สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน เอสเคดี 11 ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ

นายภาณุวัฒน์ อำไพจิตต์
นายวิชัย สารรัตน์
นายสุทัศ เฉลิมญาติ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61924
วัน,เดือน,ปี 25 ก.ค. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON PARAMETERS AFFECTING SURFACE ROUGHNESS OF SKD 11 TOOL STEEL MACHINED BY A CNC VERTICAL MILLING MACHINE

MR.PANUWAT AMPAIJIT
MR.WICHAI SARARAT
MR.SUTHAT CHALERMYARD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเอสเคดี 11 ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ

A STUDY ON PARAMETERS AFFECTING SURFACE ROUGHNESS OF SKD 11 TOOL STEEL MACHINED BY A CNC VERTICAL MILLING MACHINE

นักศึกษา

นายภาณุวัฒน์	อำไพจิตต์	รหัสประจำตัว 45015907
นายวิชัย	สารรัตน์	รหัสประจำตัว 45015909
นายสุทัศ	เฉลิมญาติ	รหัสประจำตัว 45015917

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเอสเคดี 11 ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ
นักศึกษา	นายภาณุวัฒน์ อำไพจิตต์ นายวิชัย สารรัตน์ นายสุทัศ เฉลิมญาติ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ จากการออกแบบการทดลอง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการทดลอง โดยมีการกำหนดค่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญ ประกอบด้วย ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน ค่าความเร็วรอบ ค่าความเร็วลึกมุมตัด ในระดับปัจจัยที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ว่าทุกปัจจัยมีผลอย่างนัยสำคัญที่ 0.05 และการประมวลผลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและสร้างสมการคาดการณ์ เพื่อหาค่าความหยาบผิว จากตัวแปรที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงานผลการทดลองที่ได้จากสมการถดถอยเชิงเส้น สามารถทำนายค่าความหยาบผิวได้ค่อนข้างแม่นยำโดยมีความผิดพลาดในการทำนายเฉลี่ยเท่ากับ 9.85%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study on Parameters Affecting Surface Roughness of SKD 11 Tool Steel Machined by a CNC Vertical Milling Machine
Student	Mr.Panuwat Ampaijit
	Mr.Wichai Sararat
	Mr.Suthat Chalermyard
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2004
Thesis Advisor	Dr.Kannachai Kanlayasiri

ABTRACT

This project aims at studying cutting variables affecting surface roughness of SKD11 tool steel machined by end milling. An experiment is designed to test the significance of cutting conditions including.....feed rate, speed, and depth of cut. The experimental design used in this investigation is fractional factorial design. Results show that at 0.05 significance level, feed rate, speed, and depth of cut have significant effect on surface roughness of the workpiece. Linear regression is then applied to develop an empirical model for predicting the surface roughness. The model is validated with a new set of experimental data, and it demonstrates a decent prediction accuracy with an average error of 9.85%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะคำแนะนำและการสนับสนุนของอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างดีตลอดเสมอมาจนโครงงานนี้สำเร็จเสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ

ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งมอบความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือทุกๆด้านรวมถึงความเอาใจใส่ในการทำปริญญานิพนธ์เป็นอย่างดีและทุกๆ สิ่งที่อาจารย์มอบให้แก่กลุ่มผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาในการทำโครงงาน

อาจารย์วสุ อุดมเพทายกุล ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงให้ความกรุณาให้ใช้เครื่องเครื่องกัดอัตโนมัติ และเสียสละเวลามาให้ความรู้ คำแนะนำด้านการใช้เครื่องกัดอัตโนมัติและมอบความสะดวกในการทดลองและปฏิบัติงานตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาในการทำโครงงาน

ขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ เป็นอย่างสูงที่สุดในการให้โอกาสในการศึกษาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาที่มอบให้แก่กลุ่มผู้วิจัยทำให้มีความสำเร็จที่สดใสในวันนี้

ขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและภาควิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รวมทั้งอาจารย์ทุกท่าน

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่น้องชาวลาดกระบังทุกคนที่ให้ความรู้สึกดีๆ ที่มีให้กันตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาและให้กำลังใจในการทำโครงงานตลอดเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณหนังสือทุกเล่มที่ใช้ในการศึกษาข้อมูลในการค้นคว้าในการทำปริญญานิพนธ์และแหล่งความรู้ทุกแหล่งข้อมูลอันทรงคุณค่าสำหรับการทำโครงงานนี้

นายภาณุวัฒน์ อำไพจิตต์
นายวิชัย สารรัตน์
นายสุทัศ เฉลิมญาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องจักรกลซีเอ็นซีสำหรับงานกัด 3

2.1.1 องค์ประกอบของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี 3

2.1.2 การทำงานของเครื่องจักรกลเอ็นซี 4

2.1.3 ข้อมูลการตัดเฉือนโลหะสำหรับงานกัด 4

2.2 การตัด 6

2.2.1 เครื่องมือสำหรับนิวเมอริคอลคอนโทรล 6

2.2.2 ทฤษฎีงานกัดความหมายของงานกัด 8

2.3 หลักการออกแบบการทดลอง 11

2.3.1 ปัจจัยในการผลิต 12

2.3.2 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง 13

2.3.3 คำจำกัดความ 13

2.3.4 หลักในการออกแบบการทดลอง 13

2.3.5 ขั้นตอนการออกแบการทดลอง 14

2.3.6 การใช้หลักทางสถิติในการทดลอง 15

2.3.7 การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ 16

2.3.8 ชนิดของแผนการออกแบบการทดลอง 17

2.3.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.10 แบบจำลองการถดถอย....24
2.3.11 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง....26
2.4 ความสำคัญของความหยาบผิว....26
2.4.1 ความหยาบผิว....27
2.4.2 การเกิดสภาพของผิว....27
2.4.3 ลักษณะการเบี่ยงเบนของผิวชิ้นงาน....28
2.4.4 จุดประสงค์ของเครื่องมือวัดและตรวจสอบความหยาบผิว....31
2.4.5 รายละเอียดของเครื่องวัดค่าความหยาบผิว....31
2.4.6 แผ่นเทียบผิว....31
2.4.7 ลักษณะโครงสร้างแผ่นเทียบผิว....32
2.4.8 การใช้แผ่นเทียบผิวตรวจสอบผิวงาน....32
2.4.9 ข้อควรระวังและการดูแลรักษาแผ่นเทียบผิว....32
2.4.10 ค่าที่เกี่ยวข้องกับความหยาบผิว....32
2.4.11 วิธีการแสดงค่าความหยาบผิว....33

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง....36
3.1.1 ดอกกัดเอนมิล....36
3.1.2 ชิ้นงานทดลอง....37
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง....38
3.2.1 เครื่องกัดอัตโนมัติ....38
3.2.2 เครื่องวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน....38
3.2.3 เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์....39
3.3 หลักการออกแบบการทดลอง....40
3.3.1 ทำความเข้าใจถึงปัญหา....40
3.3.2 เลือกพารามิเตอร์ ระดับ และขอบเขต....40
3.3.3 เลือกการออกแบบการทดลอง....41
3.3.4 แผนการทดลอง....41
3.4 ขั้นตอนการทดลอง....45
3.4.1 ขั้นตอนก่อนการทดลอง....45
3.4.2 ขั้นตอนระหว่างการทดลอง....46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.3 ขั้นตอนหลังการทดลอง....46

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลของการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน....48

4.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน....49

4.1.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ....50

4.1.3 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิว....56

4.2 ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ได้จากการทดลอง....58

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง....60

5.2 ข้อเสนอแนะ....61

บรรณานุกรม....62

ภาคผนวก ก....ผก 1

ก1. ผลการทดลอง 81 การทดลอง....ผก 2

ก2. วิเคราะห์ผลการทดลอง 81 การทดลอง....ผก 4

ก3. วิเคราะห์ผลการทดลอง 24 การทดลอง....ผก 8

ก4. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอย....ผก 15

ภาคผนวก ข....ผข 1

ข1. ข้อมูลรายละเอียดคอกกัดเอนมิล....ผข 2

ข2. แหล่งที่มาของเหล็กที่ใช้ในทดลอง....ผข 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงการคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน....22
ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะการเบี่ยงเบนของผิวชิ้นงาน....29
ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อร่องลึกความหยาบผิว....31
ตารางที่ 3.1 ปัจจัยและระดับที่เลือกใช้ในการทดลอง....41
ตารางที่ 3.2 เมตริกการออกแบบการทดลอง....42
ตารางที่ 3.3 การสุ่มอย่างสมบูรณ์....43
ตารางที่ 3.4 ตารางบันทึกผลการทดลองอย่างง่าย....44
ตารางที่ 4.1 ค่าความหยาบผิวของชิ้นจากการทดลอง....48
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน....49
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นเชิงซ้อน....57
ตารางที่ 4.4 สัมประสิทธิ์ของการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอย....57
ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจากการทดลอง....58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลการตัดเฉือนโลหะสำหรับงานกัด....5
รูปที่ 2.2 รูปแบบของกระบวนการหรือระบบ....11
รูปที่ 2.3 แสดงอิทธิพลที่ไม่มีผลและอิทธิพลที่มีผลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์....12
รูปที่ 2.4 แสดงการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างกัน....18
รูปที่ 2.5 แสดงการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่มีอันตรกิริยาระหว่างกัน....18
รูปที่ 2.6 ช่วงของการเบี่ยงเบนผิวชิ้นงาน....28
รูปที่ 2.7 ลักษณะความแตกต่างระหว่างหัวลากกับหัวสัมผัส....30
รูปที่ 2.8 จำแนกลักษณะการเบี่ยงเบนผิวชิ้นงาน....30
รูปที่ 2.9 รูปหน้าตัดที่เป็นผลและรูปหน้าตัดดัดแปลงของความหยาบ....33
รูปที่ 2.10 ค่าพารามิเตอร์ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยทาง
คณิตศาสตร์ของพื้นที่หน้าตัดของค่าความหยาบผิว....34
รูปที่ 2.11 ค่าสูงที่สุดของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง
และค่าความสูงที่มีการเปลี่ยนแปลง 10 จุดของค่าความหยาบผิว....35
รูปที่ 3.1 ดอกกัดเอนมิล....37
รูปที่ 3.2 ชิ้นงานเหล็กเอสเคดี 11....37
รูปที่ 3.3 เครื่องกัดอัตโนมัติ....38
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน....39
รูปที่ 3.5 เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์....39
รูปที่ 4.1 กราฟการแจกแจงแบบปกติสำหรับค่าส่วนตกค้างของค่าความหยาบผิว....50
รูปที่ 4.2 ค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล....51
รูปที่ 4.3 ค่าส่วนตกค้างกับค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน....52
รูปที่ 4.4 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน....52
รูปที่ 4.5 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าความเร็วรอบ....53
รูปที่ 4.6 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าความเร็วลึกมุมตัด....53
รูปที่ 4.7 แสดงระดับของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพล
ต่อค่าความหยาบผิวกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว....54
รูปที่ 4.8 แสดงอันตรกิริยาระหว่างค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน
กับค่าความเร็วรอบกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว....54
รูปที่ 4.9 แสดงอันตรกิริยาระหว่างค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน
กับค่าความเร็วลึกมุมตัดกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 แสดงอันตรกิริยาระหว่างค่าความเร็วรอบ
กับค่าความเร็วสึกมุมตัดกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว.....55
รูปที่ 4.11 แสดงอันตรกิริยาระหว่างค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน
กับค่าความเร็วรอบและค่าความเร็วลึกมุมตัดกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว.....56
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจากการทดลอง.....59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงงาน

สภาวะอุตสาหกรรมได้นำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาทดแทนเทคโนโลยีเก่าที่ล้าสมัย เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพรวมทั้งยังช่วยลดเวลาในการทำงานอีกด้วยจุดมุ่งหมายที่สำคัญ คือ การที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกสู่ตลาดเป็นที่ยอมรับและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้เครื่องจักรที่ควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบัน

หากพิจารณาถึงชิ้นส่วนรถยนต์ชิ้นส่วนเครื่องใช้ชีวิตประจำวันล้วนแล้วแต่ผลิตด้วยเครื่องจักรที่ทันสมัย ส่วนสำคัญที่ควรพิจารณาและไม่ควรมองข้าม คือ ความหยาบของผิวชิ้นงานที่เป็นสิ่งบ่งบอกถึงคุณภาพของชิ้นงาน ถ้ามองย้อนกลับมาจะเห็นว่าค่าความหยาบชิ้นงานที่ดีนั้นต้องเริ่มจากแม่พิมพ์ที่มีคุณภาพซึ่งผิวของแม่พิมพ์ต้องมีความละเอียดอย่างมาก เพื่อที่จะทำให้ชิ้นงานที่ออกมามีคุณภาพตามไปด้วย

ดังนั้นเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์มีความสำคัญในการผลิตแม่พิมพ์เป็นอย่างมาก เช่น เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) เป็นเครื่องจักรที่ได้รับความนิยมใช้ในการผลิตแม่พิมพ์เพราะสามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดีอีกทั้งยังมีความแม่นยำสูงในเรื่องของขนาดที่ต้องการความหยาบผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์เป็นที่ชี้ให้เห็นถึงคุณภาพของชิ้นงาน

ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยสำหรับการทดลองและวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษาค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆในการทดลอง ดังนั้นเพื่อให้การใช้งานของเครื่องกัดที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวมากที่สุดมีผลอย่างไรต่อค่าความหยาบผิวและมีผลมากน้อยเพียงใดต่อค่าความหยาบผิวเหตุผลนี้เองจึงเป็นที่มาของการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเอสเคดี 11 ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน

1.2.1 เพื่อหาค่าความหยาบผิวของชิ้นงานโลหะจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) ที่ปัจจัยการทำงานต่างกัน

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าความหยาบของชิ้นงานโลหะที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ศึกษาเงื่อนไขการแปรรูปโลหะด้วยกรรมวิธีขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) โดยพิจารณาปัจจัยที่แตกต่างกัน 3 ตัว คือ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate), ค่าความเร็วรอบ (Speed) และค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) และวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมากสุด โดยการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) ที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่เกิดขึ้นและประมวลผลทางสถิติ จากนั้นสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้พยากรณ์ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่จะเกิดขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตของเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine)

1.4.2 มีข้อมูลในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) ในการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

1.4.3 ได้ประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านสถิติในการแก้ปัญหาและได้เรียนรู้สถิติขั้นสูงขึ้น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เพื่อที่จะได้ปฏิบัติการทดลองได้อย่างถูกต้องทฤษฎีมีความสำคัญมากในงานวิจัยนี้และทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยหลักๆ มีดังนี้

1. เครื่องจักรกลซีเอ็นซีสำหรับงานกัด
2. การตัด
3. หลักการออกแบบการทดลอง
4. ค่าความหยาบผิว

2.1 เครื่องจักรกลซีเอ็นซีสำหรับงานกัด

เครื่องจักรCNC (Computer Numerical Control) คือ เครื่องจักรกลการผลิตที่มีคอมพิวเตอร์ หรือไมโครโปรเซสเซอร์ สำหรับใช้ควบคุมการทำงาน

2.1.1 องค์ประกอบของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

เครื่องจักรกลซีเอ็นซี มีองค์ประกอบ 3 ส่วนหลัก ได้แก่

2.1.1.1 <u>ชุดควบคุม</u>

คอนโทรลเลอร์ของเครื่องซีเอ็นซีเป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถจัดเก็บโปรแกรมและแก้ไขดัดแปลงโปรแกรมได้คอมพิวเตอร์เข้าใจโปรแกรมที่ป้อนแล้วทำการควบคุมเครื่องจักรให้ทำงานตามคำสั่งในโปรแกรม

2.1.1.2 <u>กลไกการเคลื่อนที่</u>

กลไกการเคลื่อนที่ได้แก่ ฟีดมอเตอร์ (Feed Motor) ซึ่งเป็นเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ ได้ โดยใช้บอลสกรู (Ball Screw) แปลงการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นโดยมีตำแหน่งหรือระยะทางการเคลื่อนที่และความเร็วถูกควบคุมโดยรับสัญญาณจากคอนโทรลเลอร์

2.1.1.3 <u>ตัวเครื่องจักร</u>

ตัวเครื่องจักร คือ โครงสร้างที่ประกอบเป็นรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานตามประเภทของเครื่องจักรนั้นๆ ตัวเครื่องจักรมีส่วนประกอบหลัก เช่น แท่นเครื่องโต๊ะวางชิ้นงานแท่นติดตั้งสปินเดิลและมอเตอร์สปินเดิล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การทำงานของเครื่องจักรกลเอ็นซี

หลักการทำงานของเครื่องจักรกลเอ็นซีหรือซีเอ็นซีจะคล้ายคลึงกับเครื่องจักรกลทั่วไปกล่าวคือ โดยพื้นฐานเบื้องต้นแล้วเครื่องจักรกลเอ็นซีก็จะทำงานผลิตชิ้นงานเหมือนกับเครื่องจักรกลทั่วไป เช่น เครื่องจักรเอ็นซีก็จะทำงานเหมือนเครื่องกัดทั่วไปเพียงแต่ว่าระบบควบคุมเอ็นซีของเครื่องจะทำงานในขั้นตอนต่างๆ แทนช่างควบคุมเครื่อง อย่างไรก็ตาม ก่อนที่เครื่องจักรกลเอ็นซีจะสามารถทำงานได้นั้น ระบบควบคุมของเครื่อง จะต้องได้รับการบอกกล่าวเสียก่อนว่าจะให้ทำอะไร และจะต้องบอกกล่าวเป็นภาษาที่ระบบควบคุมสามารถเข้าใจได้นั่นคือจะต้องป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องผ่านแป้นพิมพ์ (Key Board) หรือเทปแม่เหล็ก (Magnetic Tape) ก็ได้

เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปแล้ว ก็จะนำไปควบคุมให้เครื่องจักรกลทำงานแต่เนื่องจากเครื่องจักรกลเอ็นซีไม่มีมือสำหรับหมุนมือหมุนให้แท่นแล่นเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นแท่นเลื่อนต่างๆ จะต้องมีมอเตอร์ป้อน (Feed Motor) ประกอบอยู่ เช่น เครื่องกัดซีเอ็น จะมีการเคลื่อนที่ 3 แนวแกนจะมีมอเตอร์ป้อน 3 ตัว

เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมแล้วก็จะเปลี่ยนรหัสโปรแกรมนั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงานแต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากระบบควบคุมนี้มีกำลังน้อยไม่สามารถไปหมุนขับให้มอเตอร์ทำงานได้ ดังนั้นจึงต้องส่งสัญญาณนี้เข้าไปในภาคขยายสัญญาณของระบบขับ (Drive Amplified) และส่งต่อไปยังมอเตอร์ป้อนของแนวแกนที่ต้องการเคลื่อนที่

ความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนจะต้องกำหนดให้ระบบควบคุมรู้ช่างควบคุมเครื่องอาศัยสายตามองดูตำแหน่งของคมตัดกับชิ้นงานก็จะรู้ว่าจะต้องเลื่อนแท่นเลื่อนไปอีกเป็นระยะทางเท่าใดแต่ระบบควบคุมเอ็นซีมองไม่เห็น ดังนั้นจึงต้องออกแบบอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่จะสามารถบอกตำแหน่งของแท่นเลื่อนให้ระบบควบคุมรู้ได้อุปกรณ์ชุดนี้เรียกว่า ระบบวัดขนาด (Measuring System) ซึ่งประกอบด้วยสเกลแนวตรง (Linear Scale) มีจำนวนเท่ากับจำนวนแนวแกนในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระยะทางที่แท่นเลื่อนเคลื่อนที่กับไปยังระบบควบคุม ทำให้ระบบควบคุมรู้ว่าแท่นเลื่อนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใดแล้ว

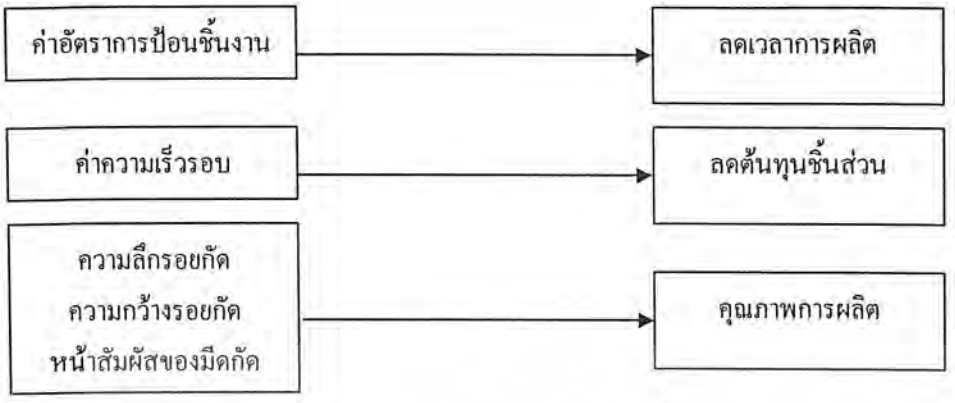
จากหลักการควบคุมการทำงานดังกล่าว ทำให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีสามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปทรงและขนาดที่ต้องการได้จากลักษณะโครงสร้างและการทำงานที่เหนือกว่าเครื่องจักรกลทั่วไป ทำให้เครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซีเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอัตโนมัติ และมีปริมาณความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

2.1.3 ข้อมูลการตัดเฉือนโลหะสำหรับงานกัด

ในหัวข้อนี้จะเป็นการแนะนำและอธิบายถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานกัดซึ่งจะมีพื้นฐานของข้อมูลที่คล้ายคลึงกับข้อมูลการตัดเฉือนโลหะสำหรับงานกลึง ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.1

ข้อมูลที่ช่างเขียนโปรแกรมจะต้องจัดเตรียมสำหรับการทำงานกัดได้แก่ ความเร็วรอบของเพลามีดกัด อัตราป้อน ความลึกหรือความกว้างรอยกัด และหน้าสัมผัสของมีดกัด ปัจจัยเหล่านี้จะต้องนำมาพิจารณาเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย 3 ประการ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลการตัดเฉือนโลหะสำหรับงานกัด

2.1.3.1 <u>เป้าหมายที่ 1 ลดเวลาการผลิต</u>

ปัจจัยสำคัญเกี่ยวกับเวลาการผลิต (Cycle Time) ที่สามารถควบคุมได้โดยช่างเขียนโปรแกรมเอ็นซี ได้แก่ ปริมาตรการตัดเฉือนเนื้อโลหะออกต่อนาที (Stock Removal Rate Per Minute) ซึ่งเป็นผลคูณของค่าอัตราป้อนกับหน้าสัมผัสของมีดกัด (Cut Engagement) กับความลึกหรือความกว้างของรอยกัด ค่าปัจจัยค่าหนึ่งค่าใดใน 3 ค่านี้ หากมีค่าใดสูงขึ้นก็จะเป็นผลให้ปริมาณการตัดเฉือนเนื้อโลหะออกต่อนาทีมีค่าสูงขึ้นด้วยสิ่งที่ควรคำนึงถึงประการหนึ่งก็คือ ถ้าปริมาตรการตัดเฉือนเนื้อโลหะออกมีอัตราที่สูงขึ้น ก็จะเป็นผลให้เครื่องมือตัดสึกหรอเร็วขึ้นด้วยทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาการผลิตสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการเปลี่ยนเครื่องมือตัดหรือคมตัด

2.1.3.2 <u>เป้าหมายที่ 2 ลดต้นทุนชิ้นส่วน</u>

การเพิ่มขึ้นของค่าข้อมูลการตัดเฉือนใดๆ ก็ตาม จะมีผลทำให้เวลาการผลิตต่อชิ้นลดลง ซึ่งจะเป็นการช่วยลดค่าแรงงานและค่าเครื่องจักรลดลงด้วย แต่ค่าเครื่องมือตัดจะสูงขึ้น เนื่องจากมีการสึกหรอสูง ดังนั้น จึงไม่ควรเลือกใช้ค่าข้อมูลการตัดเฉือนที่จะมีผลทำให้ค่าเครื่องมือตัดที่เกิดจากการสึกหรอสูงเกินระดับหนึ่ง ซึ่งอาจจะพิจารณาเลือกใช้สารหล่อเย็นเพื่อเพิ่มอายุคมมีดให้ยาวขึ้นด้วยก็ได้

2.1.3.3 <u>เป้าหมายที่ 3 คุณภาพการผลิตสูง</u>

การเลือกใช้ข้อมูลการตัดเฉือนจะถูกจำกัดด้วยผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณภาพสูง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับผิวสำเร็จและพิกัดความเผื่อของขนาดชิ้นงานสำเร็จการเลือกใช้ข้อมูลการตัดเฉือนจะต้องพิจารณาให้สัมพันธ์กันกับข้อมูลอื่นๆได้แก่

1. หมวดงานกัด เช่น งานกัดตาม งานกัดทวน งานกัดปาดหน้า เป็นต้น
2. รูปทรงของมีดกัด
3. ชนิดของขอบคมตัดที่ใช้ เช่น รูปทรงของขอบคมตัด วัสดุมีดกัด เป็นต้น
4. ภาระงานของเครื่องจักร เช่น ความสามารถในการรับความเค้น (Stressability)
5. คุณสมบัติการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เครื่องมือตัด และวัสดุงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การตัด

การทำงานของเครื่องตัด ไม่ว่าจะเป็นมีดกลึงหรือเครื่องมือกลใดๆ จะอยู่ภายใต้พื้นฐานของทฤษฎีอันเดียวกัน จุดประสงค์ของการทำงานใดๆ ก็ต้องการให้ได้มาซึ่งผลงานที่ดี งานเสร็จด้วยระยะเวลาอันสั้น ใช้ความพยายามไม่มาก และต้นทุนต่ำสุด

ความต้องการให้ได้การใช้งานที่ยาวนานที่สุดจากเครื่องมือก่อนที่จะต้องมีการเจียระไนใหม่ ความต้องการอันนี้เป็นวัตถุประสงค์อย่างหนึ่งของเทคโนโลยีเครื่องมือกล สมมติว่าเครื่องมือกลได้ออกแบบและทำขึ้นอย่างถูกต้องแล้ว ความเสียหายของเครื่องมือนั้นจะเกิดจากการที่คมตัดเกิดการสึกหรอ การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของเครื่องมือก็จะเกิดขึ้น การเปลี่ยนแปลงรูปทรงทางเรขาคณิตของเครื่องมือโดยทั่วไปก็คือการเปลี่ยนแปลงคมมีด ความเรียบ และมุมของมันเปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ก็จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งความร้อนอันนี้ทำให้ความแข็งของเครื่องมือลดลง การเปลี่ยนแปลงอันนี้ไม่ได้หมายความว่าเครื่องมืออ่อน แต่หมายความว่าประสิทธิภาพในการกัดของเครื่องมือบนชิ้นงานลดลง ด้วยความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของเครื่องมือเพื่อกัด กลึง ไส เจาะมากเกินไป ส่วนที่กัดเนื้อชิ้นงานจะเกิดการสึกและหน้าสัมผัสกับชิ้นงานก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความร้อนสูง ดังนั้นก็จะยิ่งทำให้คมของมันมีขนาดใหญ่ขึ้น การเกิดการอ่อนของเครื่องมือและหักสึกของคมเครื่องมือจะเกิดขึ้นจนกระทั่งเครื่องมือหักออกจากกัน

ด้วยเหตุนี้การหล่อลื่นหรือการระบายความร้อนที่ถูกต้อง รูปทรงเครื่องมือ มุมที่ถูกต้อง หน้าตัดของเครื่องมือ อัตราการป้อนที่เหมาะสม ความเร็วที่ถูกต้อง และการตั้งเครื่องมือให้เหมาะสมกับผิวของงาน ทั้งหมดจะช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้น และยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือ อายุของเครื่องมือนิยามเป็นความยาวนานของเวลาในการใช้งานของเครื่องมือ จนกระทั่งเกิดการเสียหายขึ้น สาเหตุอื่นๆ ของการเสียหายของเครื่องมือเป็นผลมาจากการเกิดความเค้นสูงโดยเครื่องมือและชิ้นงานกระทำต่อกัน หากโลหะเกิดความแข็งเนื่องจากการใช้งาน (Work Harden) ขึ้น จะทำให้ต้องใช้แรงอย่างมากในการที่มีดกัดหรือเครื่องมือกลจะปอกเนื้อโลหะออกมาได้ วัสดุบางชนิดมักเกิดความแข็งเนื่องจากการใช้งานขึ้นมากกว่าวัสดุอื่นซึ่งเป็นตัวประกอบสำคัญในกระบวนการตัด

2.2.1 เครื่องมือสำหรับนิวเมอริคอลคอนโทรล

เครื่องมือเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อการโปรแกรมกับ NC วัสดุที่ทำเครื่องมือตัด(Cutting Tool Materials) ส่วนมากทำจากวัสดุพื้นฐาน 3 ชนิด ได้แก่

1. เหล็กกล้าความเร็วสูง (High Speed Steel)
2. ทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide)
3. เซรามิก (Ceramics)

เครื่องมือทั้ง 3 ชนิดต้องเลือกใช้อย่างระมัดระวัง

2.2.1.1 <u>เหล็กกล้าความเร็วสูง</u>

เป็นเครื่องมือที่ทำจากวัสดุชนิดหนึ่ง ซึ่งมีข้อดีมากกว่าเครื่องมือที่ทำจากคาร์ไบด์ คือ

1. มีราคาถูกกว่าคาร์ไบด์หรือเซรามิก
2. เปราะน้อยกว่าคาร์ไบด์และไม่แตกหักขณะที่เข้าตัดชิ้นกัน
3. สามารถลับคมได้ง่ายกว่าคาร์ไบด์
4. เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้าความเร็วสูง (High Speed Steel) มีข้อเสีย คือ

1. ความสามารถต่อการจับยึดน้อยกว่าเครื่องมือที่ทำจากคาร์ไบด์และเซรามิกในขณะที่เกิดความร้อนสูงขณะทำงาน

2. ใช้ตัดวัสดุแข็งได้ไม่ดี

2.2.1.2 ทังสเตนคาร์ไบด์

ทังสเตนคาร์ไบด์หรือเรียกกันสั้นๆ ว่าคาร์ไบด์ เป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่นำมาทำเครื่องมือกันมาก ซึ่งมีข้อดี คือ

1. สามารถจับยึดได้ดีกว่าที่ความร้อนสูง

2. สามารถตัดวัสดุที่แข็งได้ดี

ทังสเตนคาร์ไบด์ มีข้อเสีย คือ

1. ราคาสูงกว่าเหล็กกล้าความเร็วสูง

2. เปราะกว่าเหล็กกล้าความเร็วสูงและมีการแตกสะเก็ดที่คมบ่อย

3. แข็งกว่าเหล็กกล้าความเร็วสูงทำให้ลับได้ยาก

2.2.1.3 เซรามิก

เครื่องมือที่ทำจากเซรามิก มีข้อดีอยู่มาก แต่ว่ามีราคาแพง

เซรามิกมีข้อดี คือ

1. เซรามิกมีราคาถูกกว่าคาร์ไบด์เมื่อนำไปใช้งานกับเครื่องมืออินเสิร์ท

2. เซรามิกทนต่อวัสดุที่แข็งกว่าที่ความเร็วที่สูงกว่าวัสดุเครื่องมือชนิดอื่น

เซรามิกมีข้อเสีย คือ

1. เซรามิกเปราะหักง่ายกว่าเหล็กกล้าความเร็วสูงและคาร์ไบด์

2. เซรามิกมักทำงานภายใต้พารามิเตอร์ของผิวหน้างาน ถ้าทำงานกับการเคลื่อนที่ของผิวหน้าชิ้นงานที่ช้ามากๆ ตัวอินเสิร์ทจะหักลงอย่างง่ายดายและรวดเร็ว

