

อิทธิพลของอัตราการบิน และ ความเร็วรอบของชิ้นงานในแต่ละขั้นตอนย่อย  
ของการเจียรไนทรงกระบอก(แบบยื่นศูนย์)  
ที่มีผลต่อความหยาบผิว



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-758-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**INFLUENCE OF FEED RATE AND WORK SPINDLE SPEED IN EACH STEP  
OF CYLINDRICAL GRINDING PROCESS (ON CENTER)  
ON THE SURFACE ROUGHNESS**



**Mr. Surasit Thongtaweekij**

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

Department of Industrial Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-332-758-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อิทธิพลของอัตราการป้อน และ ความเร็วรอบของชิ้นงานในแต่ละชั้น  
ตอนย่อยของการเจียระไนทรงกระบอก(แบบยื่นศูนย์) ที่มีผลต่อความ  
หยابผิว

โดย นายสุรสิทธิ์ ทองทวีชัยกิจ


ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกคี่ก





บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กีระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกคี่ก)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สุรสิทธิ์ ทองทวีชัยกิจ : อิทธิพลของอัตราการป้อนและความเร็วรอบของชิ้นงานในแต่ละขั้นตอนย่อยของการเจียรระนาบทรงกระบอก(แบบยื่นศูนย์) ที่มีผลต่อความหยาบผิว (INFLUENCE OF FEED RATE AND WORK SPINDLE SPEED IN EACH STEP OF CYLINDRICAL GRINDING PROCESS (ON CENTER) ON THE SURFACE ROUGHNESS) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ปารเมศ ชุตินา, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.สมชาย พวงเพิกศรี, 86 หน้า.

ISBN 974-332-758-4.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาหาอิทธิพลของสภาวะการตัดในแต่ละขั้นตอนย่อยสำหรับกระบวนการเจียรระนาบทรงกระบอก (แบบยื่นศูนย์) ที่มีผลต่อความหยาบผิว (ในที่นี้ คือ ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra)) โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลองทางสถิติ ซึ่งเมื่อทำการทดลองและวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวเฉลี่ย คือ อัตราการป้อนล้อหินเจียรในเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระนาบละเอียดพิเศษ (D), เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรระนาบในในช่วงการเจียรระนาบละเอียดพิเศษ (E) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง (DE) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดย E มีอิทธิพลสูงที่สุดจากค่า  $F_0=29.76$  เมื่อใช้ค่า E ในระดับต่ำ หรือ ใช้เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรระนาบในในช่วงการเจียรระนาบละเอียดพิเศษ นานขึ้น ส่งผลให้ได้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำลง และ D มีผลกระทบต่อร่องรอยการตัดของผิวสุดท้ายก่อนช่วงเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรระนาบในในช่วงการเจียรระนาบละเอียดพิเศษ นั่นคือ หากอัตราการป้อนล้อหินเจียรในเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระนาบละเอียดพิเศษมีค่าสูง หรือป้อนหนัก(เร็ว) จะทำให้ร่องรอยของการตัด ซึ่งเกิดจากเม็ดขัดมีลักษณะลึก(หรือมียอดสูง)หากเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรระนาบในในช่วงการเจียรระนาบละเอียดพิเศษไม่นานพอที่จะให้เม็ดขัดเม็ดอื่นๆเข้ามาทำการกำจัดยอดของรอยตัด ส่งผลให้ผิวของชิ้นงานมีลักษณะหยาบ หรือมีค่าความหยาบผิวสูง จากผลการวิจัย เมื่อทำการควบคุมเพียงแค่ อัตราการป้อนล้อหินเจียรในเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระนาบละเอียดพิเศษ และ เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรระนาบในในช่วงการเจียรระนาบละเอียดพิเศษ ให้มีค่าที่เหมาะสม นั่นคือ 0.699 เส้นผ่านศูนย์กลางมิลลิเมตร ต่อนาที และ 2.8326 วินาที ตามลำดับ สามารถลดเวลาในการเจียรระนาบ สำหรับ ชิ้นงาน ตัวอย่าง ลงได้ ถึง 31.58 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการถดถอย พบว่า มีความถูกต้อง ถึง 95.24 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา ..... วิศวกรรมอุตสาหการ  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมอุตสาหการ  
ปีการศึกษา ..... 2542

ลายมือชื่อนิติ .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

4070478021  
# # : MAJOR

INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: CYLINDRICAL GRINDING / SURFFACE ROUGHNESS / ROUGHNESS AVERAGE / THE MICRO GRINDING FEED RATE / THE FEED STOP AFTER MICRO GRINDING

SURASIT THONGTAWEECHAIYAKIJ : INFLUENCE OF FEED RATE AND WORK SPINDLE SPEED IN EACH STEP OF CYLINDRICAL GRINDING PROCESS (ON CENTER) ON THE SURFACE ROUGHNESS. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D. THESIS COADVISOR: ASSOC. PROF. SOMCHAI PUANGPERKSUK. 86 pp. ISBN 974-332-758-4.


This thesis is focused on the effect of cutting condition on surface roughness (roughness average (Ra)) in each step of cylindrical grinding process (on center). After the experiment and analysis of variance, it is found that the parameters which affect on roughness average are micro grinding feed rate (D), feed stop after micro grinding (E) and interaction between the both (DE) at 0.05 level of significance. As  $F_0=29.76$ , It is found that E has greatest effect, when use low level of E (E=-1) or when use longer feed stop after micro grinding. Which contribute to lower Ra. Also, D has effect on Ra as well. D affects lay of finished surface before feed stop after micro grinding. Therefore, if D were high or fast, it would cause deep lay, which is resulted from abrasive. If E is not long enough for other abrasive to clean top of lay. This leads rough surface or on the other words, high Ra. The result of experiment indicates that when controlling the micro grinding feed rate and the feed stop after micro grinding at appropriate level, the grinding time of specimens can be reduced to 31.58 percent. Consequently, comparing between results from the experiment and those from regression equation, there is about 95.24% accuracy.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... INDUSTRIAL ENGINEERING.....

สาขาวิชา..... INDUSTRIAL ENGINEERING.....

ปีการศึกษา..... 1999.....

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ รองศาสตราจารย์สมชาย พวงเพิกคิก อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รวมทั้ง ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ ประธานกรรมการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการช่วยเหลือให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อีกทั้งขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาและให้คำแนะนำต่างๆตลอดการวิจัย และบริษัทเจอีพี เทคโนโลยี จำกัด ที่ให้ความสะดวกด้านสถานที่ และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ตลอดช่วงของการวิจัย ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกคน

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและกำลังใจ ตลอดจนสมาชิกในครอบครัว และเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นายสุรสิทธิ์ ทองทวีชัยกิจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ.....	ฌ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1.ความเป็นมา และ สภาพปัญหาของงานเจียร์ไนทรงกระบอก (แบบยื่นศูนย์) .....	1
1.2.วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3.ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5.ขั้นตอนการวิจัย.....	4
2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.พื้นฐานงานระบบซีเอ็นซี.....	5
2.1.1.การพัฒนาการของเครื่องจักรกล ซีเอ็นซี.....	5
2.1.1.1.ประวัติของเครื่องจักรกลเอ็นซี.....	5
2.1.1.2.ความหมายของ เอ็นซี และ ซีเอ็นซี.....	6
2.1.2.ความแตกต่างระหว่างเครื่องจักรกลเอ็นซี กับเครื่องจักรกลทั่วไป.....	6
2.1.3.ความแตกต่างระหว่างระบบเอ็นซี กับระบบซีเอ็นซี.....	7
2.1.4.ข้อดี และ ข้อเสียของเครื่องจักรกลเอ็นซี และซีเอ็นซี.....	8
2.1.5.การทำงานของเครื่องจักรกลทั่วไป.....	9
2.1.6.การทำงานของเครื่องจักรกลเอ็นซี.....	9
2.2.คุณภาพผิว.....	10
2.3.ล้าหินเจียร์ไน.....	14
2.4.การทำงานของล้าหินเจียร์ไน.....	17
2.5.ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผิวสำเร็จของกระบวนการเจียร์ไน.....	18

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6. การสีกหรือของล้อยหินเจียรระไน.....	19
2.7. น้ำยาหล่อเย็น.....	21
2.7.1.ชนิดของสารหล่อเย็น.....	22
2.7.2.การเลือกชนิดของสารหล่อเย็น.....	22
2.8. การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
3. การดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1.ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อความหยาบผิว.....	28
3.2.การเลือกปัจจัยทำการทดลอง.....	29
3.3.การออกแบบการทดลอง.....	31
3.4.อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.5.ขั้นตอนในการทดลอง.....	36
4. ผลการวิจัย และ การวิเคราะห์ข้อมูล.....	37
4.1.เริ่มต้นการวิจัย .....	37
4.2.ผลการทดลอง ( $2_{IV}^{6-2}$ Design) .....	39
4.3.การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	40
4.4.การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking).....	45
4.5.การค้นหา Dispersion Effects.....	49
4.6.การหาขนาดจำนวนซ้ำในการทดลอง (Choice of Sample Size).....	53
4.7.การพิจารณาอิทธิพลกำลังสองของปัจจัยที่มีผลต่อ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย... ..	55
4.8.การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบใหม่.....	59
4.9.ค่าคาดหวังความหยาบผิวเฉลี่ย.....	63
5. สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ.....	67
5.1.ข้อสรุปอิทธิพลของสภาวะการเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยันศูนย์).....	67
5.2.ประโยชน์ที่ได้จากโครงการวิจัย และ การประยุกต์ใช้.....	69
5.3.ข้อเสนอแนะ และ แนวทางการวิจัยค้นคว้าเพิ่มเติม.....	71
รายการอ้างอิง.....	72



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก.....	75
ก.1 วิธีการคำนวณค่า Rigidity.....	75
ก.2 วิธีการเจียรไนทรงกระบอก (แบบยันศูนย์) แบบต่างๆ.....	76
ก.3 ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเจียรไนทรงกระบอกอัตโนมัติ (รุ่นGE4A-50).....	77
ภาคผนวก ข.....	81
ข.1 ผลการทดลอง(The $2_{IV}^{6-2}$ Design).....	81
ข.2 ผลการทดลอง(The Addition of Center Points to the $2^2$ Design).....	84
ประวัติผู้เขียน.....	86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	
2.1 ตารางแสดงขนาดมาตรฐานของเม็ดขัด.....	14
2.2 ตารางแสดงเกรดหรือความแข็ง และโครงสร้างการจัดเรียงตัวของเม็ดขัด.....	15
4.1 ตารางแสดงถึงค่าของปัจจัยต่างๆ และการแปรค่าของปัจจัยเป็นตัวแปรรหัส.....	37
4.2 ตารางแสดงโครงสร้างอาไลแอส(Alias Structure).....	38
4.3 ตารางแสดงทรีตเมนต์คอมบิเนชัน และ ลำดับการทดลอง.....	38
4.4 ตารางแสดงผลการทดลอง ( $2_{IV}^{6-2}$ Design).....	39
4.5 ตารางแสดงค่า Effects , สัมประสิทธิ์สมการถดถอย (Regression Coefficients) , และ Sums of Squares.....	40
4.6 ANOVA Table ของความหยาบผิวเฉลี่ย ( $2_{IV}^{6-2}$ Design).....	41
4.7 ตารางแสดงผลการทดลองที่ลดรูปเป็น $2^2$ Factorial Design.....	43
4.8 ANOVA Table ของความหยาบผิวเฉลี่ย ( $2^2$ Factorial Design).....	44
4.9 ตารางแสดงตัวสถิติที่ใช้ในการค้นหา Dispersion Effects ( $F_i^*$ ).....	52
4.10 ตารางแสดงสมการการหาพารามิเตอร์ของเส้นโค้งไอซี.....	54
4.11 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของเส้นโค้งไอซี .....	54
4.12 ตารางแสดงผลการทดลองในการเพิ่มการทดลองในระดับกลางของปัจจัยในการทดลองแบบ $2^2$ Factorial Design (Addition of Center Points to the $2^2$ Design).....	56
4.13 ANOVA Table ของความหยาบผิวเฉลี่ย (Addition of Center Points to $2^2$ Design).....	57
4.14 ตารางแสดงผลการเจียรระไนภายใต้เงื่อนไข (D = -1, E = -1).....	66
5.1 ตารางแสดงถึง การเปรียบเทียบ สภาวะการตัด และ เวลาที่ใช้ในการเจียรระไนทั้งก่อนและหลังการทดลอง.....	70
ก.1 ตารางแสดงถึงค่า Rigidity.....	75
ก.2 ตารางแสดงถึงวิธีการเจียรระไนแบบต่างๆ สำหรับการเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยื่นศูนย์กลาง).....	76

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.3 ตารางแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ ค่าสภาวะการตัด และการกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ กับค่า Rigidity.....	77
ก.4 ตารางแสดง B Data ของ โปรแกรมสำหรับชิ้นงานที่ทำการทดลอง.....	79
ก.5 ตารางแสดง C Data ของ โปรแกรมสำหรับชิ้นงานที่ทำการทดลอง.....	80



## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่	
1.1	ขั้นตอนหลัก หรือกระบวนการเจียระไนทรงกระบอกของ เครื่องเจียระไนทรงกระบอก อัตโนมัติ.....2
2.1	แสดงการวัดค่าความหยาบผิว $R_t$ ..... 12
2.2	แสดงการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย..... 12
2.3	แสดงการวัดค่าความหยาบผิว $R_z$ และ $R_{max}$ ..... 13
2.4	การทำงานของล้อหินเจียระไนในกระบวนการเจียระไนทรงกระบอก..... 17
2.5	แสดงถึงลักษณะการสึกหรอสำหรับกระบวนการเจียระไน..... 20
3.1	ผังก้างปลาแสดงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อความหยาบผิว.....28
3.2	ตัวแปร หรือ พารามิเตอร์ในขั้นตอนต่างๆ..... 30
3.3	ล้อหินเจียระไน..... 32
3.4	เพชร..... 33
3.5	ชิ้นงาน..... 34
3.6	เครื่องวัดความหยาบผิว (Portable Surface Roughness Tester)..... 35
4.1	กราฟ Normal Probability Plot ของค่าเฉลี่ยเหลือ ( $2^2$ Factorial Design).....45
4.2	แผนภูมิแท่ง (Histogram) ของค่าเฉลี่ยเหลือ ( $2^2$ Factorial Design)..... 46
4.3	แผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยเหลือ กับ ลำดับการทดลอง ( $2^2$ Factorial Design).....47
4.4	แผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยเหลือ กับค่าควรจะเป็นของ ตัวแปรตอบสนอง ( $\hat{R}_a$ ) ( $2^2$ Factorial Design).....48
4.5	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยเหลือ กับระดับของอัตราการป้อนล้อหิน เจียระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษ(D).....49
4.6	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยเหลือกับระดับของเวลาหยุดนิ่งหลังการ เจียระไนในช่วง การเจียระไนละเอียดพิเศษ (E).....50
4.7	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยเหลือกับ ระดับของอิทธิพลร่วมระหว่าง อัตราการป้อนล้อหินเจียระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษ และ ระดับของเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียระไนในช่วง การเจียระไนละเอียดพิเศษ (DE)..... 50

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเศษเหลือกับ ระดับของอัตราการป้อนล้อหิน เจียรไนเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (D) และระดับของเวลาหยุดนิ่ง หลังการเจียรไนในช่วง การเจียรไนละเอียดพิเศษ(E).....	51
4.9 กราฟ Normal Probability Plot ของตัวสถิติที่ใช้ในการประเมินขนาดของ Dispersion Effects ( $F_i^*$ ).....	53
4.10 ภาพแสดงรูปทรงทางเรขาคณิต และ $R_{max}$ ของผิวงานกลึง.....	55
4.11 กราฟ Normal Probability Plot ของค่าเศษเหลือ(Addition of Center Points to $2^2$ Design) .....	59
4.12 แผนภูมิแท่ง (Histogram) ของค่าเศษเหลือ (Addition of Center Points to $2^2$ Design) .....	60
4.13 แผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเศษเหลือ กับลำดับการทดลอง (Addition of Center Points to $2^2$ Design).....	61
4.14 แผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเศษเหลือ กับค่าควรจะเป็นของตัว แปรตอบสนอง ( $\hat{Ra}$ ) (Addition of Center Points to $2^2$ Design).....	62
4.15 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาดหมายเฉลี่ย สำหรับค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ของชิ้นงาน กับระดับของอัตราการป้อนล้อหินเจียรไนเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงการเจียรไน ละเอียดพิเศษ(D) และระดับของเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียด พิเศษ(E).....	64
4.16 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือ กับระดับของอัตราการป้อนล้อหิน เจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (D) และระดับของเวลาหยุดนิ่งหลัง การเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (E).....	65

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.1 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 9.....	81
ข.2 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 20.....	82
ข.3 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 32.....	82
ข.4 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 48.....	83
ข.5 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 64.....	83
ข.6 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 67.....	84
ข.7 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 69.....	84
ข.8 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 71.....	85

## คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

Abrasive	เม็ดขัด
Accuracy	ความเที่ยงตรง
Air Cut Grinding	ขั้นตอนการเคลื่อนล้อหินเจียรระไน เพื่อเตรียมการเจียรระไน
ANOVA	การวิเคราะห์ความแปรปรวน
Anti Weld	การป้องกันการหลอมติดของเศษโลหะ
Balance	ความสมดุล
Bias	ความเอนเอียง
Bond	ตัวประสาน
Centerless	การเจียรระไนแบบไร้ศูนย์กลาง
Chance Case	สาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้
Chatter Marks	รอยขีดข่วน
CNC Cylindrical Grinding Machine	เครื่องเจียรระไนทรงกระบอกอัตโนมัติ
Code	รหัส
Coded Variable	ตัวแปรรหัส
Computerized Numerical Control (CNC)	การใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมระบบตัวเลข และตัวลักษณะอื่นที่
Cut-Off Wavelength	ความยาวคลื่นตัดออก
Cut-Off Wheels	ล้อตัดชิ้นงาน
Cutting Force	แรงตัด
Cutting Speed	ความเร็วตัด
Deburring	ลบคม
Depth of Cut	ความลึกในการตัด
Diamond	เพชร
Discoloration	รอยไหม้
Dispersion Effect	อิทธิพลของการกระจาย
Dressing	การตกแต่งล้อหินเจียรระไน
Drive Amplified	ภาคขยายสัญญาณของระบบขับ
Effect	อิทธิพล

## คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ (ต่อ)

Error	ความคลาดเคลื่อน
Feed Motor	มอเตอร์ป้อน
Feed Rate	อัตราการป้อน
Feed Stop after Micro Grinding (E)	เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรระโนในช่วงการเจียรระโนละเอียดพิเศษ
Fine Grinding Feed Rate (C)	อัตราการป้อนล้อหินเจียรระโนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระโนละเอียด
Fine Grinding Work Spindle Speed (A)	ความเร็วรอบของชิ้นงานในช่วงการเจียรระโนละเอียด
Fine Grinding	ขั้นตอนการเจียรระโนในช่วงการเจียรระโนละเอียด
Finish Grinding	ขั้นตอนการเจียรระโนในช่วงสุดท้าย
Fixed Effect Model	ตัวแบบแบบอิทธิพลคงที่
Fixture	ฟิกเจอร์
Foundation	รากฐานเครื่อง
Fracture	การแตกหัก
Grain Size	ขนาดของเม็ดขัด
Histogram	แผนภูมิแท่ง
Independence	ความเป็นอิสระ
Induction Hardening	การทำผิวแข็งด้วยการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า
Insert	อินเสิร์ท
Key Board	แป้นพิมพ์
Linear Scale	สเกลแนวตรง
Locating Pin	สลักกำหนดตำแหน่ง
Machineability	ความสามารถในการขึ้นรูป
Magnetic Tape	เทปแม่เหล็ก
Mean of Ra ( $\bar{R}_a$ )	ค่าคาดหวังเฉลี่ย สำหรับค่าความหยาบผิวเฉลี่ย
Mean Square (MS.)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง
Measuring System	ระบบวัดขนาด
Metal Removal Rate	อัตราการหลุดออกของโลหะ



## คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ (ต่อ)

Micro Grinding Feed Rate (D)	อัตราการป้อนล้อหินเจียรระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ
Micro Grinding	ขั้นตอนการเจียรระไน ในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ
Mineral Oil	แร่ น้ำมัน
Minute (min.)	นาที
Neat Oil	น้ำมันที่ไม่ผสมน้ำ
Normality Probability Paper (NOPP.)	การกระจายแบบปกติ
Normality	ความเป็นปกติ
Numerical Control (NC)	การควบคุมด้วยระบบตัวเลข และ ตัวอักษร
Operating Characteristic Curve	เส้นโค้งไอซี
Plunge and Traverse Grinding Method	วิธีการเจียรระไนแบบผสม
Plunge Grinding Method	วิธีการเจียรระไนแบบพลัน
Production Time	เวลาที่ใช้ในการผลิต
r.p.m.	รอบต่อนาที
$\hat{R}_a$	ค่าคาดหวังความหยาบผิวเฉลี่ย
Regression Coefficients	สัมประสิทธิ์สมการถดถอย
Release	การหลุดออกของเม็ดหินขัด หรือหินเจียรระไน
Repeatability	การทำซ้ำ
Residual	เศษเหลือ
Rigidity	ริจิดิตี้ หรืออัตราส่วนระหว่างความยาวของชิ้นงานต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย
Rough Grinding Feed Rate (F)	อัตราการป้อนล้อหินเจียรระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนหยาบ
Rough Grinding Work Spindle Speed (B)	ความเร็วรอบของชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนหยาบ
Rough Grinding	ขั้นตอนการเจียรระไนในช่วงการเจียรระไนหยาบ
R-Square	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
Second (sec.)	วินาที
Shock Load	แรงหรือภาระอย่างกะทันหัน

## คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ (ต่อ)

Shoulder Grinding Method	วิธีการเจียรระไนแบบโซลเดอร์
Significant Level	ระดับนัยสำคัญ
Simulation	การจำลอง
Slide Way	รางเลื่อน
Slides	แท่นเลื่อน
Slip	การไถล
Spark-Out	ขั้นตอนการเจียรระไนในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ
Standard Deviation (SD.)	ความแปรปรวนมาตรฐาน
Structure	โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัด
Sum of Squares (SS.)	ผลรวมกำลังสอง
Surface Roughness (Roughness)	ความหยาบผิว
Addition of Center Points to $2^2$ Design.	การเพิ่มการทดลองในระดับกลางของปัจจัยในการทดลองแบบ $2^2$ Factorial Design
Tool Material	วัสดุของเครื่องมือตัด
Tool Temperature	อุณหภูมิของเครื่องมือตัด
Tool Temperature	อุณหภูมิของเครื่องมือตัด
Traverse Grinding Method	วิธีการเจียรระไนแบบเลื่อนขวาง
Type I Error	ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด แบบที่ 1
Type II Error	ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด แบบที่ 2
Variance Stability	ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน
Variance	ความแปรปรวน
Watermix Fluids	ของเหลวที่ผสมกับน้ำ
Wavelength	ความยาวคลื่น
Waviness	ความเป็นคลื่น



