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	0.3	2.13	0.35
2			2.13	0.34
3			2.13	0.32
4			2.13	0.33
5			2.13	0.31
		Avg	2.13	0.33

ตารางที่ ก-6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 600 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 229 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	1.3	1.12	0.51
2			1.12	0.48
3			1.12	0.47
4			1.12	0.49
5			1.12	0.49
		Avg	1.12	0.49

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	0.8	1.33	0.44
2			1.33	0.41
3			1.33	0.42
4			1.33	0.42
5			1.33	0.41
		Avg	1.33	0.42

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	0.3	2.11	0.4
2			2.11	0.43
3			2.11	0.41
4			2.11	0.39
5			2.11	0.4
		Avg	2.11	0.41

ตารางที่ ก-7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 200 mm/min และความเร็วยอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 214 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	1.3	1.28	0.27
2			1.28	0.28
3			1.28	0.28
4			1.28	0.27
5			1.28	0.26
		Avg	1.28	0.27

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	0.8	1.47	0.25
2			1.47	0.29
3			1.47	0.28
4			1.47	0.26
5			1.47	0.23
		Avg	1.47	0.26

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	0.3	2.23	0.23
2			2.23	0.27
3			2.23	0.33
4			2.23	0.25
5			2.23	0.25
		Avg	2.23	0.27

ตารางที่ ก-8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน
400 mm/min และความเร็วของหินเจียร์ไนเท่ากับ 214 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	1.3	1.2	0.4
2			1.2	0.37
3			1.2	0.42
4			1.2	0.36
5			1.2	0.43
		Avg	1.2	0.40

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	0.8	1.38	0.35
2			1.38	0.32
3			1.38	0.34
4			1.38	0.33
5			1.38	0.33
		Avg	1.38	0.33

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	0.3	2.15	0.34
2			2.15	0.35
3			2.15	0.35
4			2.15	0.33
5			2.15	0.34
		Avg	2.15	0.34

ตารางที่ ก-9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้าหิน 600 mm/min และความเร็วยอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 214 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	1.3	1.13	0.54
2			1.13	0.49
3			1.13	0.55
4			1.13	0.49
5			1.13	0.51
		Avg	1.13	0.52

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	0.8	1.35	0.42
2			1.35	0.48
3			1.35	0.46
4			1.35	0.42
5			1.35	0.46
		Avg	1.35	0.45

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	0.3	2.13	0.36
2			2.13	0.48
3			2.13	0.46
4			2.13	0.42
5			2.13	0.46
		Avg	2.13	0.44

ตารางที่ ก-10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้า
หิน 200 mm/min และความเร็วยกของหินเจียร์ไนเท่ากับ 198 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	1.3	1.27	0.29
2			1.27	0.3
3			1.27	0.27
4			1.27	0.29
5			1.27	0.28
		Avg	1.22	0.29

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	0.8	1.45	0.27
2			1.45	0.25
3			1.45	0.27
4			1.45	0.26
5			1.45	0.28
		Avg	1.45	0.27

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	0.3	2.2	0.24
2			2.2	0.26
3			2.2	0.24
4			2.2	0.25
5			2.2	0.27
		Avg	2.2	0.25

ตารางที่ ก-11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้า หิน 400 mm/min และความเร็วยอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 198 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	1.3	1.19	0.37
2			1.19	0.37
3			1.19	0.38
4			1.19	0.39
5			1.19	0.39
		Avg	1.19	0.38

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	0.8	1.37	0.35
2			1.37	0.35
3			1.37	0.32
4			1.37	0.36
5			1.37	0.35
		Avg	1.37	0.35

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	0.3	2.12	0.31
2			2.12	0.34
3			2.12	0.33
4			2.12	0.33
5			2.12	0.34
		Avg	2.12	0.33

ตารางที่ ก-12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียรไนที่ความเร็วในการปาดหน้า
หิน 600 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ 198 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	1.3	1.13	0.51
2			1.13	0.5
3			1.13	0.51
4			1.13	0.5
5			1.13	0.49
		Avg	1.13	0.50

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	0.8	1.33	0.44
2			1.33	0.41
3			1.33	0.42
4			1.33	0.5
5			1.33	0.45
		Avg	1.33	0.44

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	0.3	2.1	0.41
2			2.1	0.42
3			2.1	0.41
4			2.1	0.44
5			2.1	0.4
		Avg	2.1	0.42

ตารางที่ ก-13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียรไนที่ความเร็วในการปาดหน้า
หิน 200 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียรไนเท่ากับ 183 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	1.3	1.22	0.22
2			1.22	0.23
3			1.22	0.24
4			1.22	0.23
5			1.22	0.22
		Avg	1.22	0.23

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	0.8	1.38	0.25
2			1.38	0.27
3			1.38	0.24
4			1.38	0.25
5			1.38	0.23
		Avg	1.38	0.25

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	200	0.3	2.1	0.27
2			2.1	0.3
3			2.1	0.27
4			2.1	0.23
5			2.1	0.27
		Avg	2.1	0.27

ตารางที่ ก-14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียร์ไนที่ความเร็วในการปาดหน้า หิน 400 mm/min และความเร็วรอบของหินเจียร์ไนเท่ากับ 183 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	1.3	1.15	0.35
2			1.15	0.37
3			1.15	0.35
4			1.15	0.33
5			1.15	0.3
		Avg	1.15	0.34

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	0.8	1.32	0.3
2			1.32	0.35
3			1.32	0.32
4			1.32	0.31
5			1.32	0.32
		Avg	1.32	0.32

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	400	0.3	2.03	0.31
2			2.03	0.27
3			2.03	0.39
4			2.03	0.27
5			2.03	0.28
		Avg	2.03	0.30

ตารางที่ ก-15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วในจากเจียรระไนที่ความเร็วในการปาดหน้า
หิน 600 mm/min และความเร็วขอบของหินเจียรระไนเท่ากับ 183 m/min

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	1.3	1.12	0.43
2			1.12	0.49
3			1.12	0.36
4			1.12	0.46
5			1.12	0.4
		Avg	1.12	0.43