เหล็กกล้าความเร็วสูงโดยทั่วๆ ไปใช้กับชิ้นงานที่ทำจากอะลูมิเนียมและวัสดุไร้สนิมผสม ส่วนคาร์ไบด์ใช้กับอะลูมิเนียมชนิดมีซิลิคอนสูง

อินเสิร์ทคาร์ไบด์บางตัวจะมีการเคลือบด้วยสารละลายพิเศษอย่างเช่น ไทเทเนียมไนไตรด์ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน การเคลือบผิวสามารถเพิ่มอายุการใช้งานได้ถึง 20 เท่า

ปัจจุบันวงการอุตสาหกรรมทั้งไทยและต่างประเทศยอมรับว่าเครื่องมือตัดเจาะ (Tooling) และขึ้นรูปที่ถูกเคลือบผิวถือเป็นมาตรฐานสำคัญไปแล้ว เพราะการเคลือบผิวนั้นทำให้เครื่องมือดังกล่าว ทนทานและแข็งแกร่งขึ้น การเคลือบผิวเครื่องมือตัดเจาะและขึ้นรูปให้แข็งทนทานนั้น มีด้วยกันหลายระบบแต่ที่นิยม คือระบบ PVD (Physical Vapour Deposition) เนื่องจากเป็นระบบที่ทันสมัยเหนือระบบอื่นหลายประการด้วยกัน เช่น

1. ไม่ทำให้ชิ้นงานเสียรูปทรงเพราะใช้ความร้อนมากไป

2. ไม่ทำให้ส่วนคมหรือขนาดของชิ้นงานผิดไป เนื่องจากชุบหนาเพียง 3 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันความต้องการที่จะชุบเคลือบผิว ด้วยระบบ PVD ในอุตสาหกรรมตัดเจาะนั้นมีมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะหากสามารถเลือกฟิล์มแข็งที่เหมาะสมกับงาน ผนวกกับการใช้งานที่ถูกวิธีจะเอื้อประโยชน์ดังนี้

1. เพิ่มความทนทานต่อการสึกกร่อนให้กับเครื่องมือตัดเจาะ
2. เพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนให้กับเครื่องมือตัดเจาะ
3. เพิ่มความลื่นให้กับเครื่องมือตัดเจาะ
4. ลดการหลอมเชื่อมระหว่างเครื่องมือตัดเจาะกับชิ้นงาน
5. เพิ่มอายุการใช้งานให้กับเครื่องมือตัดเจาะ
6. สามารถเพิ่มค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate) และความเร็วตัด (Cutting Speed) ให้แก่เครื่องมือตัดเจาะ
7. สามารถลดเวลาในการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่ใช้ในการเจาะ
8. ประหยัดรายจ่ายในการใช้เครื่องมือใหม่

ชนิดของฟิล์มที่นิยมใช้ในงานชุบผิวเครื่องมือ สำหรับฟิล์มแข็งบาง (Thin Hard Film) ที่นิยมใช้ชุบเครื่องมือตัดเจาะนั้น ใช้สารประกอบที่มีความแข็งยิ่งยวด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบของไททาเนียม เป็นหลักอาทิ TiAlN, TiZrN, TiN, TiC, TiCN, TiZrCN, ZrN, ZrCN, CrN ฯลฯ

2.2.2 ทฤษฎีงานกัดความหมายของงานกัด

งานกัดเป็นงานที่เกิดขึ้นจากการตัดเฉือนของมีดกัดที่มีคมตัดตั้งแต่หนึ่งคมขึ้นไปถึงหลายๆ คมการเคลื่อนที่ของคมตัดจะเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเอง ซึ่งจะอยู่ในแนวดิ่งหรือแนวนอนหรือในแนวเอียงมุมแบบต่างๆ ได้ลักษณะของคมตัดจะมีทั้งแบบตายตัวและแบบถอดเปลี่ยนคมได้

ขณะทำการกัดในกรณีที่มีดกัดมีคมตัดหลายๆ คม ซึ่งอยู่รอบตัวมันเองในหนึ่งรอบมีดกัดจะกัดงานเสร็จเฉพาะฟัน แล้วเคลื่อนที่ฟรีไปช่วงหนึ่งจนหมุนกลับมาที่เดิมอีก จึงจะเริ่มกัดงานใหม่การว่างเช่นนี้จะเป็นประโยชน์ให้กับคมของมีดกัดได้ระบายความร้อนออกไปได้บ้าง ซึ่งผิดกับการกลึงงานคมมีดกัดจะแตะผิวงานอยู่ตลอดเวลา

แต่กระนั้นก็ตามเราก็ยังต้องมีการใช้น้ำมันหล่อเย็นมาช่วยในการระบายความร้อนให้กับการทำงานซึ่งจะช่วยให้ความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างคมตัดกับงานลดลง และไล่เศษกัดออกจากผิวงานบริเวณตัดเฉือน ทำให้ผิวงานเรียบ

ความเร็วกัดจะเกิดขึ้นระหว่างการทำงานของเครื่องกัด และชนิดของวัสดุงานที่นำมากัด ซึ่งจะคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้เป็นหลัก คือ

1. ชนิดของวัสดุที่นำมากัด (Kind of Material)
2. ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำมีดกัด (Kind of Cutter Material)
3. ค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut)
4. ความแข็งของมีดกัดและงาน (Rigidity of Cutter and Work Piece)

ในการตั้งความเร็วกัดให้เหมาะสมนั้น เราจำเป็นจะต้องทราบความเร็วตัด (Cutting Speeds) ของวัสดุแต่ละชนิด และนำไปคิดความเร็วรอบจากสูตร โดยความเร็วตัด (Cutting Speeds) วัดโดยความยาวของเศษโลหะที่ออกมาใน 1 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = \frac{(1000 \times CS)}{\pi D}$$ สมการ 2.1

เมื่อ N = ความเร็วรอบของมีดกัด (รอบ/นาที)

CS = ความเร็วตัด (เมตร/นาที)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของมีดกัด (มิลลิเมตร)

π = 3.14 (ค่าประมาณ)

อัตราการกินป้อนกัด จะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการเช่นกัน เช่น อัตราการเคลื่อนที่ของงาน ประสิทธิภาพของเครื่องกัด ความกว้างและการกินลึก ซึ่งบางครั้งก็คิดเอาปริมาณของเนื้อวัสดุคิดเป็นปริมาณต่อ 1 นาที เช่น ลูกบาศก์นิ้ว/นาที หรือลูกบาศก์เซนติเมตร/นาที เป็นต้น

อัตราการกินป้อนกัดต่อฟันเป็นการกำหนดที่ละเอียดยิ่งขึ้น เพราะมีดกัดแต่ละแบบแต่ละชนิดมีจำนวนฟันไม่เท่ากัน ดังนั้นความสามารถในการกินป้อนย่อมแตกต่างกันไปบ้าง

2.2.2.1 <u>การคำนวณการตัดเนื้อชิ้นงานด้วยดอกกัดเอนมิล</u>

โดยอัตราส่วนการกำจัดเนื้อสามารถคำนวณได้จาก

$$R = WHf$$ สมการ 2.2

เมื่อ R = อัตราการกำจัดเนื้อ (นิ้ว^3/นาที)

W = ความกว้างของมีดกัด (นิ้ว)

H = ความลึกในการกัด (นิ้ว)

f = ความเร็วของการป้อนชิ้นงานเข้าสู่เครื่องมือตัด (นิ้ว/นาที)

2.2.2.2 <u>การคำนวณค่าความเร็วกัด</u>

การปรับตั้งค่าความเร็วในการตัดของเครื่องตัดที่ใช้ในโรงงานทั่วๆ ไป จะคิดค่าการส่งถ่ายกำลังตัดออกมาเป็นความเร็วรอบต่อนาที (Revolution Per Minute – RPM) ของเพลามีดกัด (Machine Spindle)

ค่าความเร็วตัดที่จะเลือกใช้ จะต้องคำนึงถึงชนิดของมีดกัด (Cutter) และชนิดของวัสดุงานที่นำมากัด ตลอดจนอัตราการป้อนกัด และสารระบายความร้อนที่จะใช้ให้เหมาะสมกับวัสดุงาน และวัสดุมีดกัดสูตรค่าความเร็วกัดที่ใช้ทั่วๆ ไป

$$RPM = \frac{(1000 \times CS)}{\pi D}$$ สมการ 2.3

เมื่อ RPM = ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของมีดกัด (มิลลิเมตร)

CS = ความเร็วตัด (เมตร/นาที)

π = 3.14 (ค่าประมาณ)

การใช้สูตรในการคำนวณหาความเร็วรอบของมีดกัด ทำให้เราสามารถหาความเร็วได้เหมาะสมกับเครื่องมือกัดได้ ก็ตาม เพื่อให้การใช้มีดกัดให้มีอายุยาวนาน มีหลักการดังนี้

1. ถ้าต้องการยืดอายุการใช้งานของมีดกัดให้สามารถใช้งานได้ยาวนานควรเลือกความเร็วตัดให้น้อยกว่าค่าในตารางก็จะช่วยยืดอายุการใช้งานของมีดได้นานขึ้น

2. การกัดงานต้องดูว่าวัสดุทำมาจากวัสดุอะไร

3. การเริ่มกัดงานใหม่ๆ ควรใช้ค่าความเร็วตัดต่ำๆ ก่อน แล้วค่อยๆ เพิ่มให้มากขึ้นเมื่อมีดสามารถกัดงานได้ดี

4. การกัดงานให้ผิวเรียบช่วงสุดท้ายของงาน ลดอัตราการป้อนกัดให้น้อยลง และเพิ่มความเร็วรอบของมีดกัดให้สูงขึ้น

5. ในการหล่อเย็นลดความร้อนให้กับมีด และช่วยหล่อลื่นและล้างเศษโลหะมีผลให้งานเรียบสวยงาม

2.2.2.3 ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน

หมายถึงความเร็วของการกระทำด้วยเครื่องจักร (Machining) เข้าเนื้อชิ้นงานของเครื่องกัด โดยการคิดระยะอัตราการป้อนชิ้นงาน จะคิดระยะทางหน่วยนิ้วหรือมิลลิเมตร/นาที นั่นจะคิดโดย มีดกัดจะกัดงานเป็นระยะทางต่อระยะเวลา 1 นาที เศษที่เกิดจากการกัดจะคิดจากคมมีด 1 ฟัน ได้เศษ 1 ชิ้น

การเลือกใช้จากตาราง จะเลือกใช้อัตราการป้อนชิ้นงานต่อฟัน โดยพิจารณาจากชนิดของมีดกัด และวัสดุที่นำมากัดรวมถึงการป้อนลึกของมีดกัดด้วยตลอดจนค่าความเร็วของเพลามีดกัดที่ตั้งกัด เพื่อจะนำมาวิเคราะห์ออกเป็นสูตรที่ใช้สูตรที่ใช้ในการคำนวณหา

$$Feed = N \times CPT \times RPM \qquad \text{สมการ 2.4}$$

เมื่อ $Feed$ = ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (มิลลิเมตร/นาที)

N = จำนวนฟันของมีดกัด (ฟัน)

CPM = จำนวนเศษต่อคมตัด (มิลลิเมตร)

RPM = ความเร็วรอบของมีดตัด (รอบ/นาที)

2.2.2.4 ค่าความเร็วลึกมุมตัด

หมายถึงความลึกของการกระทำด้วยเครื่องจักร (Machining) เข้าเนื้อชิ้นงาน การกำหนดค่าความลึก และค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate) ต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับแรงของมีดกัดที่จะนำมาใช้และของเครื่องจักร

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหา

$$Depth\ of\ cut = 0.5 \times D \qquad \text{สมการ 2.5}$$

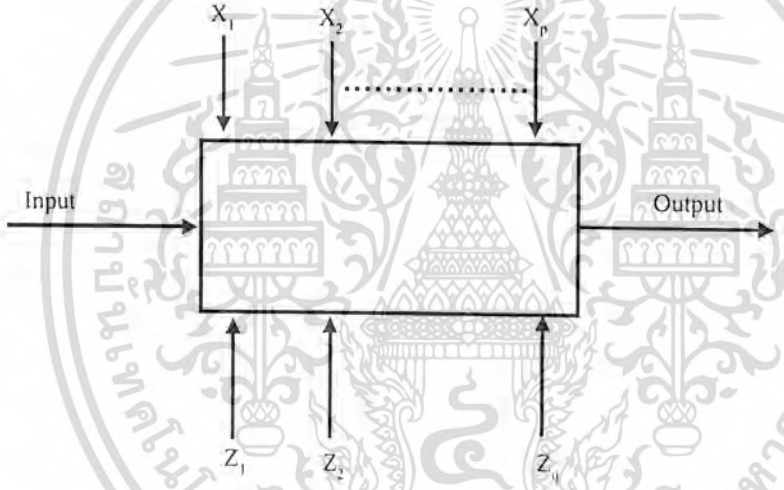
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ *Depth of cut* = ค่าความเร็วลึกมุมตัด (มิลลิเมตร)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของมีดกัด (มิลลิเมตร)

2.3 หลักการออกแบบการทดลอง

การทดลองถูกสร้างขึ้นด้วยผู้ทดลอง ซึ่งมาจากหลายสาขาอาชีพที่ต้องการคำตอบจากกระบวนการหรือระบบที่ผู้ทดลองมีความสนใจ การทดลองในที่นี้อาจหมายถึงการทดสอบหรือชุดของการทดสอบที่คาดหมายว่าเมื่อเปลี่ยนตัวแปรป้อนเข้าของกระบวนการหรือระบบ จะเป็นผลให้ตัวแปรตอบสนองมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ในงานทางด้านวิศวกรรมการทดลองมีบทบาทอย่างมากในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ การพัฒนากรรมวิธีการผลิตของกระบวนการและการปรับปรุงกระบวนการผลิต บางกรณีอาจต้องการพัฒนากระบวนการที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจากแหล่งภายนอกกระบวนการจะมีผลกระทบไม่มากต่อกระบวนการ



รูปที่ 2.2 รูปแบบของกระบวนการหรือระบบ

โดยทั่วไป การทดลองถูกใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบ (Process or System) รูปที่ 2.2 แสดงรูปของกระบวนการหรือระบบส่วนใหญ่จะสามารถมองเห็นภาพของกระบวนการเป็นการรวมกันของเครื่องจักร วิธีการ คน และทรัพยากรอื่นๆ และเมื่อมีสิ่งป้อนเข้ามา (Input) สู่กระบวนการ กระบวนการจะถูกเปลี่ยนรูปออกมาได้เป็นผลลัพธ์ (Output) ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวอาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่ง

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่ากระบวนการหรือระบบยังประกอบด้วยปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ $X_1, X_2, \ldots, X_p$ และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือ $Z_1, Z_2, \ldots, Z_p$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ปัจจัยในการผลิต

ปัจจัยในการผลิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

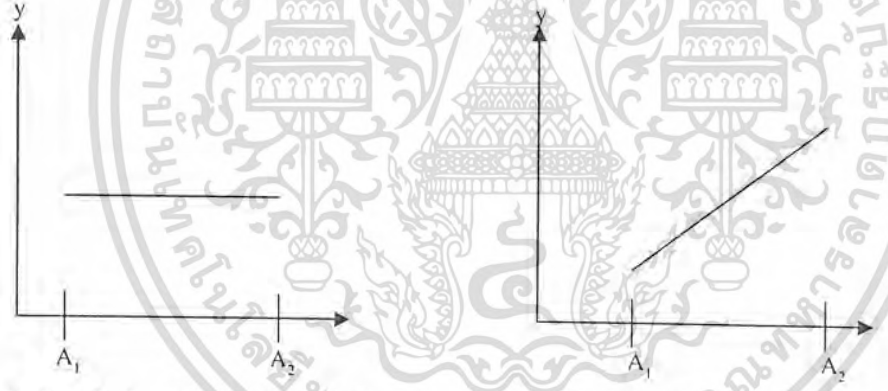
2.3.1 1 <u>ปัจจัยที่ควบคุมได้</u>

ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factor) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ ซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองเพราะโดยส่วนใหญ่ผู้ทำการทดลองต้องการกำหนดค่าต่างๆ ที่คิดว่ามีผลต่อค่าตอบสนองที่เราสนใจ

2.3.1.2 <u>ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้</u>

ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีที่ไม่ทันสมัยพอหรือต้นทุนในการควบคุมสูงมาก ผู้ทดลองควรกำจัดปัจจัยลักษณะนี้เพื่อให้เปลี่ยนเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ จึงจะเป็นประโยชน์ต่อการทดลอง

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ให้ได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อปัจจัยได้หรือไม่ ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วทำการทดลองจากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง ตัวอย่างเช่น ให้ y เป็นค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน A เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งจะสรุปผลเมื่อได้กราฟ แสดงดังรูปที่ 2.3



ปัจจัย A ไม่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ ปัจจัย A มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์

รูปที่ 2.3 แสดงอิทธิพลที่ไม่มีผลและอิทธิพลที่มีผลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

วัตถุประสงค์ในการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

1. หาตัวแปรที่มีผลต่อค่าตอบสนอง y มากที่สุด
2. กำหนดค่า x ที่ทำให้ค่า y ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ
3. กำหนดค่า x ที่ทำให้ค่า y สมการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด
4. กำหนดค่า x ที่ทำให้ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีผลน้อยที่สุด

2.3.3 คำจำกัดความ

2.3.3.1 อิทธิพลหรือผล

อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้นที่มีผลต่อตัวแปรตาม

2.3.3.2 ปัจจัย

ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่งที่คาดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์

2.3.3.3 ระดับของปัจจัย

ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง สภาวะต่างๆของปัจจัยหนึ่งที่ทำการกำหนดในการทดลอง

2.3.3.4 ปัจจัยรบกวน

ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็กๆ น้อยๆ และไม่สามารถควบคุมได้

2.3.4 หลักในการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นกระบวนการวางแผนของการทดลองซึ่งข้อมูลในการทดลองนั้นจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ จนได้ข้อมูลสรุปของวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ หลักการทางสถิติถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อทำความเข้าใจในข้อมูล และหาผลสรุปออกมานั้นเอง หลักในการออกแบบการทดลองมีดังนี้

2.3.4.1 การทำซ้ำ

การทำซ้ำ (Replication) คือ การทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูลเพื่อที่จะกำจัดผลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ออกไป การทำซ้ำมีความสำคัญ 2 ประการ เพื่อประมาณค่าความผิดพลาดของการทดลอง และเพื่อประมาณค่าเฉลี่ยนั้นให้มีความมั่นใจมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.2 การทำแบบสุ่ม

การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวให้เท่ากันเพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ให้กับข้อมูลทุกระดับในการทดลองให้เท่าๆ กันการทำแบบสุ่มสามารถแบ่งออกได้ 3 วิธีดังนี้

1. การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)
2 การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)
3 การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Block)

2.3.4.3 การบล็อก

การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ทำให้การทดลองนั้นมีความเที่ยงตรงมากขึ้น การบล็อกส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับวัสดุที่ใช้ในการทดลองนั้นไม่มีความสม่ำเสมอ จึงจำเป็นต้องแยกเอาผลของวัสดุที่แตกต่างกันออกไปจะสนใจผลการทดลองที่เกิดขึ้นในแต่ละบล็อกเท่านั้น

2.3.5 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

การใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเป็นสิ่งจำเป็น ผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจวิธีในการเก็บข้อมูลตลอดการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มา

2.3.5.1 การนิยามปัญหา

การนิยามปัญหา คือ การระบุว่าความต้องการต้องการในการผลิตคืออะไรและต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเชื่อมโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2.3.5.2 การเลือกปัจจัยที่มีผลและระดับของปัจจัย

การเลือกปัจจัยที่มีผลและระดับของปัจจัย คือ การใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่ามีปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และแต่ละปัจจัยนั้นควรมีช่วงในการทดลองอย่างไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลองสุดท้ายเป็นการระบุที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed Levels), แบบสุ่ม (Random Levels) หรือแบบผสม (Mixed Levels)

1. แบบกำหนด (Fixed Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดได้แน่นอน

2. แบบสุ่ม (Random Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน

3. แบบผสม (Mixed Levels) หมายถึง การผสมผสานของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้และแบบสุ่ม

2.3.5.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง

ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ผู้ทำการทดลองต้องมีความมั่นใจว่าเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการที่ทำการศึกษา ค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่จะใช้วัดเป็นตัวแปรตอบสนอง โดยทั่วไปจะเก็บข้อมูลของตัวแปรตอบสนองเพียงค่าเดียว แต่ก็มีบางการทดลองที่ทำการวัดค่าตัวแปรตอบสนองหลายค่า การวัดค่าจะต้องมีความแม่นยำทั้งความถูกต้องของเครื่องมือวัดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.4 การเลือกแบบการทดลอง

การเลือกแบบการทดลองจะต้องพิจารณาถึงขนาดของข้อมูลหรือจำนวนที่ใช้ในการทำซ้ำ (Replicate) ความเหมาะสมของลำดับที่ใช้ในการทดลอง ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่จำเป็นทั้งนี้ต้องนำความเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง

2.3.5.5 การดำเนินการทดลอง

เมื่อทำการทดลอง ต้องทำการตรวจสอบการทดลองอย่างระมัดระวังว่ามีการดำเนินการตามที่วางไว้ ข้อควรระวังในการทดลองคือความถูกต้องของกระบวนการเครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลองเพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดเพราะความผิดพลาดในขั้นตอนนี้มักจะทำให้การทดลองล้มเหลวได้

2.3.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลักการทางสถิติถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลจากการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลอาจใช้ซอฟต์แวร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วย ซึ่งปัจจุบันมีซอฟต์แวร์อยู่หลายประเภทที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ วิธีการถูกนำมาใช้อย่างได้ผลคือกราฟอย่างง่ายคือช่วยในการวิเคราะห์และตีความข้อมูลจากการทดลอง การตรวจสอบความเพียงพอของโมเดล (Model Adequacy Checking) เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เพื่อความเชื่อมั่นของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลอง จึงจำไว้ว่าวิธีทางสถิติไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลได้อย่างแน่นอนเพียงแต่เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นโดยระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผลการทดลอง แต่อย่างไรก็ดีการใช้หลักการทางสถิติช่วยให้การตัดสินใจเป็นนามธรรมมากยิ่งขึ้น

2.3.5.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เมื่อข้อมูลถูกวิเคราะห์จะต้องสรุปผลจากการวิเคราะห์ซึ่งอาจจะแสดงในรูปแบบของกราฟ ตาราง แผนภูมิ ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะจากการทดลองเพื่อสรุปผลและควรที่จะมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลจาการทดลองอีกครั้ง

2.3.6 การใช้หลักทางสถิติในการทดลอง

การใช้หลักทางสถิติในการทดลองนั้นผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจในประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ผู้ทำการทดลอง ต้องมีความรู้เกี่ยวกับงานในสาขาที่จะทำการทดลอง โดยใช้ความรู้ที่ไม่ใช่วิธีการทางสถิติในการพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้น

2. ผู้ทำการทดลอง ควรเลือกการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ที่ง่ายและไม่ซับซ้อน

3. ผู้ทำการทดลอง ควรเข้าใจความแตกต่างระหว่างนัยสำคัญในทางปฏิบัติและนัยสำคัญทางสถิติ เพราะว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดลองซึ่งเรียกว่าความแตกต่างทางด้านสถิตินั้นไม่สามารถประกันได้ว่าจะมีความแตกต่างมากเพียงพอที่จะใช้ในทางปฏิบัติ และจะต้องคำนึงถึงต้นทุนว่าคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่

4. ผู้ทำการทดลอง ควรทำการทดลองซ้ำๆ หลายครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าผลที่ได้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ

2.3.7.1 ความหมายของสมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐาน คือ ความเชื่อมั่นของบุคคลใดบุคคลหนึ่งหรือของกลุ่มบุคคลใดๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าสมมติฐานเป็นสิ่งที่บุคคลหรือองค์กรคาดว่าจะเกิดขึ้น ความเชื่อหรือสิ่งที่คาดนั้นอาจเป็นจริงหรือไม่ก็ได้

2.3.7.2 ชนิดของสมมติฐาน

สมมติฐานแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

1. สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) หรือใช้สัญลักษณ์ H_0

2. สมมติฐานอื่นๆ (Alternative Hypothesis) ใช้สัญลักษณ์ H_1

สมมติฐานหลักที่ตั้งขึ้น เพื่อทดสอบว่าจะยอมรับหรือไม่ว่าเป็นจริง การปฏิเสธไม่ยอมรับสมมติฐานหลักก็คือการยอมรับสมมติฐานอื่นๆ ว่าเป็นจริง

ประเภทของสมมติฐาน สมมติฐานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. สมมติฐานเดี่ยว (Simple Hypothesis) คือ สมมติฐานประเภทที่กำหนดค่าเฉพาะของพารามิเตอร์เจาะจงลงไปว่ามีค่าเท่ากับเท่าใด

2. สมมติฐานรวม (Composite Hypothesis) คือ สมมติฐานประเภทที่มีค่าพารามิเตอร์หลายค่า

2.3.7.3 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน

ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error) หรือเรียกโดยทั่วไปว่า ระดับนัยสำคัญ (Level of Significance) ใช้สัญลักษณ์ α เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานอื่นๆ โดยที่สมมติฐานหลักเป็นจริง

2. ความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error) ใช้สัญลักษณ์ β เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานอื่นๆ โดยที่สมมติฐานอื่นๆ เป็นจริง

ในการทดสอบแต่ละครั้ง ผู้ทดสอบย่อมต้องการให้มีความผิดพลาดทั้งสองประเภท (α และ β) น้อยที่สุด แต่เมื่อค่าของ α ลดลง ค่าของ β จะเพิ่มขึ้นในทำนองเดียวกัน เมื่อค่าของ α เพิ่มขึ้น ค่าของ β จะลดลง ดังนั้นเมื่อต้องการลดค่าความผิดพลาดทั้งสองประเภทให้ลดลงได้พร้อมๆ กันทำได้ด้วยการเพิ่มจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้มากขึ้น

2.3.7.4 การตั้งสมมุติฐาน ในการออกแบบการทดลอง

การตั้งสมมติฐานในการออกแบบการทดลอง สามารถแบ่งเป็น 3 กรณี ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบการทดลองแบบผลกระทบคงที่ (Fixed Effect Model) จะทำการตรวจสอบว่าปัจจัยต่างๆ มีผลกระทบต่อกระบวนการหรือไม่ สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังต่อไปนี้

H_0: ปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการ

H_1: ปัจจัยมีผลต่อกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสัญญาลักษณ์ μ เมื่อ μ ค่าเฉลี่ยของปัจจัย

$H_0: \mu_1 = \mu_2 ... = \mu_a$

$H_1: \mu_i \neq \mu_j$; อย่างน้อยที่สุดหนึ่งคู่ (i,j)

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสัญลักษณ์ τ เมื่อ τ คือค่าเฉลี่ยของปัจจัย

$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \ldots = \tau_a = 0$

$H_1: \tau_i \neq 0$; อย่าน้อยที่สุดหนึ่งค่าหนึ่ง

2. การออกแบบการทดลองแบบผลกระทบแบบสุ่ม (Random Effects Model) จะทำการตรวจสอบว่า ความแปรปรวน (σ^2_τ) จะมีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่ เพราะไม่สามารถหาค่าของอิทธิพล (Effect) ของระดับของปัจจัยที่เกิดขึ้นมาแน่นอน สามารถตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

$H_0: \sigma^2_\tau = 0$

$H_1: \sigma^2_\tau > 0$

3. การออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixed Effect Model) เมื่อปัจจัยในการทดลองเป็นแบบผลกระทบคงที่ (Fixed Level) และแบบสุ่ม (Random Level) รวมกันอยู่จะต้องใช้การตั้งสมมติฐานของ 2 กรณีที่กล่าวข้างต้นโดยแยกตามลักษณะรูปแบบของปัจจัยนั้นๆ

2.3.8 ชนิดของแผนการออกแบบการทดลอง

2.3.8.1 <u>แผนการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว</u>

แผนการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design) จะต้องเก็บข้อมูลโดยระดับของปัจจัยหรือทรีทเม้นต์ (Treatment) เพื่อทดสอบว่าระดับของปัจจัยต่างๆ มีผลต่อค่าตอบสนองหรือไม่ โดยแผนการออกแบบทดลองแบบปัจจัยเดียวสามารถแบ่งออกเป็นสองปัจจัยใหญ่ๆ คือ

1. การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว แต่จะทำการเปรียบเทียบระหว่างระดับของปัจจัยมีปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ มีผลกระทบน้อยและไม่มีปัจจัยรบกวนโดยการทดลองจะใช้หลักการทำแบบสุ่มและการทำซ้ำ

2. การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ภายในบล็อก (Completely Randomized Block Design) เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียวและมีปัจจัยบกวนที่มีผลกระทบต่อค่าตอบสนองและต้องทำการกำจัดปัจจัยรบกวนดังกล่าวทิ้งบางครั้งปัจจัยรบกวนนั้นไม่ทราบและสามารถควบคุมได้จึงต้องใช้วิธีการบล็อก (Blocking) ในการกำจัดผลของปัจจัยรบกวนนั้นออกไป

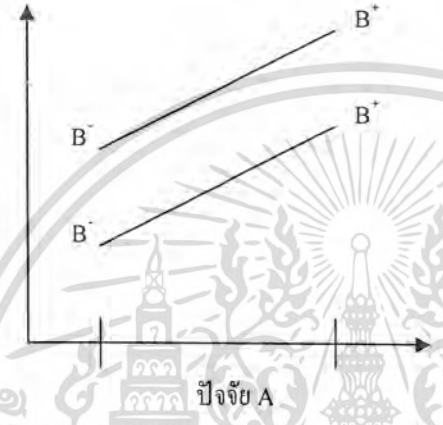
2.3.8.2 <u>แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล</u>

แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) เป็นการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้นๆ จึงเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยใช้ในการศึกษาถึงผลของปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไปตัวอย่างเช่น กรณี 3 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย 2

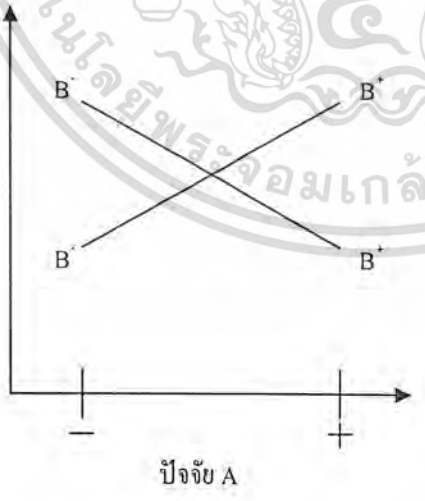
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61924