## บทที่ 1

### บทนำ

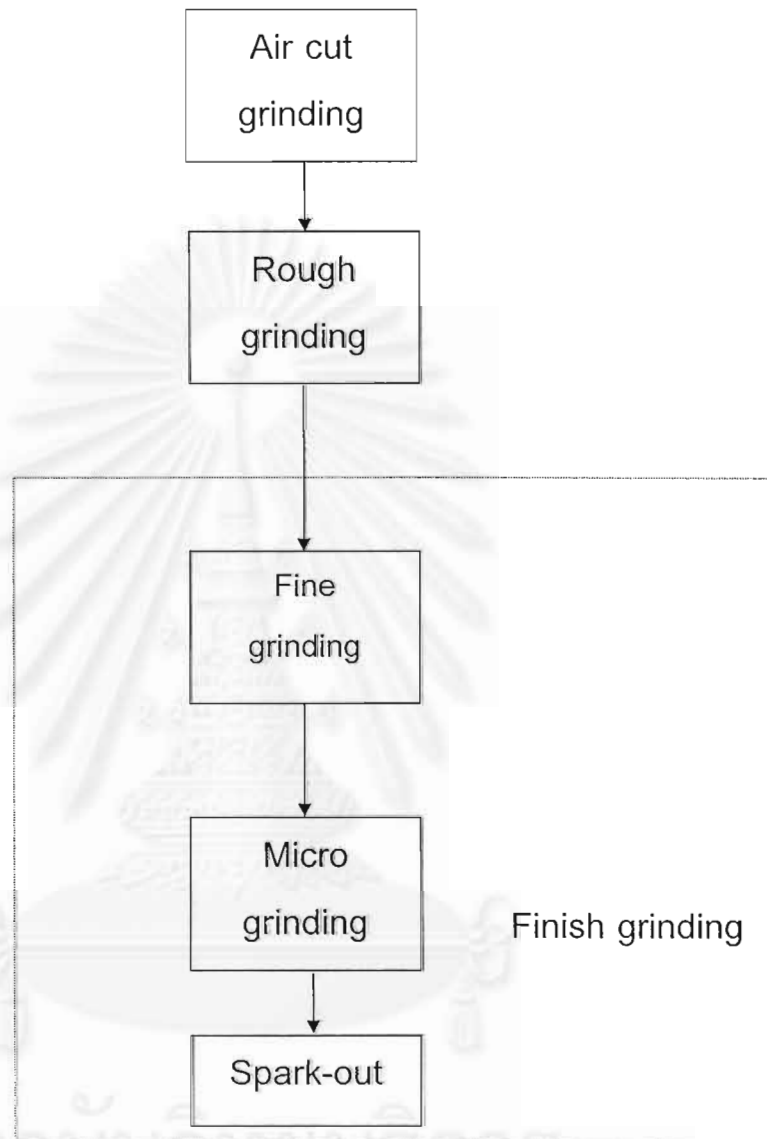
#### 1.1 ความเป็นมา และ สภาพปัญหาของงานเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยันทันศูนย์กลาง)

กระบวนการผลิต หรือ วิธีการผลิตต่างๆ ในงานอุตสาหกรรมมีอยู่มากมาย แต่วิธีที่มีความสำคัญมากอีกวิธีหนึ่ง คือ การเจียรระไน ทั้งนี้เนื่องจาก การเจียรระไนเป็นวิธีหนึ่งในหลายๆ วิธีที่สามารถตัดปาดวัสดุที่ผ่านกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น การชุบแข็ง และ ให้ขนาดที่มีความเที่ยงตรงสูงมาก นอกจากนี้ยังเป็นกรรมวิธีที่สามารถให้คุณภาพผิวสำเร็จของชิ้นงานที่ดีมากอีกด้วย

ในอดีตลักษณะของการเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยันทันศูนย์กลาง) มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของเวลาในการผลิตคุณภาพผิวของงานความเที่ยงตรง และ อื่นๆ ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้ต้องอาศัยประสบการณ์อย่างมากจากผู้ชำนาญ แต่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาต่างๆ ได้หมด สำหรับกรณีที่ต้องการผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพผิวที่สูงขึ้น จะทำให้เกิดความยากลำบากสูงขึ้นเป็นเท่าตัว กล่าวคือ จะทำการผลิตโดยใช้วิธีการเปลี่ยนล้อหินเจียรระไนที่ใช้สำหรับงานที่ต้องการคุณภาพผิวสูง (ในบางกรณีที่มีเครื่องเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยันทันศูนย์กลาง) หลายเครื่องอาจทำการกำหนดเป็นเครื่องเจียรระไนหลาย และ เครื่องเจียรระไนละเอียด ทั้งนี้เพื่อลดเวลาในการเปลี่ยนล้อหินเจียรระไน และ การปรับสมดุล (Balance) ล้อหินเจียรระไน) หรือ กระทำโดยการปรับเปลี่ยนสภาวะการตัด ของการเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยันทันศูนย์กลาง)

ปัจจุบันวิวัฒนาการทางการผลิตได้พัฒนาไปอย่างกว้างไกล ซึ่งทำให้เกิดเครื่องเจียรระไนทรงกระบอกอัตโนมัติ (CNC Cylindrical Grinding Machine) ขึ้น โดยได้รวบรวมขั้นตอนต่างๆ สำหรับงานเจียรระไนทรงกระบอกไว้ภายในเครื่องจักร ซึ่งเพิ่มความละเอียดแม่นยำ ความรวดเร็ว พร้อมกับได้ทำการกำหนดสภาวะการตัดเบื้องต้น แต่ปัญหาที่พบ คือ ไม่ได้มีการแนะนำถึงความสัมพันธ์ต่างๆ ของสภาวะการตัดว่าถ้าหากต้องการคุณภาพผิวของชิ้นงานที่สูงขึ้นสำหรับทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการตัดที่เหมาะสม ซึ่งสภาวะการตัดนั้นมีตัวแปรที่สามารถกระทำการปรับเปลี่ยนอยู่มากมาย โดยที่ขั้นตอนหลัก หรือ กระบวนการเจียรระไนทรงกระบอกของเครื่องเจียรระไนทรงกระบอกอัตโนมัติ ได้แสดงในรูปที่ 1.1 และ ด้วยความไม่ทราบถึงสภาวะการตัดตั้ง

กล่าว ปัจจุบันได้กระทำโดยการปรับให้ ความเร็วรอบของชิ้นงาน และ/หรือ อัตราการป้อนล้อหิน เจียรไนเข้าหาชิ้นงานให้มีค่าน้อย ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาทำงานของเครื่องเจียรไนทรงกระบอก (แบบย่นศูนย์) ยาวนานกว่าเกินกว่าความจำเป็น



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนหลัก หรือกระบวนการเจียรไนทรงกระบอกของ เครื่องเจียรไนทรงกระบอก อัตโนมัติ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษา และ หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อน และ ความเร็วรอบของชิ้นงาน ในแต่ละขั้นตอนย่อยของการเจียรไนทรงกระบอก (แบบย่นศูนย์) ที่มีผลต่อความหยาบผิว

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1. ทำการออกแบบการทดลอง และ วิเคราะห์ผล โดยใช้หลักการของ Design and Analysis of Experiments โดยที่ความหยาบผิว (Surface Roughness) ที่ศึกษา คือ ความหยาบผิวเฉลี่ย (Roughness Average ,Ra)

1.3.2. ปัจจัยที่จะศึกษา และ หาความสัมพันธ์ที่มีผลต่อ ความหยาบผิวเฉลี่ย

1.3.2.1. ความเร็วรอบของชิ้นงาน

1.3.2.1.1. ความเร็วรอบของชิ้นงานในช่วงการเจียรหยาบ (Rough Grinding Work Spindle Speed) โดยกำหนดค่าเป็น 339 และ 403 รอบต่อนาที

1.3.2.1.2. ความเร็วรอบของชิ้นงานในช่วงการเจียรละเอียด (Finish Grinding Work Spindle Speed) โดยกำหนดค่าเป็น 233 และ 296 รอบต่อนาที

1.3.2.2. อัตราการป้อน

1.3.2.2.1. อัตราการป้อนล้อหินเจียรหยาบเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงการเจียรหยาบ (Rough Grinding Feed Rate) โดยกำหนดค่าเป็น 1.0594 และ 1.9069 เส้นผ่านศูนย์กลางมิลลิเมตรต่อนาที

1.3.2.2.2. อัตราการป้อนล้อหินเจียรละเอียดเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงการเจียรละเอียด (Fine Grinding Feed Rate) โดยกำหนดค่าเป็น 0.1200 และ 0.2400 เส้นผ่านศูนย์กลางมิลลิเมตรต่อนาที

1.3.2.2.3. อัตราการป้อนล้อหินเจียรละเอียดพิเศษเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงการเจียรละเอียดพิเศษ (Micro Grinding Feed Rate) โดยกำหนดค่าเป็น 0.0699 และ 0.1776 เส้นผ่านศูนย์กลางมิลลิเมตรต่อนาที

1.3.2.2.4. เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรละเอียด ในช่วงการเจียรละเอียดพิเศษ (Feed Stop after Micro Grinding) โดยกำหนดค่าเป็น 2.8326 และ 1.4189 วินาที

1.3.3. ทำการศึกษาเฉพาะ วิธีการเจียรแบบพลัน (Plunge Grinding Method)

1.3.4. สำหรับการทำการทดลองแต่ละครั้งจะต้องทำการตกแต่งล้อหินเจียรหยาบ (Dressing) ใหม่ทุกครั้ง

1.3.5. ทำการทดลองแบบ  $2_{IV}^{6-2}$  Design ซึ่งเท่ากับ 16 การทดลอง และในแต่ละการทดลองจะกระทำซ้ำ 4 ครั้ง ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมดจึงเท่ากับ 64 ครั้ง

1.3.6. เวลาทำงานของเครื่องเจียรในทรงกระบอก ไม่เกิน 1 นาที 16 วินาที

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. สามารถนำมาเป็นแนวทางในการประยุกต์ หรือ กำหนดอัตราการป้อน หรือ ความเร็วรอบของชิ้นงาน ในแต่ละขั้นตอนย่อยของการเจียระไนทรงกระบอก(แบบขั้นศูนย์) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงาน

1.4.2. เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาไปใช้ ในการพัฒนาเครื่องเจียระไนทรงกระบอกให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

## 1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1.5.1.สำรวจงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.5.2.ทำการศึกษขั้นตอนการทำงาน และ โปรแกรมของ เครื่องเจียระไนทรงกระบอกอัตโนมัติ

1.5.3.ทำการศึกษา และค้นคว้าปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อความหยาบผิว

1.5.4.เลือกปัจจัยที่จะทำการศึกษา และกำหนดค่าในแต่ละระดับของปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อความหยาบผิว

1.5.5.ออกแบบการทดลอง และขั้นตอนการทดลอง

1.5.6.ทำการทดลอง และทำการเก็บรวบรวมข้อมูล

1.5.7.วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.8.สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

1.5.9.จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 พื้นฐานงานระบบซีเอ็นซี

การแข่งขันกันในการผลิตสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ ทำให้ความต้องการขบวนการผลิตอัตโนมัติเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะขบวนการผลิต ที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เป็นผลให้มีความต้องการทางด้านระบบการผลิต ช่างควบคุมเครื่อง และ บุคลากรเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบันวิศวกรที่มีอยู่ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต ต้องพบกับการปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตที่มีความสามารถสูง มีความน่าเชื่อถือ และ ความยืดหยุ่นในกระบวนการสูง ระบบซีเอ็นซีก็เป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนา และ มีความก้าวหน้าไปมาก ทั้งในด้านของความสามารถในการส่งถ่ายข้อมูล การแสดงผลทางกราฟฟิก และ ความยืดหยุ่นในการผลิตชิ้นงาน ตลอดจนการเลือกใช้เครื่องมือ ในระยะยาวความสำเร็จของการใช้ขบวนการผลิตที่เป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่นี้ จะได้ผลดี และ มีประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญต่อการจัดเตรียมบุคลากรในด้านต่างๆด้วย

#### 2.1.1 การพัฒนาการของเครื่องจักรกล ซีเอ็นซี

##### 2.1.1.1 ประวัติของเครื่องจักรกลเอ็นซี

ในอดีตขณะที่สภาวะทางเศรษฐกิจมีการเจริญเติบโตไวมาก อีกทั้งการแข่งขันทางการตลาด และการที่จำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการทางด้านปัจจัย 4 ก็มีเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ เหตุต่างๆเหล่านี้ ทำให้มนุษย์มีความจำเป็นที่จะต้องคิดค้น และ พัฒนาการผลิตให้รวดเร็ว และ ประหยัด เพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มมากขึ้น เครื่องจักรกลอัตโนมัติได้ถูกออกแบบ และ พัฒนาสร้างขึ้นมาให้สามารถทำงานซ้ำๆกันได้ตลอดเวลาที่ต้องการ ซึ่งระบบการทำงานอัตโนมัติเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น เครื่องเล่นเปียโนอัตโนมัติ ซึ่งทำงานโดยอาศัยระบบแมคคานิค ควบคุม เครื่องกลึงอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานด้วยลูกเบี้ยว แต่เครื่องจักรเหล่านี้มีข้อเสียตรงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นงานใหม่ต้องใช้เวลามาก และ การเปลี่ยนลักษณะงานที่จำกัด

ในปัจจุบันมีปัญหาทางด้านเศรษฐกิจที่ถดถอย แต่ความต้องการทางด้านปัจจัย 4 ก็ยังคงมีความจำเป็นกับมนุษย์อยู่ดี อีกทั้งการแข่งขันทางการตลาดยิ่งสูงขึ้นไปอีกซึ่งเป็นเหตุให้ จะต้องพัฒนาการผลิตให้ใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุด ต้นทุนต่ำสุด คุณภาพเป็นไปตามความต้องการของลูกค้าฯ ซึ่งเหตุผลดังกล่าวเป็นเหตุให้มีความจำเป็นอย่างมาก ที่จะต้องนำเครื่องจักรกลอัตโนมัติมาช่วยในการผลิต แต่ยังคงที่จะต้องจัดเตรียมหลายสิ่งหลายอย่างเช่นเดิม

### 2.1.1.2 ความหมายของ เอ็นซี และ ซีเอ็นซี

เอ็นซี (NC) ย่อมาจากคำว่า Numerical Control หมายถึง การควบคุมเครื่องจักรด้วยระบบตัวเลข และ ตัวอักษร ซึ่งคำจำกัดความนี้ได้มาจากประเทศสหรัฐอเมริกา กล่าวคือ การเคลื่อนที่ต่างๆตลอดจนการทำงานอื่นๆ ของเครื่องจักรกล จะถูกควบคุมโดยรหัสคำสั่งที่ประกอบด้วยตัวเลข ตัวอักษร และ สัญลักษณ์อื่นๆ ที่จะไปกระตุ้นมอเตอร์ หรือ อุปกรณ์อื่นๆ เพื่อให้เครื่องจักรทำงานตามขั้นตอนที่ต้องการ

ซีเอ็นซี (CNC) ย่อมาจากคำว่า Computerized Numerical Control ระบบควบคุมเอ็นซีแบบนี้ จะมีคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถสูงเพิ่มเข้าไปในระบบ ทำให้สามารถจัดการเก็บข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบเอ็นซี และ ประมวลผลข้อมูล เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล ในปัจจุบันเครื่องจักรกลเอ็นซีส่วนมากจะ หมายถึง เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ทั้งนี้เพราะว่าระบบซีเอ็นซีที่ไม่มีคอมพิวเตอร์เป็นส่วนประกอบ มักไม่นิยมสร้างใช้แล้ว เนื่องจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน มีราคาค่อนข้างถูก ดังนั้นราคาของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ที่เพิ่มขึ้นมาเกือบจะไม่ต้องนำมาพิจารณา เมื่อเทียบกับราคาของเครื่องจักรทั้งเครื่อง

### 2.1.2 ความแตกต่างระหว่างเครื่องจักรกลเอ็นซี กับเครื่องจักรกลทั่วไป

เครื่องจักรกลทั่วไป แท่นเลื่อน (Slides) ที่ทำหน้าที่นำชิ้นงาน หรือ เครื่องมือตัดให้เคลื่อนที่ไปตามรางเลื่อน (Slide Ways) โดยการหมุนมือหมุน หรือ โดยการต่อกัลไกป้อนอัตโนมัติ เช่น ลูกเบี้ยวในเครื่องกลึงอัตโนมัติ ซึ่งในขณะที่เดียวกันช่างควบคุมเครื่องจะต้องปฏิบัติงานในหน้าที่อื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานนั้นๆด้วยเช่น เปิดและปิดสวิตช์ควบคุมการหมุนของเพลาหัวเครื่อง เปลี่ยนอัตราการป้อน และ ความเร็วรอบ เปิดและปิดสวิตช์สารหล่อเย็น เป็นต้น ในการปฏิบัติหน้าที่ต่างๆเหล่านี้ ช่างควบคุมจะต้องใช้ทั้งวิจารณญาณ และ การตัดสินใจร่วมกับการตัดสินใจเหล่านี้จะต้องกระทำซ้ำๆ กันตลอดเวลาที่ทำการผลิตชิ้นงานนั้น ถึงแม้ว่าจะเป็นการผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างเดียวกันก็ตาม ส่วนเครื่องจักรกลเอ็นซี การเคลื่อนที่ต่างๆ ที่จำเป็นในการผลิตชิ้นงานจะทำงาน โดยอัตโนมัติด้วยตัวเครื่องจักรเอง ตามข้อมูลตัวเลข (Numerical Information) ที่ป้อนให้กับระบบควบคุมเครื่องจักรกลเอ็นซี ในรูปของรหัส (Code)



ที่ระบบควบคุมของเครื่องสามารถเข้าใจ ความแตกต่างในการใช้เครื่องจักรกลเอ็นซี เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรที่ใช้ทั่วไป ก็คือ การตัดสินใจในการกำหนดขั้นตอนการทำงานต่างๆ จะกระทำเพียงครั้งเดียวกล่าว คือ จะกระทำในขั้นตอนการวางแผน และ สร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมเครื่องจักรกลเท่านั้น ต่อจากนั้น โปรแกรมก็จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล สำหรับการผลิตชิ้นงานที่ต้องการโดยสามารถทำการผลิตซ้ำๆ กันก็ครั้งก็ได้ตามความต้องการ ซึ่งเปรียบเสมือนการวางแผนการทำงานที่ได้จัดเตรียม ขั้นตอนการทำงานทุกขั้นตอน การป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ ตลอดจนการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ แล้วนั้น การผลิตชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลเอ็นซี ยังช่วยลดเวลาการทำงานอื่นๆ ที่จะเป็นด้วย เช่น ลดเวลาการตรวจสอบขนาดของชิ้นงาน ลดเวลาในการปรับตำแหน่งของชิ้นงาน ลดเวลาในการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการทำงาน เป็นต้น

### 2.1.3 ความแตกต่างระหว่างระบบเอ็นซี กับระบบซีเอ็นซี

ระบบซีเอ็นซีเป็นระบบที่พัฒนาต่อเนื่องมาจากระบบเอ็นซี ดังนั้น ความแตกต่างระหว่างระบบเอ็นซี กับ ระบบซีเอ็นซี ก็ขึ้นอยู่กับความสามารถของระบบควบคุมนั้น คือ คอมพิวเตอร์ เมื่อนำระบบซีเอ็นซีไปควบคุมเครื่องจักรกล ความสามารถในการทำงานต่างๆ จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลเอ็นซีดังนี้

2.1.3.1.การแสดงผลจำลอง (Simulation) การทำงานตามโปรแกรมที่ป้อนเข้าในระบบทางจอภาพ

2.1.3.2.ความจุของหน่วยความจำเพิ่มมากขึ้นสามารถเก็บข้อมูลโปรแกรมได้มาก

2.1.3.3.การแก้ไข และ ลบโปรแกรมสามารถกระทำได้ที่เครื่องจักรโดยตรง

2.1.3.4.สามารถส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกได้

2.1.3.5.ระบบความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น

2.1.3.6.มีการชดเชยความผิดพลาดที่เกิดจากการวัด และการส่งกำลัง

2.1.3.7.มีโปรแกรมสำเร็จสำหรับการคำนวณค่าต่างๆ เช่น ความเร็วรอบ อัตราการป้อน

เป็นต้น

### 2.1.4 ข้อดี และ ข้อเสียของเครื่องจักรกลเอ็นซี และซีเอ็นซี

เครื่องจักรกลเอ็นซี และ ซีเอ็นซี เป็นเครื่องจักรกลสมัยใหม่ที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง แต่ในขณะเดียวกันราคาก็สูงตามด้วย ดังนั้นก่อนที่จะพิจารณาจัดซื้อเครื่องจักรกลประเภทนี้มาใช้ในกระบวนการผลิต จำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงข้อดี และ ข้อเสียของเครื่องจักรกลประเภทนี้ก่อน

2.1.4.1 ข้อดีของเครื่องจักรกลเอ็นซี และ ซีเอ็นซี เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลอัตโนมัติประเภทอื่นๆพอจะสรุปได้ดังนี้

2.1.4.1.1. มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง คือ การเปลี่ยนงานใหม่จะแก้ไข หรือเปลี่ยนแปลงเฉพาะโปรแกรมเท่านั้น

2.1.4.1.2. ความเที่ยงตรง (Accuracy) จะอยู่ระดับเดียวกันตลอดช่วงความเร็วรอบ และ อัตราป้อนที่ใช้ทำการผลิต

2.1.4.1.3. ใช้เวลาในการผลิต (Production Time) สั้นกว่า

2.1.4.1.4. สามารถใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนได้ง่าย

2.1.4.1.5. การปรับตั้งเครื่องจักรกระทำได้ง่าย ใช้เวลาน้อยกว่าการผลิตด้วยวิธีอื่น ๆ

2.1.4.1.6. หลีกเลียง ความจำเป็นที่จะต้องใช้ช่างควบคุมเครื่องจักร สามารถที่จะจัดเตรียมงานอื่นๆไว้ล่วงหน้าได้

2.1.4.1.7. การตรวจสอบคุณภาพไม่จำเป็นต้องกระทำทุกขั้นตอน และ ทุกชิ้น

2.1.4.2 ข้อเสียของเครื่องจักรกลเอ็นซี และซีเอ็นซีมีดังนี้

2.1.4.2.1. ราคาของเครื่องจักรค่อนข้างสูง

2.1.4.2.2. การบำรุงรักษามีความซับซ้อนมาก

2.1.4.2.3. จำเป็นต้องใช้ช่างเขียนโปรแกรม (Part Programmer) ที่มีทักษะสูง และ ฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ

2.1.4.2.4. ชิ้นส่วน หรือ อะไหล่ที่ใช้ในการซ่อมบำรุง ไม่สามารถผลิตได้ในประเทศจำเป็นต้องสั่งซื้อ หรือนำเข้าจากต่างประเทศ

2.1.4.2.5. การซ่อมบำรุง จะต้องใช้ช่างที่มีประสบการณ์สูง และได้รับการฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ

2.1.4.2.6. ราคาของเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในขบวนการตัดเฉือน เช่น แกนเพลลา ยึดมีดกัด มีดกลึงแบบใช้อินเสิร์ต (Insert) เป็นต้น มีราคาสูง

2.1.4.2.7. พื้นที่ติดตั้งเครื่องจักร จะต้องควบคุมระดับอุณหภูมิ ความชื้น และ ฝุ่นละออง

ข้อมูลเหล่านี้ จำเป็นจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบก่อนที่จะพิจารณาจัดซื้อ ซึ่งสามารถสอบถามได้จากบริษัทผู้ผลิต หรือตัวแทนจำหน่ายได้โดยตรง