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	0.8	1.28	0.37
2			1.28	0.34
3			1.28	0.42
4			1.28	0.35
5			1.28	0.53
		Avg	1.28	0.40

Item	v_d (mm/min)	v_s (mm/min)	Cycle time (min)	Roughness Ra
1	600	0.3	2	0.33
2			2	0.29
3			2	0.39
4			2	0.32
5			2	0.48
		Avg	2	0.36

ตารางที่ ก-16 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเร็วรอบขึ้นงาน

w_w (rpm)	t (min)
100	1.38
150	1.38
200	1.38
250	1.38
300	1.38
350	1.38
400	1.38
450	1.38
500	1.38

ตารางที่ ก-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวและความเร็วรอบขึ้นงาน

w_w (rpm)	Roughness Ra
100	0.19
150	0.18
200	0.19
250	0.19
300	0.20
350	0.22
400	0.20
450	0.21
500	0.21

ตารางที่ ก-18 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเรียบผิวที่ความเร็วในการเจียระไน 0.3 mm/min

Item	Condition		Observe pcs.						Data Average	
			1		2		3			
	v_s	v_d	t (min)	Ra	t (min)	Ra	t (min)	Ra	t (min)	Ra
1	0.30	50	2.73	0.17	2.73	0.13	2.73	0.14	2.73	0.15
2	0.30	100	2.42	0.15	2.42	0.16	2.42	0.15	2.42	0.15
3	0.30	150	2.3	0.18	2.3	0.18	2.3	0.2	2.30	0.19
4	0.30	200	2.25	0.17	2.25	0.24	2.25	0.18	2.25	0.20
5	0.30	250	2.22	0.21	2.22	0.19	2.22	0.2	2.22	0.20
6	0.30	300	2.2	0.22	2.2	0.2	2.2	0.24	2.20	0.22
7	0.30	350	2.18	0.21	2.18	0.22	2.18	0.23	2.18	0.22
8	0.30	400	2.17	0.24	2.17	0.2	2.17	0.27	2.17	0.24
9	0.30	450	2.15	0.22	2.15	0.26	2.15	0.23	2.15	0.24
10	0.30	500	2.15	0.23	2.15	0.25	2.15	0.24	2.15	0.24
11	0.30	550	2.15	0.27	2.15	0.25	2.15	0.26	2.15	0.26
12	0.30	600	2.13	0.27	2.13	0.28	2.13	0.24	2.13	0.26
13	0.30	650	2.13	0.27	2.13	0.27	2.13	0.38	2.13	0.31
14	0.30	700	2.13	0.33	2.13	0.42	2.13	0.42	2.13	0.39
15	0.30	750	2.13	0.41	2.13	0.34	2.13	0.43	2.13	0.39
16	0.30	800	2.12	0.52	2.12	0.46	2.12	0.48	2.12	0.49
17	0.30	850	2.12	0.55	2.12	0.62	2.12	0.55	2.12	0.57
18	0.30	900	2.12	0.56	2.12	0.56	2.12	0.64	2.12	0.59
19	0.30	950	2.12	0.61	2.12	0.54	2.12	0.59	2.12	0.58
20	0.30	1000	2.12	0.51	2.12	0.51	2.12	0.55	2.12	0.52
21	0.30	1050	2.12	0.52	2.12	0.55	2.12	0.54	2.12	0.54
22	0.30	1100	2.12	0.54	2.12	0.5	2.12	0.47	2.12	0.50
23	0.30	1150	2.12	0.48	2.12	0.4	2.12	0.46	2.12	0.45
24	0.30	1200	2.12	0.49	2.12	0.42	2.12	0.43	2.12	0.45

ต่อตารางที่ ก-18 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเรียบผิวที่ความเร็วในการเจียระไน 0.3 mm/min

Item	Condition		Observe pcs.						Data Average	
			1		2		3			
	v_s	v_d	t (min)	Ra	t (min)	Ra	t (min)	Ra	t (min)	Ra
24	0.30	1200	2.12	0.49	2.12	0.42	2.12	0.43	2.12	0.45
25	0.30	1250	2.1	0.38	2.1	0.43	2.1	0.35	2.10	0.39
26	0.30	1300	2.1	0.39	2.1	0.44	2.1	0.42	2.10	0.42
27	0.30	1350	2.1	0.44	2.1	0.36	2.1	0.39	2.10	0.40
28	0.30	1400	2.1	0.41	2.1	0.44	2.1	0.38	2.10	0.41
29	0.30	1450	2.1	0.42	2.1	0.32	2.1	0.38	2.10	0.37
30	0.30	1500	2.1	0.33	2.1	0.32	2.1	0.46	2.10	0.37

ตารางที่ ก-19 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเรียบผิวที่ความเร็วในการเจียระไน 0.8 mm/min

Item	Condition		Observe pcs.						Data Average	
			1		2		3			
	v_s	v_d	t (min)	Ra	t (min)	Ra	t (min)	Ra	t (min)	Ra
1	0.80	50	1.97	0.14	1.95	0.17	1.97	0.13	1.97	0.15
2	0.80	100	1.62	0.15	1.62	0.2	1.62	0.16	1.62	0.17
3	0.80	150	1.52	0.26	1.52	0.2	1.52	0.21	1.52	0.22
4	0.80	200	1.45	0.21	1.45	0.26	1.45	0.21	1.45	0.23
5	0.80	250	1.42	0.23	1.42	0.24	1.42	0.3	1.42	0.26
6	0.80	300	1.4	0.31	1.4	0.21	1.4	0.21	1.40	0.24
7	0.80	350	1.38	0.31	1.38	0.26	1.38	0.26	1.38	0.28
8	0.80	400	1.37	0.26	1.37	0.21	1.37	0.24	1.37	0.24
9	0.80	450	1.37	0.23	1.37	0.28	1.37	0.22	1.37	0.24
10	0.80	500	1.35	0.26	1.35	0.26	1.35	0.32	1.35	0.28

ต่อตารางที่ ก-19 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเรียบผิวที่ความเร็วในการเจียระไน 0.8 mm/min