ระดับ ปัจจัย B ประกอบด้วย 2 ระดับและปัจจัย C ประกอบด้วย 2 ระดับในการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด 2x2x2x3 = 24 การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล จึงกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งหมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนอง (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) และหากผลตอบสนองของปัจจัยหนึ่งขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่นๆ ซึ่งเรียกว่าการมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง แนวคิดดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.4 และ 2.5



รูปที่ 2.4 แสดงการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างกัน



รูปที่ 2.5 แสดงการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่มีอันตรกิริยาระหว่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่า เส้นของ B^- และ B^+ จะประมาณได้ว่าขนานกัน ซึ่งลักษณะของกราฟเช่นนี้จะบ่งบอกถึงการไม่มีอันตรกิริยาซึ่งกันและกันของปัจจัยทั้งสองในทำนองเดียวกัน จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า เส้นของ B^- และ B^+ ไม่ขนานกันและสามารถกล่าวได้ว่าปัจจัยทั้งสองมีอันตรกิริยาต่อกัน บ่อยครั้งที่กราฟลักษณะเช่นนี้จะถูกนำมาใช้เพื่อแสดงถึงการมีนัยสำคัญของอันตรกิริยา อย่างไรกราฟเช่นนี้ไม่ควรนำมาใช้แทนเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพราะว่าการตีความจากกราฟค่อนข้างที่จะขึ้นกับความคิดเห็นส่วนบุคคล ซึ่งอาจทำให้เกิดการเข้าใจผิดหรือวิเคราะห์ผิดพลาดได้

รูปแบบของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลยังแบ่งย่อยในกรณีที่แผนการทดลองมีลักษณะเฉพาะตัวอีกดังต่อไปนี้

1. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k (2^k Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีระดับของปัจจัยอยู่ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ ใช้สัญลักษณ์ –1 หรือ (-) และ ระดับสูง ใช้สัญลักษณ์ 1 หรือ (+) การทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยมากๆ เป็นการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลเบื้องต้นจะช่วยในการทดลองที่เจาะลึกต่อไป

2. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k (3^k Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k เป็นการทดลองทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีระดับของปัจจัยอยู่ 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ใช้สัญลักษณ์ –1 หรือ (-1) ระดับกลาง ใช้สัญลักษณ์ 0 หรือ (0) และระดับสูง ใช้สัญลักษณ์ 1 หรือ (+) การทดลองแบบนี้เหมาะสมเมื่อผู้ทดลองกำลังสนใจผลตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง

3. การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล เป็นการออกแบบที่ใช้ในกรณีเมื่อการทดลองมีหลายปัจจัยทำให้ต้องเสียเวลาในการเก็บข้อมูลมาก ดังนั้นจะทำให้ความสัมพันธ์ของทรีทเม้นต์ (Treatment) ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนั้นลดลง

2.3.8.3 <u>แผนการออกแบบการทดลองอื่นๆ</u>

แผนการออกแบบการทดลองอื่นๆ มีดังนี้

1. แผนการออกแบบการทดลองลาตินสแควร์ (Latin Square Design)
2. แผนการออกแบบการทดลองเนสเต็ด (Nested Design)
3. แผนการออกแบบการทดลองสปิทพล็อท (Split-Plot Design)
4. แผนการออกแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

2.3.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) คือ เทคนิคที่ใช้ในการจัดสรรความแปรปรวนหรือความผันแปรที่เกิดขึ้นในข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ ตามแหล่งที่คาดว่าทำให้เกิดความผันแปร ความผันแปรที่เกิดในข้อมูลเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ความผันแปรทั้งหมด = ความผันแปรเนื่องจากปัจจัย + ความผันแปรโดยธรรมชาติของข้อมูล สมการ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ 2.6 ได้จากข้อคิดที่ว่า ความแตกต่างกันของข้อมูลไม่น่าจะมาจากสาเหตุของความผันแปรโดยธรรมชาติ หรือที่เรียกกันว่าความผิดพลาดแบบสุ่มของข้อมูลแต่เพียงอย่างเดียวแต่น่าจะมาจากปัจจัยหนึ่งปัจจัยใดหรือหลายๆ ปัจจัยที่ทำให้เกิดความผันแปร ดังนั้นความผันแปรทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับข้อมูลจึงเนื่องมาจากอิทธิพลของปัจจัยและธรรมชาติของข้อมูล

ปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อความผันแปรของข้อมูลถือได้ว่าเป็นตัวแปรอิสระซึ่งมีผลต่อตัวแปรตาม โดยเป็นข้อมูลที่วัดผลหรือเก็บรวบรวมมา ตัวแปรอิสระดังกล่าวมักจะไม่ได้มีแค่เพียงค่าเดียวแต่จะมีหลายค่าซึ่งเรียกว่าระดับของปัจจัย ถ้าปัจจัยนั้นมีผลต่อตัวแปรตามจริงๆ แต่ละระดับก็จะมีผลต่อตัวแปรตามไม่เหมือนกัน การวิเคราะห์จึงทำโดยการทดลองกำหนดค่าตัวแปรอิสระที่ระดับต่างๆ เพื่อหาตัวแปรตามที่เกิดขึ้นจากการทดลองนั้นๆ แล้วนำไปวิเคราะห์ดูว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของการทดลองนั้นมีนัยสำคัญหรือไม่เมื่อเทียบกับความผันแปรโดยธรรมชาติของตัวแปรตาม และเพื่อที่จะช่วยให้ผู้วิเคราะห์มีความเชื่อมั่นในผลของการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลองมักจะต้องทำการทวนซ้ำให้ได้จำนวนข้อมูลที่แต่ละการทดลองมากพอ การเลือกระดับของปัจจัยถ้าเป็นการเจาะจงรูปแบบของการทดลองจะถูกเรียกว่าแบบผลกระทบคงที่ (Fixed Effect Model) ผลที่ได้จากการทดลองจะสรุปได้เฉพาะอิทธิพลของปัจจัยที่ระดับที่นำมาทดลอง แต่ถ้าเลือกระดับของปัจจัยเป็นการเลือกแบบสุ่ม รูปแบบของการทดลองจะเป็นแบบสุ่ม (Random Effect Model) ผลที่ได้จากการทดลองจะสรุปอิทธิพลโดยรวมของปัจจัย

จาก ความผันแปรทั้งหมด = ความผันแปรเนื่องจากปัจจัย + ความผันแปรโดยธรรมชาติของข้อมูลหรือเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้เป็น

$$SS_T = SS_{Tr} + SS_E \qquad \text{สมการ 2.7}$$

โดยที่ SS_T คือ ผลบวกกำลังสองทั้งหมด

SS_{Tr} คือ ผลบวกกำลังสองเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัย

SS_E คือ ผลบวกกำลังสองเนื่องจากความผิดพลาดแบบสุ่ม

การวัดความผันแปรของข้อมูลในการทดลองนั้นจะใช้ตัวประมาณค่าของความแปรปรวน (Variance) ที่ดีที่สุดคือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง (Mean Square : MS) โดยที่ค่า MS สามารถคำนวณได้จาก

$$MS = SS/DF \qquad \text{สมการ 2.8}$$

เมื่อ

SS คือ ผลบวกกำลังสอง (Sum of Square)

DF คือ ขั้นของความอิสระ

สถิติทดสอบ (Test Statistic) ที่นำมาเปรียบเทียบค่าความผันแปรคือ

$$F = MS_{Tr}/MS_E \qquad \text{สมการ 2.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

MS_{TR} คือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองของปัจจัย

MS_E คือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดแบบสุ่ม

เปรียบเทียบค่าสถิติสำหรับทดสอบ F กับค่า F_{α,ν_1,ν_2}

ถ้า $F \geq F_{\alpha,\nu_1,\nu_2}$ ปฏิเสธ H_0

ถ้า $F < F_{\alpha,\nu_1,\nu_2}$ ยอมรับ H_0

เมื่อ

α คือ ระดับนัยสำคัญ (Level of Significance)

ν_1 คือ ขั้นของความอิสระของปัจจัย

ν_2 คือ ขั้นของความอิสระของความผิดพลาดแบบสุ่ม

2.3.9.1 <u>รูปแบบเชิงเส้นทางสถิติ</u>

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นจำเป็นต้องสร้างรูปแบบเชิงเส้นทางสถิติ (Linear Statistical Model) ขึ้นด้วย ซึ่งรูปแบบเชิงเส้นทางสถิติจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแผนการออกแบบการทดลอง จะแสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มี 3 ปัจจัย รูปแบบเชิงเส้นคือ

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad \text{สมการ 2.10}$$

โดยที่

$i = 1,2,3,\ldots,a$ (ระดับของปัจจัย A)

$j = 1,2,3,\ldots,b$ (ระดับของปัจจัย B)

$k = 1,2,3,\ldots,c$ (ระดับของปัจจัย C)

$l = 1,2,3,\ldots,n$ (จำนวนซ้ำ)

และ

y_{ijkl} คือ ค่าตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตาม

μ คือ ค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นค่าคงที่

τ_i คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย A

β_j คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย B

γ_k คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย C

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของอันตรกิริยาของปัจจัย A และ B

$(\tau\gamma)_{ik}$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของอันตรกิริยาของปัจจัย A และ C

$(\beta\gamma)_{jk}$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของอันตรกิริยาของปัจจัย B และ C

$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของอันตรกิริยาของปัจจัย A,B และ C

ε_{ijkl} คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของความผิดพลาดแบบสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยข้อมูลจะถูกนำมาคำนวณแล้วใส่ไว้ในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงการคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source of Variation	Sum of Square	Degree of Freedom	Mean Square	F_0
A	SS_A	a-1	SS_A/DF	MS_A/MS_E
B	SS_B	b-1	SS_B/DF	MS_B/MS_E
C	SS_C	c-1	SS_C/DF	MS_C/MS_E
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	SS_{AB}/DF	MS_{AB}/MS_E
AC	SS_{AC}	(a-1)(c-1)	SS_{AC}/DF	MS_{AC}/MS_E
BC	SS_{BC}	(b-1)(c-1)	SS_{BC}/DF	MS_{BC}/MS_E
ABC	SS_{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	SS_{ABC}/DF	$MS_{ABC}MS_E$
Error	SS_E	abc(n-1)	SS_E/DF	
Total	SS_T	abcn-1		

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\sum_{l=1}^{n} y_{ijkl}^2 - \frac{y_{...}^2}{abcn}$$

$$SS_A = \frac{1}{bcn}\sum_{i=1}^{a} y_{i...}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn}$$

$$SS_B = \frac{1}{acn}\sum_{j=1}^{b} y_{.j..}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn}$$

$$SS_C = \frac{1}{abn}\sum_{k=1}^{c} y_{..k.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn}$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij..}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{c} y_{i.k.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{.jk.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_B - SS_C$$

$$SS_{ABC} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{ijkl}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{ABC}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบสมมติฐานของการทดลอง จะใช้ค่าสถิติทดสอบที่มีการกระจายแบบเอฟ (F – Distribution) โดยกำหนดค่า α ก่อน หากค่า $F < F_{\alpha,\nu_1,\nu_2}$ ยอมรับ H_0 นั่นคือปัจจัยไม่มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ ความเชื่อมั่น $(1 - \alpha)\%$ แต่ถ้าหาก $F \geq F_{\alpha,\nu_1,\nu_2}$ ปฏิเสธ H_0 นั่นคือปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น

2.3.9.2 <u>การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ</u>

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking) เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักการทางสถิติหรือไม่ โดยอาศัยข้อสมมติฐานที่สำคัญซึ่งอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองดังต่อไปนี้

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \qquad \text{สมการ 2.11}$$

โดยที่

y_{ij} คือ ค่าตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตาม

μ คือ ค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นค่าคงที่

τ_{ij} คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย

ε_{ij} คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของความผิดพลาดแบบสุ่ม

โดยความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random Error) จะต้องมีการแจกแจงแบบปกติและเป็นอิสระต่อกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และ σ^2 มีค่าคงตัวแต่ไม่ทราบค่าซึ่งเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ดังนี้ ε_{ij} - NID $(0,\sigma^2)$ ถ้าสมมติฐานเหล่านี้เป็นจริง กระบวนการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้ก็จะเป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการไม่มีความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของระดับที่ถูกต้อง

ในทางปฏิบัติสมมติฐานมักจะไม่เป็นเช่นนี้ ซึ่งจะเชื่อถือผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ก็ต่อเมื่อสามารถตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานว่าเป็นจริงเสียก่อน โดยสามารถตรวจสอบสมมติฐานขั้นต้นและความถูกต้องของแบบจำลองได้โดยการตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) สำหรับค่าสังเกต j ของระดับที่ i ส่วนตกค้างจะมีค่าเป็น

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij} \qquad \text{สมการ 2.12}$$

โดยที่ $\hat{y}_{ij}$ คือค่าประมาณของค่าสังเกต y_{ij} ซึ่งหาได้จาก

$$\begin{aligned} y_{ij} &= \hat{\mu} + \hat{\tau} \\ &= \hat{y} + (\hat{y}_i - \hat{y}) \\ &= \hat{y}_i \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการค่าประมาณของค่าสังเกตใดๆในระดับที่ i ก็คือค่าเฉลี่ยของระดับนั้นๆ
ดังนั้นการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบมีอยู่ 3 ประเภท คือ

1. การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการกระจายแบบปกติหรือไม่ โดยนำส่วนตกค้าง (Residual) ไปทดสอบโดยใช้วิธีดังต่อไปนี้

- การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (χ^2 – Goodness of Fit Test)
- การทดสอบแบบโคลโกโมรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolgomorov-Smirnov Test)
- การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (NOPP)

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันหรือไม่ทดสอบโดยใช้แผนภูมิกระจาย (Scatter Plot) ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลแล้วดูลักษณะของข้อมูลว่ามีการกระจายตัวเป็นอิสระหรือมีลักษณะเป็นรูปแบบใดๆ

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล ทดสอบโดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ถ้าหากข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือมีความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของข้อมูล รูปที่พล็อตขึ้นมานี้จะกระจายอยู่ทั่วไป ไม่มีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ ทั้งสิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นใด และทดสอบโดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับระดับของปัจจัยแต่ละปัจจัย ถ้าหากข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือมีความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของข้อมูล รูปที่พล็อตขึ้นมานี้จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก แต่ถ้ารูปที่พล็อตขึ้นมานี้เป็นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลำดับแสดงว่าข้อมูลนั้นไม่มีความเสถียรของความแปรปรวนหรือไม่มีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล

2.3.10 แบบจำลองการถดถอยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

2.3.10.1 <u>แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย</u>

แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Single Linear Regression Model) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระหนึ่งตัว โดยที่ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองเป็นเส้นตรง ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองได้ดังต่อไปนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon \qquad \text{สมการ 2.13}$$

2.3.10.2 <u>แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นเชิงซ้อน</u>

แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นเชิงซ้อน (Multiple Linear Regression Model) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระตั้งแต่สองตัวขึ้นไป โดยที่ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองเป็นเส้นตรง ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y = \beta_0 + \sum\beta_1 x_1 + \varepsilon$$ สมการ 2.14

2.3.10.3 <u>แบบจำลองการถดถอยอย่างอื่น</u>

แบบจำลองการถดถอยอย่างอื่น (Other Regression Model) ได้แก่

1. แบบจำลองการถดถอยเส้นโค้งเอกโปเนนเทียล (Exponential) ที่มี 1 ตัวแปรอิสระ ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองได้ดังต่อไปนี้

$$y = e^{\beta_0 + \beta_1 x} + \varepsilon$$ สมการ 2.15

2. แบบจำลองการถดถอยเส้นโค้งไฮเปอบอลิก (Hyperbolic) ที่มี 1 ตัวแปรอิสระ ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองได้ดังต่อไปนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1/x + \varepsilon$$ สมการ 2.16

3. แบบจำลองการถดถอยเส้นโค้งโพลิโนเมียล (Polynomial) ดีกรี n ที่มี 1 ตัวแปรอิสระซึ่งเขียนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองได้ดังต่อไปนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \ldots + \beta_n x^n + \varepsilon$$ สมการ 2.17

วิธีการหาแบบจำลองการถดถอย ทำได้โดยการแปลงลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรให้อยู่ในรูปของเส้นตรงก่อน หลังจากวิเคราะห์หาแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นตรงได้แล้ว จึงเปลี่ยนรูปความสัมพันธ์ของตัวแปรไปอยู่รูปเดิม

เมื่อทราบแบบจำลองการถดถอยแล้ว จะต้องตรวจสอบขนาดของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ ที่เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (The Coefficient of Determination : R-Square) ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R – Square) แสดงโดยใช้ค่าสัดส่วนของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระต่อความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในตัวแปรตาม ดังนั้น R – Square จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

ถ้า R – Square มีค่าเข้าใกล้ 0 เช่น R - Square = 0.1 แสดงว่า 10% ของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ ส่วนอีก 90% ที่เหลืออาจเกิดขึ้นจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

ถ้า R – Square มีค่าเข้าใกล้ 1 เช่น R – Square = 0.9 แสดงว่า 90% ของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ ส่วนอีก 10% ที่เหลืออาจเกิดขึ้นจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

ถ้า R – Square มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า ความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า R – Square มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า ความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ

2.3.11 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง เป็นเครื่องมือที่สำคัญในงานทางด้านวิศวกรรมสำหรับการเพิ่มสมรรถนะของวิธีการผลิตของกระบวนการ ซึ่งมักจะทำให้เกิดการพัฒนาในกระบวนการใหม่ การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในการพัฒนากระบวนการสามารถพิจาณาในรูปแบบต่อไปนี้

- การเพิ่มผลผลิตของกระบวนการ
- การลดความผันแปรของกระบวนการและกระบวนการมีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายที่ต้องการ
- การลดเวลาที่ต้องใช้ในการพัฒนา
- การลดต้นทุนโดยรวมของกระบวนการ

วิธีการออกแบบการทดลอง มีบทบาทอย่างมากในการออกแบบทางวิศวกรรมทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ออกมา การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการออกแบบทางวิศวกรรมจะรวมถึงสิ่งดังต่อไปนี้

- การประเมินและเปรียบเทียบของพื้นฐานการออกแบบ
- การประเมินทางเลือกของวัสดุ
- เลือกพารามิเตอร์ของการออกแบบที่เมื่อพารามิเตอร์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงจะไม่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์

การใช้การออกแบบการทดลองในลักษณะนี้ สามารถส่งผลต่อผลิตภัณฑ์คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกรรมวิธีการผลิตที่ง่ายกว่า มีความน่าเชื่อถือ มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า และระยะเวลาในการออกแบบและผลิตภัณฑ์ใหม่สั้นกว่า

2.4 ความสำคัญของความหยาบผิว

ความสำคัญของความหยาบผิวมีส่วนสำคัญต่อคุณภาพสูงสุดและความน่าเชื่อถือสูงสุดของผลิตภัณฑ์ เมื่อนำไปใช้งานผลของความเรียบของผิวงานสำเร็จมีส่วนสำคัญโดยค่าความเรียบผิว (Surface Roughness) จะมีผล หรือสามารถวิเคราะห์หาผลของกรรมวิธีการผลิต เช่น การควบคุมสภาพแวดล้อม ผลของประสิทธิภาพการทำงาน มองผ่านชิ้นงานที่เข้าสู่หรือที่ผ่านการผลิตเสร็จสิ้น ความเหมาะสมของขบวนการผลิต ที่จะทำให้สภาพแวดล้อมการผลิตเหมาะสมต่องาน ขนาดจริงแท้จริงของชิ้นงาน หลังจากชิ้นงานผ่านการใช้งานไประยะเวลาหนึ่งค่าความเรียบผิวที่เหมาะสมและค่าคุณสมบัติของผิว (Surface Parameter) และวิธีการผลิตที่ถูกต้อง จะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง หรือไม่สูงเกินไป จากการออกแบบขั้นตอนการผลิตที่เหมาะสมถูกต้อง เนื่องจาก การมีความเข้าใจอย่างถูกต้องต่อรูปทรงแบบต่างๆของคุณสมบัติของผิวและวิธีการวัดผิว/วิเคราะห์จะทำให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกกำหนดค่าและวิธีการวัดความหยาบที่เหมาะสม ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ แต่จะทำให้เกิดขบวนการผลิตที่เหมาะสมและต้นทุนการผลิตที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ความหยาบผิว

ความหยาบผิว (Surface Roughness) คือ ความหยาบผิวดูได้จากชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการแปรรูป เช่น งานกลึง งานกัด งานไส เป็นต้น ผ่านการตรวจจะสังเกตได้ว่าชิ้นงานขรุขระเป็นลอนคลื่น ชิ้นที่ลอนสื้นสูงแสดงว่าชิ้นงานดังกล่าวมีผิวหยาบส่วนที่ลอนคลื่นต่ำแสดงว่าผิวชิ้นนั้นเรียบ ความหยาบผิวชิ้นงานมีผลต่อการใช้งานอย่างมาก เมื่อการผลิตมีคุณภาพผิวชิ้นงานไม่ตรงกับสภาพที่แท้จริงขณะทำงาน จะทำให้อายุการใช้งานของชิ้นงานสั้นลงหรือชิ้นงานบางชิ้นที่ผลิตขึ้นมามีผิวที่ละเอียด แต่สภาพใช้งานจริงไม่จำเป็น เพราะจะให้เสียเวลาในการทำงานโดยเปล่าประโยชน์

หากนำเอาผิวของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการแปรรูป โดยชิ้นงานได้รับการแปรรูปจาก งานกลึง งานกัด งานไส งานเจียระไน งานเลเซอร์ (Laser) เป็นต้น ผ่านการตรวจด้วยแว่นขยายจะพบว่าผิวของชิ้นงานขรุขระเป็นลอนคลื่น ชิ้นงานใดที่มีลอนคลื่นสูงแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานดังกล่าวมีผิวหยาบ ส่วนที่มีลอนคลื่นต่ำแสดงว่าผิวชิ้นงานนั้นเรียบ จะทำให้อายุการใช้งานของชิ้นงานสั้นลง หรือชิ้นงานบางชิ้นที่ผลิตขึ้นมามีผิวที่ละเอียด แต่สภาพใช้งานจริงไม่จำเป็น เพราะจะให้เสียเวลาในการทำงานโดยเปล่าประโยชน์

2.4.2 การเกิดสภาพของผิว

ภายใต้ขบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร เช่น กลึง กัด ไส บริเวณผิวงานสำเร็จที่มองเห็นและสัมผัสได้นั้นจะเป็นแหล่งที่รวมและสามารถบ่งบอกผลจากแหล่งกำเนิดหลายอย่างปะปนกันอยู่ โดยจะทราบได้ต่อเมื่อได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผิว (Surface Analysis)

ความหยาบผิว (Surface Roughness) จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุดิบถูกกระทำด้วยเครื่องจักร (Machining) โดยจะเกิดรอยทางเดินของเครื่องมือตัด (Tool) บริเวณเนื้อชิ้นงาน หากได้มีการขยายบริเวณพื้นผิวขึ้นมาดูจะพบรอยหยาบ ที่เกิดจากทางเดินของเครื่องมือกำจัดเนื้อวัสดุซึ่งบ่งบอกส่วนประกอบความหยาบผิว (Roughness component) โดยปัจจัยที่ทำให้เกิด ความหยาบผิว (Surface Roughness) ได้แก่ ค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) และค่าความเร็วรอบ (Speed) และ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate) ของเครื่องมือกำจัดเนื้อวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ลักษณะการเบี่ยงเบนของผิวชิ้นงาน

การเบี่ยงเบนของผิวชิ้นงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ บกพร่องทางด้านความราบ การเบี่ยงเบนผิวชิ้นงานที่เกิดจากลอนคลื่น การเบี่ยงผิวจากร่องโค้ง การเบี่ยงเบนผิวชิ้นงานจากแอ่งหรือรอยแตกเป็นจุดหยาบ ดังตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะการเบี่ยงเบนผิวของชิ้นงานซึ่งบอกสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของผิวชิ้นงาน

2.4.3.1 <u>บกพร่องทางด้านความราบ ความกลม</u>

บกพร่องทางด้านความราบ ความกลม (Form Error) อีกส่วนประกอบหนึ่งของความหยาบผิวงาน เกิดจากการที่รางขับเคลื่อน หรือ รางที่รองรับชุดเคลื่อนที่ของป้อมมีด เกิดสึกหรอ ค่าความตรง (Straightness) ลดลง ผลที่ได้มักจะเป็นคลื่นที่มีช่วงความยาวมาก อาจมากกว่าความยาวของรางเคลื่อนที่ โดยจะปรากฏรวมอยู่ในความหยาบผิว

2.4.3.2 <u>การเบี่ยงเบนที่เกิดจากลอนคลื่น</u>

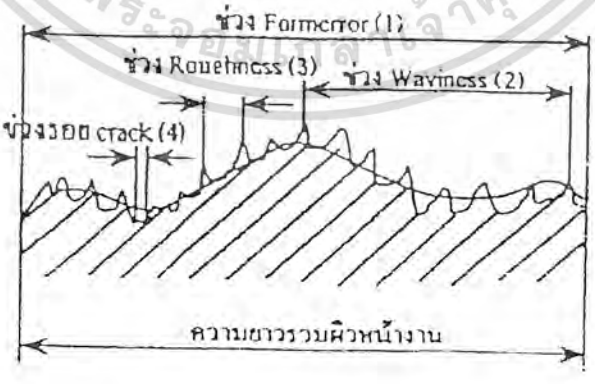
การเบี่ยงเบนที่เกิดจากลอนคลื่น (Waviness) คุณลักษณะผิว คือความเป็นคลื่น (Waviness) ซึ่งมักจะเกิดจากการสั่นสะเทือนจากแหล่งกำเนิดต่างๆ โดยรอบ เช่น เครื่องมือไม่ได้วางแผ่นป้องกันการสะเทือน หรือจากเกิดเครื่องเอียง เกิดจากการสึกของลูกปืน (Bearing) คอเครื่อง เกียร์ทด ชุดจับยึด หรือ ส่วนอื่นๆ ที่เริ่มสั่นคลอนตามอายุหรือกาลเวลาที่ใช้งาน ความสั่นสะเทือนเหล่านี้จะปรากฏแฝงอยู่ในลักษณะของผิวงาน

2.4.3.3 <u>การเบี่ยงเบนจากร่องโค้ง</u>

การเบี่ยงเบนจากร่องโค้ง (Roughness) ความหยาบ ความเป็นคลื่น หรือ ความผิดเพี้ยนของรูปทรง อันเกิดขึ้นในระหว่างที่ทำงาน ผสมปนกันอยู่ในภาพของผิวงานที่เห็นหรือสัมผัสได้

2.4.3.4 <u>ความไม่เรียบ ขรุขระเป็นจุดหยาบ</u>

ไม่เรียบขรุขระเป็นจุดหยาบ (Crack) ลักษณะจะคล้ายกับการเบี่ยงเบนจากร่องโค้ง (Roughness) แต่จะความหยาบผิวที่มากกว่า



รูปที่ 2.6 ช่วงของการเบี่ยงเบนผิวชิ้นงาน

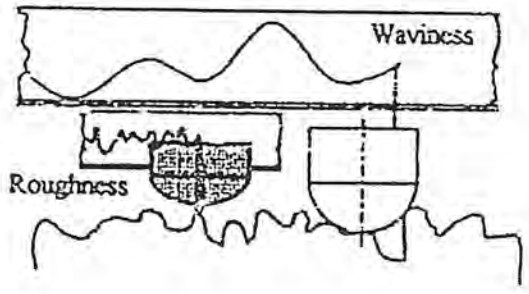
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะการเบี่ยงเบนของผิวชิ้นงาน

แสดงการเบี่ยงเบนของผิวชิ้นงาน		ตัวอย่างการเบี่ยงเบนผิวของชิ้นงาน	สาเหตุที่ทำให้เบี่ยงเบน
	Form Error	บกพร่องทางด้านความราบ ความกลม	- ผิดพลาดจากระบบนำเคลื่อนเครื่องมือ - การโกงงอของเครื่องมือหรือชิ้นงาน
	Waviness	การเบี่ยงเบนที่เกิดการลอนคลื่น	- การจับยึดที่เยื้องศูนย์ของชิ้นงาน - การเบี่ยงเบนจากรูปทรงหรือการหมุนของคมตัด
	Roughness	การเบี่ยงเบนจากร่องโค้ง	- รูปทรงคมตัด - การตั้งค่าอัตราป้อนชิ้นงานหรือตั้งค่าความเร็วลึกมุมตัด
	Crack	ความไม่เรียบ ขรุขระเป็นจุดหยาบหรือรอยแตก	- การไหลหรือการขาดของเศษงาน - การเตรียมผิวด้วยกรรมวิธียิงทราย

ข้อบกพร่องของผิวหน้าชิ้นงานที่มีขนาดเป็นตัวกำหนดให้มีรูปแบบความเบี่ยงเบนผิวชิ้นงานแบบต่างๆ ดังรูป 2.6 ช่วงการเบี่ยงเบนซึ่งจะแสดงให้เห็นลักษณะของช่วงความเบี่ยงเบนผิวชิ้นงานแบบต่างๆ จากตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะการเบี่ยงเบนของผิวชิ้นงานในแบบรูปบกพร่องทางด้านความราบความกลม (Form Error) และรูปแบบ การเบี่ยงเบนที่เกิดจากลอนคลื่น (Waviness) เป็นไปในลักษณะมหาภาค (Macro) ส่วนการเบี่ยงเบนผิวชิ้นงานรูปแบบ การเบี่ยงเบนจากร่องโค้ง (Roughness) และรูปแบบไม่เรียบขรุขระเป็นจุดหยาบ (Crack) เป็นไปในลักษณะจุลภาค (Micro) ซึ่งมีร่องหรือช่องความหยาบแคบมาก ดังนั้นการวัดตรวจสอบเพื่อหาค่าที่ต้องการต้องใช้อุปกรณ์เครื่องวัดความหยาบผิว ซึ่งมีหลักการและส่วนประกอบเบื้องต้นในรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นลักษณะของหัวลากกับหัวสัมผัสของเครื่องวัดความหยาบที่ใช้ในการวิจัย

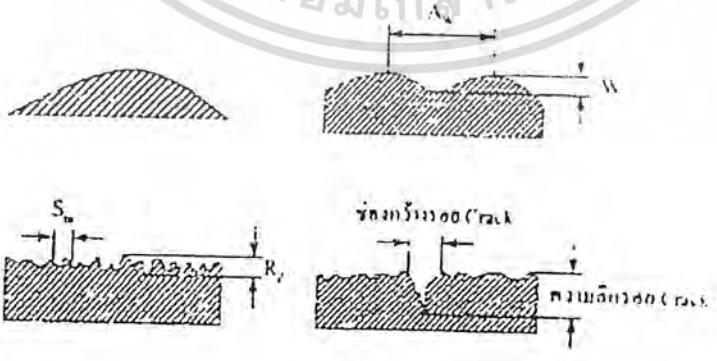
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ลักษณะความแตกต่างระหว่างหัวลาก (รูปด้านขวา) กับหัวสัมผัส (รูปด้านซ้าย)