### 2.1.5 การทำงานของเครื่องจักรกลทั่วไป

ในการตัดเฉือนชิ้นงานด้วยเครื่องจักรทั่วไปนั้น ช่างควบคุมเครื่องจะใช้มือหมุน เพื่อเลื่อนคมตัด หรือชิ้นงานให้เคลื่อนที่ไป ซึ่งเมื่อเสร็จสิ้นการทำงานแล้ว จะได้ชิ้นงานที่มีรูปทรง และ ขนาดตามความต้องการลักษณะเช่นนี้ ช่างควบคุมเครื่องจะต้องคอยเฝ้าสังเกต คมตัดให้สัมพันธ์กับ เส้นรอบรูปบนชิ้นงานที่กำลังตัดเฉือนอยู่ตลอดเวลา และ ในการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของคมตัด ช่างจะต้องหมุนมือหมุนเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน ช่างจะต้องคอยสังเกตคมตัดเพื่อตรวจสอบตำแหน่งของชิ้นงานกับคมตัด และ เมื่อได้ตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ช่างจะหยุดหมุนมือหมุนคมตัดก็จะต้องเคลื่อนที่ นอกเหนือจากการควบคุมตำแหน่งของชิ้นงาน กับเครื่องมือตัดแล้ว ช่างยังต้องควบคุมอัตราการป้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุชิ้นงาน วัสดุเครื่องมือ และ ตำแหน่งของคมตัดด้วย ซึ่งในบางครั้ง ช่างจะต้องลดอัตราการป้อนลงเมื่อใกล้จะถึงตำแหน่งที่ต้องการ เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องจริงๆ นอกจากนี้จะต้องคอยปรับความเร็วรอบ และ ตำแหน่งที่ต้องการ เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องอีก เป็นต้น

### 2.1.6 การทำงานของเครื่องจักรกลเอ็นซี

หลักการการทำงานของเครื่องจักรกลเอ็นซี และ ซีเอ็นซี จะคล้ายคลึงกับเครื่องจักรกลทั่วไป กล่าวคือ โดยพื้นฐานเบื้องต้นแล้ว เครื่องจักรกลเอ็นซีก็จะทำงานผลิตชิ้นงานเหมือนกับ เครื่องจักรกลทั่วไป ตัวอย่างเช่น เครื่องกัดเอ็นซีก็จะทำงานเหมือนกับเครื่องกัดทั่วไปเพียงแต่ว่า ระบบควบคุมเอ็นซีของเครื่องจะทำงานในขั้นตอนต่างๆ แทนช่างควบคุมเครื่อง อย่างไรก็ตาม ก่อนที่เครื่องจักรกลเอ็นซีจะสามารถทำงานได้นั้น ระบบควบคุมของเครื่องจะต้องได้รับการบอกกล่าวเสียก่อนว่าจะให้ทำอะไร และ จะต้องบอกกล่าวเป็นภาษาที่ระบบควบคุมสามารถเข้าใจได้นั้นคือ จะต้องป้อนโปรแกรมเข้าไป ในระบบควบคุมของเครื่องผ่านแป้นพิมพ์ (Key Board) หรือ เทปแม่เหล็ก (Magnetic Tape) ก็ได้ เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปแล้ว ก็จะนำไปควบคุมให้เครื่องจักรกลทำงาน แต่เนื่องจากเครื่องจักรกลเอ็นซี ไม่มีมือสำหรับหมุนมือหมุนให้แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นแท่นเลื่อนต่างๆ จะต้องใช้มอเตอร์ป้อน (Feed Motor) ประกอบอยู่เช่น เครื่องกัดซีเอ็นซีจะมีการเคลื่อนที่ 3 แนวแกน ก็จะมีมอเตอร์ 3 ตัว เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมแล้วก็จะเปลี่ยนรหัสโปรแกรมนั้น ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน แต่เนื่องจาก สัญญาณที่ออกจากระบบควบคุมนี้ มีกำลังน้อยไม่สามารถไปหมุนขับเคลื่อนมอเตอร์ทำงานได้ ดังนั้น จึงต้องส่งสัญญาณนี้เข้าไปในภาคขยายสัญญาณของระบบขับ (Drive Amplified) และ ส่งต่อไปยังมอเตอร์ป้อนของแนวแกนที่ต้องการเคลื่อนที่ ความเร็ว และ ระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน จะต้องกำหนดให้ควบคุมรู้อาศัยสายตาดูตำแหน่งของคมตัดกับชิ้นงาน ก็จะรู้ว่าต้องเลื่อนแท่นเลื่อนไปอีกระยะทางเท่าใด แต่ระบบควบคุมเอ็นซีมองไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องออกแบบอุปกรณ์ หรือ เครื่องมือที่สามารถบอกตำแหน่งของแท่นเลื่อนให้ระบบ

ควบคุมได้ อุปกรณ์ชุดนี้เรียกว่าระบบวัดขนาด (Measuring System) ซึ่งประกอบด้วย สเกล แนวตรง (Linear Scale) มีจำนวนเท่ากับ จำนวนแนวแกนในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์ กับระยะทาง ที่แท่นเลื่อนเคลื่อนที่กลับไปยังระบบควบคุมรู้ว่า แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใดแล้ว จากหลักการควบคุมการทำงานดังกล่าวทำให้ เครื่องจักรซีเอ็นซีสามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปทรง และ ขนาดที่ต้องการได้ จากลักษณะโครงสร้าง และ การทำงานที่เหนือกว่าเครื่องจักรทั่วไป ทำให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอัตโนมัติ และ มีปริมาณความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ งาน วัด และ ตรวจสอบขนาดจัดว่าเป็นงานที่มีความสำคัญมาก ในอุตสาหกรรมการผลิต และ โดยทั่วไปจัดเป็นงานที่ต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก กล่าวคือ ประมาณ 30-100% ของเวลาดัดเจ็อน การ วัด และ ตรวจสอบมักกระทำทั้ง 3 มิติ ดังนั้นเครื่องวัดขนาดเอ็นซีส่วนใหญ่จึงมีการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกน ดังนั้น จะเห็นว่าอุตสาหกรรมการผลิตที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ และ ราคา ถูก สามารถที่จะแข่งขันกันในตลาดผู้บริโภคได้นั้น จำเป็นที่จะต้องมีระดับของเทคโนโลยีในการผลิตที่เหมาะสม การใช้เครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยระบบเอ็นซี และ ระบบซีเอ็นซี ก็เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถกระทำได้ ปัญหาที่จะอยู่ที่ว่าจะเลือกใช้เครื่องจักรกลเอ็นซี และ ซีเอ็นซีได้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ทำอยู่ได้อย่างไร และ ทำอย่างไร จึงจะสามารถควบคุมเครื่องจักรกลนั้น ให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพของเครื่อง

## 2.2 คุณภาพผิว

ถ้านำเอาผิวงานที่ผ่านการปาดผิวมาแล้ว เช่น ตะไบ กลึง กัด เจียรระไน ฯลฯ มาส่องดูด้วยแว่นขยาย จะพบว่า ผิวของชิ้นงานนั้นขรุขระเป็นลูกคลื่น ซึ่งชิ้นงานใดที่มีคลื่นสูงก็แสดงว่า ชิ้นงานนั้น มีผิวหยาบ ส่วนชิ้นงานที่มีคลื่นต่ำแสดงว่าผิวงานนั้นเรียบ ความหยาบของผิวนี้ส่งผลต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก ถ้าผลิตผิวชิ้นงานไม่ตรงกับสภาพตามความเป็นจริงจะทำให้เสียเวลาในการทำงานโดยเปล่าประโยชน์

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

หนึ่งในปัญหาหลายๆ อย่างของการวัดความหยาบของผิวหน้า ก็คือ การแยกความเป็นคลื่นออกจากความหยาบผิว ถ้าเราจำกัดการตรวจสอบของผิวหน้าที่ถูกตกแต่งมาเป็นช่วงความยาวหนึ่ง ซึ่งไม่มีความยาวคลื่น (Wavelength) ที่ยาว ดังนั้นจะมีเฉพาะความหยาบเท่านั้นที่ถูก

รวมเข้ามา ความยาวคลื่นสูงสุดที่ถูกพิจารณาเราเรียกว่า ความยาวคลื่นตัดออก (Cut-Off Wavelength) ซึ่งถูกกำหนดเป็นมาตรฐานในสหราชอาณาจักร โดย B.S1134 ให้เท่ากับ 0.25, 0.8, และ 2.5 มิลลิเมตรการเลือกใช้ค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับผิวหน้าที่จะทำการตรวจสอบ

ถ้าผิวหน้าไม่มีความเป็นคลื่น ดังนั้นค่าที่เหมือนกันของความหยาบผิวจะปรากฏบนความยาวที่ถูกตัดมา เมื่อความเป็นคลื่นเพิ่มขึ้น ค่าตัวเลขของความหยาบผิวจะเพิ่มขึ้น เมื่อความยาวคลื่นตัดออกถูกเพิ่มขึ้น

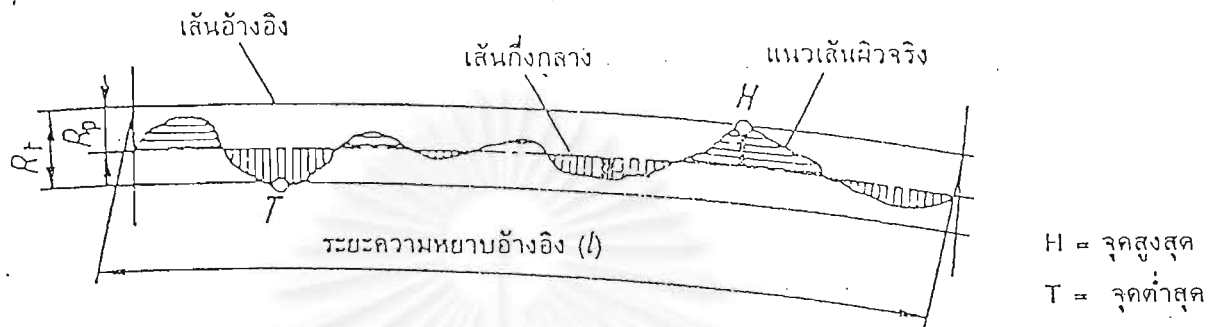
สำหรับผิวหน้าที่ผ่านการเจียรระไน ความยาวคลื่นตัดออกที่ใช้จะเป็น 0.8 มิลลิเมตร ถ้าสำหรับชิ้นงานที่มีขนาดสั้นๆก็จะใช้ขนาด 0.25 มิลลิเมตร จึงจะเหมาะสม ทั่วๆ ไปสำหรับการทำผิวหน้าโดยใช้มีดตัดคมเดียว คือ ความยาวคลื่นตัดออกควรเพิ่มขึ้นตามอัตราเร็วของการตัด

จากข้อความข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีค่าที่สำคัญ และมีความมีความจำเป็นที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงความหมายของค่า 4 ค่านั้น [2] คือ

- ความหยาบผิว (Roughness) นั้นประกอบด้วย ความไม่สม่ำเสมอของผิวของชิ้นงาน ซึ่งส่วนใหญ่ รูปแบบของรอยที่เกิดจะเกิดจากอัตราการป้อนของเครื่องมือตัด ความสูงหรือความลึกของร่องรอยความไม่สม่ำเสมอ เป็นค่าที่ได้จากการวัด
- ความเป็นคลื่น (Waviness) คือ บริเวณระหว่างความหยาบผิว โดยมองในพื้นที่ขนาดใหญ่(ประมาณ 1 มิลลิเมตร) ซึ่งอาจเกิดจาก การสั่นสะเทือนหรือสะท้อน เนื่องจากการสั่นของเครื่องมือตัด
- ทิศทางของรอยตัด (Lay) จะมองเห็นได้บนผิวชิ้นงาน โดยเกิดบริเวณของของชิ้นงานทำให้เห็นทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด
- ข้อบกพร่องบนผิวชิ้นงาน (Surface Flaws) ความไม่สม่ำเสมอหรือความไม่เรียบของผิวชิ้นงานโดยมีลักษณะแบบสุ่ม ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่มีอยู่ภายในวัสดุหรือชิ้นงาน ก่อนที่จะเกิดผิวสำเร็จ ซึ่งได้แก่ พวกรูพรุน มลทิน และเศษโลหะที่เชื่อมติดบริเวณคมตัด (Built Up Edge) หรือเครื่องมือตัดที่แตกออก และฝังลงบนผิวของชิ้นงาน

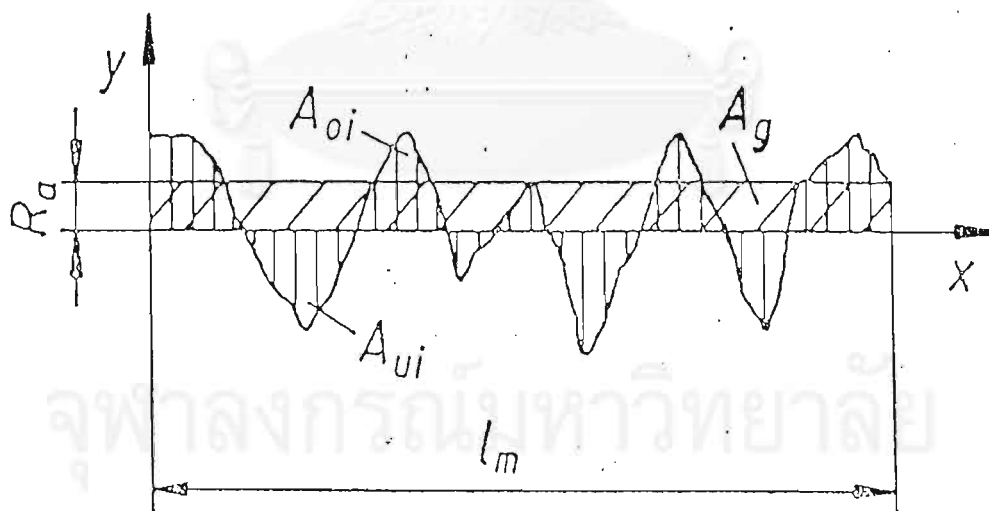
การวัดค่าความหยาบผิวสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

1. ค่าความหยาบผิว  $R_t$  ได้จากการวัดจากระยะห่าง ระหว่างจุดสูงสุดของผิวงาน กับ จุดต่ำสุดของผิวงาน มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ )



รูปที่ 2.1 แสดงการวัดค่าความหยาบผิว  $R_t$

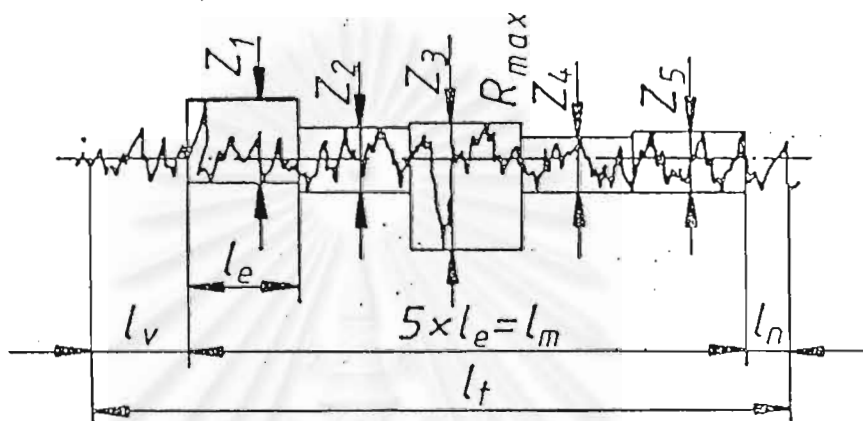
2. ค่าความหยาบผิว  $R_a$  หรือเรียกว่า ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมเหนือเส้นกึ่งกลาง กับพื้นที่หลุมใต้เส้นกึ่งกลางแล้วหารด้วยความยาว  $l_m$  มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ )



รูปที่ 2.2 แสดงการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย

3. ค่าความหยาบผิว  $R_z$  ได้จากการวัดทดสอบเป็นช่วงเท่าๆกัน 5 ช่วง ซึ่งวัดบนผิวงานจริงแล้วนำค่าที่ได้มารวมกันแล้วหารด้วย 5 มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ )

4. ค่าความหยาบผิว  $R_{\text{max}}$  คือความลึกสูงสุดของร่องความหยาบที่มีอยู่ในระยะทดสอบ มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ )



$$R_z = (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5) / 5$$

รูปที่ 2.3 แสดงการวัดค่าความหยาบผิว  $R_z$  และ  $R_{\text{max}}$ .

## 2.3 ล้อหินเจียรระไน

ล้อหินเจียรระไนเป็นปัจจัยที่สำคัญมากอีกปัจจัยหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากล้อหินเจียรระไนเปรียบเสมือนเครื่องมือตัด ที่มีคมตัดจำนวนมาก และ มีการสลับเปลี่ยนคมตัดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีผลโดยตรงกับความหยาบผิว หรือ คุณภาพผิวของชิ้นงาน แต่ด้วยความหลากหลายของล้อหินเจียรระไนที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงเป็นการยากที่จะเลือกใช้ล้อหินเจียรระไน ดังนั้นการเลือกใช้ล้อหินเจียรระไนให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การผลิต และ ชิ้นงาน จึงมีความจำเป็นอย่างมาก ความแตกต่างของล้อหินเจียรระไนสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.3.1 รูปทรงทางเรขาคณิตของล้อหินเจียรระไน (Geometry and Size of Abrasive Tools) เพื่อความสะดวกในการใช้งานไม่ว่าจะเป็นการเจียรระไนผิวนอก หรือการเจียรระไนรูใน ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับขนาด และ รูปร่างของชิ้นงาน ซึ่งจะยึดติดกับแกนของเครื่องหมุนรอบแกนดังกล่าว

2.3.2 ชนิดของเม็ดขัด (Abrasive Type) มีทั้งชนิดที่ได้จากธรรมชาติ และ ได้จากการสังเคราะห์

เม็ดขัดที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ เพชร (Diamond), หินเขี้ยวหนูมาน (Quartz), แร่อะลูมิเนียมออกไซด์ (Corundum), ผงแร่ (Emery), หินไฟ (Flint) และ โกเมน (Garnet)

เม็ดขัดที่ได้จากการสังเคราะห์โดยทั่วไป ได้แก่ White Aluminium Oxides, Monocorundum, Green and Black Silicon Carbides, Boron Carbide, Borosilicon Carbide, Chromic and Titanic Aluminium Oxides

2.3.3 ขนาดของเม็ดขัด (Grain Size) ซึ่งจะแสดงถึงชนิดของขั้นตอนการทำงาน หรือ ความต้องการของคุณภาพผิว ซึ่งจะมีขนาดมาตรฐาน โดยแบ่งได้เป็น ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงขนาดมาตรฐานของเม็ดขัด

ขนาดของเม็ดขัด (Grain Size)								
หยาบ	10	12	14	16	20	24		
ปานกลาง	30	36	46	54	60			
ละเอียด	70	80	90	100	120	150	180	220
ละเอียดมาก	240	280	320	400	500	600	700	800
ละเอียดที่สุด	1000	1200	1500	2000	2500	3000		



2.3.4 เกรด หรือ ความแข็ง (Grade or Hardness) ขณะทำการเจียรไนนั้นคมตัดของเม็ดขัดจะหมดคมไป และ ถ้าแรงกดมีมากพอ เม็ดขัดจะหลุดออกจากตัวประสาน นั่นคือ ล้อหินที่แข็งจะต้องใช้ตัวประสานที่แข็งมากกว่า ล้อหินเจียรไนที่อ่อน หรืออาจกล่าวได้ว่า ล้อหินเจียรไนที่เม็ดขัดหลุดออกจากล้อหินเจียรไนได้ง่าย คือ ล้อหินเจียรไนที่อ่อน(Soft) และ ล้อหินเจียรไนที่เม็ดขัดหลุดออกจากล้อหินเจียรไนได้ยาก คือ ล้อหินเจียรไนที่แข็ง (Hard) โดยที่เกรดความแข็งของล้อหินเจียรไนนั้น แจงไว้เป็นเกรดต่างๆ ตามลำดับพญัญชนะภาษาอังกฤษ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงเกรด หรือความแข็ง และ โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัด

เกรด หรือ ความแข็ง (Grain or Hardness)				โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัด (Structure)	
อ่อนมาก	E	F	G	ละเอียดมาก	0 - 1
อ่อน	H	I	J K	ละเอียด	2 - 3
ปานกลาง	L	M	N O	ปานกลาง	4 - 5
แข็ง	P	Q	R S	รูพรุนใหญ่	6 - 7
แข็งมาก	T	U	V W	รูพรุนใหญ่มาก	8 - 9
แข็งมากที่สุด	X	Y	Z		

2.3.5 โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัด (Structure) แสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นของเม็ดขัด หรือขนาดของรูพรุน ซึ่งล้อหินเจียรไนที่มีขนาดรูพรุนใหญ่มาก (Open) มักจะเป็นล้อหินเจียรไนที่มีขนาดใหญ่หนา และ จะใช้ปริมาณตัวประสานค่อนข้างมาก หรือ เกรดแข็ง ส่วนล้อหินเจียรไนที่มีขนาดรูพรุนเล็ก หรือ ละเอียด (Dense) มักจะใช้ปริมาณตัวประสานค่อนข้างน้อย หรือ เกรดอ่อน โดยที่โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัดแจงไว้ตามหมายเลขจากหมายเลข 0 ถึง 9 ดังตารางที่ 2.2

โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัดนั้นยังแสดงให้เห็นถึงการประมาณปริมาณคมตัดหรือปริมาณเม็ดขัดต่อตารางนิ้ว ซึ่งแบ่งออกตามข้อสมมติฐาน นั่นคือ [2]

2.3.5.1. การที่ไม่มีการนำขนาดและปริมาณของตัวประสานมาทำการพิจารณา จะได้

$$\text{ค่าประมาณปริมาณคมตัดต่อตารางนิ้ว} = (\text{ขนาดของเม็ดขัด})^2$$

2.3.5.2. การพิจารณาถึงตัวประสานเข้ามาเกี่ยวข้องโดยเสนอการคำนวณอย่างหยาบ คือ สมมติฐานที่ว่าปริมาณตัวประสาน 55 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว ซึ่งจะสามารถประมาณปริมาณคมตัดต่อตารางนิ้ว และ เป็นสมมติฐานที่มีความนิยมสูง นั่นคือ

$$\text{ค่าประมาณปริมาณคมตัดต่อตารางนิ้ว} = (\text{ขนาดของเม็ดขัด})^2$$

นอกจากนี้ยังสามารถประมาณจำนวนเม็ดขัดที่สัมผัสกับชิ้นงานต่อนาทีนั้น คือ

ค่าประมาณจำนวนคมตัดที่สัมผัสกับผิวของชิ้นงานต่อนาที

$$= (\text{ความกว้างของล้อหินเจียรไน}) \times (\pi) \times (\text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อหินเจียรไน}) \times (\text{ความเร็วรอบของล้อหินเจียรไน}) \times (\text{ค่าประมาณปริมาณคมตัดต่อตารางนิ้ว})$$

2.3.6 ชนิดของตัวประสาน (Bond Type) ตัวประสานจะทำหน้าที่ในการจับยึดเม็ดขัดให้ติดกัน หรือให้เกิดรูปทรงทางเรขาคณิตของล้อหินได้ ซึ่งชนิดของตัวประสานที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ Vitrified Bond, Resinoid Bond และ Rubber Bond