Item	Condition		Observe pcs.						Data Average	
			1		2		3			
	v_s	v_d	t (min)	Ra	t (min)	Ra	t (min)	Ra	t (min)	Ra
11	0.80	550	1.35	0.24	1.35	0.26	1.35	0.23	1.35	0.24
12	0.80	600	1.35	0.3	1.35	0.28	1.35	0.32	1.35	0.30
13	0.80	650	1.33	0.25	1.33	0.32	1.33	0.25	1.33	0.27
14	0.80	700	1.33	0.26	1.33	0.25	1.33	0.3	1.33	0.27
15	0.80	750	1.33	0.29	1.33	0.31	1.33	0.26	1.33	0.29
16	0.80	800	1.33	0.27	1.33	0.29	1.33	0.29	1.33	0.28
17	0.80	850	1.33	0.42	1.33	0.35	1.33	0.3	1.33	0.36
18	0.80	900	1.32	0.48	1.32	0.45	1.32	0.48	1.32	0.47
19	0.80	950	1.32	0.69	1.32	0.69	1.32	0.78	1.32	0.72
20	0.80	1000	1.32	0.8	1.32	0.71	1.32	0.77	1.32	0.76
21	0.80	1050	1.32	0.76	1.32	0.57	1.32	0.77	1.32	0.70
22	0.80	1100	1.32	0.71	1.32	0.62	1.32	0.65	1.32	0.66
23	0.80	1150	1.32	0.71	1.32	0.66	1.32	0.45	1.32	0.61
24	0.80	1200	1.32	0.58	1.32	0.55	1.32	0.62	1.32	0.58
25	0.80	1250	1.32	0.62	1.32	0.6	1.32	0.52	1.32	0.58
26	0.80	1300	1.32	0.49	1.32	0.57	1.32	0.41	1.32	0.49
27	0.80	1350	1.32	0.56	1.32	0.53	1.32	0.42	1.32	0.50
28	0.80	1400	1.32	0.44	1.32	0.44	1.32	0.46	1.32	0.45
29	0.80	1450	1.32	0.43	1.32	0.42	1.32	0.41	1.32	0.42
30	0.80	1500	1.3	0.43	1.3	0.4	1.3	0.44	1.30	0.42

ตารางที่ ก-20 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเรียบผิวที่ความเร็วในการเจียรไน 1.3 mm/min

Item	Condition		Observe pcs.						Data Average	
			1		2		3			
	v_s	v_d	t (min)	Ra	t (min)	Ra	t (min)	Ra	t (min)	Ra
1	1.30	50	1.8	0.15	1.8	0.09	1.8	0.17	1.8	0.14
2	1.30	100	1.47	0.22	1.47	0.18	1.47	0.18	1.47	0.19
3	1.30	150	1.35	0.26	1.35	0.2	1.35	0.25	1.35	0.24
4	1.30	200	1.3	0.24	1.3	0.3	1.3	0.23	1.3	0.26
5	1.30	250	1.25	0.25	1.25	0.19	1.25	0.23	1.25	0.22
6	1.30	300	1.23	0.26	1.23	0.24	1.23	0.27	1.23	0.26
7	1.30	350	1.22	0.26	1.22	0.24	1.22	0.25	1.22	0.25
8	1.30	400	1.2	0.29	1.2	0.31	1.2	0.32	1.2	0.31
9	1.30	450	1.2	0.25	1.2	0.33	1.2	0.26	1.2	0.28
10	1.30	500	1.18	0.28	1.18	0.28	1.18	0.27	1.18	0.28
11	1.30	550	1.18	0.29	1.18	0.3	1.18	0.29	1.18	0.29
12	1.30	600	1.18	0.32	1.18	0.31	1.18	0.32	1.18	0.32
13	1.30	650	1.17	0.34	1.17	0.36	1.17	0.31	1.17	0.34
14	1.30	700	1.17	0.38	1.17	0.32	1.17	0.4	1.17	0.37
15	1.30	750	1.17	0.37	1.17	0.51	1.17	0.37	1.17	0.42
16	1.30	800	1.17	0.48	1.17	0.48	1.17	0.45	1.17	0.47
17	1.30	850	1.17	0.61	1.17	0.65	1.17	0.69	1.17	0.65
18	1.30	900	1.17	0.66	1.17	0.65	1.17	0.7	1.17	0.67
19	1.30	950	1.17	0.81	1.17	0.71	1.17	0.76	1.17	0.76
20	1.30	1000	1.15	0.81	1.15	0.67	1.15	0.65	1.15	0.71
21	1.30	1050	1.15	0.57	1.15	0.66	1.15	0.78	1.15	0.67
22	1.30	1100	1.15	0.6	1.15	0.65	1.15	0.64	1.15	0.63
23	1.30	1150	1.15	0.62	1.15	0.44	1.15	0.63	1.15	0.56
24	1.30	1200	1.15	0.57	1.15	0.5	1.15	0.58	1.15	0.55
25	1.30	1250	1.15	0.51	1.15	0.47	1.15	0.43	1.15	0.47

ต่อตารางที่ ก-20 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาและความเรียบผิวที่ความเร็วในการเจียระไน 1.3 mm/min

Item	Condition		Observe pcs.						Data Average	
			1		2		3			
	v_s	v_d	t (min)	Ra	t (min)	Ra	t (min)	Ra	t (min)	Ra
25	1.30	1250	1.15	0.51	1.15	0.47	1.15	0.43	1.15	0.47
26	1.30	1300	1.15	0.4	1.15	0.43	1.15	0.4	1.15	0.41
27	1.30	1350	1.15	0.47	1.15	0.44	1.15	0.41	1.15	0.44
28	1.30	1400	1.15	0.47	1.15	0.4	1.15	0.54	1.15	0.47
29	1.30	1450	1.15	0.47	1.15	0.4	1.15	0.5	1.15	0.46
30	1.30	1500	1.15	0.41	1.15	0.43	1.15	0.46	1.15	0.43