ข้อบกพร่องผิวหน้าชิ้นงาน เกิดมาจากกรรมวิธีการผลิตชิ้นงานผิวหน้ามักจะมีการเบี่ยงเบนตลอดเวลาที่ทำการผลิตชิ้นงาน จากความคิดที่เกี่ยวกับรูปทรงต่างๆ ทางเรขาคณิต ซึ่งข้อเท็จจริงทั้งหลายความเบี่ยงเบนจากรูปแบบ ไม่เป็นความจริงของผิวชิ้นงานด้วยเหตุนี้ผิวชิ้นงานเป็นเรื่องสำคัญ ดังนั้นที่ของชิ้นส่วนจักรกลพฤติกรรมการกัดกร่อน ความสามารถในการแบ่งชั้น ความสามารถทำให้เกิดการสิ้นการเสียดสีมักอยู่ที่การควบคุมคุณภาพผิวหน้า ซึ่งตามมาตรฐาน DIN 4760 มีการแบ่งรูปแบบการเบี่ยงเบนออกเป็น 6 แบบ สำหรับแบบที่ 5 และแบบที่ 6 เป็นองค์ประกอบที่หลอกอยู่ในโครงสร้างแบบที่ 1ถึงแบบที่ 4 และเกิดเป็นโครงสร้างแบบตาข่าย และไม่มีตัวอย่างอธิบายที่แน่ชัด ขนาดเป็นตัวกำหนดให้มีรูปแบบเบี่ยงเบน ซึ่งมีทั้งหมด 4 รูปแบบ อาจจะไม่เกี่ยวเนื่องกับหน้าที่ของผิวหน้า ณ เวลา ผิวหน้าที่ด้านไม่ควรจะมีหลายส่วนของรูปแบบเบี่ยงเบน ผิวหยาบต้องการความหยาบต่ำ ผิวหน้าที่เปลี่ยนแปลงควรจะมีรูปคลื่นที่ชัดเจน

จากข้อมูลทำให้สามารถจำแนกลักษณะการเบี่ยงเบนผิวงานทั้ง 4 รูปแบบตามอัตราส่วนระหว่างความยาว (L) ต่อร่องลึก (t) แสดงดังรูปที่ 2.8 และตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.8 จำแนกลักษณะการเบี่ยงเบนผิวชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อร่องลึกความหยาบผิว

ลักษณะการเบนเบี่ยง	Form Error	Waviness	Roughness	Crack
อัตราส่วน L/t ไมโครเมตร	> 1000	100 - 1000	5 -100	< 5

2.4.4 จุดประสงค์ของเครื่องมือวัดและตรวจสอบความหยาบผิว

1. ตรวจสอบความหยาบผิวงานด้วยแผ่นเทียบผิวได้ถูกต้อง

2.4.5 รายละเอียดของเครื่องวัดค่าความหยาบผิว

รายละเอียดของเครื่องวัดค่าความหยาบผิว (Surface Profilometer)

2.4.5.1 หลักการทำงานของเครื่องวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

การทำงานของเครื่องวัดค่าความหยาบผิวจะเป็นการทำงานร่วมกันของหัวทดสอบกับชุดขยายสัญญาณและควบคุมที่จะแปลงผลการสัมผัสของปลายวัด ซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นลงตามลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้ารวม ที่มีคลื่นของความถี่สูงและต่ำผสมกันอยู่ อันมีผลมาจากลักษณะโครงสร้างรวมของพื้นผิวที่วัดได้ ซึ่งการประมวลผลของผิว ตามคุณสมบัติการวัดจำเป็นต้องแยกลักษณะสัญญาณความถี่สูงและต่ำนี้ออกจากกัน เนื่องจากแต่ละลักษณะเป็นค่าที่แทนคุณสมบัติที่ต่างกัน คือ

- ย่านความถี่สูงจะเป็นค่าคุณสมบัติของความหยาบผิว (Roughness)
- ย่านความถี่ต่ำจะเป็นค่าคุณสมบัติของความเป็นลอนคลื่น (Waviness)

2.4.5.2 วิธีการทำงานของเครื่องวัดค่าวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

โดยตัวที่เป็นตัวทดสอบวัดค่าความหยาบผิวคือ หัวทดสอบใช้วัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานโดยจะมีแท่งโลหะด้านในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดเล็กจะเชื่อมต่อกับหัวทดสอบคล้ายปากกาปากแหลมและแท่งโลหะด้านนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดใหญ่โดยใช้หัวทดสอบลากสัมผัสกับผิวชิ้นงาน โดยชิ้นงานที่นำมาหาค่าความหยาบผิวนั้นต้องมีขนาดของร่องทดสอบที่สามารถให้หัวทดสอบเข้าไปสัมผัสวัดค่าได้แต่ก่อนที่จะวัดค่าความหยาบผิวได้นั้นต้องมีการปรับค่าการวัดค่าความหยาบผิว (Calibrate) ก่อนทุกครั้งที่ทำการวัดค่าเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

2.4.6 แผ่นเทียบผิว

แผ่นเทียบผิว (Comparator Gages) เป็นเครื่องมือวัดความหยาบผิวงานที่สามารถใช้งานได้รวดเร็วก่อนที่จะศึกษาเรื่องแผ่นเทียบผิว จำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับสัญลักษณ์ความหยาบผิวตามมาตรฐานต่างๆ เสียก่อนจึงจะสามารถเข้าใจถึงลักษณะของผิวงานได้ถูกต้อง

แผ่นเทียบผิวเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบความหยาบความละเอียดของผิวงานที่ผ่านการ ตะไบ การกลึง การกัด การเจียระไน ซึ่งสามารถทำการตรวจสอบได้สะดวกรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 ลักษณะโครงสร้างแผ่นเทียบผิว

แผ่นเทียบผิวมีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม วางเรียงกันเป็นชุดตามลำดับความหยาบ ในแต่ละแผ่นจะมีสัญลักษณ์บอกระดับความหยาบกำกับไว้ แผ่นเทียบผิวชุดหนึ่งจะมีแผ่นเทียบผิว 8 แผ่น แผ่นเทียบผิวแต่ละชุดใช้สำหรับตรวจสอบความหยาบของผิวงานแต่ละชนิดต่างกัน เช่น ผิวงานตะไบ ผิวงานกลึง งานกัด และผิวงานเจียระไน

2.4.8 การใช้แผ่นเทียบผิวตรวจสอบผิวงาน

การใช้แผ่นเทียบผิวตรวจสอบความหยาบผิวงาน ต้องเลือกแผ่นเทียบผิวให้ตรงกับผิวชิ้นงานที่จะตรวจสอบ เช่น แผ่นเทียบผิวงานกัด ใช้สำหรับเทียบความหยาบของผิวงาน วิธีการใช้แผ่นเทียบผิวมี 2 วิธีคือ

2.4.8.1 <u>วิธีที่ 1 การใช้สายตาตรวจสอบโดยอาศัยหลักการสะท้อนแสง</u>

การใช้สายตาตรวจสอบโดยอาศัยหลักการสะท้อนแสง จากผิวงานเปรียบเทียบกับแผ่นเทียบผิว ผิวงานที่มีความเรียบมากจะสะท้อนแสงได้ดีกว่า แต่หากชิ้นงานมีขนาดใหญ่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายมาใกล้ที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอจำเป็นต้องใช้โคมไฟส่องที่ผิวงานและแผ่นเทียบผิว และสังเกตการสะท้อนแสงจากผิวงานกับแผ่นเทียบผิวว่ามีขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงที่สุดในช่วงใด จากนั้นจึงอ่านค่าความหยาบผิวชิ้นงานออกมาเป็นตัวเลข หรือบอกเป็นสัญลักษณ์ที่กำหนดบนแผ่นเทียบผิว

2.4.8.2 <u>วิธีที่ 2 การใช้ความรู้สึกสัมผัส</u>

วิธีนี้ใช้ในกรณีที่บางครั้งเกิดความไม่เชื่อมั่นในสายตาตนเอง ไม่สามารถบอกค่าความหยาบผิวได้ถูกต้อง หรือผิวงานที่นำมาตรวจสอบไม่สะท้อนแสงหรือสะท้อนแสงน้อยมาก เช่น ผิวเหล็กหล่อ จำเป็นต้องอาศัยความรู้สึกสัมผัส โดยใช้นิ้วมือลูบเปรียบเทียบระหว่างผิวงานกับแผ่นเทียบผิวว่ามีความหยาบเท่ากันในช่วงใดของแผ่นเทียบผิว จากนั้นจึงอ่านค่าความหยาบผิว หรือกำหนดเป็นสัญลักษณ์ความหยาบผิวตามที่ปรากฏบนแผ่นเทียบผิว

2.4.9 ข้อควรระวังและการดูแลรักษาแผ่นเทียบผิว

เลือกใช้แผ่นเทียบผิวให้ตรงกับชนิดของความหยาบผิวงานที่ต้องการเปรียบเทียบ

1. เช็ดคราบน้ำมันที่แผ่นเทียบผิวออกให้หมด และทำความสะอาดผิวชิ้นงานที่ต้องการเปรียบเทียบ
2. ระวังไม่ให้ของแข็งขูดขีดแผ่นเทียบผิว
3. ตรวจสอบในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ
4. หลังการใช้งานต้องรีบเช็ดทำความสะอาด ทาน้ำมันกันสนิม และนำเก็บใส่ซอง

2.4.10 ค่าที่เกี่ยวข้องกับความหยาบผิว

2.4.10.1 <u>ความหยาบผิว</u>

ความหยาบผิว (Surface Roughness) คือ ปริมาณของลักษณะบนพื้นผิวชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการแปรรูปด้วยเครื่องจักรและกำหนดเป็นสเกลด้วยค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ (Arithmetical Mean Deviation) ของพื้นที่หน้าตัด (Ra) ความสูงของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง 10 จุด (Rz) และค่าสูงที่สุดของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง (Rt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.10.2 ความยาวอ้างอิง

ความยาวอ้างอิง (Reference Length) ความยาวอ้างอิง (le) กำหนดให้เป็นความยาวซึ่งจำเป็นต่อการหาค่าที่สุดระยะระหว่างจุดสูงสุดและปริมาณค่าสูงที่สุดของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง (Rt) หรือความสูงสุดของส่วนที่เปลี่ยนแปลง 10 จุด (Rz) จากพื้นที่หน้าตัดตัดแปลงค่าความยาวของความยาวอ้างอิง ไม่มีผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงานปกติ

2.4.10.3 เส้นค่าเฉลี่ย

เส้นค่าเฉลี่ย (Mean Line) ถูกกำหนดให้เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งซึ่งเป็นผลรวมทั้งหมดของค่ายกำลัง 2 ของความสูงจากเส้นค่าเฉลี่ยถึงส่วนโค้งจากการวัดโดยแสดงเป็นค่าต่ำสุด เส้นเฉลี่ยถูกใช้เป็นเส้นอ้างอิง เพื่อหาค่าตัวแปรของความหยาบของผิวชิ้นงาน

2.4.10.4 รูปหน้าตัดที่เป็นผลและรูปหน้าตัดดัดแปลง

รูปหน้าตัดที่เป็นผลและรูปหน้าตัดดัดแปลง (Effective Profile and Modified Profile) ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่ผ่านการแปรรูปด้วยเครื่องอีดีเอ็มจะมีลักษณะนูนขึ้นเป็นแอ่งด้วยความสูง ช่วงห่าง และความเอียงแตกต่างกันมากมาย เมื่อความเรียบของผิวเหล่านี้ถูกวัดด้วยส่วนสัมผัสทางไฟฟ้าหรือหัวทดสอบ แล้วขจัดคลื่นความถี่ออกไปด้วยรูปหน้าตัดดัดแปลงจะเกิดเส้นโค้งที่ลากด้วยปลายหัวทดสอบ ซึ่งมีความหมายซึ่งมีความแตกต่างจากเส้นโค้งที่ลากโดยผ่าน Low Band Cut-off Filter หรือที่เรียกว่า รูปหน้าตัดดัดแปลง ค่าของความถี่ที่ได้ค่าวัดออกด้วย Filter เรียกว่า ค่าตัดออก และรูปร่างของเส้นโค้งมีความแตกต่างกัน

รูปที่ 2.9 รูปหน้าตัดที่เป็นผลและรูปหน้าตัดดัดแปลงของความหยาบ

2.4.11 วิธีการแสดงค่าความหยาบผิว

การศึกษาเกี่ยวกับความหยาบผิวของชิ้นงาน เป็นการเก็บค่าและการหาค่าเฉลี่ยของความแรงสัญญาณ (Amplitude) จากรูปหน้าตัดและเมื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับใช้คลื่นเสียง จึงได้นำมาประยุกต์เพื่อการวิเคราะห์ค่าความหยาบของผิวชิ้นงานและมีวิธีการคำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

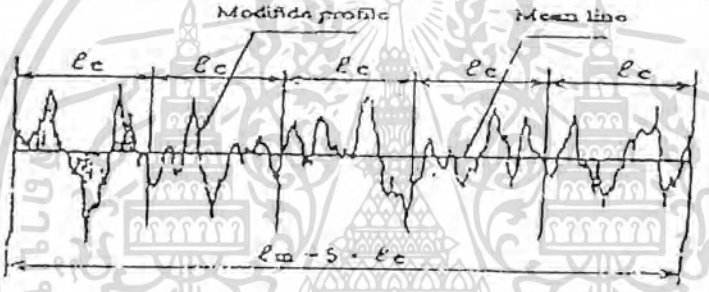
2.4.11.1 <u>ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ของพื้นที่หน้าตัด</u>

ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ของพื้นที่หน้าตัด (Ra) มีวิธีหาโดย แกน x ใช้กำหนดทิศทางเส้นค่าเฉลี่ยของเส้นโค้งจากการวัดและมีความยาวประเมินโดย (lm = 5*le)โดยทั่วไปความยาวประเมิน (lm) มีค่าเป็น 5 เท่าของความยาวอ้างอิง (le) การกำหนดตามแกน x ในรูปที่ 2.10 และแกน z มีทิศทางในแนวตั้งฉากกับแกน x และรูปพื้นที่หน้าตัดคัดแปลงจะถูกอธิบายโดย z = f (x) ค่า Ra หาได้จากสมการที่ 2.18 วิธีการหามีดังนี้

$$Ra = \frac{1}{lm}\int_{0}^{lm} |f(x)|dx \qquad \text{สมการ 2.18}$$

เมื่อ lm = ความยาวประเมิน (ไมโครเมตร)

le = ความยาวอ้างอิง (ไมโครเมตร)

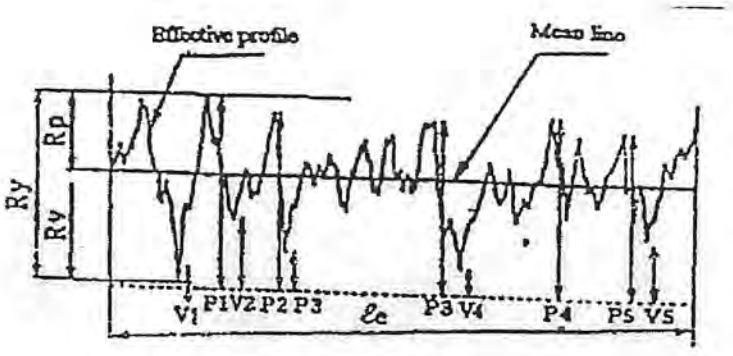


รูปที่ 2.10 ค่าพารามิเตอร์ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ของพื้นที่หน้าตัดของค่าความหยาบผิว

2.4.11.2 <u>ค่าสูงที่สุดของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง</u>

ค่าสูงที่สุดของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง (Rt) มีวิธีการหาโดย การตัดออกเส้นโค้งจากการวัดช่วงห่างของความยาวอ้างอิงแล้วลากเส้น 2 เส้นขนานกับเส้นค่าเฉลี่ยของรูปหน้าตัวดัดแปลงให้หนึ่งสัมผัสกับส่วนที่สูงสุดปลายยอดแหลม (Peak) และอีกเส้นสัมผัสกับส่วนที่ลึกที่สุดของแอ่ง (Valley) ค่า Rt ได้จากระยะความยาวช่วงห่างเส้นขนานทั้งสองดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ค่าค่าสูงที่สุดของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงและค่าความสูง
ของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง 10 จุด ของค่าความหยาบผิว

วิธีการหามีดังนี้

Rp = ระยะจากเส้นค่าเฉลี่ยถึงจุดที่สูงที่สุดของปลายยอดแหลม (Peak)

Rv = ระยะจากเส้นค่าเฉลี่ยถึงจุดที่ลึกที่สุดของแอ่ง (Valley)

Rt = ระยะระหว่างจุดที่สูงที่สุดของปลายยอดแหลม (Peak) และจุดที่ลึกที่สุดของแอ่ง (Valley)

ถ้าค่า Rp และ Rv มีค่ามากๆ จะมีส่วนสำคัญต่อการสึกหรอของชิ้นส่วนของเครื่องจักร

2.4.11.3 <u>ความสูงของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง 10 จุด</u>

ความสูงของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง 10 จุด (Rz) มีวิธีการหาโดยส่วนของเส้นโค้งจากการวัดตัดออกด้วยความยาวอ้างอิงให้เลือกจุดสูงที่สุดของปลายยอดแหลม (Peak) 5 จุด และจุดที่ลึกที่สุดของแอ่ง (Valley) 5 จุดดังรูปที่ 2.11 ค่า Rz หาได้จากสมการ 2.19

วิธีการหามีดังนี้

$P_{(1,2,3,4,5)}$ = เป็นค่าสูงที่สุดของปลายยอดแหลม (Peak) 5 จุด

$V_{(1,2,3,4,5)}$ = เป็นค่าลึกที่สุดของแอ่ง (Valley) 5 จุด

$$Rz = \frac{1}{5}\{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5) - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5)\} \qquad \text{สมการ 2.19}$$

เมื่อ P_1 เป็นค่าสูงที่สุดของปลายยอดแหลมและ V_2 เป็นค่าสูงที่สุดอันดับที่สองของรอยแตกหรือแอ่ง และเรียงลำดับต่อๆ ไป สำหรับ Rz คือ จุดสูงสุดและจุดต่ำสุดจำนวน 10 จุด ในความสูงของส่วนที่เปลี่ยนแปลงแสดงในรูปที่ 2.11 ลักษณะที่เสมือนภูเขาและหุบเขา ในเส้นโค้งที่ได้จากการวัด จะมียอดแหลมและแอ่งแต่ละส่วน 1 จุดเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

จากการทำการทดลองเกี่ยวกับการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) ทำให้เราทราบถึงหลักการทำงานของเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) เครื่องวัดค่าความหยาบผิวและยังรู้ถึงกรรมวิธีในการทดลอง วัสดุและขั้นตอนต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งในปัจจุบันนี้อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลองล้วนแล้วแต่มีลักษณะและส่วนผสมที่แตกต่างกันแล้วแต่ว่าผู้ทำการทดลองจะเลือกอุปกรณ์และวัสดุแบบไหนในการทดลอง ส่วนการทดลองนี้เป็นการศึกปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) สามารถแบ่งอุปกรณ์และวิธีการทดลองได้ดังต่อไปนี้

1. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง
2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
3. หลักการออกแบบการทดลอง
4. ขั้นตอนการทดลอง

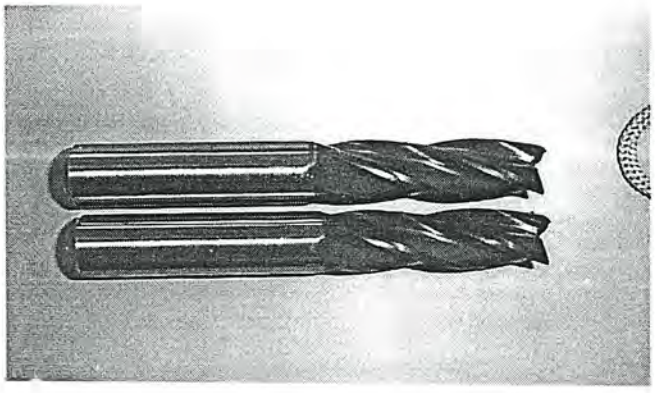
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) วัสดุที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

3.1.1 ดอกกัดเอนมิล

ลักษณะของดอกกัดที่ใช้ในการทดลองที่เลือกใช้ คือ เป็นเหล็กเครื่องมือ โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร และเคลือบผิว (Coating) ด้วยอลูมิเนียมไททาเนียมไนไตรด์ โดยคุณสมบัติของการเคลือบผิวนี้จะช่วยป้องกันการกัดกร่อนและช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของดอกกัดเอนมิล (End Mill) ให้ยาวนานขึ้น โดยลักษณะของดอกกัดเอนมิล (End Mill) ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ดอกกัดเอนมิล

3.1.2 ชิ้นงานทดลอง

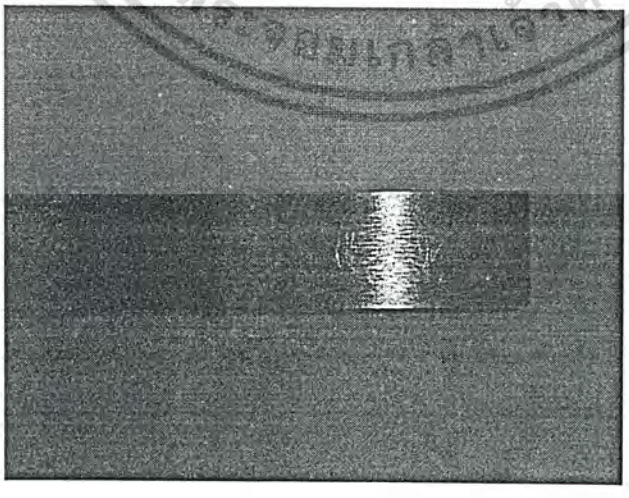
ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองคือเหล็ก SKD 11 ซึ่งเป็นเหล็กที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์เป็นแหล่งที่มีคุณสมบัติแข็งแต่เปราะและสามารถป้องกันสนิมได้ดี และในการทดลองได้ออกแบบให้มีขนาด กว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 112 มิลลิเมตร หนา 25 มิลลิเมตร ซึ่งลักษณะของชิ้นงานเหล็ก SKD 11 ที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเหล็ก SKD 11 มีส่วนผสมทางเคมีและคุณสมบัติดังนี้คือ

3.1.2.1 <u>ส่วนผสมทางเคมี</u>

คาร์บอน 1.4 – 1.6%, แมงกานีส 0.3 – 0.6%, โมลิบดินัม 0.8 – 1.2%, วานาเดียม 0.2 – 0.5%, โครเมียม 11 – 13%, ซิลิกอน 0.15 – 0.35%, ฟอสฟอรัสน้อยกว่า 0.025% และซัลเฟอร์มากว่า 0.01%

3.1.2.2 <u>คุณสมบัติ</u>

ความแข็งมากกว่า 61 ร็อคเวลสเกล C (HRC)



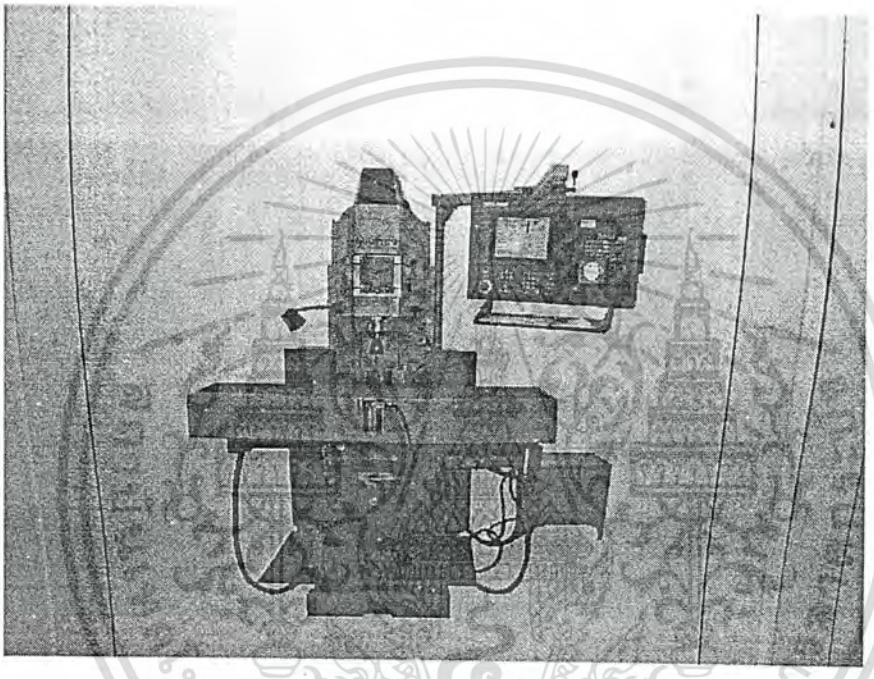
รูปที่ 3.2 ชิ้นงานเหล็กเอสเคดี 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องกัดอัตโนมัติ

เป็นเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) ยี่ห้อ Tree รุ่น J425 CNC ใช้ระบบไฮดรอลิกส์ในการขับเคลื่อน แกน XYZ และระบบควบคุมโดยใช้ระบบการสัมผัสบนหน้าจอแผงควบคุมซึ่งเป็นระบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังดังรูปที่ 3.3

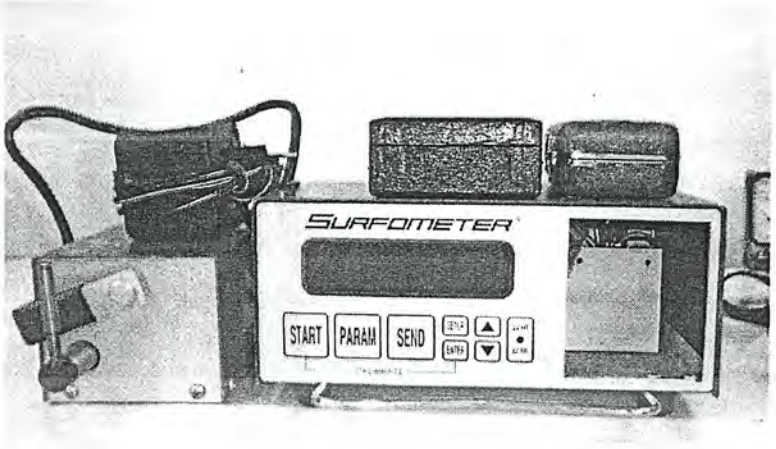


รูปที่ 3.3 เครื่องกัดอัตโนมัติ

3.2.2 เครื่องวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

เครื่องวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง โดยใช้วัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) และเป็นเครื่องที่สามารถวัดค่าความหยาบผิวได้ละเอียดถึง 1 ไมครอน เป็นเครื่องยี่ห้อ Presition Device INC, Milan, Michigan 48160 Model PDD – 400 – bo Ser. 5086 เป็นเครื่องที่อยู่ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งลักษณะของเครื่องวัดค่าความหยาบผิวแสดงดังรูปที่ 3.4

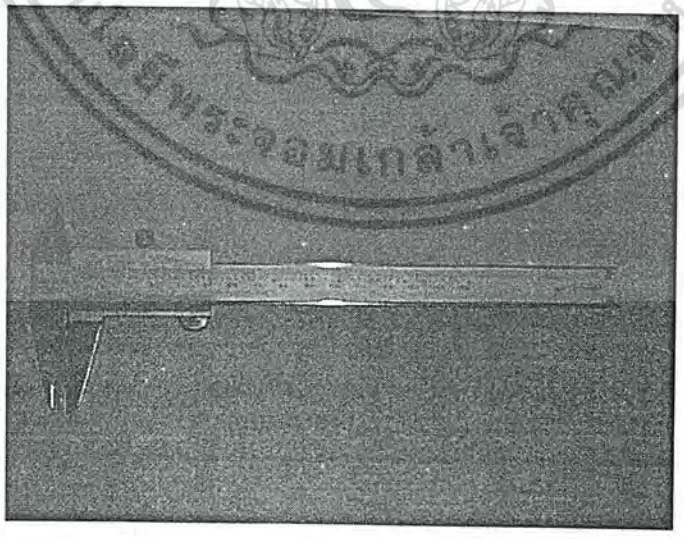
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

3.2.3 เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง เป็นเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ที่มีขนาดความและเอียดถึง 0.02 มิลลิเมตร และมีระยะช่วงความยาวของตัวเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ที่สามารถใช้วัดขนาดของชิ้นงานเหล็ก SKD 11 ได้ โดยลักษณะของเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์แสดงดังรูปที่ 3.5 ซึ่งในการวัดชิ้นงานจะต้องทำการจับยึดชิ้นงานด้วยปากกาจับชิ้นงาน เพื่อป้องกันชิ้นงานเคลื่อนที่แล้วจึงทำการวัดขนาดชิ้นงาน เหตุผลที่ต้องทำการจับยึดชิ้นงานเพราะเมื่อนำเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์มาวัดชิ้นงาน ค่าของการวัดจะได้มีความแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 3.5 เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 หลักการออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองที่ใช้ เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) ในการกัดชิ้นงานทดลอง จะต้องทำตามขั้นตอนต่างๆ ที่ได้เตรียมเอาไว้แล้ว และค่าความหยาบผิวที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) จะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าของตัวแปรว่าตัวแปรใดมีผลต่อค่าความหยาบผิวมากน้อยเพียงใด เนื่องจากว่ามีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษามากกว่า 1 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมีอยู่ด้วยกันอยู่หลายระดับที่ต้องทำการทดลอง โดยในการทดลองนี้มีปัจจัยที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมีด้วยกัน 2 ระดับ คือ ปัจจัยที่ 1 คือ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate) ประกอบด้วยระดับต่ำ 40 มิลลิเมตร/นาที และระดับสูง 60 มิลลิเมตร/นาที ปัจจัยที่ 2 คือ ค่าความเร็วรอบ (Speed) ประกอบด้วยระดับต่ำ 400 รอบ/นาที และระดับสูง 600 รอบ/นาที ปัจจัยที่ 3 คือ ค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) ประกอบด้วยระดับต่ำ 0.5 มิลลิเมตรและระดับสูง 1.5 มิลลิเมตรทั้ง 3 ปัจจัยนี้และปัจจัยมีด้วยกันปัจจัยละ 2 ระดับ กล่าวคือเมื่อทำการจัดทรีทเม้นต์ (Treatment) ในการทดลอง เราจะเรียกผลการจัดทรีทเม้นต์เหล่านี้ว่า Treatment Combination เช่น การทดลองมี 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับและทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ดังนั้นจะเรียกว่า การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลขนาด 3×2^3 ดังนั้น Combination ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 24 ครั้ง ดังนั้นหลักในการออกแบบการทดลองมีดังนี้

3.3.1 ทำความเข้าใจถึงปัญหา

หาแนวความคิดที่เกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) โดยปัจจัยแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

3.3.1.1 <u>ปัจจัยที่ควบคุมได้</u>

ในการออกแบบการทดลองเราต้องหาปัจจัยที่สามารถควบคุมได้มาใช้ในการทดลองเพื่อป้องกันการผิดพลาดของผลการทดลอง โดยปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate), ค่าความเร็วรอบ (Speed), ค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut), เครื่องมือตัด (Tool) และขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นต้น ในการทดลองนี้ได้กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา 3 ปัจจัย คือ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate), ค่าความเร็วรอบ (Speed), ค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) โดยทั้ง 3 ปัจจัยนี้สามารถปรับเปลี่ยนระดับตามที่ได้กำหนดไว้ได้อย่างแม่นยำ