Vitrified (V) เป็นตัวประสานที่มีความแข็งแรงสูงที่สุด ทนต่อการทำงาน ณ. ที่อุณหภูมิสูง และมีลักษณะรูปร่างที่แน่นอน ถึงอย่างไรก็ตาม ยังคงไม่เหมาะที่จะใช้กับงานที่รับแรงกระแทก และ ทำล้อหินเจียรไนที่มีความหนาน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก Vitrified เป็นตัวประสานที่ค่อนข้างเปราะ หรือ ไม่ยืดหยุ่น เหมาะสำหรับประเภทของงาน ที่ต้องการความแม่นยำสูง หรือ เหมาะสำหรับงานเจียรไนหยาบโดยทั่วไป

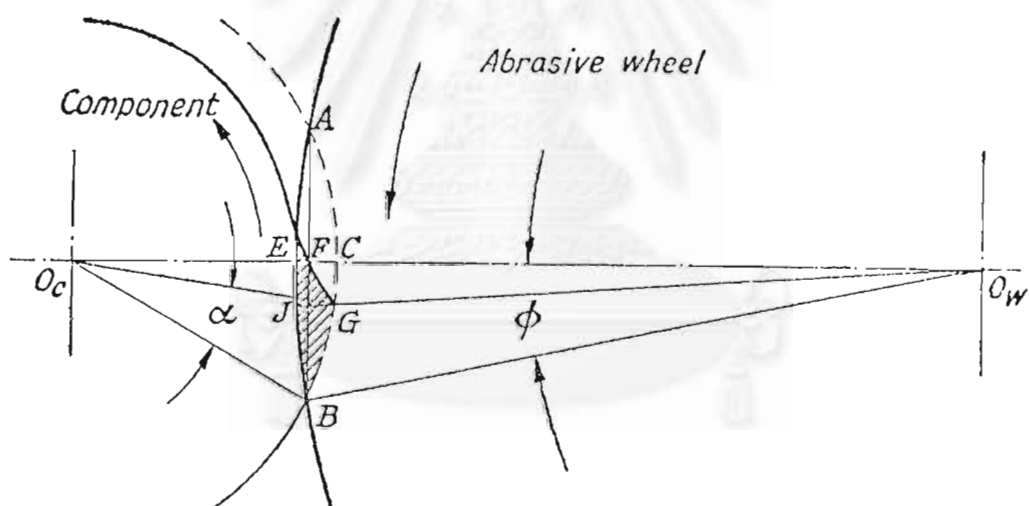
Resinoid (B) เป็นตัวประสานที่มีความยืดหยุ่นสูงกว่า Vitrified แต่มีความสามารถในการทำงานที่อุณหภูมิสูงน้อยกว่าล้อหินเจียรไน ที่ทำมาจากตัวประสาน Vitrified นอกจากนี้ ยังทนต่อสารเคมี และ น้ำด่าง ซึ่งขณะปฏิบัติงานบ่อยครั้งที่ไม่ใช้น้ำยาหล่อเย็น ณ. ที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึงประมาณ 200 °C Resinoid ก็จะกลายเป็นตัวประสานที่มีคุณสมบัติเปราะ เหมาะสำหรับการเจียรไนที่ต้องการความเร็วตัดสูงๆ ใช้ได้ดีกับงานเจียรไนละเอียด ลบคม (Deburring) แต่งขอบ หรือ กระบวนการที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

Rubber (R) เป็นตัวประสานที่มีความยืดหยุ่นสูงที่สุดในบรรดาตัวประสานที่กล่าวมา กับมีโครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัด ในลักษณะที่มีความหนาแน่นสูง หรือ มีขนาดรูพรุนเล็ก และ ทนต่อการทำงานกับน้ำ (Water-Resistant) แต่มีขอบเขตในการใช้งาน ณ. อุณหภูมิสูง ใช้งานได้ดีกับการเจียรไนน้อยๆ และเหมาะที่จะใช้เป็นล้อหินเจียรไนสำหรับปรับ (Regulating

Wheels) ในการเจียระไนแบบไร้ศูนย์ (Centerless) หรือ ใช้เป็นล้อตัดชิ้นงาน (Cut-Off Wheels) ทำร่อง และ รอยบาก

### 2.4 การทำงานของล้อหินเจียระไน [2]

ในการเจียระไนทรงกระบอกนั้น อัตราการป้อนล้อหินเจียระไนเข้าหาชิ้นงานจะมีผลกระทบโดยตรงในการควบคุมขนาดของเศษโลหะที่เกิดขึ้น แรงที่เกิดขึ้นบนล้อหินเจียระไนและความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการเจียระไนทรงกระบอก ถ้ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดขัดกับตัวประสาน จะทำให้เม็ดขัดหลุดออกจากล้อหินเจียระไนได้ ดังนั้นถ้าใช้อัตราการป้อนล้อหินเจียระไนเข้าหาชิ้นงานมากจะทำให้ล้อหินเจียระไนมีการสึกหรอที่สูงขึ้น สำหรับการทำงานของล้อหินเจียระไนในกระบวนการเจียระไนทรงกระบอก แสดงดังรูปที่ 2.4 เม็ดขัด A บนผิวหน้าของล้อหิน สัมผัสกับผิวนอกของชิ้นงานที่จุด A และหลุดออกที่จุด B โดย E อยู่บนเส้นศูนย์กลางแล้วเสร็จที่ B ระยะเวลาที่ล้อหินเจียระไนหมุนนั้นชิ้นงานจะถูกเจียระไนออกตั้งในรูปส่วน  $\alpha$  โดยชิ้นงาน EGB จะหลุดออกไป



รูปที่ 2.4 การทำงานของล้อหินเจียระไนในกระบวนการเจียระไนทรงกระบอก

## 2.5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผิวสำเร็จของกระบวนการเจียรระไน [2]

กระบวนการเจียรระไนใช้กันมากในการตกแต่งผิวสำเร็จของชิ้นงาน แต่ผลที่ได้มักจะทำให้คุณภาพผิวที่ออกมาไม่เหมือนกันในแต่ละชิ้นงาน นั่นคือ มีหลายปัจจัยที่ซึ่งมีผลกระทบต่อผิวสำเร็จ ดังต่อไปนี้

2.5.1. วัสดุที่นำมาเจียรระไน โดยวัสดุแข็งจะทำการเจียรระไน ได้ดีกว่าวัสดุอ่อน

2.5.2. ปริมาณวัสดุที่เจียรระไนออก ถ้าทำการตัดงานหนา (หรือมีปริมาณวัสดุที่เจียรระไนออกมาก) ก็ต้องใช้ล้อหินเจียรระไนที่หยาบ, แข็ง แต่จะให้ผลที่ออกมาคือ ผิวของชิ้นงานจะไม่ดีเท่าที่ควร

2.5.3. ล้อหินเจียรระไน ถ้าเม็ดขัดมีขนาดใหญ่หรือหยาบ ก็จะเจียรระไนได้ความหยาบผิวในระดับหนึ่ง ถ้าเม็ดขัดมีขนาดเล็กลงก็จะได้ผิวสำเร็จที่ละเอียดมากขึ้น

2.5.4. สภาพของเครื่องเจียรระไน เช่น ถ้าแบร็งหลวมหรือไม่แน่นจะทำให้ล้อหินเจียรระไนหมุนไม่สม่ำเสมอ จะทำให้ได้ผิวที่หยาบกว่า เครื่องจักรที่แน่นไม่หลวม

2.5.5. อัตราการป้อนเมื่อทำการเพิ่มอัตราการป้อน จะส่งผลให้ได้ผิวสำเร็จที่หยาบ

2.5.6. รูปร่างของเครื่องมือตัด [3] กระบวนการเจียรระไนเป็นการขจัดเนื้อโลหะออกจากชิ้นงานในลักษณะหลายคมตัด คล้ายกระบวนการกัด โดยเม็ดขัดมีขนาดต่างๆกันและมุมตัด(ทางเรขาคณิต)ต่างๆกันไม่ต่อเนื่อง หรืออยู่ในมุมเดียวกันเหมือนกับมีดกัด (Milling Cutter) และเม็ดขัดได้กระจายตัวในลักษณะแบบสุ่ม(Random)ไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามมุมคาย(Rake Angle) เป็นแบบเนกาทีฟ(Negative)เหมือนกันถึงแม้มีค่าต่างกัน ดังนั้นจึงใช้การอธิบายรูปร่างของเครื่องมือตัดในลักษณะของมีดตัดในกระบวนการกัด นั่นคือ มุมคาย(Rake Angle)ที่มีขนาดใหญ่ นั้นทำให้แรงตัดมีขนาดลดลง และเมื่อแรงตัดมีขนาดเล็กจะส่งผลให้ การแ่นตัวของชิ้นงาน และความสูงของความเป็นคลื่นมีขนาดลดลงอีกด้วย นอกจากนี้ มุมหลบ (Relief Angle) ที่เหมาะสมยังป้องกันหรือลดการเสียดสีกับผิวของชิ้นงาน การเพิ่มแรงตัดในระหว่างการเกิดการเสียดสีเป็นเหตุที่ทำให้เกิดการแ่นตัว มุมหลบที่เหมาะสมนั้นยังช่วยในการหลีกเลี่ยงการฝังตัวลงในผิวของชิ้นงาน ความโค้งหรือรัศมีความโค้งของคมตัดที่มีขนาดใหญ่จะลดการเกิดรอยขีดพื้นเลื้อยซึ่งเกิดจากอัตราการป้อน และประเมินค่าได้กับการพัฒนาผิวสำเร็จ หากรัศมีความโค้งของคมตัดสูงมากเกินไป จะเป็นเหตุให้เกิดการสั่นสะเทือน และรอยขีดข่วน(Chatter) สำหรับมุมตัดข้าง(Side Cutting Edge) และมุมตัดปลาย (End Cutting Edge) ค่อนข้างมีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยกับความหยาบผิว การเพิ่มมุมตัดข้างจะเป็นการพัฒนาการไหลออกของเศษโลหะ และผิวสำเร็จ มุมตัดข้างที่ใหญ่เป็นสาเหตุอันตรายต่อผิวสำเร็จ การเพิ่มมุมตัดปลายเป็นการเพิ่มรอยที่เกิดจากการป้อนให้สูงขึ้นและผิวที่ได้จะแยกลง

2.5.7. รูปร่างของชิ้นงาน ถ้าชิ้นงานมีขนาดยาว จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือน และเกิดคลื่นที่ผิวได้

2.5.8. น้ำยาหล่อเย็น มีอิทธิพลทางอ้อมกับอายุเครื่องมือตัด (Tool Life) เท่านั้น ซึ่งจะช่วยในการลดการสึกหรอของเครื่องมือตัด และรักษาคมตัดไม่ให้เปลี่ยนแปลง ลดความเสียหายระหว่างการไหลของผิวเครื่องมือตัด ชิ้นงาน และเศษโลหะ

## 2.6 การสึกหรอของล้อยินเจียร์ไน

ขณะทำการเจียร์ไน เม็ดขัดบนผิวนอกสุดหรือผิวตัดของล้อยินเจียร์ไนจะสึกหรอ โดยรูปแบบของการสึกหรอ สำหรับการเจียร์ไน สามารถจำลองรูปแบบการสึกหรอได้ดังนี้

2.6.1 เกิดจากตัวประสานระหว่างเม็ดขัด ซึ่งเป็นตัวประสานที่อ่อนแอ หรือ มีความแข็งแรงไม่เพียงพอกับแรงตัด (Cutting Force) ที่เกิดขึ้น ซึ่งส่งผลให้ เม็ดขัดหลุดออกจากการล้อยินเจียร์ไน ในขณะที่ทำการเจียร์ไน (ดังแสดงในรูปที่ 2.5 a)

2.6.2 เกิดจากการแตกหักของตัวเม็ดขัดเอง ทั้งนี้เกิดขึ้นเนื่องจากแรงตัดที่มากเกินไป เช่นเดียวกับกับกรณีแรก (ดังแสดงในรูปที่ 2.5 b)

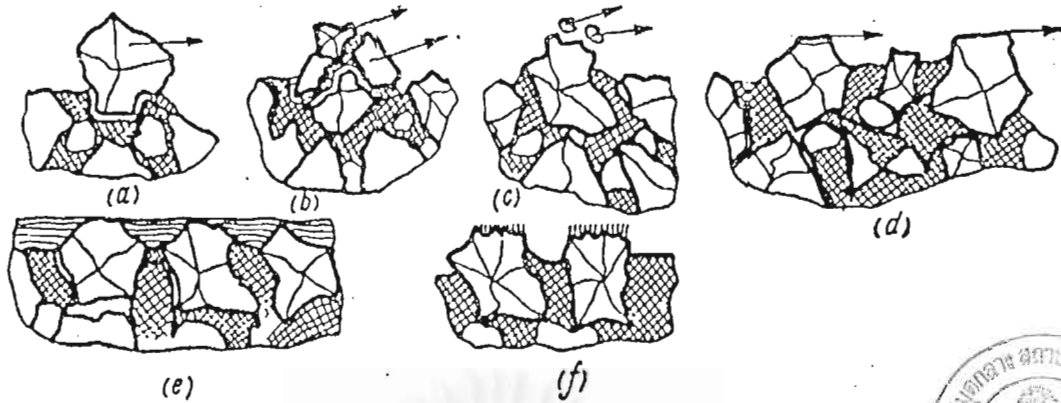
2.6.3 เกิดจากเม็ดขัดที่มียอดแหลมโผล่ออกมาสูงมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกหักบางส่วน หรือ บริเวณยอดแหลมนั้นๆ ด้วยเหตุผลของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น ในขณะที่ทำการเจียร์ไน (ดังแสดงในรูปที่ 2.5 c)

2.6.4 เกิดจากแรงเสียดทานในขณะที่ทำการเจียร์ไน ทำให้เกิดการสึกหรอบริเวณด้านหน้าของเม็ดขัด ในลักษณะที่ขนานกับทิศทางการตัด ส่งผลให้ขัดขวางการเจียร์ไน หรือ ลดปริมาณคมตัด (ดังแสดงในรูปที่ 2.5 d)

2.6.5 เกิดจากเศษโลหะ หรือ เศษวัสดุ เข้าไปอุดตันในบริเวณ รู หรือ ร่องเล็กๆ ระหว่างเม็ดขัด (ดังแสดงในรูปที่ 2.5 e)

2.6.6 เกิดจากเศษวัสดุที่ทำการเจียร์ไน ยึดติดอยู่กับเม็ดขัด ณ. บริเวณด้านหน้าของเม็ดขัด (ดังแสดงในรูปที่ 2.5 f) ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงมากในขณะที่ทำการเจียร์ไน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 แสดงถึงลักษณะการสึกหรอสำหรับกระบวนการเจียรระไน

ถ้าการสึกหรอที่เกิดขึ้น เกิดจาก การที่เม็ดขัดหลุดออกจากบริเวณผิวหน้าของล้อหินเจียรระไนจะทำให้ เกิดคมตัดใหม่ ซึ่งเราอาจจะเรียกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า มีการตกแต่งล้อหินเจียรระไนโดยล้อหินเอง (Self Dressing) แต่การที่เม็ดขัดหลุดออกไปนั้น จะมีผลทำให้ผิวหน้าของล้อหินเจียรระไนผิดรูปร่างไป (หรือ ผิวล้อหินเจียรระไนไม่เรียบ) จากเดิม ซึ่งจะส่งผลให้ ลดความสามารถในการตัดชิ้นงาน คุณภาพผิวของชิ้นงานจะลดลง และ ความแม่นยำของขนาดชิ้นงานต่ำลงอีกด้วย ดังนั้นการปรับ หรือ การซ่อมแซม รูปร่างของล้อหินเจียรระไน ความสามารถในการตัด คุณภาพผิวของชิ้นงานให้มีสภาพเดิม (ค่าเริ่มต้น) สามารถกระทำได้โดยการตกแต่งล้อหินเจียรระไน โดยทั่ว ๆ ไปจะใช้เพชรเป็นเครื่องมือในการตกแต่งล้อหินเจียรระไน อายุการใช้งานของล้อหินเจียรระไน สันลงด้วยคุณลักษณะของล้อหินเจียรระไน คือ ขนาดของเม็ดขัดที่ใหญ่ โครงสร้างการจัดตัวของเม็ดขัดที่มีขนาดรูพรุนใหญ่มาก และ ล้อหินที่มีเกรด หรือ ความแข็งต่ำๆ จากข้อสังเกตของอายุการใช้งานของล้อหินเจียรระไน จะได้ว่าล้อหินเจียรระไนที่มีเม็ดขัดเป็น Monocorundum และ White Aluminium Oxide จะมีอายุการใช้งานที่สูงกว่า Standard Aluminium Oxide และ ล้อหินเจียรระไนที่ใช้ตัวประสานเป็น Vittrified และ Resinoid จะมีอายุการใช้งานที่สูงกว่าล้อหินเจียรระไนที่ใช้ตัวประสานเป็น Rubber

ช่วงระยะเวลาระหว่างการตกแต่งล้อหินเจียรระไน (The Service Life of An Abrasive Tool ) จะทำการวัดค่าออกมาเป็นหน่วยของเวลา (นาที) ซึ่งช่วงระยะเวลาระหว่างการตกแต่งล้อหินเจียรระไนจะขึ้นอยู่กับ ความเร็วตัด อัตราการป้อน คุณสมบัติของล้อหินเจียรระไน และ สภาพะการตัดของการเจียรระไน โดยทั่วไป ช่วงระยะเวลาระหว่างการตกแต่งล้อหินเจียรระไนจะอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 300 นาที สำหรับการเจียรระไนรูใน และ จาก 3 ถึง 80 นาที สำหรับการเจียรระไนทรงกระบอก

## 2.7 น้ำยาหล่อเย็น

กระบวนการเจียรไนเป็นกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงมากในบริเวณผิวชิ้นงาน โดยที่อาจสูงถึง 2000 °F (ประมาณ 1093.3 °C) ซึ่งเป็นผลให้สามารถทำให้ชิ้นงานที่มีขนาดบางเกิดการบิดเบี้ยว หรือเกิดการไหม้บริเวณผิวชิ้นงาน ดังนั้นประโยชน์หลักที่ได้จากสารหล่อเย็น คือ อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด (Tools) ยาวนานขึ้นวิธีหนึ่งที่ทำให้ได้ผลนี้สืบเนื่องมาจาก การลดอุณหภูมิของเครื่องมือตัด (Tool Temperature) เนื่องจากอุณหภูมิของเครื่องมือตัดลดลงเพียงเล็กน้อยจะทำให้อายุการใช้งานของ เครื่องมือตัดเพิ่มขึ้นมาก สารหล่อเย็นลดอุณหภูมิของเครื่องมือตัด โดยการลดแรงเสียดทาน และทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นลดลงไปด้วย อย่างไรก็ตามคือ สารหล่อเย็นจะนำพาความร้อนออกไปจากบริเวณที่เกิดการตัดเฉือน

หลักการพื้นฐานของสารหล่อเย็น คือ

- กำจัดความร้อน
- ลดแรงเสียดทาน
- กำจัดเศษโลหะ

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อ การทำงานหล่อเย็น ได้แก่ ค่าความร้อนจำเพาะ การนำความร้อน และ การเป็นตัวส่งถ่ายความร้อน ถ้าค่าต่างๆ เหล่านี้สูงจะเป็นสารหล่อเย็นที่ดี ซึ่งน้ำมีประสิทธิภาพเป็น 2 เท่าของแร่ น้ำมัน (Mineral Oil) โดยเทียบจากปริมาตรต่อปริมาตร และ เป็นหนึ่งในหลายๆ สารหล่อเย็นที่มีประสิทธิภาพที่เราจักกัน ถ้าหากมองย้อนกลับไป ของเหลวที่ผสมกับน้ำ (Watermix Fluid) เป็นที่นิยมใช้กันมาก เพราะความสามารถในการหล่อเย็น และ สารหล่อเย็นที่ไม่ได้ผสมน้ำ (Neat Cutting Oil) มักจะใช้กับงานที่ต้องการการหล่อลื่นมากกว่าการหล่อเย็น นอกเหนือจากการเพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด การหล่อเย็นยังช่วยลดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานด้วย และ ยังทำให้การปฏิบัติงานง่ายขึ้นอีกด้วย

คุณสมบัติอื่นๆ ที่สำคัญของสารหล่อเย็นที่นิยมนำมาใช้ คือ จะต้องไม่เกิดควัน (หรือไอ) จะได้ไม่ทำให้ผิวหนังหรือตาระคายเคือง และ จะต้องไม่มีกลิ่นด้วย ไม่นานมานี้ มีการมุ่งความสนใจไปที่ความเสี่ยงมะเร็งผิวหนังอันเป็นผลมาจากการได้รับไอของสารหล่อเย็นที่ไม่ผสมน้ำเป็นระยะเวลานานๆ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ จึงมีการทำสารละลายที่กลั่นมาจากสารที่พื้นฐานเป็นน้ำมัน นอกจากนี้สารหล่อเย็นจะต้องไม่ทำปฏิกิริยา หรือกัดกร่อนกับเครื่องมือตัด และ ราคาต้องไม่แพง

### 2.7.1. ชนิดของสารหล่อเย็น

เพื่อให้ได้สารหล่อเย็น ที่มีประสิทธิภาพของเหลวจะต้องมีความร้อนจำเพาะสูง มีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง และ มีการนำความร้อนสูง น้ำเป็นหนึ่งในสารหล่อเย็นที่ดีที่สุดที่เรารู้จัก น้ำมันเมื่อเปรียบเทียบกับกันแล้วจะแยกว่า แต่ทว่าน้ำไม่มีความสามารถในการหล่อลื่นได้ตลอด ดังนั้นจึงเกิดประเภทของสารหล่อเย็นที่แตกต่างกัน สองชนิด คือ

2.7.1.1. น้ำมันที่ไม่ผสมน้ำ (Neat oils) ซึ่งจะให้การหล่อลื่นที่ดี

2.7.1.2. ของเหลวที่ผสมกับน้ำ (Watermix Fluids) ซึ่งจะให้การหล่อเย็นที่ดี

โดยหลักทั่วไป น้ำมันที่ไม่ผสมน้ำ จะใช้กับงานที่มีความยาก และ การตัดที่หนัก หรือ ต้องการคุณภาพผิวชิ้นงานที่ดีกว่า สภาวะของกระบวนการตัดเหล่านี้ต้องการความเร็วตัดที่น้อยกว่า 30 เมตรต่อนาที ถ้าในความเร็วที่เกินกว่านี้ความสามารถในการหล่อลื่นจะไม่สำคัญเมื่อเทียบกับการหล่อเย็น ดังนั้นจะใช้ ของเหลวที่ผสมกับน้ำแทน ไม่กี่ปีมานี้มีการใช้ ของเหลวที่ผสมกับน้ำ แทนงานที่เมื่อก่อนใช้ น้ำมันที่ไม่ผสมน้ำ

### 2.7.2. การเลือกชนิดของสารหล่อเย็น

หลักสำคัญของการเลือกสารหล่อเย็นที่เหมาะสมกับระดับของการหล่อลื่น และ การหล่อเย็นที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 อย่างต่อไปนี้

2.7.2.1. กระบวนการทำงานของเครื่องจักร (Machine Operation) ประกอบด้วย ความแตกต่างของรูปร่างของเครื่องมือตัด, จำนวนของคมตัด, พื้นที่ที่เครื่องมือตัดสัมผัสกับชิ้นงาน และ อัตราการตัดชิ้นงาน อัตราการตัดชิ้นงานเป็นฟังก์ชันของความลึกในการตัด (Depth of Cut), อัตราการป้อน (Feed Rate) และ ความเร็วตัด (Cutting Speed) ปัจจัยต่างๆที่กล่าวมานี้เป็นผลต่อแรงที่เกิดกับเครื่องมือตัด และ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อใช้วัสดุจำเพาะต่างๆมาทำงาน โดยที่กระบวนการทำงานของเครื่องจักร ที่อยู่ในรายการข้างล่าง เรียงตามลำดับความต้องการการหล่อลื่นจากมากไปน้อย