ภาคผนวก ข.
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

การหาเวลาที่เหมาะสมที่สุดของงานเจียรระโนผิวด้านนอกชิ้นงานที่มีลักษณะทรงกระบอก

Optimization of Cycle time for Grinding the Surface of a Cylinder

อนุสรณ์ วัชรวิไล

มิ่ง โลกิจแสงทอง

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องขัดผิวด้านนอกของชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก โดยการศึกษาทำการทดลองบนเครื่องจักรสำหรับเจียรระโนชิ้นงานทรงกระบอกที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต วัสดุคืบที่ใช้ในการทดลอง คือ FCD250C ความแข็ง 50 HRC ซึ่งตัวแปรอิสระที่มีความสำคัญสำหรับงานเจียรระโนนี้ ประกอบด้วย ความเร็วในการป้อน (Infeed velocity) สำหรับเจียรระโน และความเร็วในการปาดหน้าหิน (Dressing Infeed velocity) ก่อนที่จะนำมาหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดจะต้องหาสมการวัตถุประสงค์ในรูปตัวแปรของเวลา และสมการควบคุมในรูปตัวแปรของความเรียบผิว สมการทั้งสองนี้ได้มาโดยขั้นตอนแรกเป็นการเก็บข้อมูลคืบจากการทดลองในสภาพการทำงานจริงในโรงงานอุตสาหกรรมและขั้นตอนที่สองใช้วิธี Quadratic regression ในการหาสมการที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้อาจจากการทดลอง และทำการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดจากการเขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ฯ ได้ค่ารอบเวลาที่เหมาะสมที่สุดแล้วนำไปตรวจสอบเทียบกับการใช้งานจริงของเครื่องจักร

Abstract

The purpose of this research is to study optimal cycle time for external cylinder grinding machine. The experiment was done on the actual machine in the manufacturing process. The raw material in the test is FCD250C with hardness of 50 HRC. The involved independent parameters consist of infeed velocity, v_s for grinding and dressing infeed velocity, v_d . Prior to applying optimization technique, the objective function and constrained function have been obtained by firstly collecting raw data from the grinding machine in factory and then by the quadratic regression method. By using a computer program on optimization techniques, the optimal cycle time was computed and its value was then checked on the grinding machine.

1. บทนำ

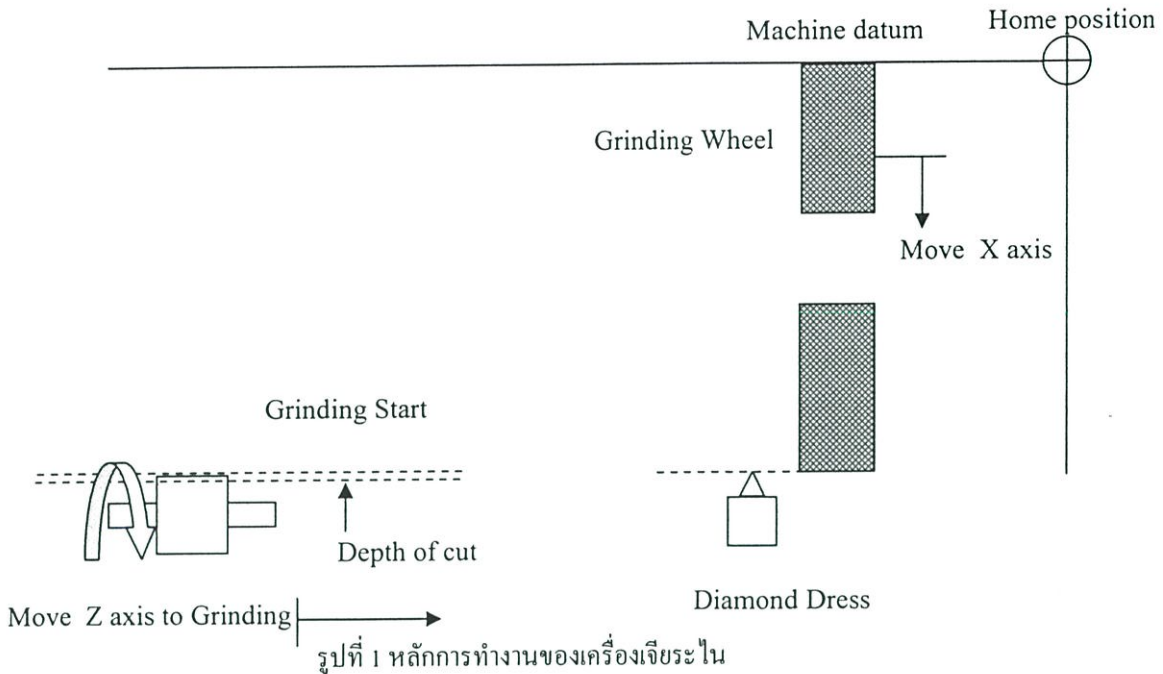
การศึกษาการออกแบบ การควบคุมและการค้นหาสภาพที่เหมาะสมในกระบวนการเจียรระโนเป็นพื้นฐานที่สำคัญเพราะความต้องการของงานเจียรระโนนั้นต้องการผลลัพธ์ดังต่อไปนี้[1]

- ต้นทุนสำหรับกระบวนการผลิตงานเจียรระโนที่ต่ำทำให้เกิดการแข่งขันได้ ซึ่งการที่จะทำเช่นนี้ได้จำเป็นจะต้องลดการสึกหรอของอุปกรณ์ต่างๆ อย่างเช่นหินเจียรระโนและหัวข้อที่สำคัญมากคือลดของเสียจากกระบวนการผลิตและ

การประกันคุณภาพ

- ลดปัญหาในการที่จะมีบุคคลเข้าไปแก้ไขตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
- การเปลี่ยนความต้องการเฉพาะที่จะให้ผลิตชิ้นงานออกมาในกระบวนการผลิตจะต้องไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน

เลื่อนมาในตำแหน่งพร้อมที่จะทำการปาดหน้าของหินเจียรไนซึ่ง ที่ขั้นตอนนี้หินเจียรไนจะมีขนาดลดลงทุกๆ รอบที่มีการเข้ามาปาดหน้าหินการกำหนดระยะการลดขนาดของหินเจียรไนจะเป็นไปตามการกำหนดค่าในโปรแกรมของเครื่องจักร ในลำดับถัดมาเมื่อหินเจียรไนเคลื่อนที่มาตามแนวแกน X หินเจียรไนจะเข้ามาหยุดอยู่



การค้นหาสภาพที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเจียรไน จำเป็นที่จะต้องศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ ที่มีส่วนในการควบคุมกระบวนการผลิตและการได้มาของผลลัพธ์ข้างต้น ในกระบวนการเจียรไนที่จะให้ประสิทธิภาพสูงจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะต้องศึกษาจากความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการทดลองแล้วนำมาสร้างเป็นสมการที่เหมาะสมกับข้อมูลขึ้นมา

มีผู้ทำงานวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ทำหินเจียรไนโดยแบ่งออกเป็นแบบ CBN และ Al_2O_3 โดยการทดสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ความเรียบผิวที่ดีที่สุดและใช้พลังงานในการผลิตต่ำที่สุดจากการศึกษาพบว่าหินเจียรไนแบบ CBN ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบ[2]

2. หลักการทำงานของเครื่องจักร

เครื่องจักรจะถูกกำหนดตำแหน่งอยู่ที่ Home position แสดงดังรูปที่ 1 เมื่อเริ่มกด Start หินเจียรไนจะ

ในตำแหน่งที่กำหนดแล้ว หัวเพชร (Diamond Dress) ที่ติดตั้งกับแกน slide ตามแนวแกน z จะเลื่อนเข้ามาทำการปาดหน้าหินเพื่อให้ผิวหน้าหินเจียรไนเกิดความเรียบสม่ำเสมอ และในขั้นตอนนี้นขนาดของหินเจียรไนจะลดขนาดตามค่าที่ได้ตั้งไว้ในที่นี้กำหนดที่ 0.030 mm ซึ่งการปาดหน้าหินนี้เป็นการปรับแต่งความเรียบที่ผิวหน้าหินเจียรไน และขนาดของหินเจียรไน เพื่อให้การผลิตชิ้นงานมีการควบคุมคุณภาพเรื่องของความเรียบผิวและขนาดของชิ้นงาน เมื่อการปาดหน้าของหินเจียรไนเสร็จสิ้น หินเจียรไนที่ติดตั้งกับ Slide แกน x ก็จะเลื่อนกับสู่ตำแหน่ง Home position

เมื่อหินเจียรไนกลับสู่ตำแหน่ง Home position เครื่องจะสั่ง Slide แกน z เลื่อนชิ้นงานมาในตำแหน่งตรงกับหน้าหิน หินเจียรไนก็จะเลื่อนเข้ามาทำการเจียรไนชิ้นงาน ซึ่งความเร็วป้อน (Infeed velocity) ขณะเจียรไนจะขึ้นอยู่กับที่กำหนดในโปรแกรมของเครื่องจักร ซึ่งใน

จุดนี้มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานในเรื่องของความเรียบผิว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน เครื่องจักรที่ใช้ในการทำการทดลองเป็นเครื่องจักรที่มีความสามารถในการผลิตจริงในอุตสาหกรรม

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ทฤษฎีการคำนวณตัวคูณลากรองจ์ (LAGRANGE MULTIPLIER) เป็นรูปแบบสมการที่จะทำการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดดังนี้ [3]

$$\text{ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ } y = y(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

$$\text{เงื่อนไขบังคับ } \phi_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

$$\phi_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3)$$

วิธีการใช้ตัวคูณลากรองจ์ กำหนดว่าสภาพที่เหมาะสมที่สุด (optimum) เกิดขึ้นเมื่อค่าของ x สอดคล้องกับสมการต่อไปนี้

$$\nabla y - \lambda_1 \phi_1 - \dots - \lambda_m \phi_m = 0 \quad (4)$$

$$\phi_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (5)$$

$$\phi_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (6)$$

ดังนั้นโดยคำจำกัดความจะได้

$$\nabla y = \frac{\partial y}{\partial x_1} i_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} i_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} i_n \quad (7)$$

$\lambda_1, \dots, \lambda_m$ ที่แสดงในสมการที่ (7) เป็นค่าคงที่และถูกเรียกว่า ตัวคูณลากรองจ์ (Lagrange multiplier) ซึ่งจะรู้ค่าได้ก็คือเมื่อทั้งกลุ่มของระบบสมการถูกแก้แล้ว สมการที่ (7) เป็นสมการเวกเตอร์จะเห็นว่าผลรวมของเทอมด้านซ้ายจะเป็นศูนย์ซึ่งหมายความว่าสัมประสิทธิ์ของเวกเตอร์หน่วย แต่ละตัวรวมกันแล้วต้องมีค่าเป็นศูนย์ สมการเวกเตอร์ (7) คือรูปแบบสั้นๆ ของสมการสเกลาร์ n สมการต่อไปนี้

$$i_1: \frac{\partial y}{\partial x_1} - \lambda_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial x_1} - \dots - \lambda_m \frac{\partial \phi_m}{\partial x_1} = 0 \quad (8)$$

.....

$$i_n: \frac{\partial y}{\partial x_n} - \lambda_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial x_n} - \dots - \lambda_m \frac{\partial \phi_m}{\partial x_n} = 0 \quad (9)$$

สมการสเกลาร์จำนวน n สมการ (จากสมการ (8) ถึง (9)) และเงื่อนไขบังคับจำนวน m สมการ (จากสมการ (2) ถึง (3)) จะประกอบขึ้นเป็น $m+n$ สมการซึ่งต่อไปจะถูกแก้เพื่อหาตัวไม่ทราบค่า x_1, x_2, \dots, x_n และ $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ (เครื่องหมาย * หมายถึงค่าที่เป็นคำตอบซึ่งให้สภาพเหมาะสมที่สุด) เมื่อแทนค่า x^* ต่างๆ เข้ากลับเข้าไปในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ก็จะได้ค่า y ที่เหมาะสมที่สุด