3.3.1.2 <u>ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้</u>

ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้เป็นปัจจัยที่ไม่อยากให้เกิดขึ้นในการทดลอง เพราะเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะส่งผลต่อผลของการทดลอง ทำให้ผลของการทดลองผิดพลาดไปและสร้างความไม่น่าเชื่อถือให้กับรูปแบบ (Model) ของการทดลอง โดยปัจจัยเหล่านั้นได้แก่ อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด (Tool Life), ความผิดพลาดของเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) และความผิดพลาดจากผู้ทำการทดลอง

3.3.2 เลือกพารามิเตอร์ ระดับ และขอบเขต

การเลือกพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการทดลอง โดยในการทดลองนี้เลือกมาทั้งหมด 3 พารามิเตอร์หรือ 3 ปัจจัย คือ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate), ค่าความเร็วรอบ (Speed), ค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) แล้วทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดระดับของพารามิเตอร์ ซึ่งในการกำหนดระดับของพารามิเตอร์นี้ ได้ทำการศึกษาลักษณะของพารามิเตอร์ว่าควรจะมีค่าเป็นเท่าไร โดยกำหนดค่าจากการคำนวณและค่าจากคู่มือการใช้เครื่องมือตัด (Tools) โดยนำค่าระหว่างที่มาทั้ง 2 นี้ มาทำการเปรียบเทียบกันแล้วเลือกที่เหมาะสมที่สุดและเป็นค่าที่ไม่เกิดอันตรายต่อผู้ทดลองในระหว่างทำการทดลอง รวมทั้งเป็นค่าที่รักษาอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด (Tools) อีกด้วย

3.3.3 เลือกการออกแบบการทดลอง

ในการเลือกการออกแบบการทดลองได้เลือกการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 2^k โดยที่ 2 หมายถึงระดับของปัจจัยแต่ละปัจจัย ส่วน k หมายถึงจำนวนของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง โดยในการทดลองนี้มีด้วยกันทั้งหมด 3 ปัจจัย และต้องทำการตัดสินใจว่าควรจะทำการบล็อคกิง (Blokcing) หรือทำการสุ่ม (Randomization) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ โดยในการทดลองนี้ได้ทำการสุ่ม (Randomization) ลำดับการทดลอง และทำการทดลองซ้ำ (Replication) 3 ครั้ง เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดลอง ดังนั้นจำนวนครั้งในการทดลองนี้มีทั้งหมดเท่ากับ $3 \times 2^3 = 24$ ครั้ง

3.3.4 แผนการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยและระดับที่เลือกใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ต่ำ	สูง
ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (มิลลิเมตร/นาที)	40	60
ค่าความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	400	600
ค่าความเร็วลึกมุมตัด (มิลลิเมตร)	0.5	1.5

การทดลองด้วยกรรมวิธีการขึ้นรูปชิ้นงานด้วย เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างตามที่ได้ทำการออกแบบการทดลองไว้แล้วโดยปัจจัยที่ใช้ในการทดลองและระดับของแต่ละปัจจัยแสดงดังตารางที่ 3.1 ขั้นตอนแรกเมื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานให้ได้จำนวนครั้ง 24 ครั้งตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ นำชิ้นงานมาทำการเก็บค่าความหยาบผิวด้วยการใช้เครื่องทดสอบค่าความหยาบผิวแล้วนำผลที่ได้มาประมวลผลเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ตอบสนอง ขั้นสุดท้ายเป็นการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่พยากรณ์ได้ หรือค่าที่มีผลมากสุดที่ได้จากการนำผลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.1 <u>การทดลองเพื่อหาตัวแปรตอบสนอง</u>

ตารางที่ 3.2 เมตริกการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3						
ลำดับการทดลอง	ปัจจัย			ค่าความหยาบผิว		
	A	B	C	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	+	+	+			
2	+	+	-			
3	+	-	+			
4	+	-	-			
5	-	+	+			
6	-	+	-			
7	-	-	+			
8	-	-	-			

ในขั้นตอนของการทดลองเพื่อหาตัวแปรตอบสนองนี้ จะแสดงถึงค่าพารามิเตอร์และระดับขั้นของการออกแบบการทดลอง โดยที่ค่าของพารามิเตอร์จะใช้เครื่องหมายบวก (+) แทนระดับสูง และเครื่องหมายลบ (-) แทนระดับต่ำโดยแสดงดังตารางที่ 3.2 เป็นเมตริกการออกแบบการทดลองและมีการทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง โดยการทำการทดลองแต่ละครั้งต้องมีการสุ่มลำดับขั้นของการทดลองโดยการสุ่มลำดับขั้นของการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 การสุ่มอย่างสมบูรณ์

ลำดับการทดลอง	หมายเลขลำดับที่		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	6	8	22
2	17	20	21
3	4	14	19
4	11	13	15
5	12	16	23
6	2	9	18
7	7	10	24
8	1	3	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ตารางบันทึกผลการทดลองอย่างง่าย

ลำดับการทดลอง	ปัจจัย			ค่าความหยาบผิว			
	ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (มิลลิเมตร/นาที)	ค่าความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ค่าความเร็วลึกมุมตัด (มิลลิเมตร)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	40	400	0.5				
2	40	600	0.5				
3	40	400	0.5				
4	60	400	1.5				
5	40	400	0.5				
6	60	600	1.5				
7	40	400	1.5				
8	60	600	1.5				
9	40	600	0.5				
10	40	400	1.5				
11	60	400	0.5				
12	40	600	1.5				
13	60	400	0.5				
14	60	400	1.5				
15	60	400	0.5				
16	40	600	1.5				
17	60	600	0.5				
18	40	600	0.5				
19	60	400	1.5				
20	60	600	0.5				
21	60	600	0.5				
22	60	600	1.5				
23	40	600	1.5				
24	40	400	1.5				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ง่ายขึ้นในการเก็บค่าจากผลการทดลองจึงจำเป็นต้องสร้างตารางบันทึกผลการทดลองขึ้นมาโดยแสดงดังตางรางที่ 3.4 ซึ่งในแต่ละครั้งจะเก็บค่าความหยาบผิวมาทั้งหมด 3 ค่าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานจะต้องมีการวางแผนการทดลองหรือมีการจัดลำดับขั้นของการทดลอง เพื่อที่จะให้การทดลองเป็นไปตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ และในการทดลองก่อนที่จะทำการทดลองจะต้องมีการเตรียมชิ้นงานให้ได้ขนาดตามความต้องการและต้องให้ผิวของชิ้นงานมีความละเอียดเหมือนกันทุกชิ้นโดยการทำการเจียระไนเมื่อเตรียมชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงทำการทดลอง โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

3.4.1 ขั้นตอนก่อนการทดลอง

3.4.1.1 <u>เตรียมชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง</u>

การเตรียมชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง ก่อนที่จะทำการทดลองต้องมีการเตรียมชิ้นงานให้ได้ขนาดตามที่กำหนดไว้ โดยนำเหล็ก SKD 11 ที่ใช้ทำแม่พิมพ์มาทำการปรับลดขนาดโดยใช้เครื่องกัด และทำการเจียระไนเพื่อให้ได้ความละเอียดของผิวตามที่ต้องการ โดยขนาดและความละเอียดของผิวชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง มีขนาดความกว้าง 32 มิลลิเมตร ความยาว 130 มิลลิเมตร ความสูง 40 มิลลิเมตร และมีค่าความละเอียดของผิวเท่ากับ 0.85 ไมโครเมตร ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ชิ้นงานทั้งหมด 3 ชิ้น โดยแต่ละชิ้นสามารถทดลองได้ 12 ครั้ง ซึ่งลักษณะของชิ้นงานที่นำมาใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.2

3.4.1.2 <u>การเตรียมดอกกัดเอนมิล</u>

การเตรียมดอกกัดเอนมิล (End Mill) โดยการสั่งซื้อจากบริษัท เครียงชัยพัฒนา โดยลักษณะของดอกกัดเอนมิล (End Mill) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ความยาว 95 มิลลิเมตร ความยาวคมตัด 40 มิลลิเมตร มีจำนวนทั้งหมด 4 ฟันและเคลือบผิวด้วยไทยทาเนียมอลูมิเนี่ยมไนไตรด์ (Titanium Aluminium Nitride : TiALN) ในการทดลองนี้ใช้จำนวนดอกกัดเอนมิล (End Mill) ทั้งหมด 2 ดอก ซึ่งลักษณะของดอกกัดเอนมิล (End Mill) ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ขั้นตอนระหว่างการทดลอง

1. ทำการเตรียมชิ้นงานให้ได้ขนาดที่กำหนด
2. ทำความสะอาดชิ้นงานที่ได้ขนาดแล้ว และนำไปจับยึดกับปากกาจับงานบนเครื่องกัดอัตโนมัติ
3. ตรวจเช็คระดับของชิ้นงานด้วยฉากและแล้วทำการขันล็อกให้แน่น
4. ทำการติดตั้งดอกกัดที่ใช้ในการทดสอบกับเครื่องกัดอัตโนมัติ
5. กำหนดตำแหน่งของแกน Z ศูนย์แล้วบันทึกค่าลงในชุดควบคุม เพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่ง Z ศูนย์
6. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องที่จะใช้ในการกัดชิ้นงานทดสอบ
7. สั่งให้เครื่องกัดอัตโนมัติทำการกัดชิ้นงานทดสอบตามโปรแกรมที่เขียนไว้
8. ตรวจเช็คและทำความสะอาดชิ้นงานให้เรียบร้อย
9. นำชิ้นงานที่ทำความสะอาดแล้วไปวัดค่าความหยาบผิว แล้วทำการบันทึกค่าที่วัดได้

3.4.3 ขั้นตอนหลังการทดลอง

ในส่วนของขั้นตอนหลังการทดลองนั้น จะทำการตรวจสอบและเช็คชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) โดยชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปมาแล้วจะมีคราบน้ำมันและเศษเหล็กของชิ้นงานที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) มาทำการทำความสะอาดโดยใช้ผ้าสะอาดเช็ดแล้วนำไปเป่าด้วยลมต่อไป แล้วจึงนำชิ้นงานไปทำการวัดค่าความหยาบผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวและบันทึกผลลงในตารางที่ 3.4 จากนั้นนำผลไปวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งรายละเอียดต่างๆมีดังนี้

3.4.3.1 <u>การทำความสะอาดชิ้นงาน</u>

การทำความสะอาดชิ้นงานจะทำเมื่อมีการทดลองเสร็จสิ้น โดยการทดลองนั้นเกิดจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) การทำความสะอาดทำได้โดยการนำชิ้นงานมาเช็ดคราบน้ำมันและเศษเหล็กที่เกิดจากการทดลอง จากนั้นนำไปเป่าด้วยลมให้แห้งเพื่อจะได้นำไปวัดค่าความหยาบผิวต่อไป

3.4.3.2 <u>การวัดค่าความหยาบผิว</u>

หลังจากที่ทำความสะอาดชิ้นงานแล้ว นำชิ้นงานมาทำการวัดค่าความหยาบผิวด้วยเครื่องวัดค่าความหยาบผิว โดยลักษณะของการวัดต้องทำการควบคุมปัจจัยต่างๆให้เหมือนกันโดยปัจจัยต่างๆเหล่านั้น เช่น ความสูงของการวางชิ้นงาน ตำแหน่งของการเก็บค่าความหยาบผิว เป็นต้น ซึ่งในการวัดค่าความหยาบผิวนี้จะใช้คู่ทำการวัดเพียงคนเดียว เพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากผู้ที่ทำการวัด และก่อนการใช้เครื่องวัดค่าความหยาบผิวเมื่อเปิดเครื่องแล้วต้องทำการปรับค่าการวัดค่าความหยาบผิวเครื่องวัดทุกครั้ง เพื่อให้ผลการวัดค่าความหยาบผิวที่ออกมาถูกต้องและแม่นยำ แล้วจึงทำการวัดค่าความหยาบผิวซึ่งในการทดลองนี้จะทำการวัดค่าความหยาบผิว 3 ค่า ในการทดลองแต่ละครั้ง จากนั้นนำค่าทั้ง 3 มาหาค่าความเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยที่ได้คือผลการทดลองในแต่ละครั้งและนำไปบันทึกในตารางที่เตรียมไว้ ข้างต้นช่วงความยาวที่หัวทดสอบเคลื่อนที่ในการทำการวัดค่าความหยาบผิว (Scan Length) ที่ใช้เท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร

3.4.3.3 <u>การวิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

เมื่อได้ค่าความหยาบผิวแล้วจึงต้องนำค่าที่ได้มาทำการประมวลผลและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 13 for Windows, Stat Graphics Plus 3.0, SPSS 10.5 และ Microsoft Excel ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ ทำได้โดยกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 3 ปัจจัย ดังแสดงดังตารางที่ 3.1 เพื่อทำการศึกษาค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) โดยทำการทดลองตามวิธีการทดลองที่ได้วางไว้ในบทที่ 3

การทดลองด้วยกรรมวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) ทำเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยทำการขึ้นรูปทั้งหมด 24 ครั้ง ซึ่งขั้นตอนหลักในการทดลองนี้ คือ ขั้นตอนแรกทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน แล้วสร้างสมการที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน ขั้นสุดท้ายเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบค่าที่พยากรณ์ได้จากสมการเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลของการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

ตารางที่ 4.1 ค่าความหยาบผิวของชิ้นจากการทดลอง

ลำดับการทดลอง	ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (มิลลิเมตร/นาที)	ค่าความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ค่าความเร็วลึกมุมตัด (มิลลิเมตร)	ค่าความหยาบผิว (ไมโครเมตร)
1	40	400	0.5	0.69
2	40	600	0.5	0.8
3	40	400	0.5	0.68
4	60	400	1.5	0.65
5	40	400	0.5	0.79
6	60	600	1.5	1.45
7	40	400	1.5	0.8
8	60	600	1.5	1.48
9	40	600	0.5	0.83
10	40	400	1.5	0.82
11	60	400	0.5	0.49
12	40	600	1.5	1.61
13	60	400	0.5	0.5
14	60	400	1.5	0.69
15	60	400	0.5	0.53
16	40	600	1.5	1.65
17	60	600	0.5	1
18	40	600	0.5	0.81
19	60	400	1.5	0.72
20	60	600	0.5	0.9
21	60	600	0.5	0.98
22	60	600	1.5	1.5
23	40	600	1.5	1.7
24	40	400	1.5	0.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองในขั้นตอนนี้จะทำการกำหนดค่าของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองไว้ก่อน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.1 แล้วทำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^3 แล้วทำซ้ำในแต่ละ Combination อีก 3 ครั้ง ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ $3 \times 2^3 = 24$ ครั้ง แล้วจึงทำการทดลองในแต่ละ Combination และทำการวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานแล้วบันทึกผล

4.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ ANOVA

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Fredom	Mean Square	F_o	P-Value
A	0.05415	1	0.05415	37.03	0
B	1.76042	1	1.76042	1203.7	0
C	1.00860	1	1.00860	689.64	0
AB	0.03840	1	0.03840	26.26	0
AC	0.02282	1	0.02282	15.6	0.001
BC	0.43202	1	0.43202	295.4	0
ABC	0.06000	1	0.06000	41.03	0
Error	0.02340	16	0.00146		
Total	3.39980	23			

หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ การหาความผันแปรโดยรวมแล้วแยกออกเป็นความผันแปรเนื่องจากทรีทเมนต์ (Treatment) สำหรับแต่ละปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม และความผันแปรเนื่องจากสาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุม แล้วพิจารณาความผันแปรเนื่องจากทรีตเมนต์ว่ามีปริมาณมากหรือไม่เมื่อเทียบกับสาเหตุที่ไม่ได้รับการควบคุมในระหว่างเงื่อนไขในการทดลอง แล้วนำมาสร้างเป็นตาราง ANOVA จะเริ่มจากการพิจารณาความมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sinification) ของอิทธิพลร่วมที่ระดับสูงก่อน ซึ่งถ้าพบว่าอิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่า ถ้าเปลี่ยนระดับของปัจจัยตัวใดโดยให้ปัจจัยตัวอื่นคงที่แล้วจะส่งผลให้ตัวแปรตอบสนองเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งกล่าวไว้ว่าปัจจัยหลักที่เกิดจากปัจจัยร่วมจะมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้วยนั่นเอง ดังนั้นเมื่ออิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญทางสถิติแล้วก็ไม่จำเป็นต้องพิจารณาอิทธิพลหลักอีก เพราะแม้ว่าอิทธิพลหลักดูแล้วไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่แท้จริงแล้วมีอิทธิพลมาก

จากตารางที่ 4.2 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อกำหนด ให้ A คือ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate), B คือ ค่าความเร็วรอบ (Speed) และ C คือ ค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าค่า P- Value พบว่ามีปัจจัยที่มีค่า P- Value น้อยกว่า 0.05 (ในการทดลองนี้กำหนด $\alpha = 0.05$) ได้แก่ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate), ค่าความเร็วรอบ (Speed), ค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) และปัจจัยร่วมระหว่าง ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

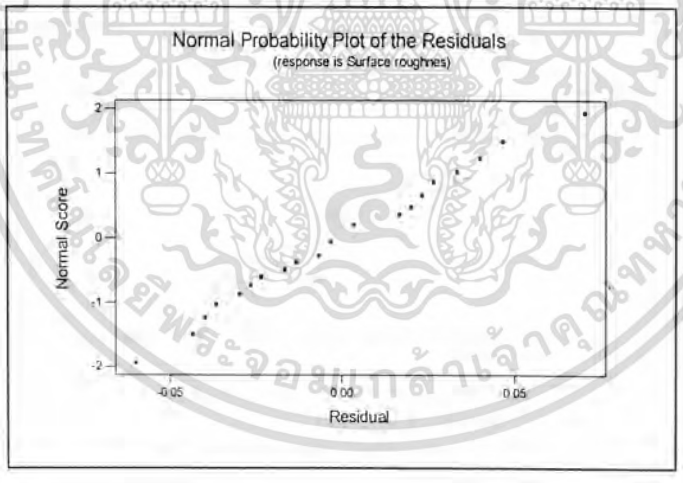
Rate) กับค่าความเร็วรอบ (Speed), ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate) กับค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut), ค่าความเร็วรอบ (Speed) กับค่าความเร็วลึกมุมตัด (depth of Cut), และค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate) กับค่าความเร็วรอบ (Speed) กับค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) จึงสรุปได้ว่าทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมมีผลต่อค่าความหยาบผิว ซึ่งก่อนจะนำผลการวิเคราะห์ไปใช้งานต้องตรวจสอบค่าความถูกต้องของรูปแบบซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4.1.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking) เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักทางสถิติหรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบมีอยู่ 3 ประเภท คือ

4.1.2.1 <u>การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ</u>

โดยการใช้ค่าส่วนตกค้าง (Residual) พล็อตลงบนกราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Paper: NOPP) หากลักษณะของกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือเกือบจะตรงแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ซึ่งรูปที่ 4.1 เป็นรูป กราฟการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) สำหรับค่าส่วนตกค้างกับค่าความหยาบผิว จะเห็นว่าลักษณะของกราฟประมาณเกือบที่จะเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้มีลักษณะของการกระจายตัวแบบปกติ

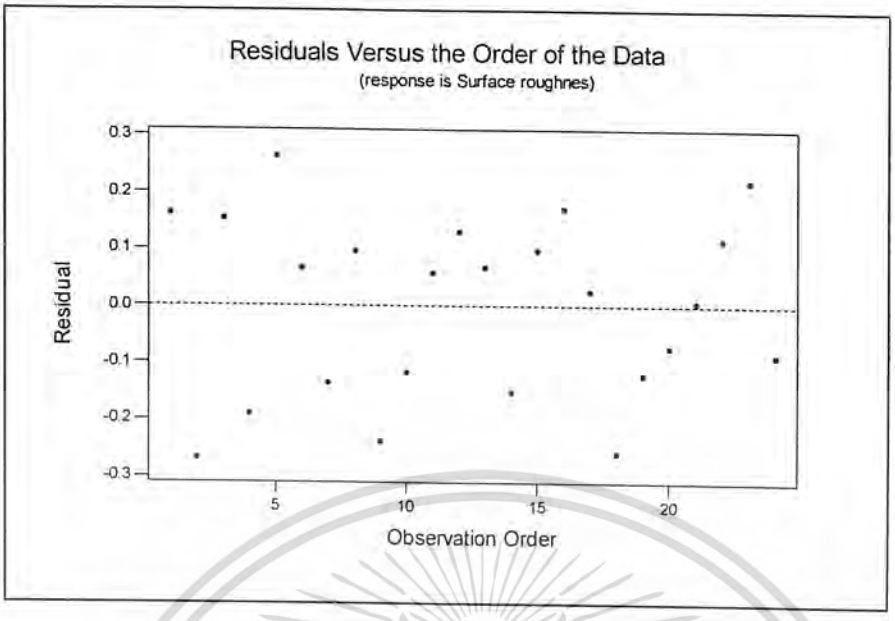


รูปที่ 4.1 กราฟการแจกแจงแบบปกติสำหรับค่าส่วนตกค้างของค่าความหยาบผิว

4.1.2.2 <u>การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล</u>

เป็นการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างโดยใช้ค่าส่วนตกค้างและลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล มาทำการพล็อตกราฟค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้งและลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลอยู่บนแกนนอน ดังรูปที่ 4.2 เป็นรูปที่แสดงค่าส่วนติดค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลที่จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งลักษณะของกราฟมีการกระจายตัวอย่างไม่มีรูปแบบแสดงว่าข้อมูลในการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

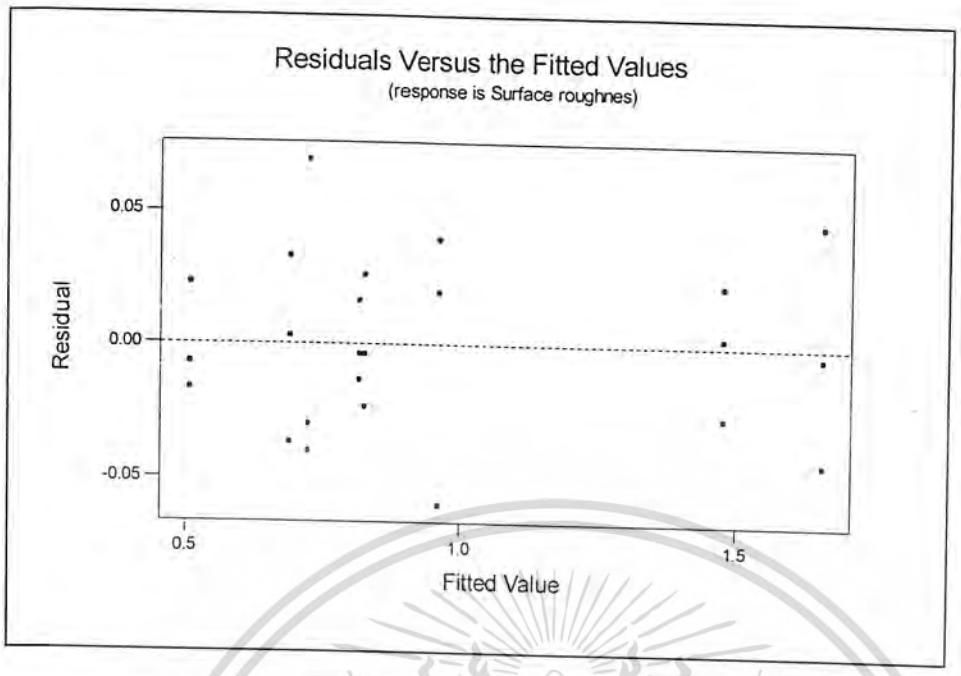


รูปที่ 4.2 ค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล

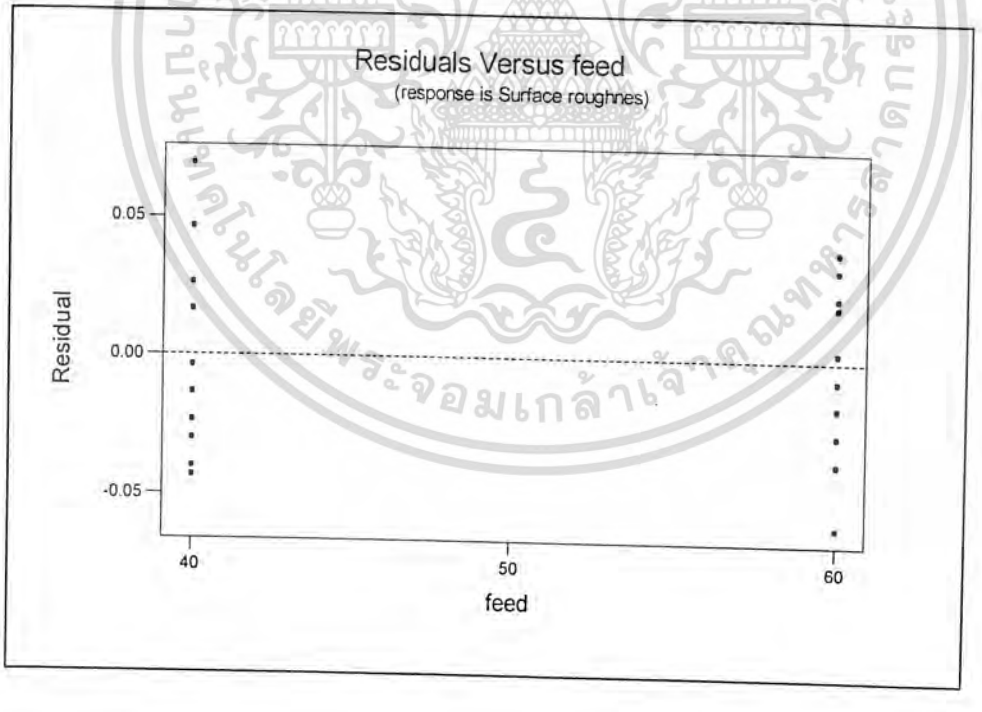
4.1.2.3 <u>การตรวจสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน</u>

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของข้อมูล โดยการใช้ข้อมูลค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ในที่นี้คือค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมาทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกพล็อต ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้งและค่าที่ถูกฟิตอยู่บนแกนนอนแสดงดังรูปที่ 4.3 และทดสอบโดยการใช้ข้อมูลค่าส่วนตกค้างและระดับปัจจัยแต่ละปัจจัยทุกๆระดับในที่นี้คือ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate), ค่าความเร็วรอบ (Speed), ค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) มาทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้างกับระดับของปัจจัยซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

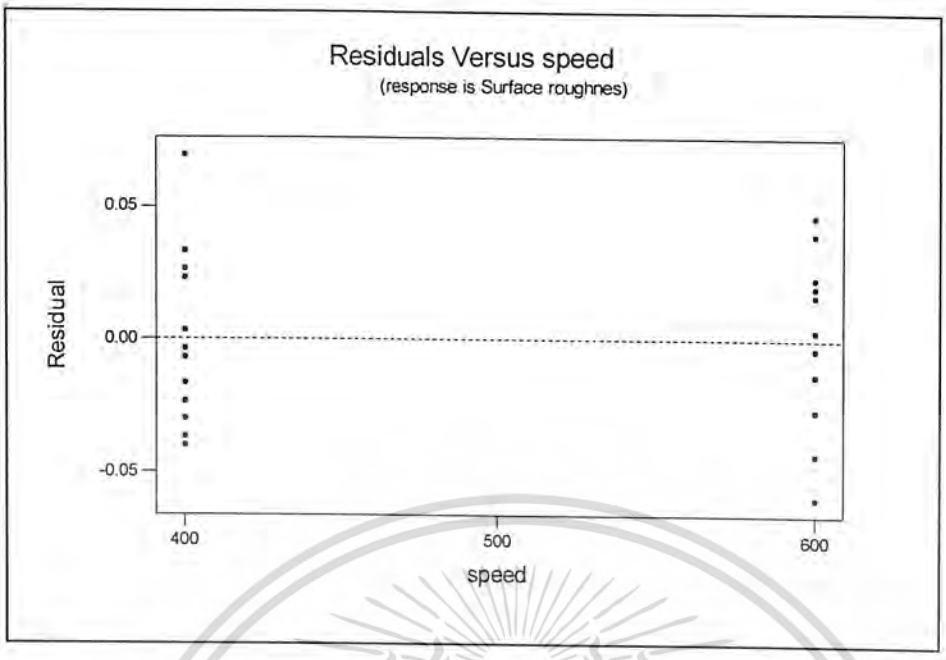


รูปที่ 4.3 ค่าส่วนตกค้างกับค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

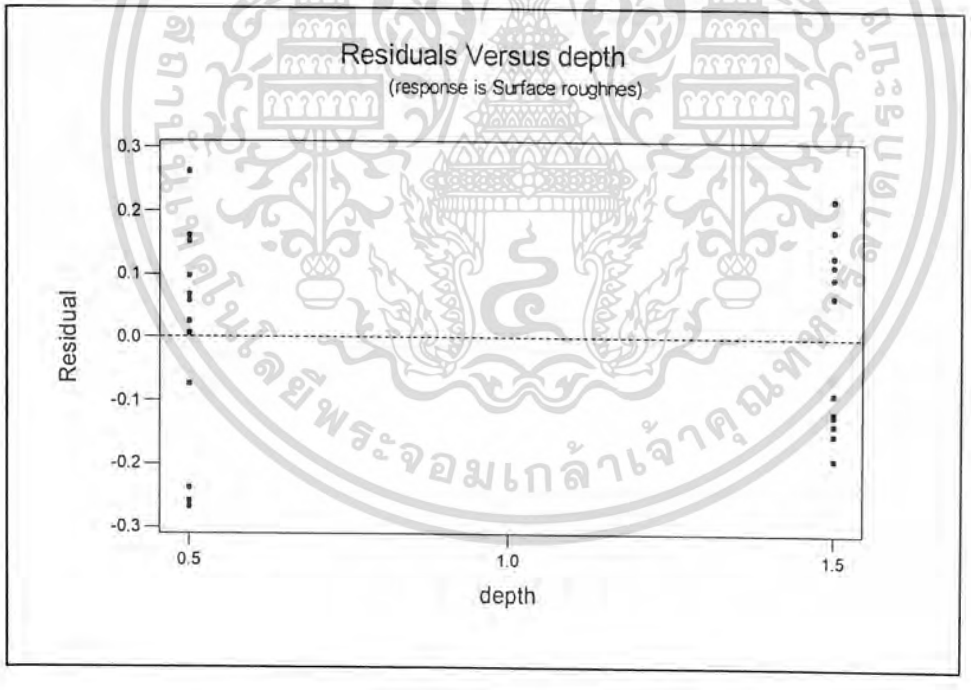


รูปที่ 4.4 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าความเร็วรอบ



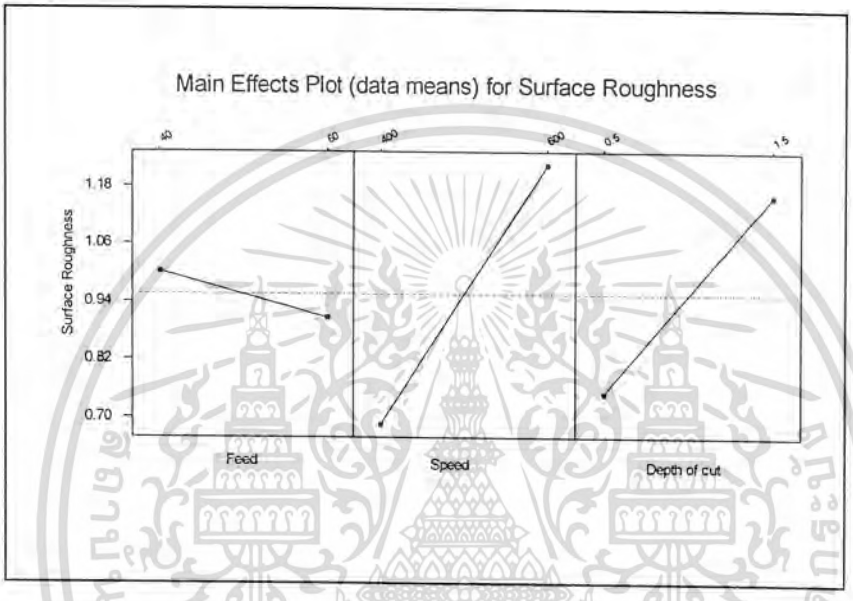
รูปที่ 4.6 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าความเร็วลึกมุมตัด