- การคว้าน (Internal Broaching and External Broaching)
- การตีปเกลียว (Tapping Threading)
- กระบวนการผลิตเกลียว (Gear Manufacture by Hobbing, Shaving, Milling)
- การรีม (Reaming)
- การเจาะรูลึก (Deep Hole Drilling)



- การเจาะรู (Drilling)
- การกัดขึ้นรูป (Milling and Form Turning)
- การขึ้นรูป (Planing and Shaping)
- การกลึง (Single Point Turning)
- การเลื่อย (Sawing)

กระบวนการที่อยู่ด้านล่างในรายการมักจะใช้กับความเร็วดัดที่สูง ดังนั้นการหล่อเย็นจึงสำคัญกว่าการหล่อลื่น

สิ่งที่ไม่ได้มีในรายการข้างต้น คือ เจียรระไน และ กระบวนการที่สัมผัสกับ ฮอนนิง (Honing) และ แล็บพรีง (Lapping) ทั้งหมดนี้เป็นกระบวนการที่มีลักษณะเป็นการขัดซึ่งโลหะจะถูกนำออกไปโดยฟันเล็กๆนับล้านๆ ชิ้น ในการตัดแบบสุ่มวนไปวนมา กับผิวหน้าของงาน จนถึงขนาดที่ว่าเป็นการตัดโดยการขัดถู และ ทำให้เกิดความร้อนเป็นปริมาณสูง สารหล่อเย็นสำหรับการเจียรระไน (Grinding Fluid)แต่แรกนั้น คือ มีหน้าที่หล่อเย็น และ จะต้องล้างเศษที่เกิดจากการขัดออกไป เนื่องจากมันจะทำลายผิวงาน และ ไปอุดตันหินเจียรระไน เพื่อที่จะให้ประสิทธิภาพการเจียรระไนยังคงอยู่ จะต้องคงความคมของมัน โดยการแต่งด้วยเพชร (Diamond) เป็นครั้งคราว ประสิทธิภาพของสารหล่อเย็นสำหรับการเจียรระไน ดูได้จากระยะเวลาการใช้งานของหินเจียรระไน ของเหลวที่ดีกว่าจะทำให้ระยะเวลาการตกแต่งหินเจียรระไนยาวนานกว่า

2.7.2.2. วัสดุของชิ้นงาน (Workpiece Material) สิ่งสำคัญของวัสดุของชิ้นงานที่มีส่วนเกี่ยวข้อง คือ ความสามารถในการขึ้นรูป (Machineability) ซึ่งมักจะทำการวัดโดยประสิทธิภาพของ อัตราการหลุดออกของโลหะ (Metal Removal Rate) ในเชิงเดียวกันอัตราการหลุดออกของโลหะจะสามารถดูได้จากอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด หรือพิจารณาได้จาก ชิ้นงาน, เครื่องมือตัด, อัตราการป้อน, ความเร็วดัด, ความลึกในการตัด

2.7.2.3. วัสดุของเครื่องมือตัด (Tool Material) มี 5 ประเภทหลัก ๆ ดังนี้

2.7.2.3.1. Carbon Steel and Medium Alloys Steels มีความแข็งแรงขณะร้อน และ ด้านทานการสึกหรอสูง อย่างไรก็ตามสามารถขึ้นรูปร่างง่าย ๆ ได้ และ ใช้ความเร็วในการขึ้นรูปไม่สูงนัก ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้กับ ของเหลวที่ผสมกับน้ำ เพื่อที่จะทำให้เครื่องมือตัดเย็นที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.7.2.3.2. High Speed Steel (H.S.S.) เป็นวัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือกัน อย่างแพร่หลายมากที่สุด โดยมีความแข็งแรงขณะร้อน และ ด้านการสึกหรอที่สูงประกอบกับมีความ

เหนียวควบคู่ไปด้วย ดังนั้นจึงสามารถที่จะใช้ได้กับ น้ำมันที่ไม่ผสมน้ำ หรือ ของเหลวที่ผสมกับน้ำก็ได้

2.7.2.3.3. Cast Alloy Tools ในที่อุณหภูมิสูงจะแข็งกว่า H.S.S. แต่เหนียวน้อยกว่า มักที่จะใช้กับงานเจาะ เครื่องมือตัดที่มีคมตัดเดี่ยว (Single Point Tool) และ Part Off Tool สารหล่อเย็นที่จะใช้ควรเป็นน้ำมันที่ไม่ผสมน้ำ เพื่อป้องกันเครื่องมือตัดจาก แรงหรือ ภาระอย่างกะทันหัน (Shock Load) สูงๆ

2.7.2.3.4. Carbide Tool มีความแข็งกว่า H.S.S. แต่เปราะกว่ามาก โดยที่มีส่วนผสมของ Carbon, Tungsten, Titanium, Tantalum หรือ Niobium เป็นเหตุให้มีความสามารถในการทนต่อการสึกหรอที่สูงมาก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องสนใจเรื่องการหล่อลื่นมากนัก แต่ยังคงต้องคำนึงถึงการหล่อเย็นอยู่จึงควรใช้สารหล่อเย็นประเภท ของเหลวที่ผสมกับน้ำ

2.7.2.3.5. Ceramic นั้นมีความแข็งสูงมากกว่า Carbide Tool และเช่นเดียวกันก็มีความเปราะมากกว่าเช่นกัน และ จะใช้ในช่วงความเร็วที่สูงมาก จึงมักใช้กับของเหลวที่ผสมกับน้ำ เพื่อที่จะทำให้เศษโลหะเย็น และ ยังลดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานได้อีกด้วย

## 2.8 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jilani และ Pandey [4] ได้ทำการทดลอง โดยใช้น้ำเป็นสารไดอิเล็กตริก ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นชิ้นงาน ได้ใช้ทองแดง และ ทองเหลืองเป็นอิเล็กโตรด พบว่าการใช้น้ำประปาจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่า ในด้านความสม่ำเสมอของการทำงานของเครื่องจักร เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำกลั่น และ ของผสมระหว่างน้ำกลั่นกับน้ำประปา แต่อย่างไรก็ตามการผสมระหว่างน้ำประปา 75% และ น้ำกลั่น 25% สามารถให้อัตราการกัดชิ้นงานสูงถึง 150 mg/min. ที่ระยะพัลส์ 100  $\mu$ s และ กระแส 7.5 A นอกจากนี้แล้วการใช้น้ำเป็นไดอิเล็กตริก ยังให้ความหยาบของผิวงานที่ดีกว่าเมื่อใช้สารอื่นบางตัว เช่น น้ำมันก๊าด เป็นต้น

Hiroshi, N., Heiji, Y., Makato, K. และ Akira, H. [5] ได้แสดง การกระจายตัวของมุมตัดบนผิวงานของ Resin Bond CBN wheels ที่ขึ้นรูป โดยวิธีการ WA stick ซึ่งสัมพันธ์กับความความสามารถในการเจียรไนของล้อหิน การสังเกตมุมตัด และการวัดการกระจายที่แม่นยำสำหรับเงื่อนไขที่หลากหลายได้ถูกเปิดเผย โดยอุปกรณ์ใหม่ที่สร้างขึ้น การกระจายตัวของมุมตัดเกิดจากการเคลื่อนย้ายวัสดุที่ช่วยยึดติด หรือ ตัวประสาน พร้อมๆกับการกระทำอื่นๆ เช่น การแตกหัก (Fracture), การหลุดออกของเม็ดหิน (Release) และ ลักษณะเกรนของ CBN การกระจายตัวของมุมตัดเกี่ยวข้องกับด้าน WA สำหรับหลายๆกรณี และ มีความเกี่ยวข้องใกล้เคียงมากกว่ากับ Retrain Operation การตกแต่งล้อหิน (Dressing) และ Returning Operation จึงสามารถใช้ควบคุมการกระจายตัวของมุมตัดในช่วงกว้างๆได้

บรรยงก์ [6] ได้ทำการศึกษาถึง อิทธิพลที่มีผลกระทบต่อ ความหยาบผิวสูงสุด ( $R_{max}$ ) สำหรับกระบวนการกลึงด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี พบว่าส่วนโค้งปลายมีด( $r_n$ ) และ อัตราการเดินมีดต่อรอบ ( $f$ ) โดยมีความสัมพันธ์กันตามสมการของความหยาบผิวที่ได้จากการวิเคราะห์ผล โดยอาศัยหลักการของ Design and Analysis of Experiments ได้สมการดังนี้  $R_{max} = -291r_n^2 + 139.875r_n^2 - 211.25r_n f - 12.15r_n^2 + 18.5f^2 + 18.51r_n + 65.853f - 5.762$  และ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสมการอื่นของผู้ผลิตมีดกลึงคาร์ไบด์ พบว่าค่าความแตกต่างของความหยาบผิวสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.314 ไมโครเมตร ( $\mu$ m) สำหรับในการศึกษาถึงส่วนโค้งปลายมีดไม่มีผลต่อ อัตราการหลุดออกของเศษโลหะ เนื่องจากความลึกในการกินชิ้นงานไม่มีผลต่อความหยาบผิว แต่สามารถควบคุมอัตราการหลุดออกของเศษโลหะให้ได้ตามความหยาบผิวที่ต้องการได้ โดยการเลือกใช้ อัตราการเดินมีดตามรอบที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ความหยาบผิวที่ต้องการ

สมเจตน์ [7] ได้ทำการศึกษาของเงื่อนไขการทำงานที่สภาวะการทำงานต่างๆ ของ ขบวนการแปรรูปโลหะด้วยวิธีอีดีเอ็ม ที่มีต่อลักษณะเฉพาะที่สำคัญของกรรมวิธี 4 ประการ คือ อัตราการกัดเนื้อโลหะ, อัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรด, ความหยาบของผิวงาน และ ระยะดิสชาร์จ การทดลองโดยการแปรค่ากระแสดิสชาร์จในช่วง 9.85-30.5 A และ ระยะพัลส์ 50-1000  $\mu$ s โดยการใช้ทองแดง และอะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโตรดกัดชิ้นงานซึ่งเป็นเหล็กกล้า AISI4140 จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มของ กระแสดิสชาร์จ มีผลต่อการเพิ่มของทั้งอัตราการกัดเนื้อโลหะ, อัตราการสึกหรอของอิเล็กโตรด, ความหยาบของผิวงาน และระยะดิสชาร์จ การเพิ่มระยะพัลส์มีผลต่อการเพิ่มความหยาบผิวของชิ้นงาน และ ระยะดิสชาร์จอัตราการกัดเนื้อโลหะจะมีค่าสูงสุด เมื่อระยะพัลส์อยู่ในช่วง 200-500  $\mu$ s อัตราการสึกหรอของ อิเล็กโตรด เมื่อใช้ทองแดง เป็น อิเล็กโตรด จะลดลงเมื่อระยะพัลส์มีค่าสูงขึ้น

โฆษิต สุขก่องวารี [8] ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อ โพลีไลน์ และโคลด์ชัตในการบวกรีดอะลูมิเนียมแบบไดแคสติง จากการศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่ออุณหภูมิของแม่พิมพ์ซึ่งมีผลต่อการเกิด โพลีไลน์ และโคลด์ชัต มาทำการทดลอง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวได้แก่ อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ และเวลาการพ่นน้ำหล่อเย็นหน้าแม่พิมพ์ ซึ่งเมื่อได้ทำการทดลองแบบฟิกซ์เอฟเฟก (Fixed Effect Model) และวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้วพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อ โพลีไลน์ และโคลด์ชัต คือ อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ เวลาการพ่นน้ำหล่อเย็นหน้าแม่พิมพ์ และอิทธิพลร่วมของปัจจัยหลักทั้งสอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิของแม่พิมพ์คือ อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ เวลาการพ่นน้ำหล่อเย็นหน้าแม่พิมพ์ และอิทธิพลร่วมของปัจจัยหลักทั้งสอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 โดยที่อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์จะทำให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์คงที่ และการพ่นน้ำหล่อเย็นหน้าแม่พิมพ์จะทำให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ที่เหมาะสมคือ 6.7-7.2 ลิตรต่อนาที และเวลาการพ่นน้ำหล่อเย็นหน้าแม่พิมพ์ที่เหมาะสมคือ 2 วินาที และอุณหภูมิของแม่พิมพ์ภายหลังการพ่นน้ำหล่อเย็นที่เหมาะสมคือ 131-140 องศาเซลเซียส โดยชิ้นงานที่ได้จะมีความแข็งอยู่ที่ 104 BHN และมีโครงสร้างยูเทคติกที่ละเอียด

นิธิ บุรณจันทร์ [9] ได้ทำการศึกษาถึงแรงตัดสูงสุดที่มีดกึ่งสามารถรับได้ โดยใช้มีดกึ่งทั้งหมด 9 บริษัท รับแรงกดบนหน้า Rake ซึ่งมีดตัดนี้ลับมุมตามมาตรฐาน American Lathe Tool Specification. จนกระทั่งมีดกึ่งแตกหัก เพื่อหาแรงตัดสูงสุดที่มีดกึ่งแต่ละบริษัทสามารถรับได้ ซึ่งผลการทดลองมีดกึ่ง H.S.S. ที่มีความแข็งสูงมีแนวโน้มที่จะรับแรงตัดได้น้อยกว่ามีดกึ่งที่มีความแข็งต่ำ

Taylor [10] ได้ชี้ให้เห็นว่าความเร็วในการตัดที่ไม่เหมาะสมมีอิทธิพลอย่างสูงต่อค่าใช้จ่ายในการตัดโลหะ นั่นคือความเร็วที่ต่ำเกินไปจะทำให้อัตราการผลิตต่ำ ส่วนความเร็วที่สูงเกินไปจะทำให้ใบมีดหมดอายุการใช้งานเร็ว ซึ่งมีผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น ดังนั้น Taylor จึงเชื่อว่าในการตัดโลหะครั้งหนึ่งๆ น่าจะมีอัตราความเร็วในการตัดที่เหมาะสมที่ทำให้อายุการใช้งานของใบมีดนานที่สุดจึงได้ทำการทดลองตัดโลหะชนิดต่างๆ และได้พบสมการอายุใบมีด (Tool Life Equation) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในเวลาต่อมาว่า "สมการอายุใบมีดของเทย์เลอร์" (Taylor's Tool Life Equation) มีลักษณะดังนี้

$$V T^n = C$$

เมื่อ  $V$  = ความเร็วในการตัด (Cutting Speed)

$T$  = อายุใบมีด (Tool Life)

$n$  = ค่าคงที่ (Constant Exponent)

$C$  = ค่าคงที่ (Constant)

หรือ  $T = K / V^{1/n} = K V^{-1/n}$

เมื่อ  $K = \text{ค่าคงที่ (Constant)} = C^{1/n}$

ต่อมา Taylor พบว่า อัตราการป้อนมีด (Feed) และความลึกกรอยตัด (Depth of Cut) ก็มีผลต่ออายุมีดตัด ดังนั้นจึงเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$T = K / V^{(1/n)} f^{(1/n_1)} d^{(1/n_2)}$$

เมื่อ  $d$  = ความลึกกรอยตัด (Depth of Cut)

$f$  = อัตราการป้อนมีด (Feed)

$K, n, n_1, n_2$  = ค่าคงที่ (Constant Exponent of Speed and Depth of

Cut) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดตัดชิ้นงาน องค์กรประกอบทาง

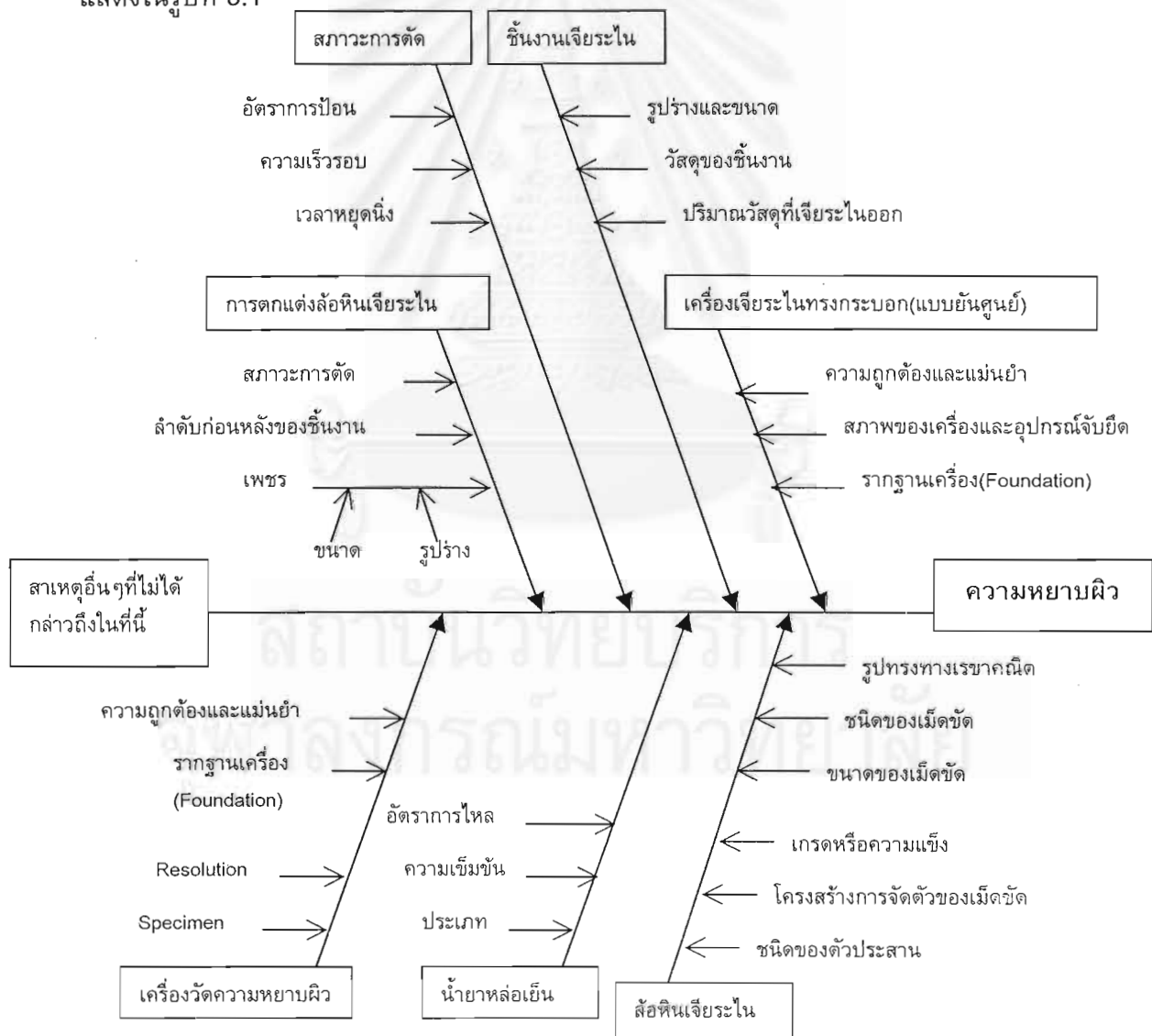
เรขาคณิต ชนิดของสารหล่อลื่น และอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อความหยابผิว

จากการศึกษาขั้นตอน และทฤษฎีในหัวข้อที่ 2.5 ทำให้สามารถสรุปปัจจัยโดยทั่วไปที่คาดว่าจะมีผลกับค่าความหยابผิวของวัสดุ หรือชิ้นงานที่ผ่านการเจียรระไนทรงกระบอกดังที่แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผังก้างปลาแสดงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อความหยابผิว

## 3.2 การเลือกปัจจัยทำการทดลอง

จากหัวข้อที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า ถ้ามีการทำการศึกษปัจจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นทั้งหมด คงจะดำเนินการศึกษาได้ยาก และใช้เวลานานเนื่องจากมีจำนวนปัจจัยมากมาย สำหรับเหตุผลที่ไม่สามารถทำการทดลองได้ทุกปัจจัยมีดังต่อไปนี้

3.2.1. เครื่องเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยันศูนย์) รุ่น GE4A-50 (ผลิตโดย TOYODA MACHINE WORK, LTD.) เป็นเครื่องเจียรระไนที่มีราคาสูงมากเมื่อทำการเปรียบเทียบกับ ยี่ห้ออื่น ๆ และ ปัจจุบันมีเครื่องประเภทนี้เพียงเครื่องเดียว

3.2.2. ล้อหินเจียรระไน เนื่องด้วยการถอดเปลี่ยนล้อหินเจียรระไนทุกครั้งจะต้องทำการสมดุล (Balance) ล้อหินเจียรระไน ซึ่งในการทำนี้ใช้เวลานานมาก โดยประมาณ 20 นาทีต่อครั้ง และ จากสาเหตุที่ล้อหินเจียรระไนมีราคาค่อนข้างสูง จึงไม่เหมาะสมที่จะทำการทดสอบปัจจัยนี้ได้

3.2.3. การตกแต่งล้อหินเจียรระไน ถ้าจะทำการศึกษาโดยวัดว่าการตกแต่งล้อหินเจียรระไนนั้นมีผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวมากน้อยอย่างไร และจะต้องทำการวัดลำดับของชิ้นงานหลังจากทำการตกแต่งล้อหินเจียรระไน ทำให้การทดลองมีจำนวนการทดลองสูงมาก ในทางปฏิบัติจึงเป็นไปได้ยาก

3.2.4. น้ำยาหล่อเย็น เป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งคาดว่ามีผลต่อ ค่าความหยาบผิวหรือไม่ จะต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำยาหล่อเย็น ซึ่งต้องในเวลามาในการเปลี่ยน พร้อมกับต้องทำความสะอาดภาชนะบรรจุ (ถังพัก) น้ำยาหล่อเย็น

3.2.5. เพชร (Diamond) เป็นปัจจัยอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ แต่เป็นปัจจัยที่มีราคาสูงอีกปัจจัยหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากมีขนาดใหญ่ถึง 2 กะรัต จึงไม่เหมาะสมที่จะทำการศึกษา

3.2.6. ชิ้นงาน คือ สลักกำหนดตำแหน่ง (Locating Pin) เป็นชิ้นส่วนของเครื่องกลึงซีเอ็นซี (ยี่ห้อ Mazak) ซึ่งทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งของมอเตอร์ ใช้วัสดุ S45C ผ่านการกลึง และ ทำผิวแข็งด้วยการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า (Induction Hardening) ได้ค่าความแข็ง HRC 44 ถึง 54

3.2.7. เครื่องวัดความหยาบผิว (Portable Surface Roughness Tester) เป็นเครื่องวัดความหยาบผิว ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และ ง่ายดาย (ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SurfTest 301 Code No. 178-938E)