3.2 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีกับโจทย์

รูปแบบสมการและตัวแปรในการคำนวณ ในการหาสภาพเหมาะสมของเวลางานเจียรระไน เริ่มต้นจากการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อเวลา และมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานคือค่าความเรียบผิว เพราะในการผลิตจริงเราไม่สามารถคำนึงถึงเวลา หรือ คุณภาพความเรียบผิวอย่างใดอย่างหนึ่งได้ดังนั้นทั้งเวลา และความเรียบผิวจึงต้องเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการทดลอง ที่ต้องอ้างอิงถึงเราจึงกำหนด สมการที่เป็น สมการวัตถุประสงค์ คือ สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$t = f(v_s, v_d, w_s, w_w) \quad (10)$$

t คือ รอบเวลาในการผลิตชิ้นงาน (min)

v_s คือ ความเร็วขณะเจียรระไนชิ้นงาน (mm/min)

v_d คือ ความเร็วขณะปาดหน้าหินเจียรระไน (mm/min)

w_s คือ ความเร็วเชิงมุมของหินเจียรระไนคงที่ 1600 rpm

w_w คือ ความเร็วเชิงมุมของชิ้นงาน (rpm)

จากสมการด้านบนเป็นสมการที่ต้องการหาเวลาที่ให้เหมาะสมที่สุดที่การผลิตชิ้นงานให้มีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดคือค่าความเรียบผิว $Ra \leq 0.3 \mu\text{m}$ ซึ่งเรานำมาเขียนเป็นสมการควบคุมสามารถเขียนเป็นรูปแบบได้ดังนี้

$$R = f(v_s, v_d, w_s, w_w) \leq 0.3 \quad (11)$$

การสร้างฟังก์ชันซึ่งมีตัวแปรอิสระสองตัวในทางปฏิบัติเราจะพบว่าตัวแปรอิสระสองตัวที่มีความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นโค้งเราสามารถใส่รูปแบบของสมการควบคุมคราติกโดยใช้ข้อมูล 3 จุดจากการทดลองในการสร้าง

สมการซึ่งเราสามารถที่จะเขียน โพลีโนเมียลที่มีดีกรี 2 และ เป็นฟังก์ชันของตัวแปรอิสระ v_s, v_d ดังนี้[4]

$$y = c_1 + c_2 v_s + c_3 (v_s)^2 + c_4 v_d + c_5 (v_d)^2 + c_6 v_s v_d + c_7 v_d (v_s)^2 + c_8 v_s (v_d)^2 + c_9 (v_s)^2 (v_d)^2 \quad (12)$$

เมื่อนำข้อมูล 3 จุดจากการทดลองแทนค่าในสมการจะสามารถหาสัมประสิทธิ์ไม่ทราบค่า c_1 ถึง c_9 ได้

4. การทดลอง

4.1 ขอบเขตการทดลองและขั้นตอนการทดลอง

การทดลองเครื่องจักรใช้อุปกรณ์และค่าเงื่อนไขที่ควบคุมดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการเจียรไน (Grinding Condition)

Wheel speed	1600 rpm (None adjust)
Wheel Diameter	290 mm
Wheel width	25 mm
Wheel grinding type	RF x m KB-SA-AA100-WR7
Work piece material	FCD250C 50 HRC

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการปาดหน้าหิน (Dressing condition)

Dress type	Single diamond
Diamond width	1.1 mm
No.of dressing passes	1
Dressing depth	0.030 mm

การออกแบบการทดลองเพื่อหาสมการวัตถุประสงค์ (Objective function) ของรอบเวลาการผลิตชิ้นงานจะทำการทดลองโดยเก็บข้อมูลความสัมพัทธ์ของแต่ละตัวแปรที่มีผลต่อรอบเวลาตามเงื่อนไขในตารางที่ 3 ตารางที่ 3 กำหนดเงื่อนไขในการทดลองดังนี้

รอบเวลา(t)	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)
t_1	0.3	50 -1500;step 50
t_2	0.8	50 -1500;step 50
t_3	1.3	50 -1500;step 50

โดยที่ $w_w = 150$ rpm $t_4 = (w_w = 50 - 500 \text{ step } 50 \text{ rpm} , v_s = 0.8 \text{ mm/min} , v_d = 150 \text{ mm/min})$

ซึ่งจากผลการทดลองเราจะได้นิยามความสัมพัทธ์ของสมการวัตถุประสงค์(Objective function) ของรอบเวลาการผลิตว่ามีแนวโน้มเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งเพื่อจะนำไปเลือกวิธีการที่จะสร้างเป็นรูปแบบสมการที่เหมาะสมต่อไป

การออกแบบการทดลองเพื่อหาสมการควบคุม (Constrained function) จะเห็นว่าจะต้องหาความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวที่มีความสัมพันธ์กับความเรียบผิวสำหรับการตรวจวัดความเรียบผิวกำหนดวิธีวัดเป็นรูปแบบ Ra (Roughness average) ทำโดยเครื่องมือวัดมาตรฐาน Roughness Tester

ตารางที่ 4 เงื่อนไขความเรียบผิว

ความเรียบผิว (R)	v_s (mm/min)	v_d (mm/min)
R_1	0.3	50 -1500;step 50
R_2	0.8	50 -1500;step 50
R_3	1.3	50 -1500;step 50

ที่ $w_w = 150$ rpm จำนวนตัวอย่างทดลอง 5 ชิ้น/ เงื่อนไข

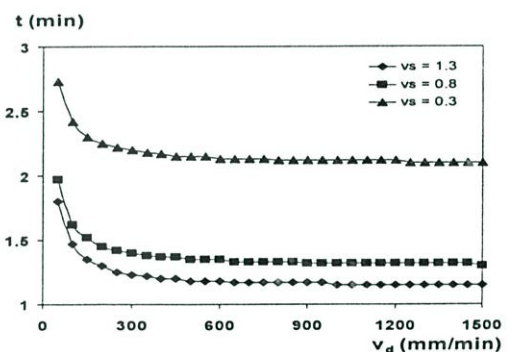
$R_4 = (w_w = 50 - 500 \text{ step } 50 \text{ rpm} , v_s = 0.8 \text{ mm/min} ,$