เมื่อพิจารณารูปดังกล่าวข้างต้นแล้ว พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติมีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันและมีความสม่ำเสมอของความแปรปรวน จึงสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์จากข้อมูลนี้มีความน่าเชื่อถือได้ กล่าวคือค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate), ค่าความเร็วรอบ (Speed), ค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) และปัจจัยร่วมระหว่างค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate) กับค่าความเร็วรอบ (Speed), ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate) กับค่าความเร็วลึก

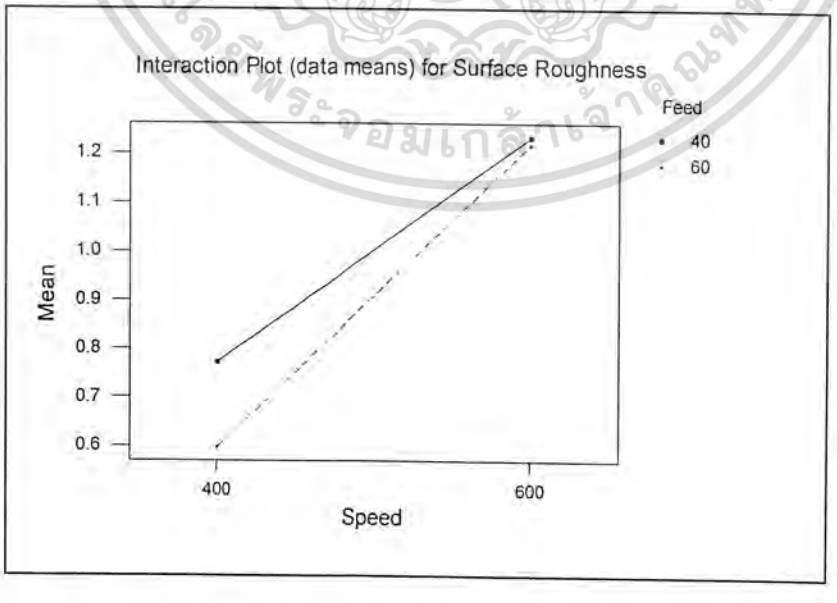
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมตัด (Depth of Cut) ,ค่าความเร็วรอบ (Speed) กับค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) และค่าอัตราการป้อน (Feed Rate) กับค่าความเร็วรอบ (Speed) กับค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

จากผลการทดลองจะเห็นว่าปัจจัยต่างมีความสัมพันธ์กัน คือ ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานระหว่างระดับของปัจจัยหลักกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.7 อันตรกิริยาระหว่างค่าอัตราการป้อน (Feed Rate) กับค่าความเร็วรอบ (Speed) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.8 อันตรกิริยาระหว่างค่าอัตราการป้อน (Feed Rate) กับค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) แสดงดังรูปที่ 4.10 และอันตรกิริยาระหว่างค่าอัตราการป้อน (Feed Rate) กับค่าความเร็วรอบ (Speed) กับค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) แสดงดังรูปที่ 4.11

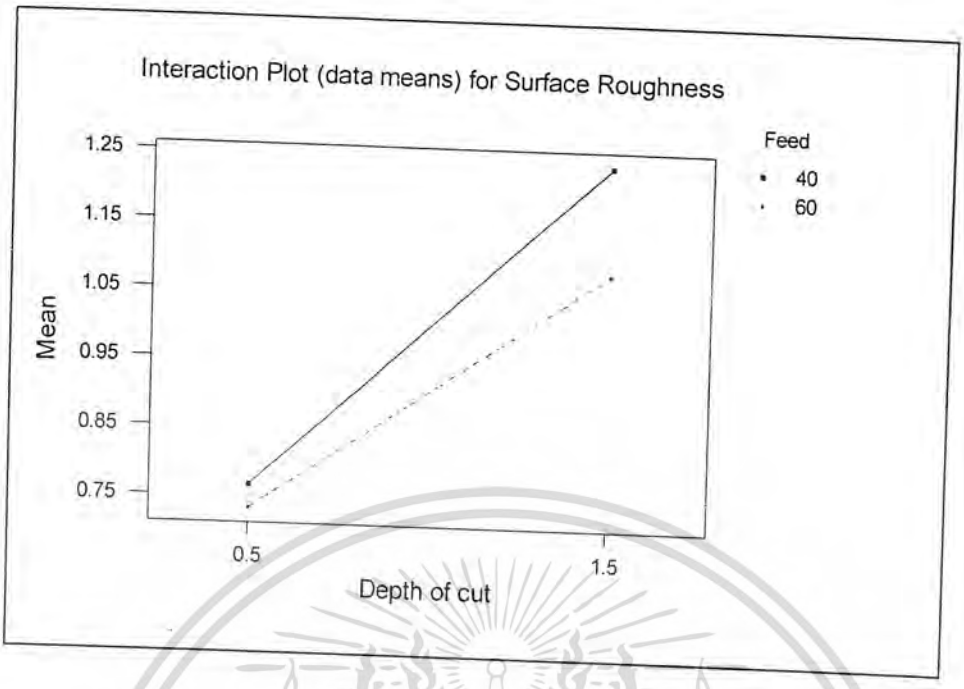


รูปที่ 4.7 แสดงระดับของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว

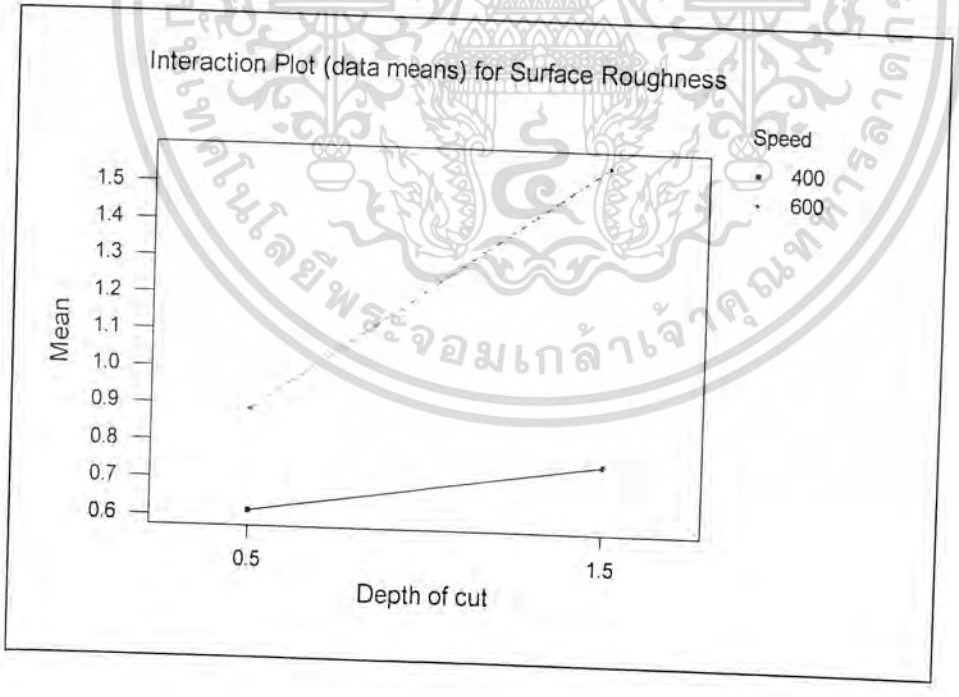


รูปที่ 4.8 แสดงอันตรกิริยาระหว่างค่าอัตราการป้อนชิ้นงานกับค่าความเร็วรอบกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

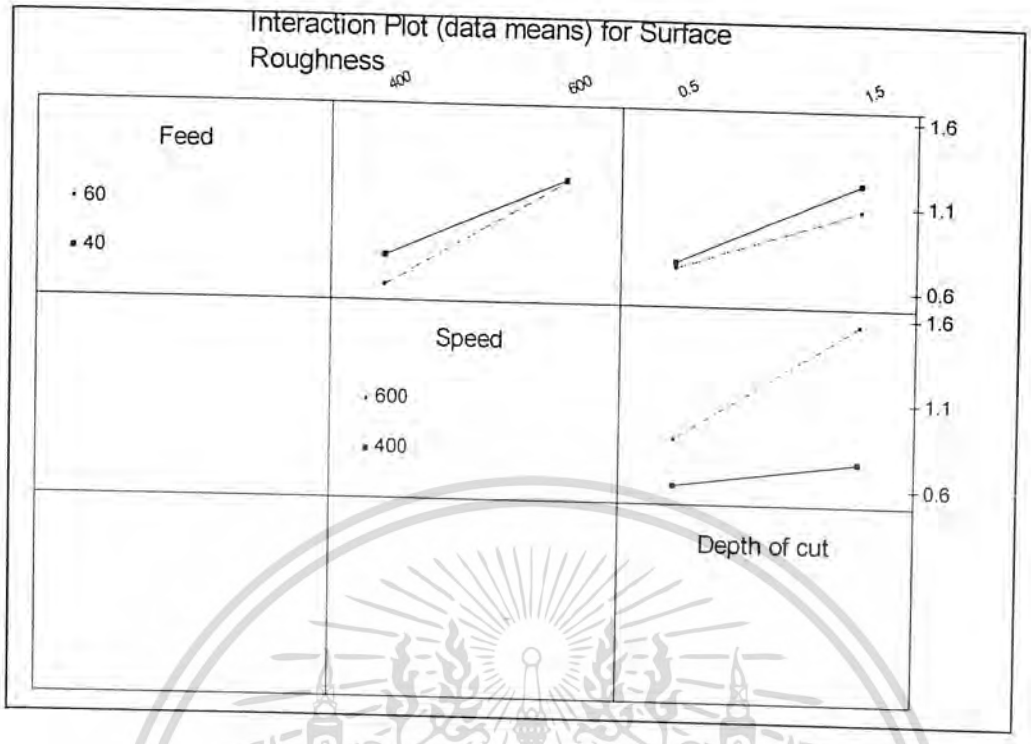


รูปที่ 4.9 แสดงอันตรกิริยาระหว่างค่าอัตราการป้อนชิ้นงานกับค่าความเร็วลึกมุมตัดกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว



รูปที่ 4.10 แสดงอันตรกิริยาระหว่างค่าความเร็วรอบกับค่าความเร็วลึกมุมตัดกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงอันตรกิริยาระหว่างค่าอัตราการป้อนชิ้นงานกับค่าความเร็วรอบ และค่าความเร็วลึกมุมตัดกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว

4.1.3 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิว

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 4.2 พบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05) คือ ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมทุกๆ ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นนำปัจจัยเหล่านั้นมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์จะใช้แบบจำลองการถดถอย (Regression Model) ในการสร้าง โดยใช้โปรแกรม Minitab และ StatGraphics มาช่วยในการวิเคราะห์ซึ่งผลของการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยเชิงซ้อน (Mutiple Linear Regression Model)

เขียนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ดังต่อไปนี้

$$SRN = -0.571167 - 0.00475\,Feed + 0.0027\,Speed + 0.41\,Depth\ of\ cut \qquad \text{สมการ 4.1}$$

เมื่อ SRN = Surface Roughness

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอย เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของการถดถอย โดยมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \ldots\ldots = \beta_k = 0$

$H_1 = \beta_i \neq 0$ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอยแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นเชิงซ้อน

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	P-Value
Regression	2.82317	3	0.941056	32.64	0
Residual Error	0.576633	20	0.0288317		
Total	3.3998	23			

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (The Coeficient of Determination: R^2) เท่ากับ 83.03% จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อพิจารณาค่า P – Value แล้วพบว่าแบบจำลองการถดถอยมีค่า P – Value เท่ากับ 0 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 นั่นแสดงว่าแบบจำลองการถดถอยมีนัยสำคัญทางสถิติของการถดถอยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.4 สัมประสิทธิ์ของการวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอย

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.571167	0.257	-2.22	0.038
feed	-0.00475	0.003466	-1.37	0.186
speed	0.0027	0.0003466	7.81	0.000
Depth of cut	0.41	0.06932	5.91	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

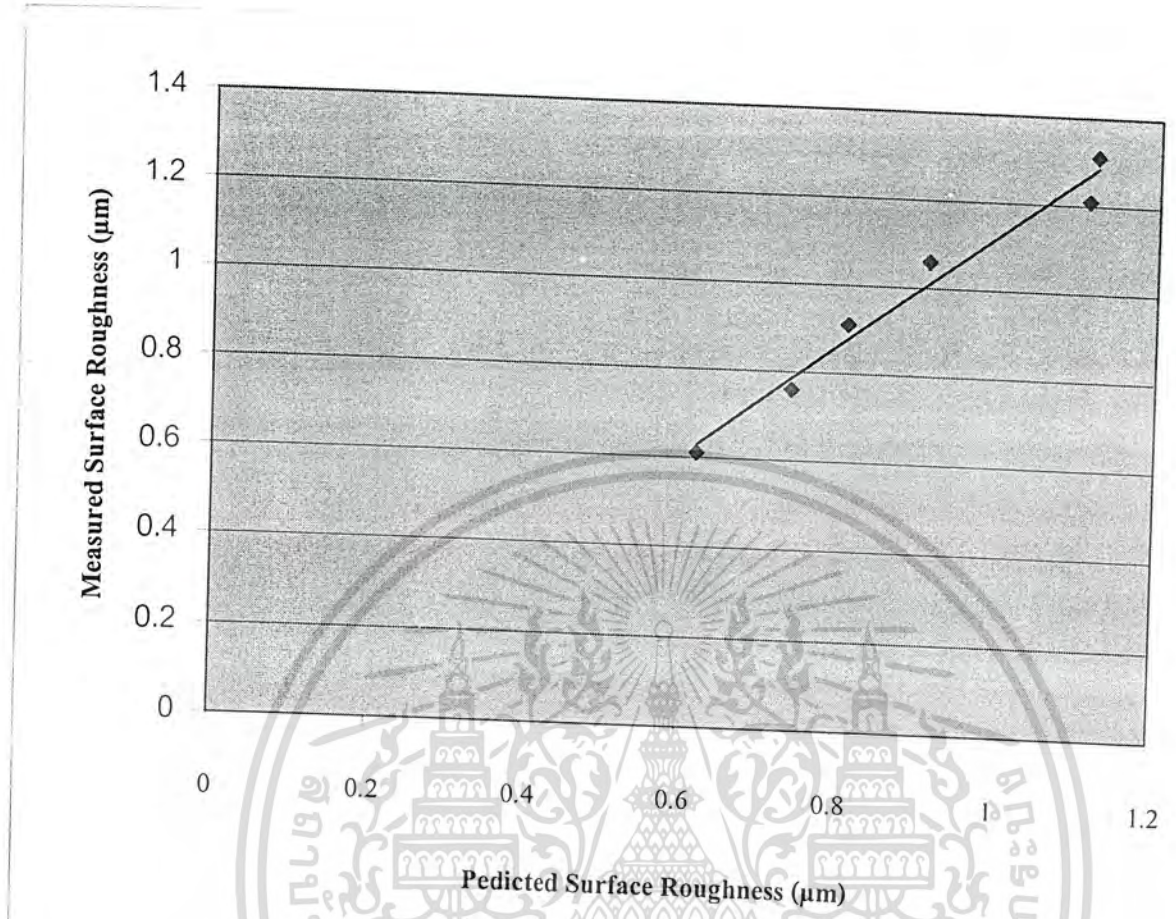
4.2 ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ได้จากการทดลอง

จากผลการทดลองที่ผ่านมาทำให้เราได้สมการที่ใช้พยากรณ์ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานดังสมการ 4.1 จากนั้นได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบโดยใช้จำนวนลำดับการทดลองทั้งหมด 6 ครั้ง ซึ่ง 6 ครั้ง มาจาก 25% ของจำนวนการทดลองทั้งหมดซึ่งในการทดลองนี้มีทั้งหมด 24 ครั้ง โดยจำนวนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบนี้ได้ทำการเลือกค่าในแต่ละปัจจัยให้อยู่ในช่วงของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง จึงได้ทำการทดลองเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าที่ได้จากการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดระหว่างค่าจากการทดลองกับค่าพยากรณ์ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.5 และแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการพยากรณ์กับค่าจาการทดลองดังรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจากการทดลอง

ลำดับการทดลอง	ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (มิลลิเมตร/นาที)	ค่าความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ค่าความเร็วลึกมุมตัด (มิลลิเมตร)	ค่าความหยาบผิวจากการพยากรณ์ (ไมโครเมตร)	ค่าความหยาบผิวจากการทดลอง (ไมโครเมตร)
1	43	430	0.55	0.61	0.62
2	46	460	0.75	0.79	0.74
3	49	490	0.95	0.91	0.81
4	52	520	1.15	0.93	0.91
5	55	550	1.35	1.21	1.11
6	58	580	1.45	1.31	1.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจากการทดลอง

จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 นำมาหาค่าความผิดพลาดของแต่ละครั้งของการทดลองได้จากสมการ 4.2

$$\phi_i = \frac{\left|Ra_i - \hat{Ra}_i\right|}{Ra_i} \times 100 \qquad \text{สมการ 4.2}$$

เมื่อ ϕ_i = เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดแต่ละครั้งของการทดลอง

Ra_i = ค่าความหยาบผิวจากการทดลองจริง

$\hat{Ra}_i$ = ค่าความหยาบผิวจากสมการพยากรณ์

จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากสมการ 4.2 ได้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 9.85% เพรา ฉะนั้นสมการ Regression Model สามารถพยากรณ์ค่าความหยาบผิวได้แม่นยำถึง 90.15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) เพื่อทำการศึกษาผลต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวในขณะที่ปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นเพื่อให้การใช้งานของเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดจึงควรทำการศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวและมีผลอย่างไร มีความสำคัญมากน้อยเพียงใดต่อค่าความหยาบผิว เพราะว่าผิวของชิ้นงานที่มีความละเอียดเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผิวที่ละเอียดมากจะช่วยลดที่ผิวชิ้นงานเมื่อมีสิ่งสกปรกตกค้างที่ผิว และที่สำคัญมีประโยชน์มากต่ออุตสาหกรรมที่ทำการผลิตแม่พิมพ์ เพราะแม่พิมพ์ที่ต้องการความละเอียดของชิ้นส่วนที่ใช้ในการผลิตค่อนข้างสูง ซึ่งความละเอียดของชิ้นส่วนของแม่พิมพ์จะส่งผลไปถึงผลิตภัณฑ์ที่จะทำการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์อีกด้วย ซึ่งเหตุผลดังกล่าวนี้จึงเป็นที่มาของ " การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน SKD 11 ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ"

จากการทดลองขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine) โดยการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองตามที่ได้ทำการออกแบบการทดลองไว้ ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการทดลองนี้มี 3 ปัจจัย คือ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate), ค่าความเร็วรอบ (Speed) และค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) โดยในการทดลองนั้นทำการทดลองทั้งหมด 24 ครั้ง แล้วนำผลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab

5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมทุกตัวมีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากนั้นจึงทำการสร้างสมการพยากรณ์ค่าความหยาบผิวโดยใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงซ้อนต่อไป จากการทดลองสามารถพยากรณ์ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานจากผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงซ้อนสำหรับตัวแปรตอบสนองหรือค่าความหยาบผิวได้ดังต่อไปนี้

Surface Roughness = -0.571167 - 0.00475 Feed + 0.0027 Speed + 0.41 Depth of cut

จากการทดลองเปรียบเทียบค่าระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจากการทดลองจริงโดยทำการทดลอง 6 ครั้ง และหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจากการทดลองจริงมีค่าเท่ากับ 9.85% ซึ่งเป็นค่าที่น้อยจึงสามารถที่จะยอมรับได้ว่าแบบจำลองในการพยากรณ์ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้สามารถที่จะพยากรณ์ค่าความหยาบผิวได้แม่นยำถึง 90.15% จากการตีความพบว่าถ้าหากเราเพิ่มระดับของปัจจัยต่างๆ มากขึ้น ก็จะทำให้ผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันซึ่งพิจารณาได้จากกราฟรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยในครั้งนี้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ออกมาซึ่งจะขัดแย้งกับทฤษฎีอยู่บ้างพอสมควร ซึ่งในทางทฤษฎีจะมีเพียงปัจจัยเดียวที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานโดยใช้ดอกกัดเอนมิล (End Mill) ซึ่งปัจจัยนั้นก็คือค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate) นั้นเอง แต่ผลจากการศึกษาในครั้งนี้ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานซึ่งมีจำนวนมากกว่าทฤษฎี ปัจจัยเหล่านี้ก็คือ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed Rate), ค่าความเร็วรอบ (Speed) และค่าความเร็วลึกมุมตัด (Depth of Cut) ที่ผลการทดลองออกมาในรูปแบบนี้อาจเป็นเพราะเนื่องมาจากความผิดพลาดต่างๆ อันได้แก่

1. ความผิดพลาดจากการออกแบบการทดลอง
2. ความผิดพลาดจากเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Vertical Milling Machine)
3. ความผิดพลาดจากเครื่องวัดค่าความหยาบผิว
4. ความผิดพลาดจากผู้ทำการทดลอง

แต่ก็เนื่องจากว่าในงานวิจัยไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ว่าผลการทดลองจะออกมาในรูปแบบใดจะตรงตามจุดประสงค์ของการทดลองที่ได้ทำการตั้งไว้หรือไม่ก็ไม่สามารถทราบได้ ซึ่งผลที่ออกมาในการศึกษาในครั้งนี้คือสมการพยากรณ์ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่สามารถพยากรณ์ได้แม่นยำถึง 90.15% ก็ถือว่ายอมรับได้กับผลของการทดลองที่ออกมาแต่ในการทดลองครั้งนี้มีสิ่งหนึ่งที่ยังไม่ได้ทำการปฏิบัตินั้นก็คือการทดลองเปรียบเทียบระหว่างค่าจากสมการพยากรณ์กับสมการพยากรณ์ทางทฤษฎีซึ่งสมการทางทฤษฎีนั้นก็คือ

$$R_a = \frac{f}{4\cot k}$$

เมื่อ f = Feed (มิลลิเมตร/นาที)

k = Concavity Angle ($^{\circ}$)

เหตุผลที่ยังไม่ได้ปฏิบัติเนื่องมาจากว่ายังไม่ทราบรายละเอียดเกี่ยวกับ Concavity Angle ซึ่งในรายละเอียดนี้ต้องทราบจากผู้ที่ทำการผลิตดอกกัดเอนมิล (End Mill) แต่เนื่องจากผู้ที่ผลิตไม่สามารถให้รายละเอียดในส่วนนี้ได้จึงทำให้ผู้ทดลองไม่สามารถปฏิบัติในส่วนนี้ได้สำเร็จ

และจากในงานวิจัยในครั้งนี้หวังว่าผลการทดลองที่ออกมาคงสามารถให้ประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจได้ไม่มากก็น้อย และขอแนะนำผู้ที่จะทำการวิจัยศึกษาในเรื่องนี้ต่อต้องทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าจากสมการพยากรณ์ที่ได้จากการทดลองกับสมการทางทฤษฎี ซึ่งจำเป็นต้องทราบ Concavity Angle ก่อน ถ้าหากว่าได้ทำการทดลองเปรียบเทียบตรงนี้จะช่วยให้เพิ่มน้ำหนักให้กับงานวิจัยของเราและสามารถที่จะช่วยยืนยันได้ว่าผลการทดลองของเรามีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ก่อพงศ์ พ่วงรอดพันธุ์, ถาวร ชาปัญญา, 2546. การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า.
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2539. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).
- กัลยา วานิชย์บัญชา, 2540. หลักสถิติ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปารเมศ ชุติมา, 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิสมัย หาญมงคลพิพัฒน์, 2547. สถิติและการวางแผนการทดลองทางเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 2542. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อำพัน เมธนาวิน, 2544. การวัดละเอียด. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ส.เอเชียเพลส
- Douglas C. Montgomery, 2001. Design and Analysis of Experiments. 5th edition : Wiley, New York.
- http://www.9cngineer.com/9cnc_main/sureface%20analysis.doc.
- Ming-Yung Wang,and Hung-Yen Chang 2004. Experimental study of surface roughness in slot end milling AL2014-T6. Int. J. of Machine Tools&Manufacture,44,51-57.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 1 ผลการทดลอง 81 ครั้ง

StdOrder	RunOrder	Blocks	Feed	Speed	Depth of cut	No.Tools	Average SRN
18	1	1	30	600	1.5	5	1.37
75	2	1	40	400	1.5	1	1.74
51	3	1	40	500	1.5	4	1.32
24	4	1	40	500	1.5	1	1.48
69	5	1	30	500	1.5	2	1.41
4	6	1	20	500	0.5	2	0.27
68	7	1	30	500	1	2	0.71
16	8	1	30	600	0.5	4	0.57
44	9	1	30	600	1	3	0.94
20	10	1	40	400	1	2	0.67
40	11	1	30	500	0.5	4	0.37
74	12	1	40	400	1	5	0.77
17	13	1	30	600	1	3	0.93
31	14	1	20	500	0.5	5	0.58
59	15	1	20	500	1	2	0.82
23	16	1	40	500	1	4	0.80
32	17	1	20	500	1	4	0.64
71	18	1	30	600	1	2	1.00
66	19	1	30	400	1.5	4	0.81
73	20	1	40	400	0.5	5	0.60
54	21	1	40	600	1.5	1	2.23
36	22	1	20	600	1.5	5	1.62
41	23	1	30	500	1	5	0.87
30	24	1	20	400	1.5	1	0.95
61	25	1	20	600	0.5	5	2.24
46	26	1	40	400	0.5	4	0.52
53	27	1	40	600	1	3	0.89
2	28	1	20	400	1	3	0.90
22	29	1	40	500	0.5	2	0.56
35	30	1	20	600	1	4	2.85
6	31	1	20	500	1.5	1	1.11
67	32	1	30	500	0.5	1	0.70
62	33	1	20	600	1	1	1.58
37	34	1	30	400	0.5	2	0.38
39	35	1	30	400	1.5	2	0.50
79	36	1	40	600	0.5	3	0.58
34	37	1	20	600	0.5	5	0.40
1	38	1	20	400	0.5	3	0.38
76	39	1	40	500	0.5	3	0.35
70	40	1	30	600	0.5	1	0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก 1 ผลการทดลอง 81 ครั้ง (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Blocks	Feed	Speed	Depth of cut	No.Tools	Average SRN
49	41	1	40	500	0.5	3	0.39
13	42	1	30	500	0.5	1	0.59
33	43	1	20	500	1.5	3	0.78
26	44	1	40	600	1	1	0.65
55	45	1	20	400	0.5	1	0.71
27	46	1	40	600	1.5	2	0.50
3	47	1	20	400	1.5	5	0.62
60	48	1	20	500	1.5	5	0.53
56	49	1	20	400	1	4	0.82
25	50	1	40	600	0.5	2	0.53
43	51	1	30	600	0.5	1	0.55
8	52	1	20	600	1	2	0.79
64	53	1	30	400	0.5	5	0.45
58	54	1	20	500	0.5	2	0.49
47	55	1	40	400	1	4	0.42
45	56	1	30	600	1.5	4	2.56
65	57	1	30	400	1	1	0.81
29	58	1	20	400	1	1	0.78
14	59	1	30	500	1	5	0.42
72	60	1	30	600	1.5	5	0.56
48	61	1	40	400	1.5	5	0.47
10	62	1	30	400	0.5	3	0.37
78	63	1	40	500	1.5	4	0.69
28	64	1	20	400	0.5	5	0.38
11	65	1	30	400	1	1	0.71
5	66	1	20	500	1	3	0.59
19	67	1	40	400	0.5	2	0.44
42	68	1	30	500	1.5	3	0.88
80	69	1	40	600	1	3	0.81
81	70	1	40	600	1.5	5	0.65
12	71	1	30	400	1.5	3	1.02
52	72	1	40	600	0.5	3	0.37
63	73	1	20	600	1.5	4	0.86
7	74	1	20	600	0.5	4	0.52
38	75	1	30	400	1	4	0.61
21	76	1	40	400	1.5	2	0.41
9	77	1	20	600	1.5	2	0.89
77	78	1	40	500	1	1	0.55
50	79	1	40	500	1	4	1.26
15	80	1	30	500	1.5	1	1.07
57	81	1	20	400	1.5	3	0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General Linear Model: Average SRN versus feed, speed, depth of cut

Factor	Type	Levels	Values
feed	fixed	3	-1 0 1
speed	fixed	3	-1 0 1
depth of	fixed	3	-1 0 1

Analysis of Variance for Average, using Adjusted SS for Tests

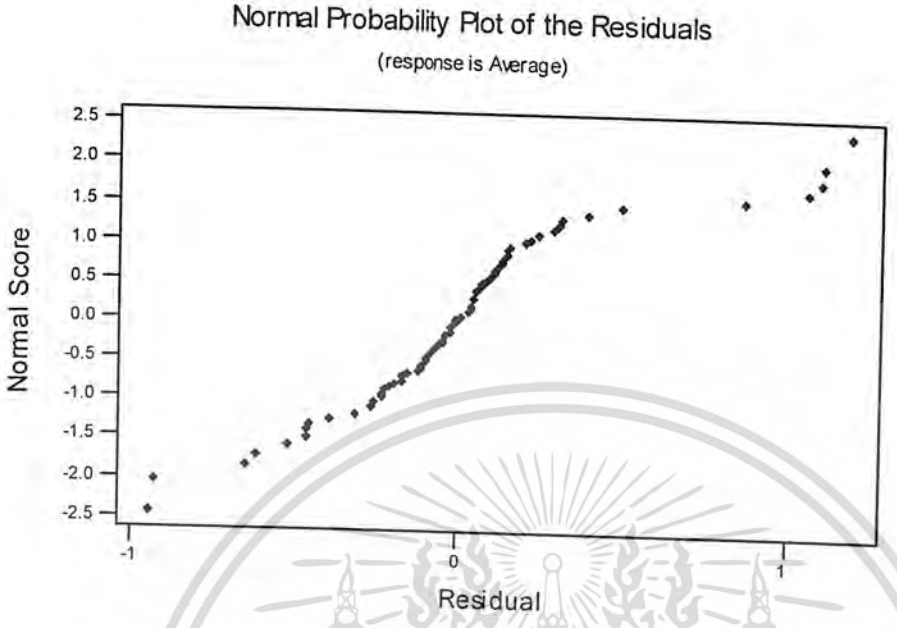
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
feed	2	0.2280	0.2280	0.1140	0.55	0.583
speed	2	1.9189	1.9189	0.9594	4.59	0.014
depth of	2	3.3920	3.3920	1.6960	8.11	0.001
feed*speed	4	1.1344	1.1344	0.2836	1.36	0.261
feed*depth of	4	0.7727	0.7727	0.1932	0.92	0.457
speed*depth of	4	0.2498	0.2498	0.0624	0.30	0.878
feed*speed*depth of	8	0.7488	0.7488	0.0936	0.45	0.887
Error	54	11.2903	11.2903	0.2091		
Total	80	19.7349				