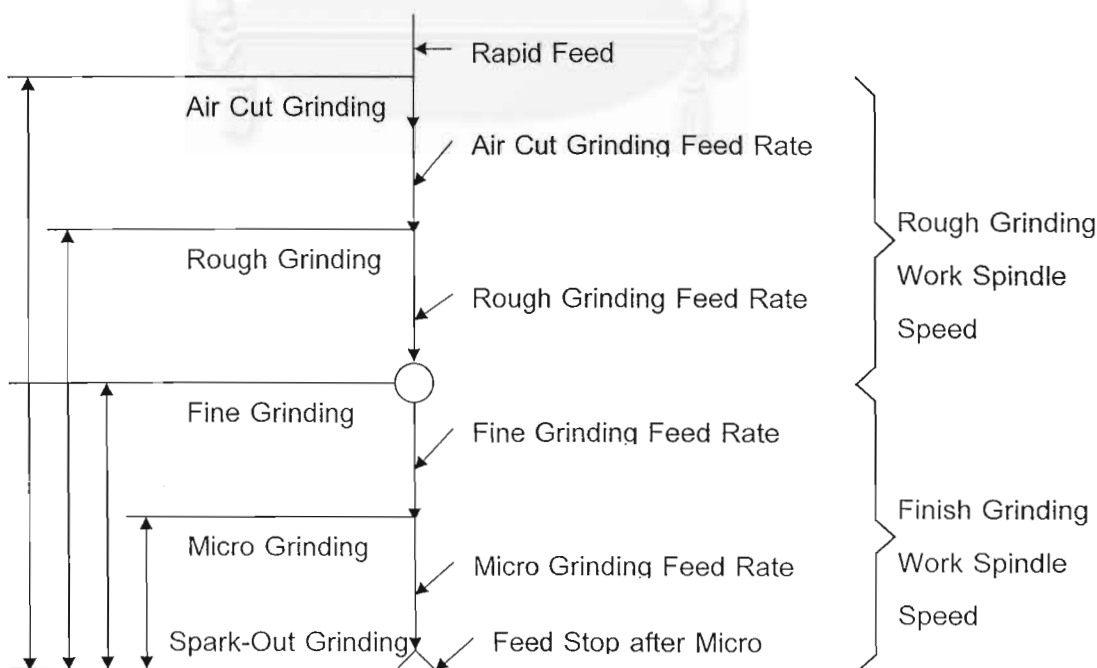
3.2.8. สาเหตุอื่นๆ ซึ่งไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ อย่างเช่น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการเจียรระไน ฯลฯ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ หากจะทำการควบคุมได้ ก็กระทำได้ยาก

จากเหตุผลดังกล่าวจึงศึกษาปัจจัยในเรื่องของ สภาวะการตัด โดยที่ทำการกำหนดให้ ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น อยู่ในสภาพเดียวกันตลอดการทำการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจาก สภาวะการตัด กระทำการควบคุม ปรับเปลี่ยนได้ง่าย และ ยังมีผลกระทบโดยตรงกับเวลาในการผลิต

สภาวะการตัดในแต่ละขั้นตอนของการเจียรระไนทรงกระบอก(แบบยันศูนย์) จะมีค่าของ ความเร็วรอบของชิ้นงาน และอัตราการป้อน(อัตราการเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงานของล้อหิน เจียรระไน) แตกต่างกันไปตามแต่ละขั้นตอนย่อย ซึ่งจะมีปัจจัยที่สนใจ(จากทฤษฎีในหัวข้อที่ 2.4,2.5และ2.6) และคาดว่าเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานอยู่ 6 ปัจจัย [1] ดังนี้

- ความเร็วรอบของชิ้นงานในช่วงของการเจียรระไนหยาบ
- ความเร็วรอบของชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนขั้นสุดท้าย
- อัตราการป้อนล้อหินเจียรระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนหยาบ
- อัตราการป้อนล้อหินเจียรระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนละเอียด
- อัตราการป้อนล้อหินเจียรระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ
- เวลาหยุดหลังจากผ่านการเจียรระไนในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ

ค่าของ สภาวะการตัด ทั้ง 6 ค่านี้ จะแสดงตามกระบวนการเจียรระไนทรงกระบอก (แบบ ยันศูนย์) สำหรับวิธีการเจียรระไนแบบพลัน ได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวแปร หรือ พารามิเตอร์ในขั้นตอนต่าง ๆ



### 3.3 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองนี้ ได้นำหลักการของ การออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiments) โดยจะทำการทดลองแบบ One-Quarter Fraction of  $2_{IV}^{6-2}$  Design ( $2_{IV}^{6-2}$  Design) โดยมีการทำซ้ำในแต่ละทรีตเมนต์คอมบิเนชัน (Treatment Combination) เท่ากับ 4 ดังนั้นในการทำการทดลองนี้จึงมีการทดลองทั้งหมด 64 การทดลอง ซึ่งตัวแปร หรือ ปัจจัยในการทดลองมีดังนี้

3.3.1. ความเร็วรอบของชิ้นงาน ในช่วงของการเจียรระโนหยาบ (แทนด้วย B) โดยที่จะทำการทดลองที่ ความเร็วรอบ 339 และ 403 รอบต่อนาที

3.3.2. ความเร็วรอบของชิ้นงาน ในช่วงของการเจียรระโนชั้นตอนสุดท้าย (แทนด้วย A) โดยที่จะทำการทดลองที่ ความเร็วรอบ 233 และ 296 รอบต่อนาที

3.3.3. อัตราการป้อนล้อหินเจียรระโนเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงของการเจียรระโนหยาบ (แทนด้วย F) โดยที่จะทำการทดลองที่ อัตราการป้อน 1.0594 และ 1.9069 เส้นผ่านศูนย์กลาง มิลลิเมตร ต่อนาที

3.3.4. อัตราการป้อนล้อหินเจียรระโนเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงของการเจียรระโนละเอียด (แทนด้วย C) โดยที่จะทำการทดลองที่ อัตราการป้อน 0.1200 และ 0.2400 เส้นผ่านศูนย์กลาง มิลลิเมตร ต่อนาที

3.3.5. อัตราการป้อนล้อหินเจียรระโนเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงของการเจียรระโนละเอียดพิเศษ (แทนด้วย D) โดยที่จะทำการทดลองที่ อัตราการป้อน 0.0699 และ 0.1776 เส้นผ่านศูนย์กลาง มิลลิเมตรต่อนาที

3.3.6. เวลาหยุดหลังจากการเจียรระโนชิ้นงานในช่วงของการเจียรระโนละเอียดพิเศษ (แทนด้วย E) โดยที่จะทำการทดลองที่ 2.9326 และ 1.4189 วินาที

กำหนดให้ Design Generators คือ  $E = ABC$  และ  $F = BCD$

ในการกำหนดค่าสูงสุด และ ต่ำสุด ได้จากการคำนวณของ ซอฟต์แวร์ใน เครื่องเจียรระโน อัตโนมัตินี้ ซึ่งป้อนค่าริจิดิตี (Rigidity =  $L/(D \text{ average})$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 และ 3 ตามลำดับ (ดูได้จากภาคผนวก ก.1)

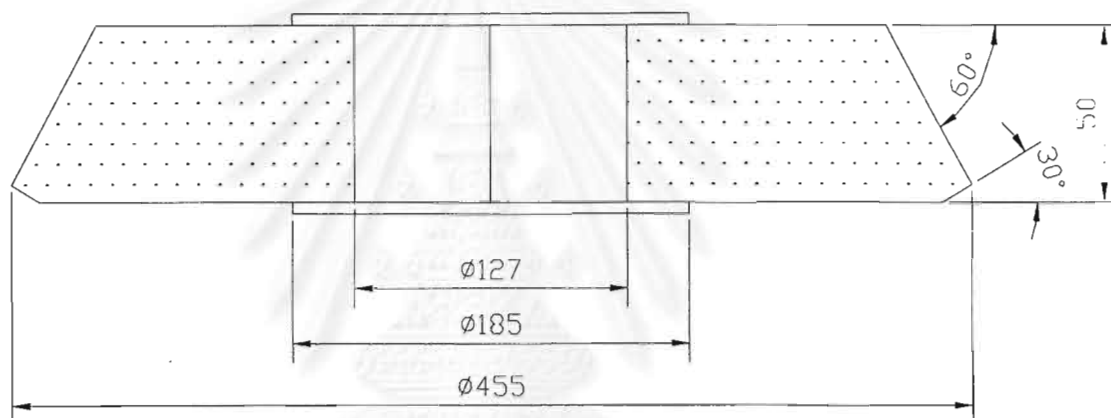
### 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.4.1. เครื่องเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยันศูนย์)

เครื่องเจียรระไนทรงกระบอกอัตโนมัติ รุ่น GE4A-50 (ผลิตโดย TOYODA MACHINE WORK , LTD.)

#### 3.4.2. ล้อหินเจียรระไน

ล้อหินเจียรระไนไซส์รหัส A60-I5-V10W ซึ่งมีรูปร่าง และ ขนาดดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ล้อหินเจียรระไน

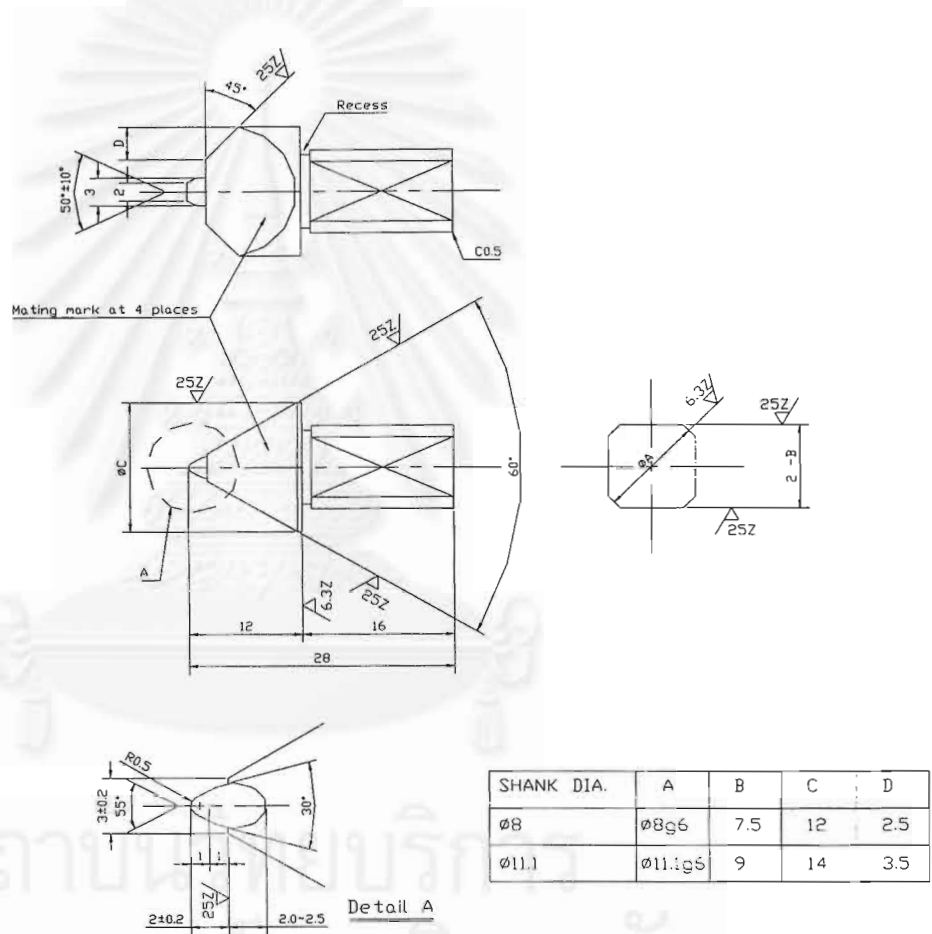
#### 3.4.3. น้ำยาหล่อเย็น

น้ำยาหล่อเย็นที่ใช้ คือ ไฮคัท 763 เอ็ม เป็นน้ำยาหล่อเย็นชนิดสังเคราะห์ของบริษัท ไทยฮาว์ทัน 1993 จำกัด ที่พัฒนาเป็นพิเศษ สามารถใช้ได้ทั้งงานกลึง และ งานเจียรระไนเหล็กทุกชนิด เมื่อผสมกับน้ำจะมีสีเขียวใส สามารถมองเห็นชิ้นงานในขณะที่ทำงานได้ เพิ่มสารรับแรงกดสูง ทำให้คุณสมบัติการหล่อลื่นเป็นเยี่ยม สามารถป้องกันการหลอมติดของเศษโลหะได้ (Anti Weld) โดยทำการผสมให้มีความเข้มข้นประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

3.4.4.เพชร (Diamond)

เพชรขนาด 2 กระรัต ไว้สำหรับการตกแต่งล้อหินเจียรไน ซึ่งมีรูปร่าง และขนาดดังรูปที่ 3.4

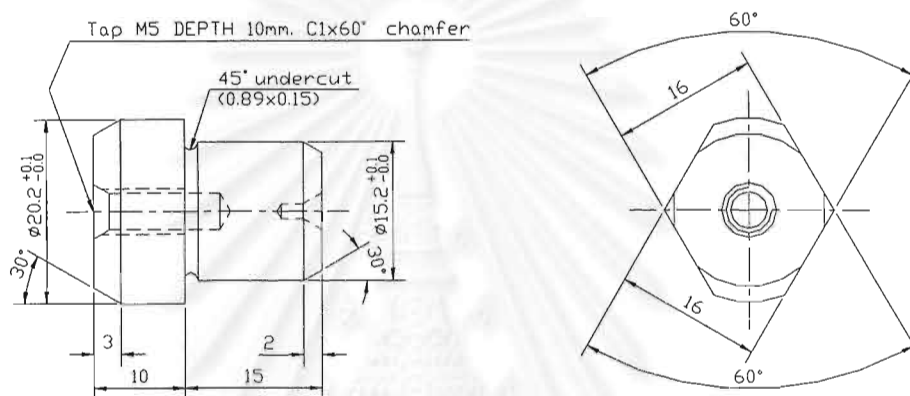
Note 1 : Diamond 2 ct  
 Note 2 : Nickel plating



รูปที่ 3.4 เพชร

### 3.4.5. ชิ้นงาน

สลักกำหนดตำแหน่ง (Locating Pin) เป็นชิ้นส่วนของเครื่องกลึงซีเอ็นซี (ยี่ห้อ Mazak) ซึ่งทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งของมอเตอร์ ใช้วัสดุ S45C ผ่านการกลึง และ ทำผิวแข็งด้วยการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า (Induction Hardening) ได้ค่าความแข็ง HRC 44 ถึง 54 โดยเป็นชิ้นงานที่มีอยู่แล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.5

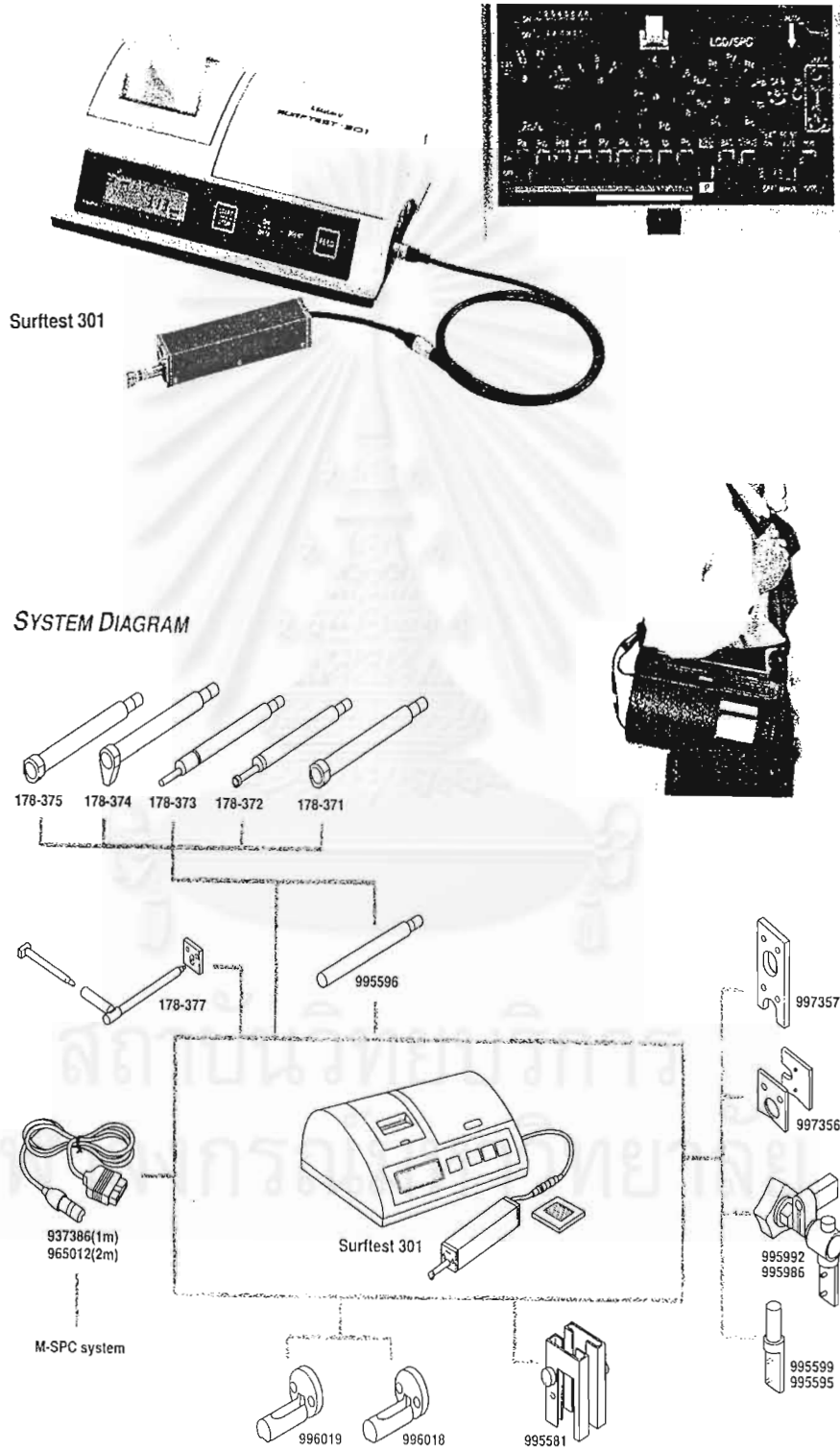


รูปที่ 3.5 ชิ้นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.6. เครื่องวัดความหยาบผิว (Portable Surface Roughness Tester)

เครื่องวัดความหยาบผิว เป็นเครื่องวัดความหยาบผิว ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และง่ายตาย (ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น Surf test 301 Code No.178-938E) ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความหยาบผิว (Portable Surface Roughness Tester)

### 3.5 ขั้นตอนในการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลองเป็นดังนี้

- 3.5.1.เปิดเครื่อง และล้อหินเจียร์ไน โดยให้ล้อหินเจียร์ไนหมุนประมาณ 10ถึง15นาที
- 3.5.2.ปรับเทเปอร์ของเครื่อง และ ทำการเขียนโปรแกรม
- 3.5.3.ตกแต่งหน้าหินเจียร์ไน (Dressing)
- 3.5.4.ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปร หรือปัจจัยให้ตรงกับการทดลอง
- 3.5.5.นำชิ้นงานป้อนเข้า ฟิกเจอร์ (Between Center)
- 3.5.6.ทำการเจียร์ไน (กดปุ่ม Cycle Start)
- 3.5.7.ทำการทดลองซ้ำในขั้นตอน 3, 4, 5 และ 6 จนครบ 64 การทดลอง
- 3.5.8.นำชิ้นงานที่ได้จากการเจียร์ไนไปทำการวัด เพื่อหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานที่ได้จากการเจียร์ไน



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย และการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 เริ่มต้นการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบ One-Quarter Fraction of  $2^6$  Design ( $2_{IV}^{6-2}$  Design) ซึ่งจะประกอบไปด้วย 16 ทรีตเมนต์คอมบิเนชัน และ ในแต่ละทรีตเมนต์คอมบิเนชันนั้นจะมีการทำการทดลองซ้ำ 4 ครั้ง รวมทำการทดลอง 64 ครั้ง ปัจจัยที่ทำการศึกษามี 6 ปัจจัย ในแต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ซึ่งจะแทนค่าของปัจจัยด้วยตัวแปรรหัส (Coded Variable) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงถึงค่าของปัจจัยต่างๆ และการแปรค่าของปัจจัยเป็นตัวแปรรหัส

Variable	Name or Factor	Process Variable		Code Variable	
		Rigidity3	Rigidity1	Rigidity3	Rigidity1
A	Finish Grinding Work Spindle Speed	233	296	-1	+1
B	Rough Grinding Work Spindle Speed	339	403	-1	+1
C	Fine Grinding Feed Rate	0.1200	0.2400	-1	+1
D	Micro Grinding Feed Rate	0.0699	0.1776	-1	+1
E	Feed Stop after Micro Grinding	2.8326	1.4189	-1	+1
F	Rough Grinding Feed Rate	1.0594	1.9069	-1	+1

ในกรณีนี้จะเลือก เจนเนอเรเตอร์ (Generators) คือ  $I = ABCE = BCDF = ADEF$  ซึ่งจะส่งผลให้ได้ Alias Structure ดังแสดงในตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 ก่อให้เกิด ทรีตเมนต์คอมบิเนชัน ทั้ง 16 ทรีตเมนต์คอมบิเนชัน นอกจากนี้เพื่อให้การทดลองเป็นไปภายใต้สมมติฐานการสุ่ม จึงทำการสุ่มหาลำดับก่อนหลังของการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงโครงสร้างฮาไลแอส(Alias Structure)

A = BCE = DEF = ABCDF	AB = CE = ACDF = BDEF
B = ACE = CDF = ABDEF	AC = BE = ABDF = CDEF
C = ABE = BDF = ACDEF	AD = EF = BCDE = ABCF
D = BCF = AEF = ABCDE	AE = BC = DF = ABCDEF
E = ABC = ADF = BCDEF	AF = DE = BCEF = ABCD
F = BCD = ADE = ABCEF	BD = CF = ACDE = ABEF
ABD = CDE = ACF = BEF	BF = CD = ACEF = ABDE
	ACD = BDE = ABF = CEF

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงทรีตเมนต์คอมบิเนชัน และลำดับการทดลอง

Coded Variable						Treatment	RUN			
A	B	C	D	E	F	Combination				
-1	-1	-1	-1	-1	-1	(I)	26	31	25	24
1	-1	-1	-1	1	-1	ae	45	39	43	17
-1	1	-1	-1	1	1	bef	48	41	44	35
1	1	-1	-1	-1	1	abf	22	18	2	63
-1	-1	1	-1	1	1	cef	14	58	20	4
1	-1	1	-1	-1	1	acf	40	30	42	32
-1	1	1	-1	-1	-1	bc	10	9	28	50
1	1	1	-1	1	-1	abce	34	49	11	61
-1	-1	-1	1	-1	1	df	51	23	37	56
1	-1	-1	1	1	1	adef	53	52	12	55
-1	1	-1	1	1	-1	bde	64	59	33	57
1	1	-1	1	-1	-1	abd	15	36	27	8
-1	-1	1	1	1	-1	cde	54	13	47	16
1	-1	1	1	-1	-1	acd	19	21	5	29
-1	1	1	1	-1	1	bcd	38	60	3	7
1	1	1	1	1	1	abcdef	46	1	62	6



## 4.2 ผลการทดลอง ( $2_{IV}^{6-2}$ Design)

เมื่อได้ลำดับการทดลองจากตารางที่ 4.3 จึงเริ่มทำการทดลอง โดยการปรับค่าของปัจจัยต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ แล้วนำชิ้นงานที่ผ่านไปทำการวัดความหยาบผิวเฉลี่ย (โดยกำหนดความยาวคลื่นตัดออกเท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร) และ บันทึกผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการทดลอง ( $2_{IV}^{6-2}$  Design)