$v_d = 150 \text{ mm/min})$ จำนวนตัวอย่างทดลอง 5 ชิ้น/ เงื่อนไข

การหาความสัมพันธ์ของความเรียบกำหนดตามตารางที่ 4

4.2 ผลการทดลอง

ผลทดลองเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ของรอบเวลาแสดงดังรูปที่ 2

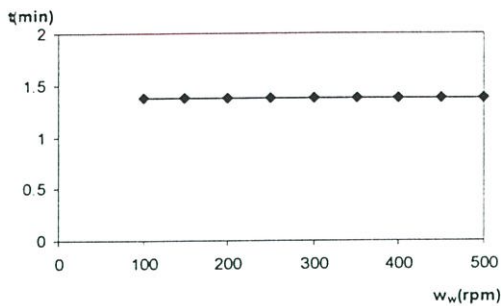


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลา(นาที)กับความเร็วปาดหน้าหิน (Infeed dressing) ที่ความเร็วในการป้อนต่างๆ

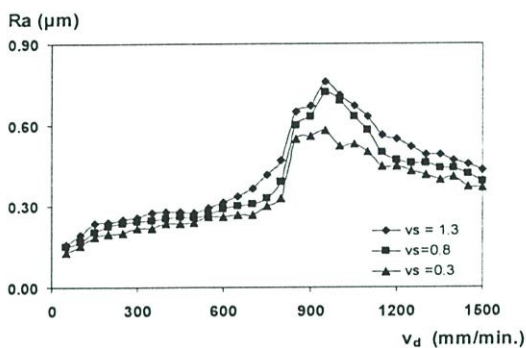
จะเห็นว่าผลที่ได้จากข้อมูลการทดลองที่ v_d มากกว่า 800 mm/min เป็นต้นไปพบการเปลี่ยนแปลงของรอบเวลาน้อยมากและมีแนวโน้มคงที่

ผลการทดลองความสัมพันธ์ของเวลากับความเร็วรอบของชิ้นงาน จากรูปที่ 3 จะแสดงให้เห็นว่ารอบเวลาและความเร็วรอบของชิ้นงานไม่มีความสัมพันธ์กันเนื่องจากความเร็วรอบเพิ่มขึ้นแต่รอบเวลายังคงที่ตลอด

จนถึงความเร็วรอบสูงสุดที่เครื่องจักรสามารถทำได้ที่ 500 rpm ดังนั้นเราจึงไม่นำความเร็วรอบของชิ้นงานมาพิจารณาในตัวแปรของรอบเวลาผลิตและผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของความเรียบผิวแสดงได้ดังรูปที่ 4

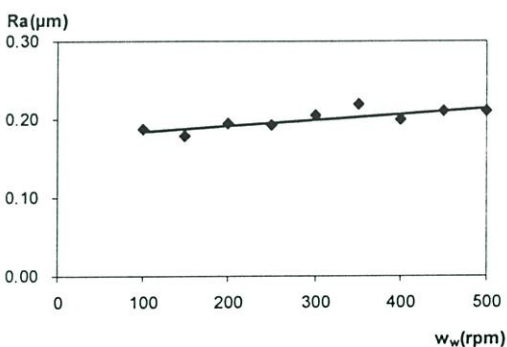


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาด้วยความเร็วรอบของชิ้นงานที่ ($v_s=0.8$ mm/min, $v_d=150$ mm/min)



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบผิว Roughness (Ra) กับความเร็วปาดหน้าหิน (Infeed dressing) ที่ความเร็วในการป้อนต่างๆ

ผลการทดลองความสัมพันธ์ของค่าความเรียบผิว Roughness (Ra) กับความเร็วรอบของชิ้นงาน



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิว Roughness (Ra) กับความเร็วรอบของชิ้นงานที่เงื่อนไขการทดลอง $v_s=0.8$ mm/min, $v_d=150$ mm/min

จากรูปที่ 5 เห็นว่ามีความสัมพันธ์กันดังภาพแต่จากข้อมูลพบว่าการปรับความเร็วรอบของชิ้นงานมีผลเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานความเรียบผิวที่กำหนดคือ $Ra=0.3$ โดยค่าสูงสุดจากการทดลองที่ 500 rpm จะได้ค่าความเรียบผิว $Ra=0.21$ ดังนั้นในบทความนี้จะไม่นำมาพิจารณาเป็นตัวแปรในการหาสมการของความเรียบผิว

4.3 สมการที่ได้จากการทดลอง

จากข้อมูลการทดลองสมการที่ (10) เขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$t = f(v_s, v_d) \quad (13)$$

นำมาคำนวณโดยใช้รูปแบบของสมการควอดราติกสามารถเขียนเป็นสมการวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

$$t = 3.06 - 2.60v_s + v_s^2 - 0.00592v_d + 0.00000045v_d^2 - 0.001145v_s v_d + 0.00095v_d v_s^2 + 0.000001375v_d^2 v_s - 0.00000125v_d^2 v_s^2 \quad (14)$$

$$t ; (0.3 \leq v_s \leq 1.3), (50 \leq v_d \leq 800)$$

ค่าคุณภาพของเส้นเหมาะสม $r^2 = 0.92$

จากข้อมูลการทดลองสมการที่ (11) เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$R = f(v_s, v_d) \leq 0.3 \quad (15)$$