Unusual Observations for Average

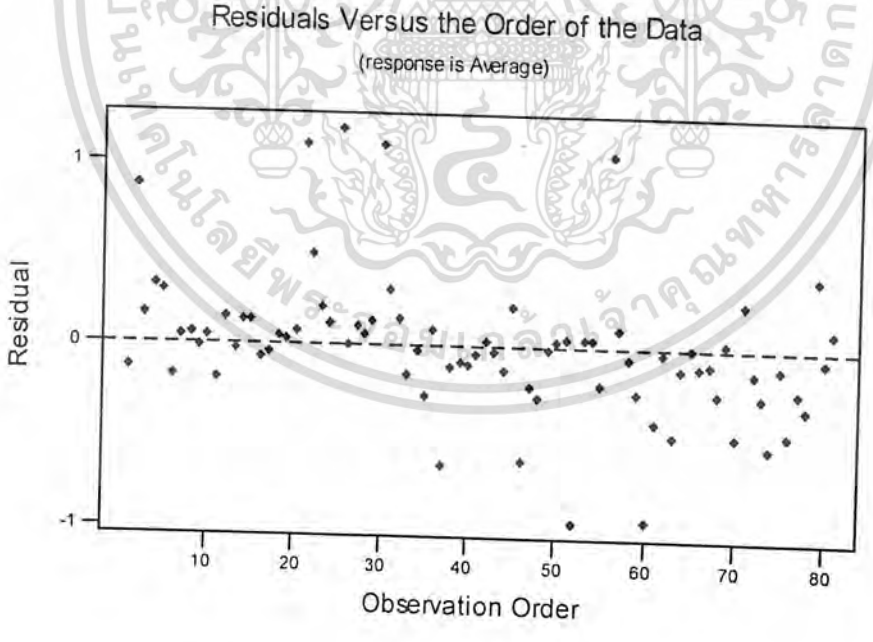
Obs	Average	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
2	1.74000	0.87333	0.26399	0.86667	2.32R
21	2.23000	1.12667	0.26399	1.10333	2.96R
25	2.24000	1.05333	0.26399	1.18667	3.18R
30	2.85000	1.74000	0.26399	1.11000	2.97R
52	0.79000	1.74000	0.26399	-0.95000	-2.54R
56	2.56000	1.49667	0.26399	1.06333	2.85R
60	0.56000	1.49667	0.26399	-0.93667	-2.51R

R denotes an observation with a large standardized residual.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

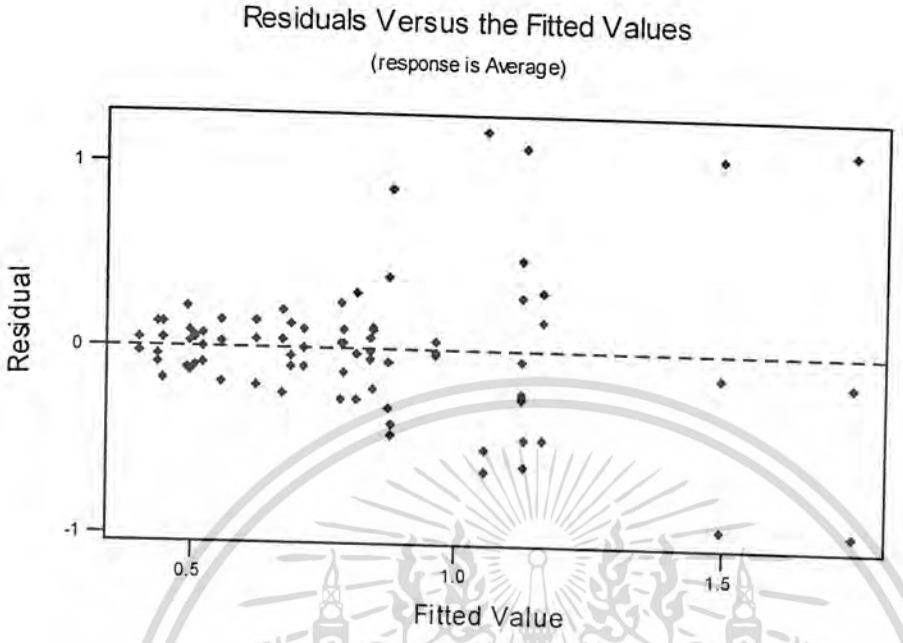


รูปที่ ผก 1 กราฟการแจกแจงแบบปกติสำหรับค่าส่วนตกค้างของค่าความหยาบผิว

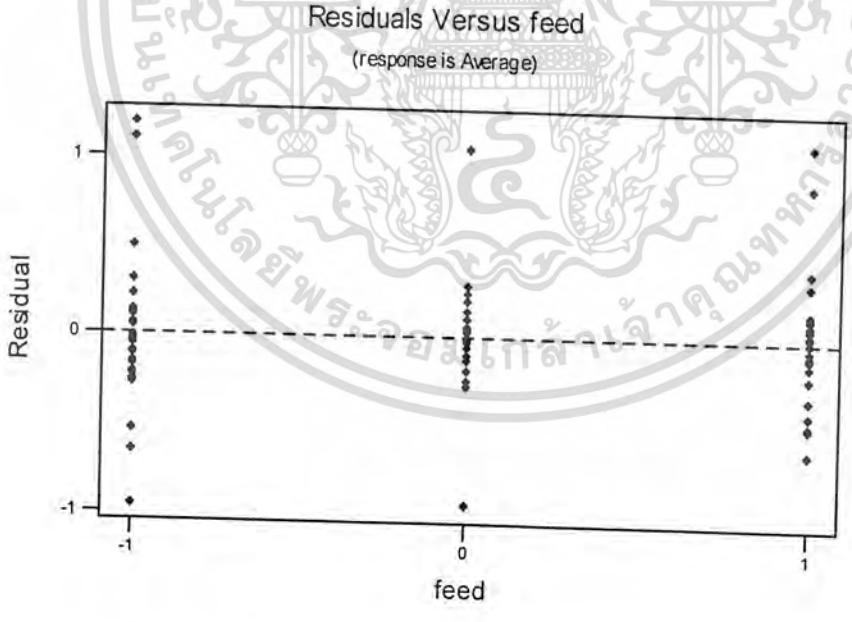


รูปที่ ผก 2 ค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

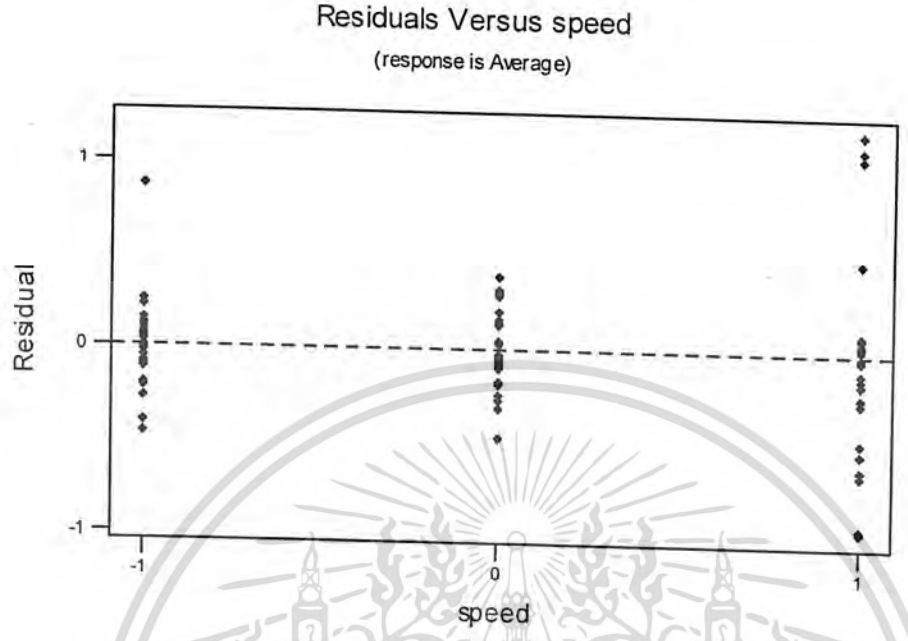


รูปที่ ผก 3 ค่าส่วนตกค้างกับค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

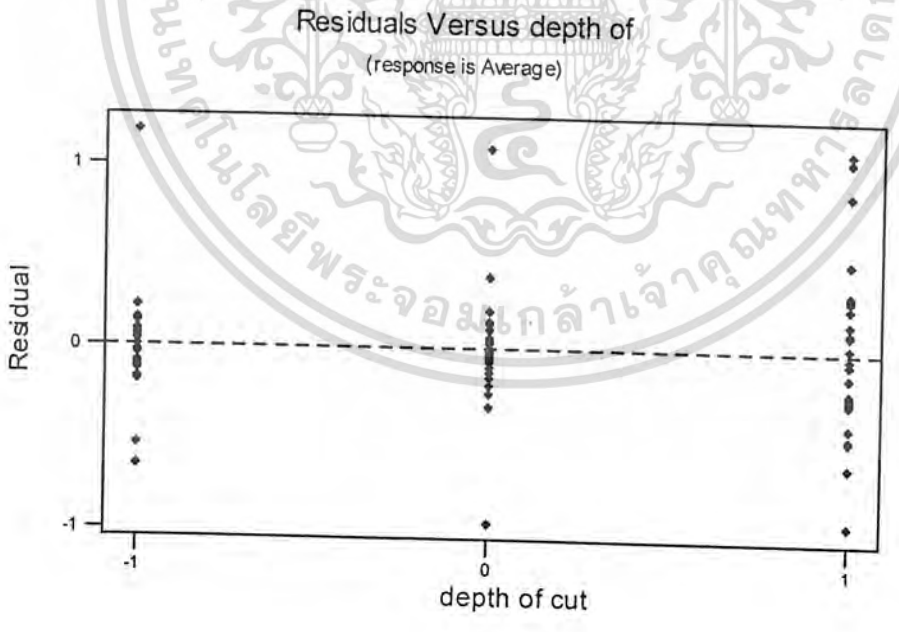


รูปที่ ผก 4 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผก 5 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าความเร็วรอบ



รูปที่ ผก 6 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าความเร็วลึกมุมตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General Linear Model: roughness versus feed, speed, depth

Factor	Type	Levels	Values
feed	fixed	2	40 60
speed	fixed	2	400 600
depth	fixed	2	0.5 1.5

Analysis of Variance for roughnes, using Adjusted SS for Tests

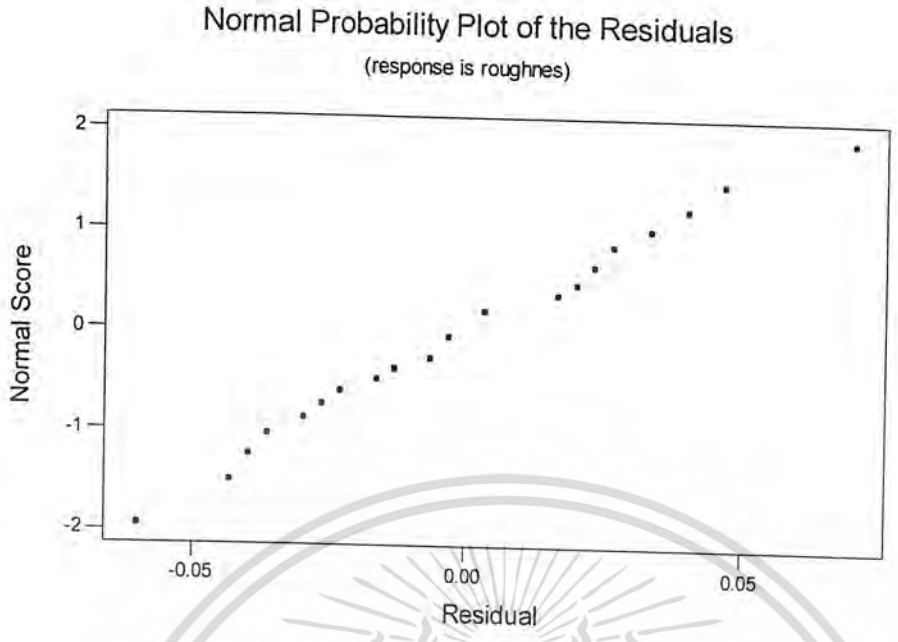
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
feed	1	0.05415	0.05415	0.05415	37.03	0.000
speed	1	1.76042	1.76042	1.76042	1203.70	0.000
depth	1	1.00860	1.00860	1.00860	689.64	0.000
feed*speed	1	0.03840	0.03840	0.03840	26.26	0.000
feed*depth	1	0.02282	0.02282	0.02282	15.60	0.001
speed*depth	1	0.43202	0.43202	0.43202	295.40	0.000
feed*speed*depth	1	0.06000	0.06000	0.06000	41.03	0.000
Error	16	0.02340	0.02340	0.00146		
Total	23	3.39980				

Unusual Observations for roughnes

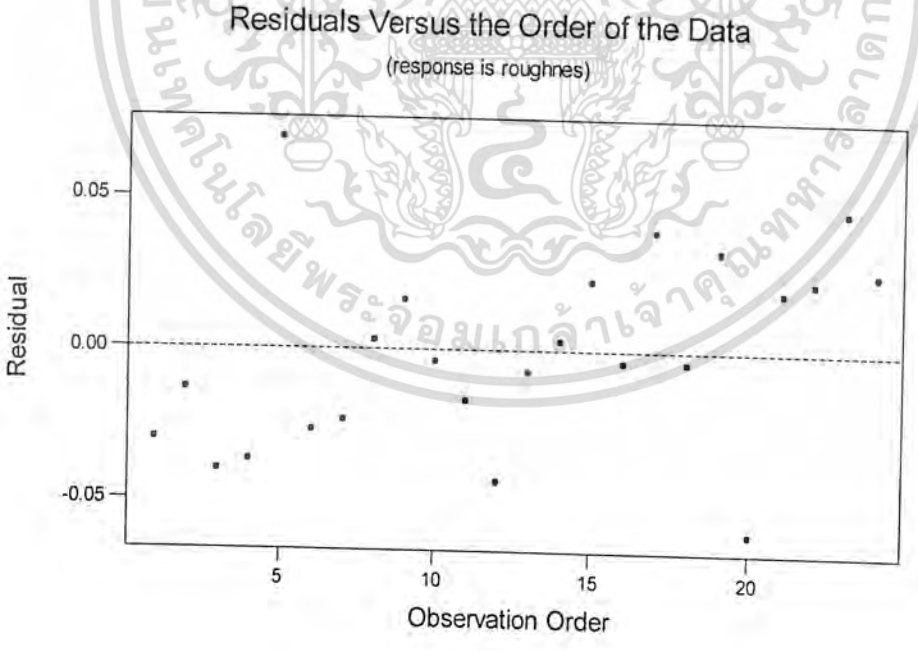
Obs	roughnes	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
5	0.79000	0.72000	0.02208	0.07000	2.24R

R denotes an observation with a large standardized residual.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

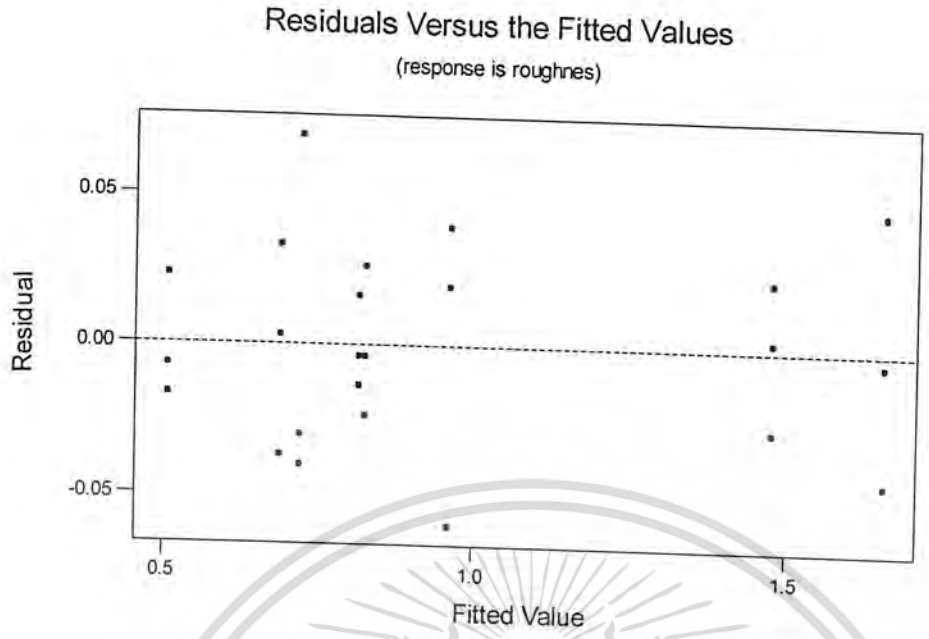


รูปที่ ผก 7 กราฟการแจกแจงแบบปกติสำหรับค่าส่วนตกค้างของค่าความหยาบผิว

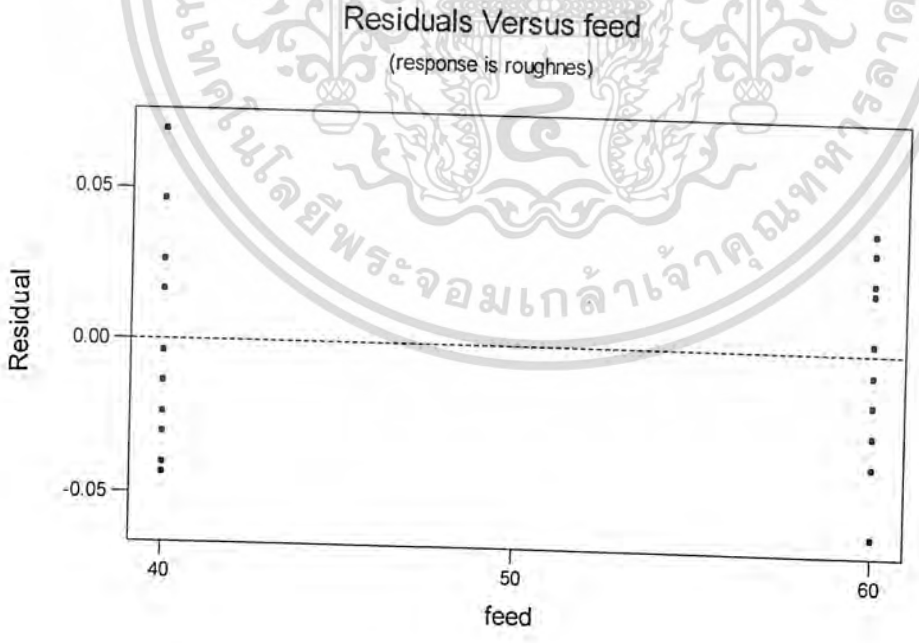


รูปที่ ผก 8 ค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

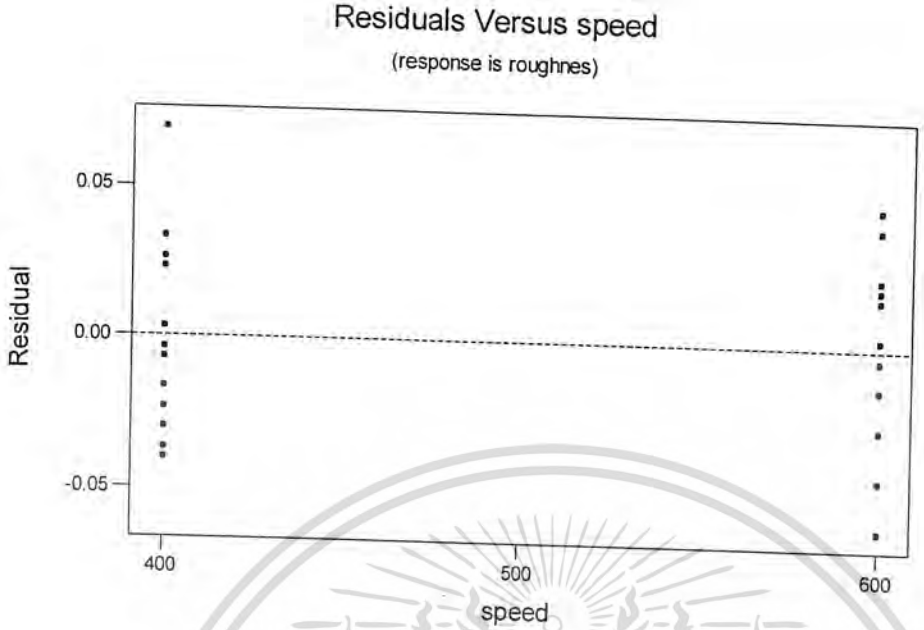


รูปที่ ผก 9 ค่าส่วนตกค้างกับค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

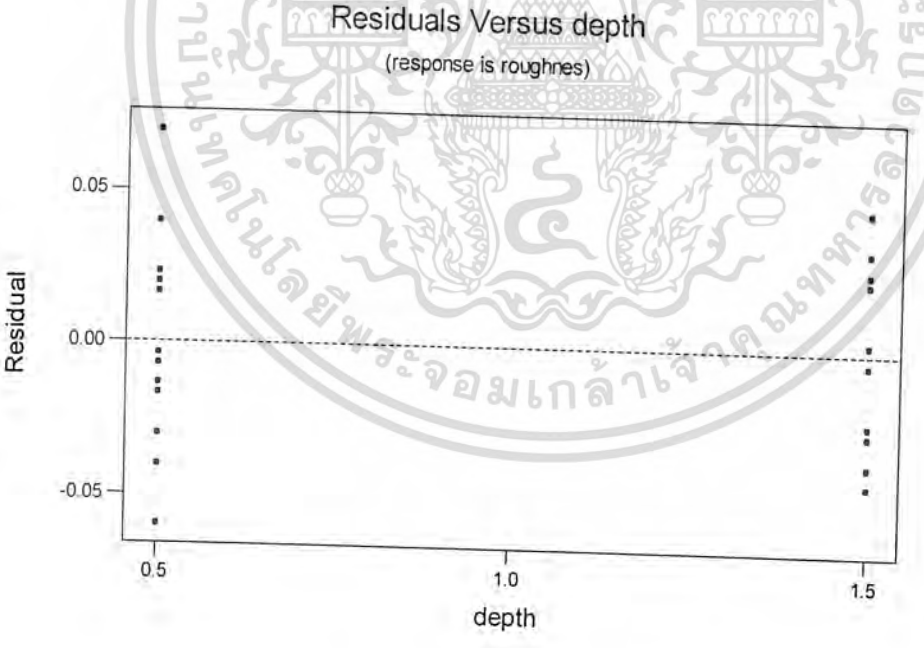


รูปที่ ผก10 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

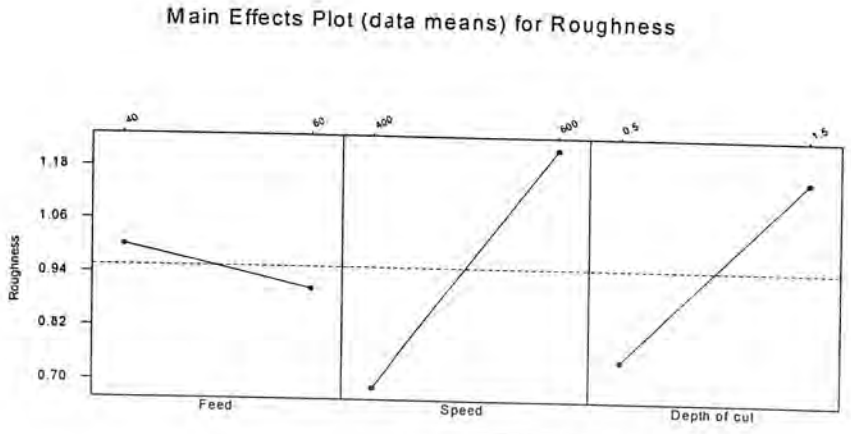


รูปที่ ผก 11 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าความเร็วรอบ

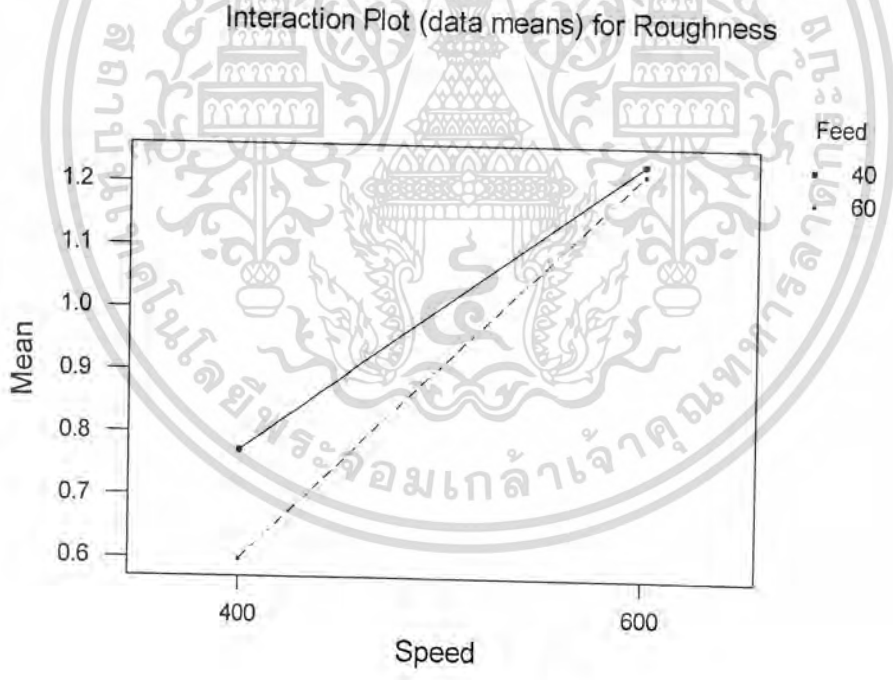


รูปที่ ผก 12 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าความเร็วลึกมุมตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

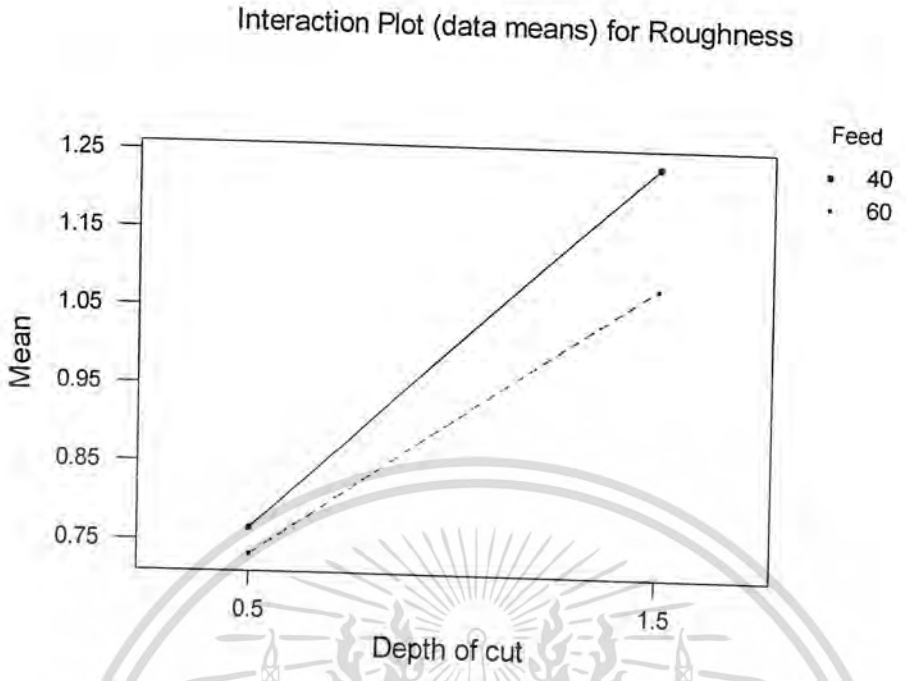


รูปที่ ผก 13 แสดงระดับของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบ

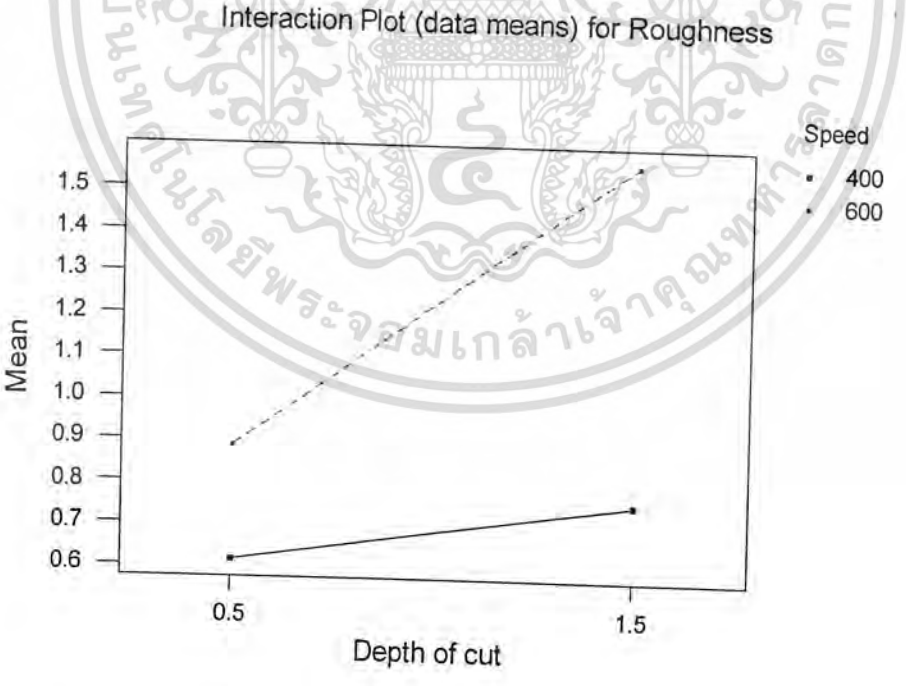


รูปที่ ผก 14 แสดงอันตรกิริยาระหว่างค่าอัตราการป้อนชิ้นงานกับค่าความเร็วรอบกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