Coded Variables						Treatment	Response (Ra)			
A	B	C	D	E	F	Combination				
-1	-1	-1	-1	-1	-1	(I)	0.22	0.20	0.19	0.19
1	-1	-1	-1	1	-1	ae	0.17	0.23	0.25	0.20
-1	1	-1	-1	1	1	bef	0.18	0.21	0.21	0.23
1	1	-1	-1	-1	1	abf	0.19	0.20	0.17	0.20
-1	-1	1	-1	1	1	cef	0.25	0.23	0.20	0.23
1	-1	1	-1	-1	1	acf	0.22	0.22	0.24	0.19
-1	1	1	-1	-1	-1	bc	0.18	0.23	0.22	0.22
1	1	1	-1	1	-1	abce	0.19	0.25	0.21	0.26
-1	-1	-1	1	-1	1	df	0.24	0.19	0.17	0.25
1	-1	-1	1	1	1	adef	0.24	0.34	0.23	0.30
-1	1	-1	1	1	-1	bde	0.26	0.23	0.32	0.34
1	1	-1	1	-1	-1	abd	0.17	0.19	0.20	0.22
-1	-1	1	1	1	-1	cde	0.29	0.29	0.25	0.27
1	-1	1	1	-1	-1	acd	0.21	0.20	0.18	0.26
-1	1	1	1	-1	1	bcd	0.20	0.23	0.18	0.17
1	1	1	1	1	1	abcdef	0.23	0.27	0.26	0.21

### 4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากผลการทดลองสามารถนำข้อมูลมาทำการคำนวณ เพื่อหาอิทธิพลของของแต่ละที่ตเมนต์คอมบิเนชัน ว่ามีค่ามากน้อยเพียงใด ดังตารางที่ 4.5 ทั้งนี้ยังสามารถนำค่าที่คำนวณได้ไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่า Effects, สัมประสิทธิ์สมการถดถอย (Regression Coefficients), และ Sums of Squares

Variable (Factors)	Contrast	Regression Coefficient	Estimated Effect	Sum of Squares
Average		0.224531		
A	-0.17	-0.002656	-0.005313	0.000452
B	-0.31	-0.004844	-0.009688	0.001502
C	0.11	0.001719	0.003438	0.000189
D	0.81	0.012656	0.025313	0.010252
E	1.29	0.020156	0.040313	0.026002
F	-0.21	-0.003281	-0.006563	0.000689
AB+CE	-0.21	-0.003281	-0.006563	0.000689
AC+BE	0.09	0.001406	0.002813	0.000127
AD+EF	-0.17	-0.002656	-0.005313	0.000452
AE+BC+DF	-0.13	-0.002031	-0.004063	0.000264
AF+DE	0.85	0.013281	0.026563	0.011289
BD+CF	-0.15	-0.002344	-0.004688	0.000352
BF+CD	-0.49	-0.007656	-0.015313	0.003752
ABD	-0.17	-0.002656	-0.005313	0.000452
ACD	0.01	0.000156	0.000313	0.000002

จากค่า Sums of Squares ที่ได้จากตารางที่ 4.5 สามารถนำมาสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) เพื่อที่จะทำการยืนยันได้ว่า มีปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยابผิวเฉลี่ย ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.6 ANOVA Table ของความหยابผิวเฉลี่ย ( $2_V^{6-2}$  Design)

Source of Variation	Sum of Squares	DF	Mean Square	F <sub>0</sub>	P - value
A	0.000452	1	0.000452	0.49	0.4942
B	0.001502	1	0.001502	1.63	0.2074
C	0.000189	1	0.000189	0.21	0.6571
<b>D</b>	<b>0.010252</b>	<b>1</b>	<b>0.010252</b>	<b>11.15</b>	<b>0.0016</b>
<b>E</b>	<b>0.026002</b>	<b>1</b>	<b>0.026002</b>	<b>28.28</b>	<b>0.0000</b>
F	0.000689	1	0.000689	0.75	0.4001
AB+CE	0.000689	1	0.000689	0.75	0.4001
AC+BE	0.000127	1	0.000127	0.14	0.7162
AD+EF	0.000452	1	0.000452	0.49	0.4942
AE+BC+DF	0.000264	1	0.000264	0.29	0.6002
<b>AF+DE</b>	<b>0.011289</b>	<b>1</b>	<b>0.011289</b>	<b>12.28</b>	<b>0.0010</b>
BD+CF	0.000352	1	0.000352	0.38	0.5458
<b>BF+CD</b>	<b>0.003752</b>	<b>1</b>	<b>0.003752</b>	<b>4.08</b>	<b>0.0490</b>
ABD	0.000452	1	0.000452	0.49	0.4942
ACD	0.000002	1	0.000002	0.00	0.9677
Error	0.044125	48	0.000919		
TOTAL	0.100590	63			

R-squared = 0.5613

R-squared (adj. For d.f.) = 0.4242

จากตารางที่ 4.6 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $F_{0.05,1,48} = 4.04$ ) พบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ ค่าความหยาบผิว คือ

1. อัตราการป้อนล้อยินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (D) โดยดูได้จากค่า  $F_0$  ที่มากถึง 11.15 (จากตารางที่ 4.6) ซึ่งมีค่ามากกว่า 4.04 ( $F_{0.05,1,48}$ )
2. เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (E) โดยดูได้จากค่า  $F_0$  ที่มากถึง 28.28 (จากตารางที่ 4.6) ซึ่งมีค่ามากกว่า 4.04 ( $F_{0.05,1,48}$ )
3. อิทธิพลร่วม AF+DE โดยดูได้จากค่า  $F_0$  ที่มากถึง 12.28 (จากตารางที่ 4.6) ซึ่งมีค่ามากกว่า 4.04 ( $F_{0.05,1,48}$ ) ซึ่งจากความรู้ทางด้านวิศวกรรม และกระบวนการผลิต พบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบของชิ้นงานในช่วงการเจียรไนขั้นต้นสุดท้าย กับอัตราการป้อนล้อยินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนหยาบ (AF) นั้นไม่มีเหตุผลทางด้านวิศวกรรมการผลิตที่จะกล่าวว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ดังนั้นจึงเหลือเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราการป้อนล้อยินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ กับเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (DE)
4. อิทธิพลร่วม BF+CD โดยดูได้จากค่า  $F_0$  ที่มากถึง 4.08 (จากตารางที่ 4.6) ซึ่งมีค่ามากกว่า 4.04 ( $F_{0.05,1,48}$ ) เมื่อทำการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สมการถดถอย (จากตารางที่ 4.5) พบว่า มีค่าเท่ากับ  $-0.0077$  ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์สมการถดถอยของอิทธิพลร่วมระหว่าง อัตราการป้อนล้อยินเจียรไนละเอียดพิเศษ (DE) คือ 0.0133

ส่วนปัจจัยที่เหลือ ไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะสรุปว่า เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพล หรือผลกระทบ ต่อ ความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน นั่นคือค่า  $F_0$  (จากตารางที่ 4.6) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 4.04 ( $F_{0.05,1,48}$ ) ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆดังนี้

1. ความเร็วรอบของชิ้นงานในช่วงการเจียรไนหยาบ (B)
2. ความเร็วรอบของชิ้นงานในช่วงของการเจียรไนขั้นต้นสุดท้าย (A)
3. อัตราการป้อนล้อยินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงของการเจียรไนหยาบ (F)
4. อัตราการป้อนล้อยินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงของการเจียรไนละเอียด (C)
5. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยข้างต้นนั้น

เมื่อทำการตัดปัจจัยต่างๆที่ไม่มีอิทธิพล ต่อความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานออก โดยเหลือเฉพาะอัตราการป้อนล้อยินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (D) เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (E) และ อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้น (DE) (ทั้งนี้เพื่อเป็นการง่ายในการศึกษาต่อและทำการปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยจึงขอตัดอิทธิพลร่วม BF+CD) จะสามารถยุบ หรือลดรูป เป็นการทดลองแบบ  $2^2$

Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 16 ครั้ง ในแต่ละทรีตเมนต์คอมบิเนชัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลการทดลองที่จัดรูปเป็น  $2^2$  Factorial Design

Coded Variables		Treatment	Random Sequence				Response (Ra)			
D	E	Combination								
-1	-1	(l)	26	31	25	24	0.22	0.20	0.19	0.19
-1	-1	(l)	22	18	2	63	0.19	0.20	0.17	0.20
-1	-1	(l)	40	30	42	32	0.22	0.22	0.24	0.19
-1	-1	(l)	10	9	28	50	0.18	0.23	0.22	0.22
-1	1	e	45	39	43	17	0.17	0.23	0.25	0.20
-1	1	e	48	41	44	35	0.18	0.21	0.21	0.23
-1	1	e	14	58	20	4	0.25	0.23	0.20	0.23
-1	1	e	34	49	11	61	0.19	0.25	0.21	0.26
1	-1	d	51	23	37	56	0.24	0.19	0.17	0.25
1	-1	d	15	36	27	8	0.17	0.19	0.20	0.22
1	-1	d	19	21	5	29	0.21	0.20	0.18	0.26
1	-1	d	38	60	3	7	0.20	0.23	0.18	0.17
1	1	de	53	52	12	55	0.24	0.34	0.23	0.30
1	1	de	64	59	33	57	0.26	0.23	0.32	0.34
1	1	de	54	13	47	16	0.29	0.29	0.25	0.27
1	1	de	46	1	62	6	0.23	0.27	0.26	0.21

จากการยุบ หรือการลดรูปของ รูปแบบการทดลองจะสามารถนำมาทำการคำนวณค่าต่าง ๆ และ สร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนใหม่ ดังที่แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ANOVA Table ของความหยาบผิวเฉลี่ย ( $2^2$  Factorial Design)

Source of Variation	Sum of Squares	DF	Mean Square	F0	P - value
D	0.010252	1	0.010252	11.44	0.001
E	0.026002	1	0.026002	28.89	0.000
DE	0.011289	1	0.011289	12.56	0.001
Error	0.053047	60	0.000884		
TOTAL	0.100590	63			

R-squared = 0.4726

R-squared (adj. For d.f.) = 0.4463

จากตารางที่ 4.8 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $F_{0.05,1,60} = 4.00$ ) นั้น สามารถยืนยันได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวเฉลี่ย คือ

1. อัตราการป้อนล้อยินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ(D) โดยดูได้จากค่า  $F_0$  ที่มากถึง 11.44 (จากตารางที่ 4.8) ซึ่งมามีค่ามากกว่า 4.00 ( $F_{0.05,1,60}$ )
2. เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (E) โดยดูได้จากค่า  $F_0$  ที่มากถึง 28.89 (จากตารางที่ 4.8) ซึ่งมามีค่ามากกว่า 4.00 ( $F_{0.05,1,60}$ )
3. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้น (DE) โดยดูได้จากค่า  $F_0$  ที่มากถึง 12.56 (จากตารางที่ 4.8) ซึ่งมามีค่ามากกว่า 4.00 ( $F_{0.05,1,60}$ )

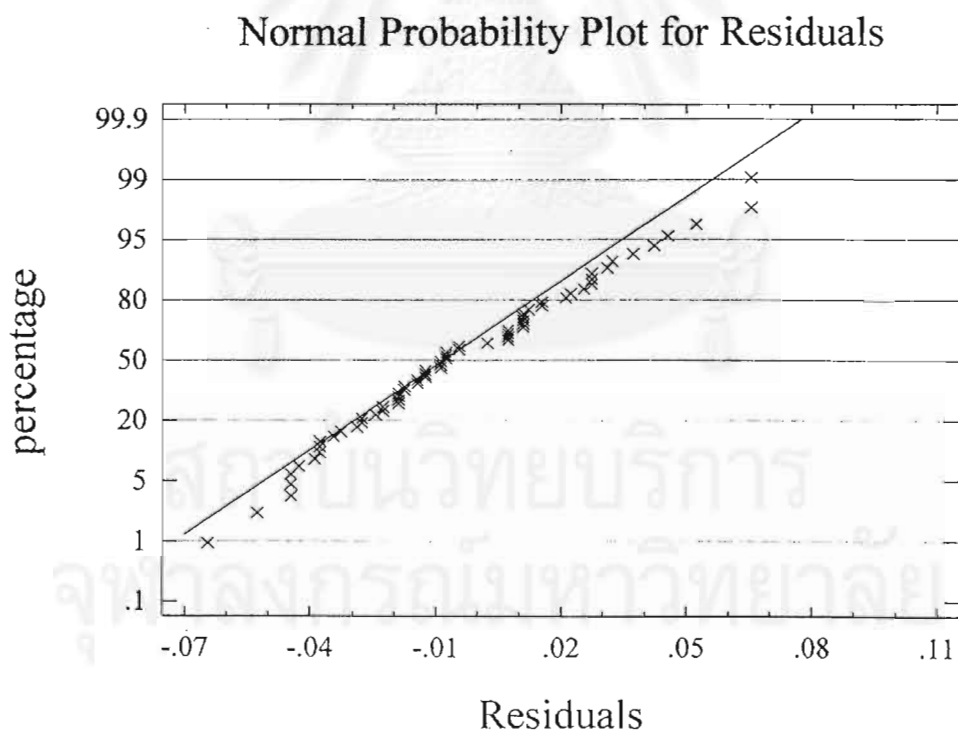
ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลที่ออกมา นั้นสอดคล้อง กับ การวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้จากการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

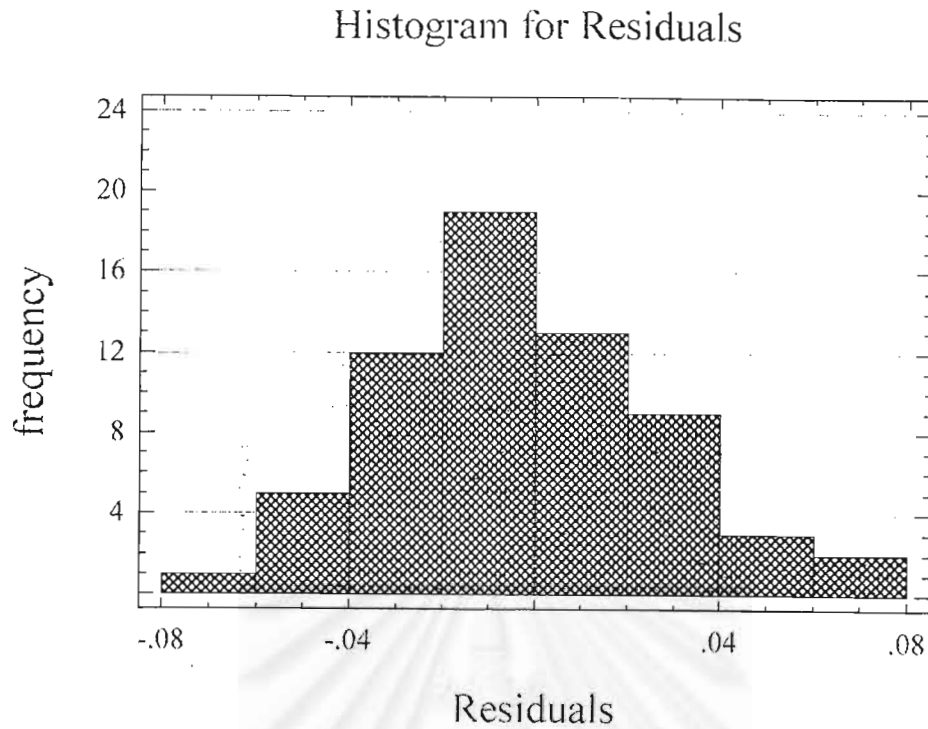
#### 4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

เพื่อทำการยืนยันความถูกต้อง และ เชื่อถือได้ของข้อมูลนั้นจะต้องนำข้อมูลมา ทำการตรวจสอบความถูกต้องของ ข้อสมมติที่สำคัญ คือ ความคลาดเคลื่อน (Errors) ที่เกิดขึ้นเป็น ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก สาเหตุทางด้านรีพีทะบิลิตี้ (Repeatability) ของการทดลอง จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข 3 ประการ คือ

4.4.1.ความเป็นปกติ (Normality) ทั้งนี้เนื่องจากหากข้อมูลมิได้มีรูปแบบ การกระจาย เป็นแบบปกติแล้วก็จะทำให้ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นได้ ดังนั้นถ้าหากข้อมูลมิได้มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบปกติ แสดงว่า ข้อมูลที่ได้มานั้นได้มาจากกระบวนการที่ไม่ได้กำหนด เป็นมาตรฐาน จึงจำเป็นที่จะต้องค้นหาสาเหตุ เพื่อทำการแก้ไขก่อนนำข้อมูลมาทำการ วิเคราะห์ การตรวจสอบความเป็นปกตินั้นสามารถทำได้โดยใช้กระดาษทดสอบ การกระจายแบบ ปกติ (Normal Probability Paper หรือ NOPP) หากสามารถประมาณความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ได้ แสดงว่า ข้อมูลนั้นมี การกระจายเป็นแบบปกติ และ ข้อมูลชุดนั้นเชื่อถือได้ ซึ่งผลได้แสดงไว้ ใน รูปที่ 4.1 หรือดูได้จากแผนภูมิแท่ง (Histogram) ของค่าเศษเหลือ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 กราฟ Normal Probability Plot ของค่าเศษเหลือ ( $2^2$  Factorial Design)



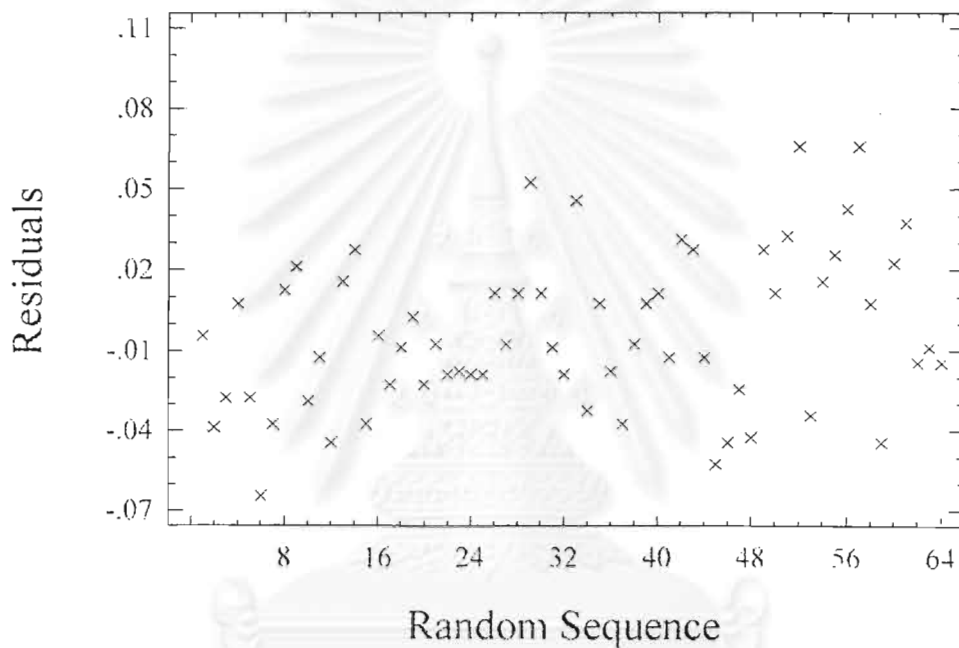
รูปที่ 4.2 แผนภูมิแท่ง (Histogram) ของค่าเศษเหลือ ( $2^2$  Factorial Design)

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่ออกมาสามารถประมาณเป็นเส้นตรงได้ แสดงว่า ข้อมูลชุดนี้มีลักษณะรูปแบบ การกระจายเป็นแบบปกติ และจากรูปที่ 4.2 สามารถแสดงการกระจายตัวของค่าเศษเหลือที่มีลักษณะการกระจายใกล้เคียงกับการกระจายตัวแบบปกติ



4.4.2.ความเป็นอิสระ (Independence) ในข้อมูลแต่ละตัวจะต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน ทั้งนี้ถ้าหากข้อมูลไม่มีความเป็นอิสระต่อกัน จะทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ โดยเฉพาะการหาค่าเฉลี่ย หรือ ค่าคาดหวัง ดังนั้นถ้าหากข้อมูลไม่มีความเป็นอิสระต่อกันแล้ว แสดงว่าข้อมูลมีความเอนเอียง (Bias) ในการทดสอบความเป็นอิสระสามารถทำได้ โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเศษเหลือ กับ ลำดับการทดลอง หากไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ ถือได้ว่าข้อมูลชุดนี้มีความเป็นอิสระและเชื่อถือได้ ซึ่งผลได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.3

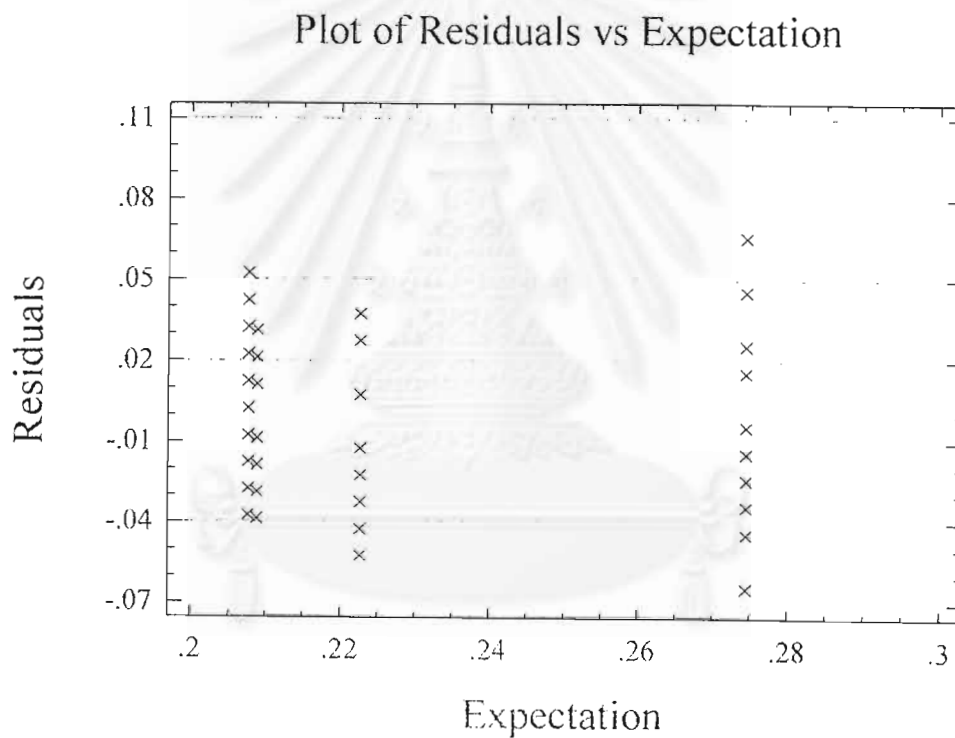
Plot of Residuals vs Random Sequence



รูปที่ 4.3 แผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเศษเหลือ กับลำดับการทดลอง ( $2^2$  Factorial Design)

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า แผนภาพการกระจายที่ออกมานั้นมีลักษณะที่ไม่แน่นอน และไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงว่า ข้อมูลชุดนี้มีความเป็นอิสระต่อกัน