นำมาคำนวณโดยใช้รูปแบบของสมการควอดราติกสามารถเขียนเป็นสมการควบคุมได้ดังนี้

$$R = 0.2252 - 0.238 v_s + 0.18 v_s^2 + 0.000051 v_d - 0.000000575 v_d^2 + 0.001335 v_s v_d - 0.00085 v_d v_s^2 - 0.000001875 v_d^2 v_s + 0.00000125 v_d^2 v_s^2 \leq 0.3 \quad (16)$$

$$R ; (0.3 \leq v_s \leq 1.3), (50 \leq v_d \leq 800)$$

ค่าคุณภาพของเส้นเหมาะสม $r^2 = 0.95$

5. การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด

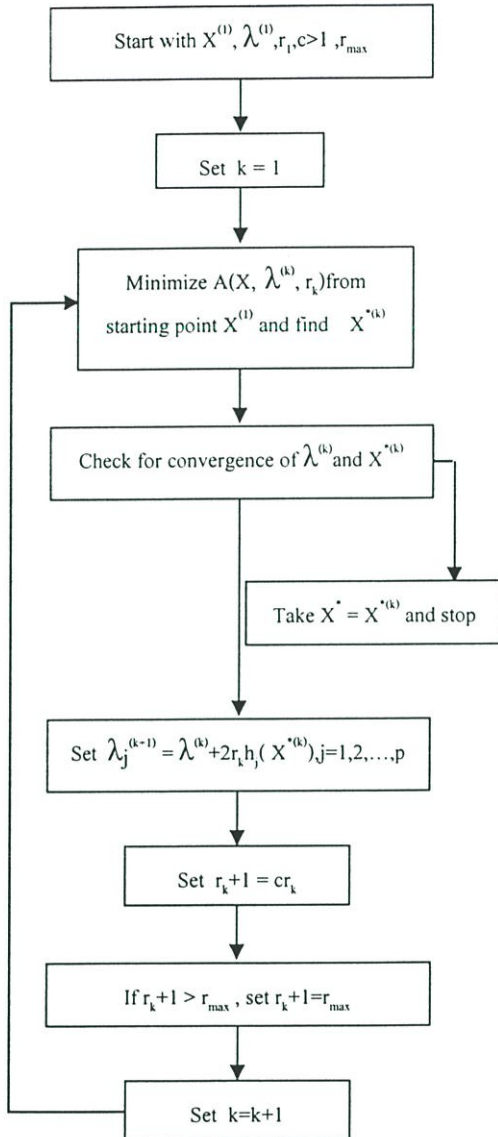
จากสมการวัตถุประสงค์(14) และสมการควบคุม (16) ที่ได้จากการทดลองเรานำมาใช้ในการหาผลลัพธ์ที่ต้องการคือเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานที่เหมาะสมที่สุดโดยคำนึงถึงคุณภาพในการผลิตชิ้นงานซึ่งจากทฤษฎีสมการตัวคูณลากรองจ์ (Lagrange Multiplier Equation) สามารถหาผลลัพธ์โดยออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตาม Flow chart [3] ดังรูปที่ 6

$$v_s = 1.17 \text{ mm/min}$$

$$v_j = 226 \text{ mm/min}$$

ซึ่งเมื่อแทนค่าจุดที่เหมาะสมที่สุดลงในสมการ Objective function (14) จะได้ผลลัพธ์รอบเวลาที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

$$t^* = 1.27 \text{ min or } 76.2 \text{ sec.}$$



รูปที่ 6 วิธีการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดย Lagrange multiplier

จากผลลัพธ์ในการคำนวณข้างต้นนำไปเข้าสู่การทดสอบในกระบวนการผลิตจริงซึ่งการควบคุมเป็นไปตามเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง

6. สรุปผลการทดลอง

จากผลการคำนวณหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ได้รอบเวลาในการผลิตชิ้นงานที่เหมาะสมที่สุดข้างต้น นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาทดสอบในการผลิตจริงได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณและจากการผลิตสรุปจากจำนวนตัวอย่าง 30 ข้อมูล

ผลลัพธ์จากการคำนวณ	ผลลัพธ์จากการผลิต
$t^* = 1.27 \text{ min}$	$t_{\text{actual}} = 1.25 \text{ min}$
$Ra = 0.3 \text{ }\mu\text{m}$	$Ra(\text{avg.}) = 0.26 \text{ }\mu\text{m}$

จากผลการทดลองนำมาสู่การคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตนั้นพบว่าผลจากการคำนวณทำให้เราสามารถที่จะลดเวลาในการผลิตชิ้นงานซึ่งจากเดิมรอบเวลาในการผลิตอยู่ที่ 1.52 นาที โดยหลังจากที่ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการผลิตตามผลที่ได้จากการคำนวณรอบเวลาในการผลิตจะอยู่ที่ 1.25 นาทีซึ่งทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตขึ้นได้อีก 18 % ในช่วงเวลาการทำงานที่เท่ากัน ซึ่งจะเห็นว่าการนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาประยุกต์ใช้จะทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตโดยที่ยังไม่ต้องลงทุนอื่นๆ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Debkowski, M. Urbaniak, "Advisory system for grinding operation planning," Archives of Civil and Mechanical Engineer, Vol. 2, 2002, pp.62-71
- [2] M.P. Hitchiner, "Technological Advances in Creep Feed Grinding of Superalloys with CBN," 3rd International Machining and Grinding Conference, Ohio, October 1999, pp.4-7
- [3] Singiresu S. RAO. Engineering Optimization Theory and Practice. Third Edition. New York : John Wiley & Sons, Inc. 1996.
- [4] สมชาย วงศ์วิเศษ, "การออกแบบและการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดทางความร้อน," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอนุสรณ์ วัชรวิไล
วัน เดือน ปีเกิด	25 มกราคม 2520 ที่ขอนแก่น
ที่อยู่	199/494 หมู่บ้านพฤษภา 15 ถ.คำหรุ-บางพลี ตำบลแพรกษาใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10280 โทร0-2347-4729
ประวัติการศึกษา	2542 อดุสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ (เกียรตินิยมลำดับ 2) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1) การออกแบบระบบลำเลียงวัสดุด้วยลม 2) การออกแบบระบบลำเลียงวัสดุเช่น สายพาน
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2543-2544	ตำแหน่งวิศวอุตสาหกรรม บริษัทสยามบราเดอร์จำกัด
พ.ศ. 2544-2546	ตำแหน่งวิศวอุตสาหกรรม บริษัทเคลต้า อิเล็กทรอนิกส์ มหาชน
ปัจจุบัน	ตำแหน่งรองผู้จัดการฝ่ายผลิต บริษัทไทฟูโกกุ จำกัด