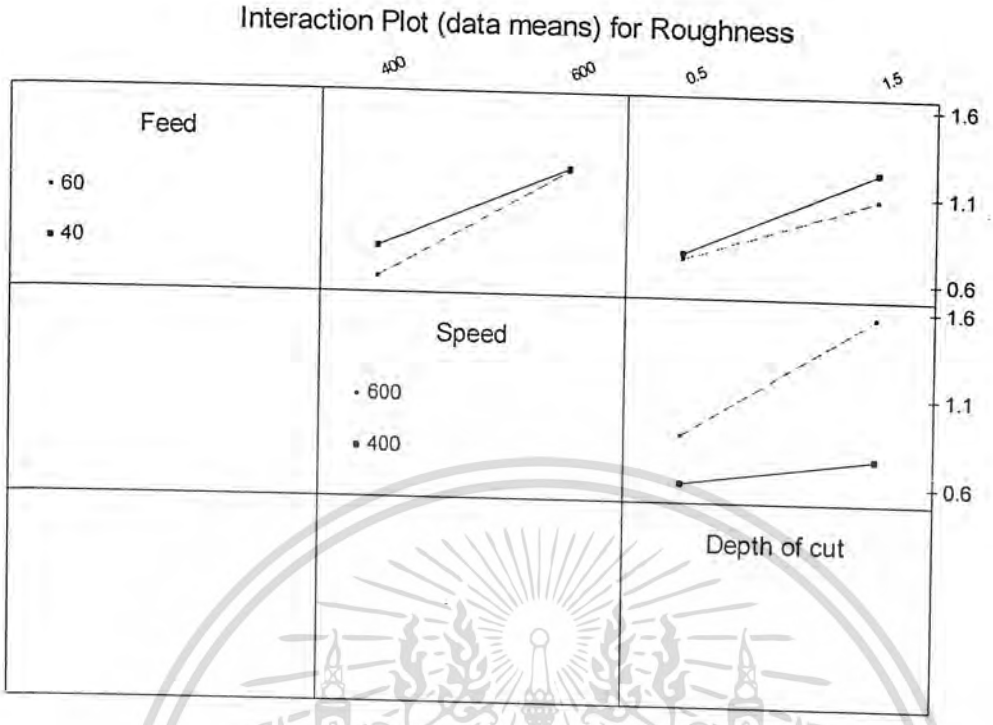


รูปที่ ผก 15 แสดงอันตรกิริยาระหว่างค่าอัตราการป้อนชิ้นงานกับค่าความเร็วลึกมุมตัดกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว



รูปที่ ผก 16 แสดงอันตรกิริยาระหว่างค่าความเร็วรอบกับค่าความเร็วลึกมุมตัดกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผก 17 แสดงอันตรกิริยาระหว่างค่าอัตราการป้อนชิ้นงานกับค่าความเร็วรอบ และค่าความเร็วลึกมุมตัดกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Regression Analysis: roughness versus feed, speed, depth

The regression equation is
roughness = - 0.572 - 0.00475 feed + 0.00271 speed + 0.410 depth

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.5717	0.2570	-2.22	0.038
feed	-0.004750	0.003466	-1.37	0.186
speed	0.0027083	0.0003466	7.81	0.000
depth	0.41000	0.06932	5.91	0.000

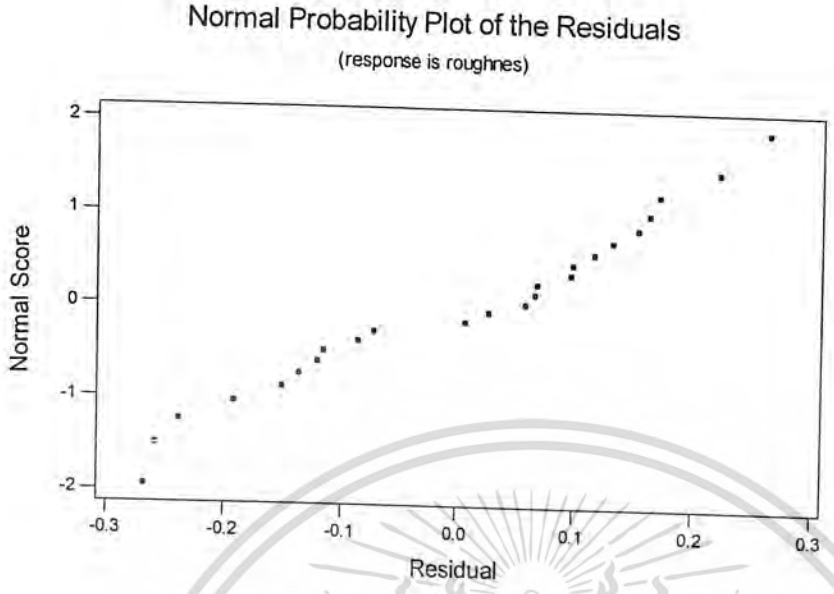
S = 0.1698 R-Sq = 83.03% R-Sq(adj) = 80.5%

Analysis of Variance

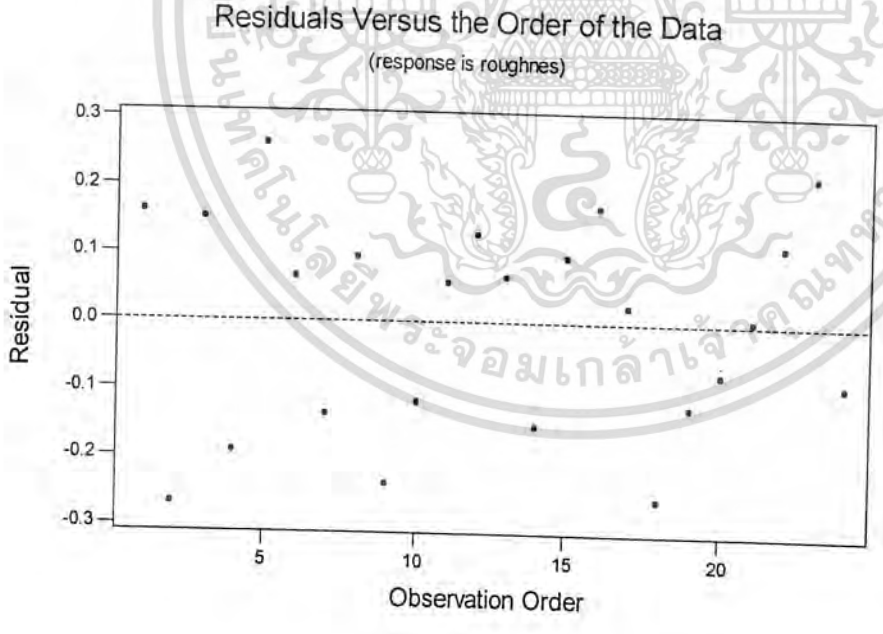
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	2.82317	0.94106	32.64	0.000
Residual Error	20	0.57663	0.02883		
Total	23	3.39980			

Source	DF	Seq SS
feed	1	0.05415
speed	1	1.76042
depth	1	1.00860

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

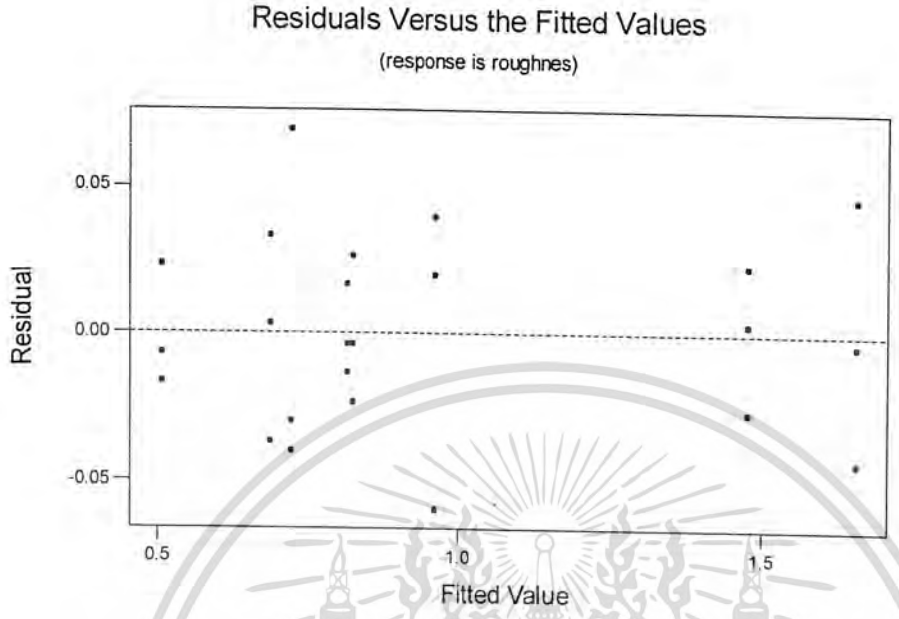


รูปที่ ผก 18 กราฟการแจกแจงแบบปกติสำหรับค่าส่วนตกค้างของค่าความหยาบผิว

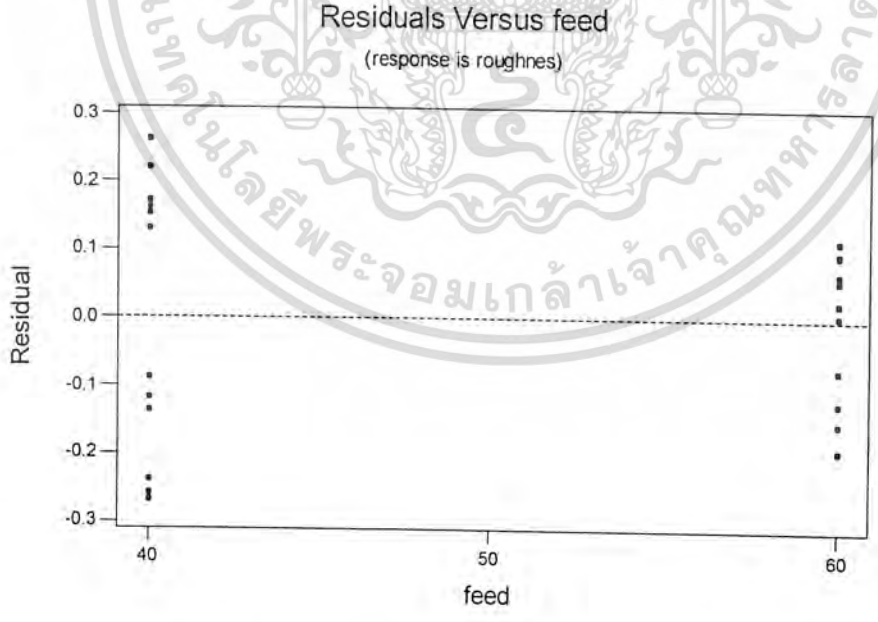


รูปที่ ผก 19 ค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

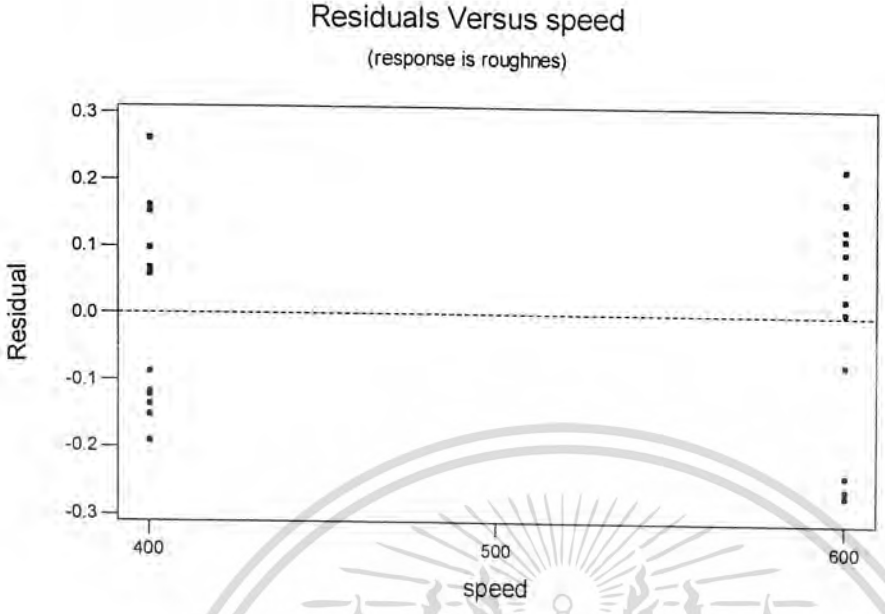


รูปที่ ผก 20 ค่าส่วนตกค้างกับค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

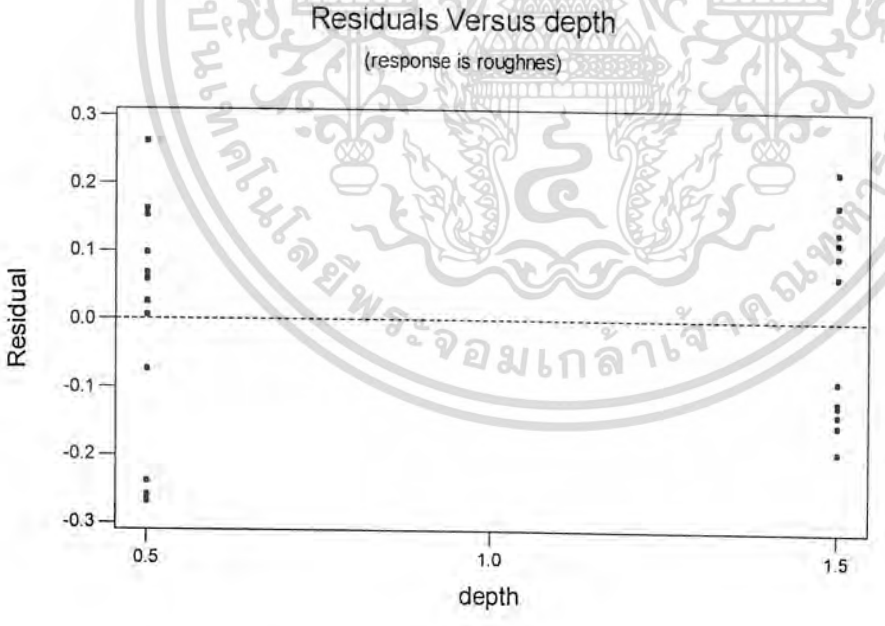


รูปที่ ผก 21 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผก 22 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าความเร็วรอบ

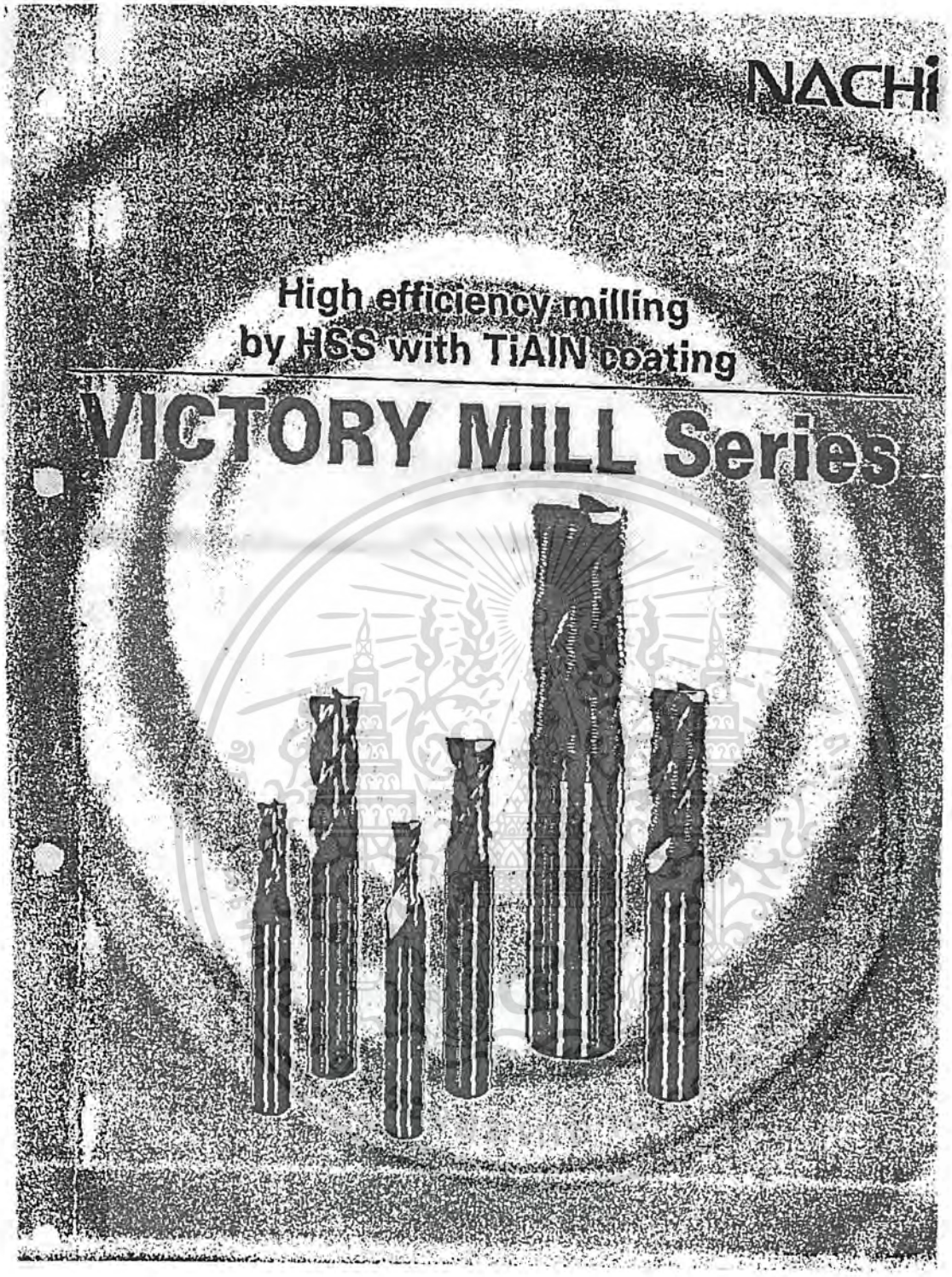


รูปที่ ผก 23 ค่าส่วนตกค้างกับระดับทุกๆ ระดับของค่าความเร็วลึกมุมตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 1 ข้อมูลรายละเอียดดอกกัดเอนมิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 times longer tool life than conventional coated End Mills

Features

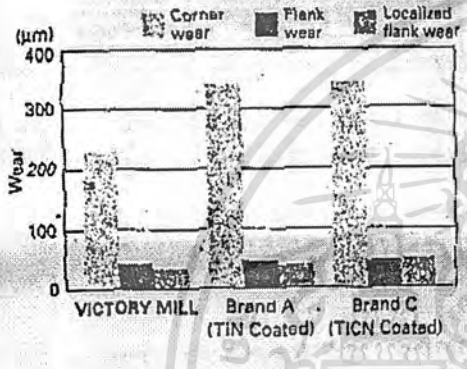
- Compound multi-layered TiAlN coating.
- Designed for high-speed milling and long tool life.
- Excellent cost-performance.

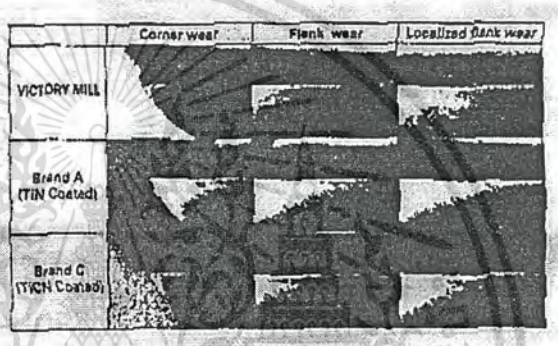
Performance

Milling Condition

End mill : 6mm (2flutes)
Speed : 65m/min (3,450min^{-1})
Feed : 260mm/min (0.038mm/tooth)
Work material : S50C (180HB)

Milling depth : Ba=8mm Br=1.5mm
Milling method : Side milling (Down cut)
Cutting oil : Air blow
Machine : Vertical machining center

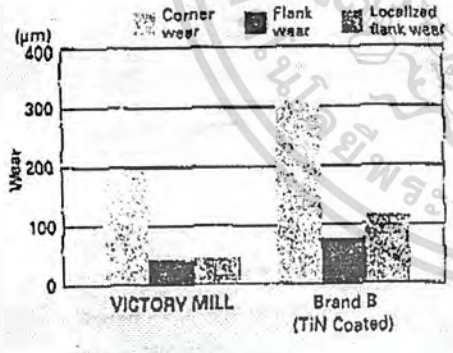


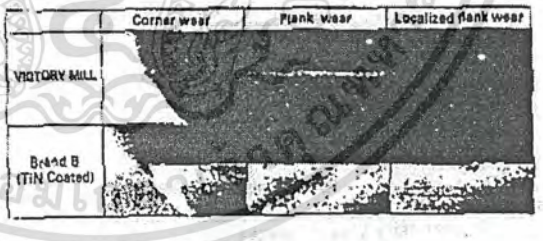


Milling Condition

End mill : 10mm (2flutes)
Speed : 80m/min (1,910min^{-1})
Feed : 230mm/min (0.063mm/tooth)
Work material : S50C (180HB)

Milling depth : Ba=10mm Br=2.5mm
Milling method : Side milling (Down cut)
Cutting oil : Air blow
Machine : Vertical machining center





Work Materials

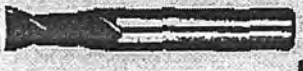
Carbon Steels, Rolled Steels, Alloy Steels, Pre-Hardened Steels, Mold Steels, Stainless Steels, Nickel Alloys, Titanium Alloys, Cast Irons, Aluminum Alloys, Copper Alloys

รูปที่ ผข 2 ข้อมูลรายละเอียดดอกกัดเอนมิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stocked Sizes

•VICTORY MILLS 2 FLUTES



LIST 6478 VAN NACHI 2VE DIA. AG HSS Co

Dia. of Mill	Length of Cut	Overall Length	Shank Dia.
1	2	50	6
1.5	3	50	6
2	4	50	6
2.5	5	50	6
3	6	50	6
3.5	8	60	8
4	8	60	8
4.5	10	60	8
5	10	60	8
5.5	12	60	8
6	12	60	8
6.5	14	65	10
7	14	65	10
7.5	14	65	10
8	14	65	10
8.5	18	70	10
9	18	70	10
9.5	18	70	10
10	18	70	10
10.5	22	80	12
11	22	80	12
11.5	22	80	12
12	22	80	12
12.5	26	90	16
13	26	90	16
13.5	26	90	16
14	26	90	16
14.5	30	95	16
15	30	95	16
15.5	30	95	16
16	30	95	16
16.5	35	105	20
17	35	105	20
17.5	35	105	20
18	35	105	20
18.5	40	110	20
19	40	110	20
19.5	40	110	20
20	40	110	20

Dia. of Mill (mm) above	and below	Tolerance (μm)
	10	0~-20
10		0~-25

•VICTORY MILLS 4 FLUTES

LIST 6480 VAN NACHI 4VE DIA. AG HSS Co

Dia. of Mill	Length of Cut	Overall Length	Shank Dia.
2.5	7	50	6
3	9	50	6
3.5	12	60	6
4	12	60	8
4.5	15	60	8
5	15	60	8
5.5	15	60	8
6	15	60	8
6.5	20	65	10
7	20	65	10
7.5	20	65	10
8	20	65	10
8.5	25	75	10
9	25	75	10
9.5	25	75	10
10	25	75	10
10.5	30	80	12
11	30	80	12
11.5	30	80	12
12	30	80	12
12.5	35	90	16
13	35	90	16
13.5	35	90	16
14	35	90	16
14.5	40	95	16
15	40	95	16
15.5	40	95	16
16	40	95	16
16.5	40	105	20
17	40	105	20
17.5	40	105	20
18	40	105	20
18.5	45	110	20
19	45	110	20
19.5	45	110	20
20	45	110	20

Dia. of Mill (mm) above	and below	Tolerance (μm)
	10	+20~0
10		-25~0

•VICTORY MILLS ROUGHING SHORT

LIST 6482 VAN NACHI VSR6 DIA. AG HSS Co

Dia. of Mill	Length of Cut	Overall Length	Shank Dia.	No. of Teeth
6	15	60	6	4
7	20	65	10	4
8	20	65	10	4
9	25	75	10	4
10	25	75	10	4
11	30	80	12	4
12	30	80	12	4
13	35	90	16	4
14	35	90	16	4
15	35	90	16	4
16	40	95	16	4
17	40	105	20	4
18	40	105	20	4
19	45	110	20	4
20	45	110	20	4
22	45	110	25	4
24	50	120	25	5
25	50	120	25	5
28	55	125	32	5
30	55	140	32	5

New introduction

Tolerance ±0.1mm

⚠ Warning

Before using any of our equipment please read the following.

1. A person using one of our tools in an inappropriate manner risks injury. The following words of cautions outline some simple steps in using our tools in an appropriate and safe manner.
2. Tools do become damaged. In order to avoid injury from a damaged tool, please wear safety glasses and headgear when using a tool.
3. The teeth on a tool are sharp. When handling a tool, please do not touch the cutting teeth with bare hands.
4. Lifting a heavy tool alone will risk back injury. Please use a chain block to lift heavy tools.
5. Please wear steel toed shoes to avoid foot injury in case a tool falls.
6. Please fully understand the manual provided before operating the machine in which the tool is used.

รูปที่ ผข 3 ข้อมูลรายละเอียดดอกกัดเอนมิล

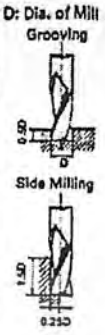
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard Milling Conditions

•VICTORY MILLS 2 FLUTES

Work Materials / Milling Condition	Rolled Steels Carbon Steels SS, SC		Alloy Steels Pre-Hardened Steels SCM, NAK, HPM		Mold Steels Stainless Steels		Nickel Alloys Titanium Alloys		Cast Irons FC, FCD		Aluminum Alloys Copper Alloys	
Dia. of Mill (mm)	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min
2	6400	150	4800	110	4000	88	3200	48	7200	420	14000	720
3	4200	150	3200	110	2700	72	2100	49	4800	440	9000	760
5	2500	150	1900	110	1600	69	1300	47	2900	430	5400	740
8	2100	180	1600	110	1300	71	1100	48	2400	440	4500	780
9	1800	160	1200	110	1000	70	800	49	1800	440	3400	760
10	1300	170	950	110	800	72	640	49	1400	450	2700	770
12	1100	160	800	110	680	71	530	49	1200	440	2300	760
15	850	160	640	110	530	71	420	49	960	440	1800	760
20	640	150	480	100	400	67	320	46	720	410	1400	720

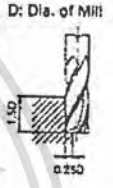
1)When dry milling, reduce the rotation and feed by 70%.
2)Adjust milling condition when an unusual vibration, different sound occur by cutting.



•VICTORY MILLS 4 FLUTES

Work Materials / Milling Condition	Rolled Steels Carbon Steels SS, SC		Alloy Steels Pre-Hardened Steels SCM, NAK, HPM		Mold Steels Stainless Steels		Nickel Alloys Titanium Alloys		Cast Irons FC, FCD		Aluminum Alloys Copper Alloys	
Dia. of Mill (mm)	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min
3	4250	250	3200	140	2700	98	2100	61	4800	350	9000	950
5	2500	250	1900	140	1600	88	1300	69	2900	550	5400	920
8	2100	200	1600	140	1300	88	1100	61	2400	550	4500	950
8	1600	200	1200	140	1000	90	800	60	1800	550	3400	950
10	1300	210	960	140	800	89	640	62	1400	560	2700	970
12	1100	200	800	140	680	89	530	61	1200	550	2300	950
15	850	200	640	140	530	84	420	61	960	550	1800	950
20	640	190	480	130	400	84	320	57	720	520	1400	890

1)When dry milling, reduce the rotation and feed by 70%.
2)Adjust milling condition when an unusual vibration, different sound occur by cutting.



•VICTORY MILLS ROUGHING SHORT

Work Materials / Milling Condition	Rolled Steels Carbon Steels SS, SC		Alloy Steels Pre-Hardened Steels SCM, NAK, HPM		Mold Steels Stainless Steels		Nickel Alloys Titanium Alloys		Cast Irons FC, FCD		Aluminum Alloys Copper Alloys	
Dia. of Mill (mm)	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min	Rotation min^{-1}	Feed mm/min
6	2100	230	1600	150	1300	100	1100	70	2400	290	4500	1100
8	1600	230	1200	150	1000	100	800	68	1800	290	3400	1100
10	1300	230	950	150	800	100	640	70	1400	290	2700	1100
12	1100	220	800	150	680	120	530	64	1200	340	2300	1200
15	850	220	640	150	530	120	420	64	960	340	1800	1200
20	640	220	480	150	400	110	320	78	720	340	1400	1300
25	510	200	380	200	320	120	250	87	570	390	1100	1400
30	420	200	320	150	270	110	210	78	490	360	900	1300

1)When dry milling, reduce the rotation and feed by 70%.
2)Adjust milling condition when an unusual vibration, different sound occur by cutting.

NACHI-FUJIKOSHI CORP. URL http://www.nachi-fujikoshi.co.jp

Main Office: World Trade Center, 2-4-1 Hamamatsu-cho, Minato-ku, Tokyo 105-6125 Phone: 03-3435-5111 Fax: 03-3436-2747/5366
Head Office, Toyama Plant: 1-1-1, Fujikoshi-Honmachi, Toyama 930-8511 Phone: 076-423-5111 Fax: 076-493-5211
Overseas Div.: Phone: +81-3-3435-5140

NACHI SINGAPORE PTE. LTD.
No.2 Joo Koon Way, Jurong Town,
Singapore 2262, SINGAPORE
Phone: 258-2011 Fax: 297-2565

FUJIKOSHI-NACHI (MALAYSIA) SDN. BHD.
Phone: 03-7874509 Fax: 03-7875513

NACHI PILIPINAS INDUSTRIES, INC.
Phone/ Fax: (03)850-0864

NACHI-FUJIKOSHI CORP.
THAILAND REPRESENTATIVE OFFICE
Phone: (02)748-7322 Fax: (02)748-7325

NACHI-FUJIKOSHI CORP.
KOREA REPRESENTATIVE OFFICE
Phone: (02)409-2264 Fax: (02)409-2264

CATALOG NO. KD001

2002.05.Q-SE-SE

The appearance and specifications may be changed without prior notice.

รูปที่ ผข 4 ข้อมูลรายละเอียดดอกกัดเอนมิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งที่มาของเหล็กที่ใช้ในการทดลอง

เหล็ก SKD-11 ซึ่งเป็นมาตรฐานจากประเทศญี่ปุ่น หรือเรียกตามมาตรฐานของบริษัท กรุงเทพเหล็กกล้า ว่า เหล็ก DC-53 ซึ่งมีส่วนผสมต่างๆ คือ C(1.5 %), Si(0.25 %), Mo(0.3 %), Cr(12 %), V(1.0 %) เหล็ก SKD-11 เป็นเหล็กขึ้นรูปเย็น มักใช้ในวงการอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ และเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน

บริษัทที่ซื้อเหล็กคือ บริษัทซิตี้พาร์คสตีล อิมพอร์ต (2002) จำกัด อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ โทร. 02-3131313

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้