4.4.3. ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) เพื่อเป็นการยืนยันว่า ข้อมูลที่ได้มานั้น ได้รับการเก็บมาจากกระบวนการที่มีการจัดทำเป็นมาตรฐานแล้ว จึงทำให้ความแตกต่างของข้อมูล เกิดมาจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Chance Cause) ในระบบที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเท่านั้น ถ้าหากข้อมูลมีค่าความแปรปรวนที่ไม่มีเสถียรภาพแล้ว แสดงว่า ข้อมูลเกิดจากสาเหตุที่สามารถควบคุมได้ แต่ไม่ได้รับการควบคุม ในการทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สามารถกระทำได้โดยทดสอบผ่านแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยเหลือ กับ ค่าประมาณการของค่าควรจะเป็นของตัวแปรตอบสนอง ( $\hat{R}\alpha$ ) ซึ่งถ้าหากแผนภาพการกระจายมีลักษณะลู่เข้า หรือ ลู่ออก แสดงว่า ข้อมูลนั้นไม่มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน หรือ มีความแตกต่างของค่าความแปรปรวน ซึ่งผลได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4

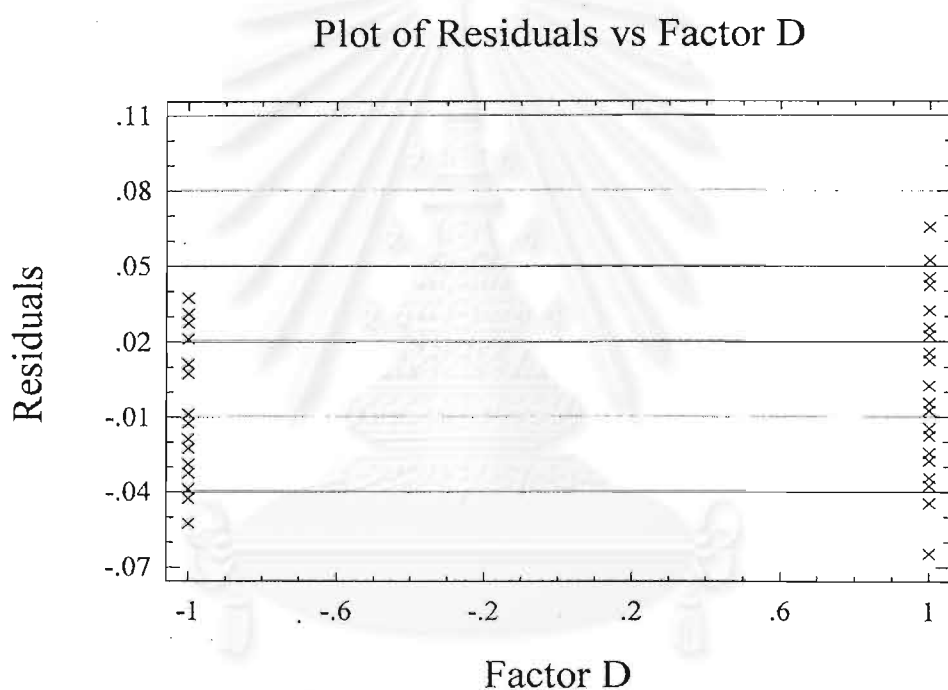


รูปที่ 4.4 แผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยเหลือ กับ ค่าควรจะเป็นของตัวแปรตอบสนอง ( $\hat{R}\alpha$ )

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า แผนภาพการกระจายที่ออกมานั้นไม่มีลักษณะลู่เข้าหรือลู่ออก แสดงว่า ข้อมูลชุดนี้มีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

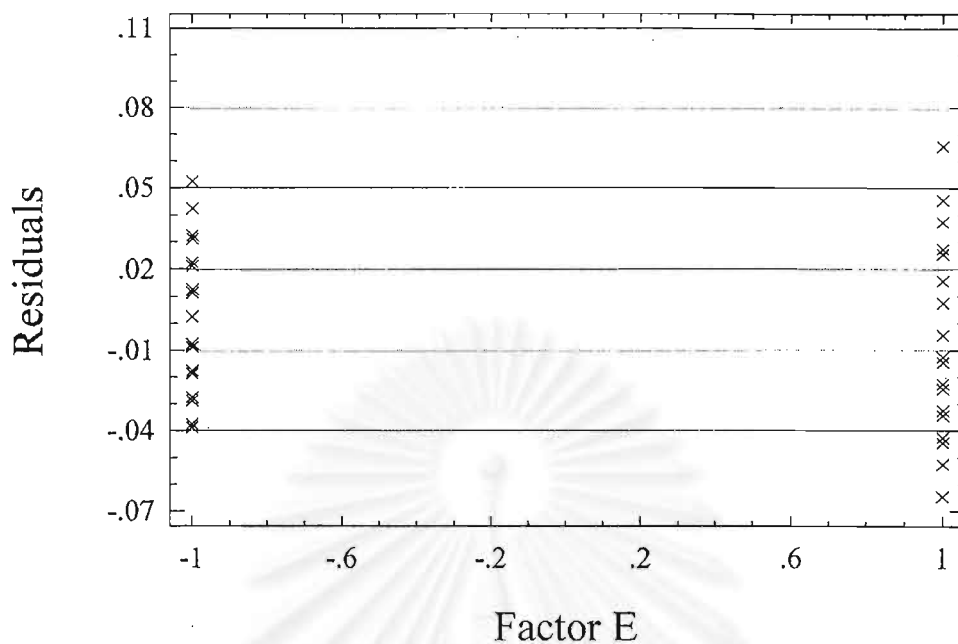
#### 4.5 การค้นหา Dispersion Effects

จากสมการ  $\hat{Ra} = 0.2245 + 0.0127D + 0.0202E + 0.0133DE$  นั้นแสดงถึงอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวเฉลี่ย คือ อัตราการป้อนลวดหินเจียรระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ (D) เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรระไนในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ (E) และ อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง ที่กล่าวมาข้างต้น (DE) แต่ไม่ได้ให้สารสนเทศเกี่ยวกับ การกระจาย หรืออิทธิพลของการกระจาย หากแต่สามารถพิจารณาได้จากแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือกับระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษา ซึ่งผลได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 ถึง 4.8



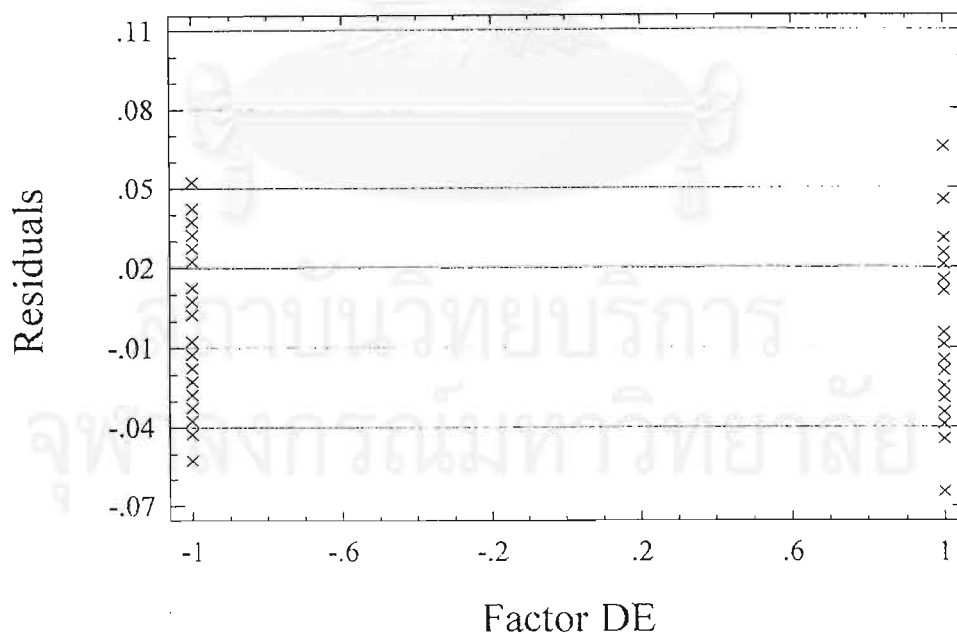
รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเศษเหลือกับระดับของอัตราการป้อนลวดหินเจียรระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ (D)

Plot of Residuals vs Factor E



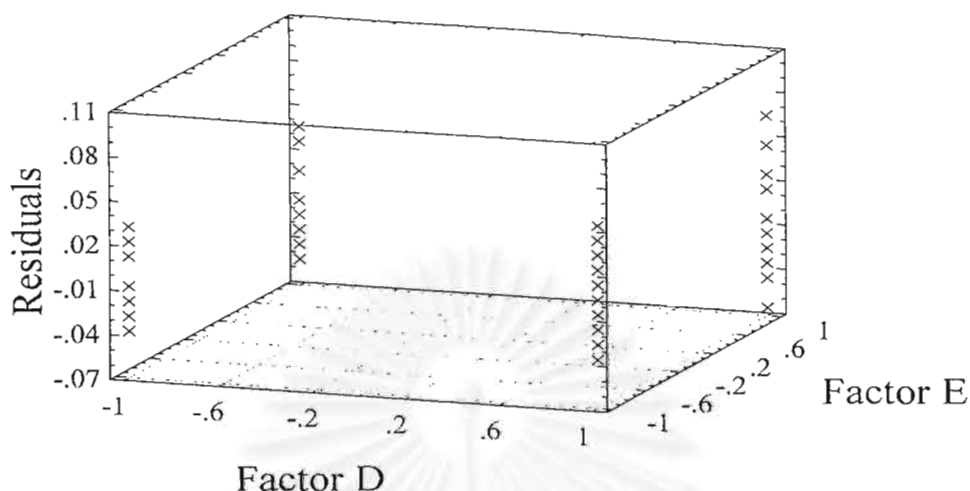
รูปที่ 4.6 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเศษเหลือกับระดับของเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (E)

Plot of Residuals vs Factor DE



รูปที่ 4.7 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเศษเหลือกับ ระดับของอิทธิพลร่วมระหว่าง อัตราการป้อนล้อหินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ และ ระดับของเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วง การเจียรไนละเอียดพิเศษ (DE)

Plot of Residuals vs Factor D and Factor E



รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเศษเหลือกับ ระดับของอัตราการป้อนล้อหิน เจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (D) และ ระดับของเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วง การเจียรไนละเอียดพิเศษ (E)

จากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเศษเหลือ กับ ค่าควรจะเป็นของตัวแปรตอบสนอง ( $\hat{R}_i$ ) และ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเศษเหลือกับระดับของปัจจัย นั้นจะเห็นได้ว่า ที่ระดับของปัจจัยที่ค่าสูง (High หรือ 1) ทั้งสองปัจจัยนั้นมีลักษณะการกระจายของ ค่าเศษเหลือค่อนข้างสูงดังนั้น จึงสมควรที่จะให้ความสนใจในการที่จะค้นหา Dispersion Effects ซึ่งสามารถกระทำได้โดยคำนวณ ค่าความแปรปรวนมาตรฐาน (Standard Deviation) ในแต่ละระดับของปัจจัย และ ตัวสถิติที่ใช้ในการประเมินขนาดของ Dispersion Effects ( $F_i^*$ ) ในการทดลอง ซึ่งจะแสดงไว้ในตารางที่ 4.7 ซึ่งหากว่า ถ้าค่าความแปรปรวนของค่าเศษเหลือของปัจจัยในระดับสูง มีค่าเท่ากับ ค่าความแปรปรวนของค่าเศษเหลือของปัจจัย ในระดับต่ำ แล้ว ตัวสถิติที่ใช้ในการประเมินขนาดของ Dispersion Effects ( $F_i^*$ ) ซึ่งได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 4.7 จะสามารถประมาณการกระจายเป็นแบบปกติ เช่นกัน สามารถกระทำได้ โดยการตรวจสอบความเป็นปกตินั้น สามารถทำได้โดยใช้กระดาษทดสอบ การกระจายแบบปกติ (Normal Probability Paper หรือ NOPP) ซึ่งผลได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.9

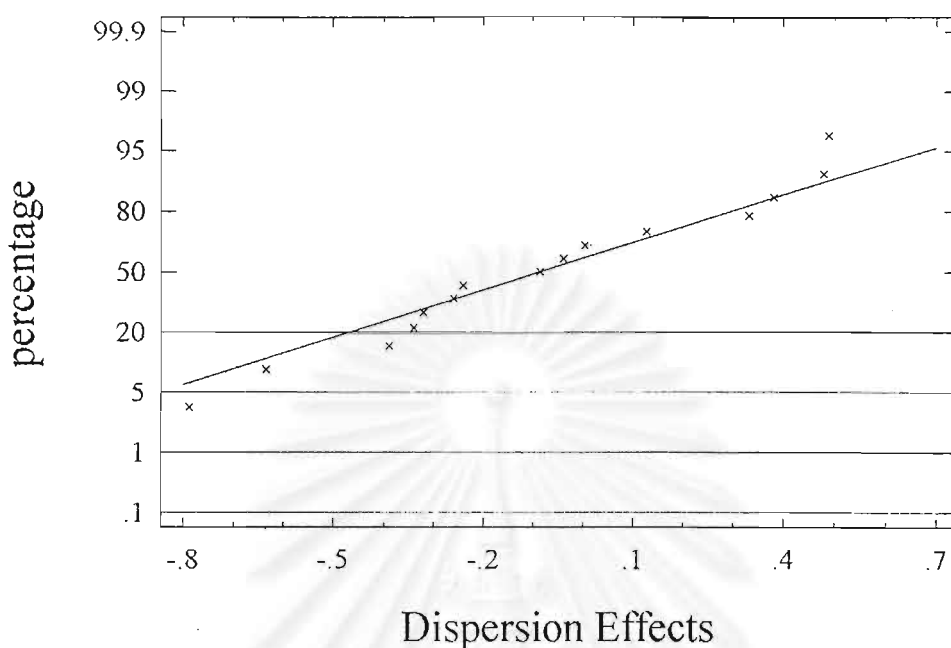
$$\text{โดยที่ } F_i^* = \ln \frac{S^2(i^+)}{S^2(i^-)}$$

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงตัวสถิติที่ใช้ในการค้นหา Dispersion Effects ( $F_i^*$ )

Factor	Variance		$F_i^*$
	Low Level	High Level	
A	0.000739	0.000957	-0.258599
B	0.000815	0.000848	-0.039293
C	0.001012	0.000693	0.379578
D	0.000535	0.001176	-0.788560
E	0.000593	0.001118	-0.634848
F	0.000808	0.000881	-0.086484
AB+CE	0.001043	0.000646	0.479320
AC+BE	0.000710	0.000997	-0.340087
AD+EF	0.000902	0.000794	0.127091
AE+BC+DF	0.000716	0.000986	-0.319576
AF+DE	0.000753	0.000958	-0.240340
BD+CF	0.000851	0.000848	0.003321
BF+CD	0.000986	0.000605	0.488789
ABD	0.000987	0.000709	0.330496
ABF	0.000691	0.001020	-0.389938

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### Normal Probability Plot for Dispersion Effects



รูปที่ 4.9 กราฟ Normal Probability Plot ของตัวสถิติที่ใช้ในการประเมินขนาดของ Dispersion Effects ( $F_i^*$ )

จากรูปที่ 4.9 นั้นสรุปได้ว่า ตัวสถิติที่ใช้ในการประเมินขนาดของ Dispersion Effects ( $F_i^*$ ) นั้นสามารถประมาณได้เป็นเส้นตรงนั้น คือ ไม่สามารถทำการยืนยันได้ว่ามี Dispersion Effects ในการทดลองชุดนี้ หรือ อิทธิพลของแต่ละปัจจัย นั้นค่อนข้างมีลักษณะสมมาตร

#### 4.6 การหาขนาดจำนวนซ้ำในการทดลอง (Choice of Sample Size)

ในการตัดสินใจว่า มีปัจจัยใดบ้างที่มีผลกระทบต่อความหยาบผิวของชิ้นงานนั้น การตัดสินใจโดยคำนึงถึงความเสี่ยงในการตัดสินใจทั้ง ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด แบบที่ 1 (Type I Error) หรือ ระดับนัยสำคัญ (Significant Level) แทนด้วย สัญลักษณ์  $\alpha$  ซึ่งในการทดลองนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.05 และ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด แบบที่ 2 (Type II Error) แทนด้วย สัญลักษณ์  $\beta$  โดยถือว่าเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างมาก สำหรับในการหาขนาดจำนวนซ้ำการทดลองสามารถกระทำได้ โดยการใช้เส้นโค้งโอซี (Operating Characteristic Curve) โดยมีพารามิเตอร์ของเส้นโค้งโอซี ( $\phi$ ) ซึ่งสำหรับ ตัวแบบแบบอิทธิพลคงที่ (Fixed Effect Model) และ มีการกำหนดในรูปความแตกต่างมากที่สุดของค่าเฉลี่ยของปัจจัย จนทำให้เกิดการตัดสินใจที่ผิดพลาด (การปฏิเสธสมมติฐาน) โดยกำหนดให้  $X$  หมายถึง ค่าความแตก

ต่างของค่าเฉลี่ยของปัจจัยใดๆ (ในที่นี้กำหนดให้  $X = 0.05$  ซึ่งพิจารณาจากค่า Tolerance Grade ของค่าความหยาบผิวเฉลี่ย สำหรับการเจียระไนน้อยที่สุด คือ จะปรับค่าจาก 0.1 เป็น 0.2 ไมโครเมตร) และ ค่าพารามิเตอร์ของเส้นโค้งไอซี ( $\phi$ ) สามารถหาได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงสมการการหาพารามิเตอร์ของเส้นโค้งไอซี

Factor	$\phi^2$	Numerator Degrees of Freedom	Denominator Degrees of Freedom
D	$\phi_D^2 = \frac{neX^2}{2d\sigma^2}$	d - 1	de(n - 1)
E	$\phi_E^2 = \frac{ndX^2}{2e\sigma^2}$	e - 1	de(n - 1)
DE	$\phi_{DE}^2 = \frac{nX^2}{2\sigma^2[(d-1)(e-1)+1]}$	(d - 1)(e - 1)	de(n - 1)

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของเส้นโค้งไอซี

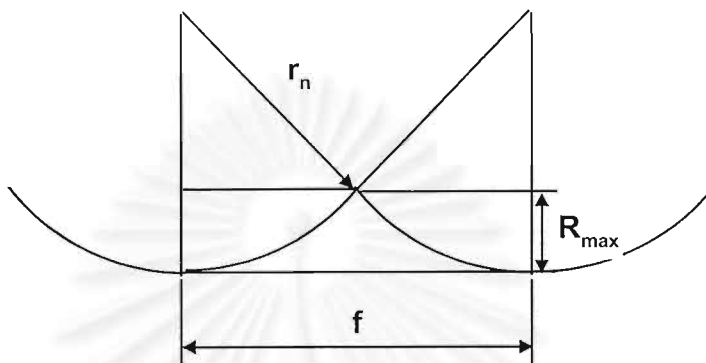
Factor	$\phi^2$ (n=16)	$\phi$	Numerator Degrees of Freedom	Denominator Degrees of Freedom	$\beta$
D	22.62	4.76	1	60	<0.01
E	22.62	4.76	1	60	<0.01
DE	22.62	4.76	1	60	<0.01

จากสมการในตารางที่ 4.10 และ เงื่อนไขข้างต้นสามารถคำนวณค่า พารามิเตอร์ของเส้นโค้งไอซีต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.11 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด แบบที่ 2 (Type II Error) แทนด้วยสัญลักษณ์  $\beta$  ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า มีโอกาส หรือ ความน่าจะเป็นที่จะตัดสินใจว่า อัตราการป้อนล้อยินเจียระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษ (D) เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียระไนในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษ (E) และ อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้น (DE) นั้นมีผลกระทบต่อ ความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานทั้ง ๆที่ ปัจจัยดังกล่าวนี้ไม่มีผลกระทบต่อ ความหยาบผิวของชิ้นงาน น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $\alpha = 0.05$ )



#### 4.7 การพิจารณาอิทธิพลกำลังสองของปัจจัยที่มีผลต่อ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย

ในบริษัทผู้ผลิตมีดกลึงคาร์ไบด์ โดยทั่วไปจะให้ความสัมพันธ์ของค่า  $R_{\max}$  ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ได้จากรูปทรงทางเรขาคณิต ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ภาพแสดงรูปทรงทางเรขาคณิต และ  $R_{\max}$  ของผิวงานกลึง

จากรูปที่ 4.10 นั้นแสดงถึงการได้มาของค่า  $R_{\max}$  คือ

$$(r_n)^2 = \left(\frac{f}{2}\right)^2 + (r_n - R_{\max})^2$$

$$r_n^2 = \frac{f^2}{4} + r_n^2 - 2r_n R_{\max} + R_{\max}^2$$

ซึ่ง  $R_{\max}^2$  มีค่าน้อยมาก หรือ เข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้น

$$R_{\max} = \frac{f^2}{8r_n} \text{ มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร } (\mu m)$$

โดยที่  $f$  คือ อัตราการป้อนของเครื่องกลึง มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อรอบ

$r_n$  คือ รัศมีของเม็ดเม็ดอินเสิร์ท หรือ รัศมีของมีดกลึง มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

การวิจัยของ นายบรรยงค์ จงไทยรุ่งเรือง นั้นได้ทำการออกแบบการทดลอง และ ทำการทดลองได้สมการดังนี้  $R_{\max} = -291r_n f^2 + 139.875r_n^2 - 211.25r_n f - 12.15r_n^2 + 418.5f^2 + 18.51r_n + 65.853f - 5.762$  ซึ่งเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับ สมการของผู้ผลิตมีดกลึงคาร์ไบด์ พบว่า ค่าความแตกต่างของความหยาบผิวสูงสุดมีค่าเท่ากับ  $0.314 \mu m$

จากความสัมพันธ์ของ  $R_{\max}$  กับอิทธิพลกำลังสอง ในการวิจัยของ นายบรรยงค์ จงไทยรุ่งเรือง คือ อัตราการป้อน ( $f$ ) และ รัศมีของมีดกลึงคาร์ไบด์ ( $r_n$ ) นั้นเป็นเหตุให้เกิดความสนใจที่จะทำการศึกษาหรือพิจารณาผลของปัจจัยกำลังสองที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ซึ่งสามารถ

กระทำได้โดย การเพิ่มการทดลองในระดับกลางของปัจจัยในการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial Design (Addition of Center Points to  $2^2$  Design) จำนวน 16 ครั้ง และ บันทึกผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลการทดลองในการเพิ่มการทดลองในระดับกลางของปัจจัยในการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial Design (Addition of Center Points to  $2^2$  Design)

Coded Variables		Process Variable		Random Sequence				Response (Ra)			
D	E	D	E					1	2	3	4
-1	-1	0.0699	2.8326	26	31	25	24	0.22	0.20	0.19	0.19
-1	-1	0.0699	2.8326	22	18	2	63	0.19	0.20	0.17	0.20
-1	-1	0.0699	2.8326	40	30	42	32	0.22	0.22	0.24	0.19
-1	-1	0.0699	2.8326	10	9	28	50	0.18	0.23	0.22	0.22
-1	1	0.0699	1.4189	45	39	43	17	0.17	0.23	0.25	0.20
-1	1	0.0699	1.4189	48	41	44	35	0.18	0.21	0.21	0.23
-1	1	0.0699	1.4189	14	58	20	4	0.25	0.23	0.20	0.31
-1	1	0.0699	1.4189	34	49	11	61	0.19	0.25	0.21	0.26
1	-1	0.1238	2.8326	51	23	37	56	0.24	0.19	0.17	0.25
1	-1	0.1776	2.8326	15	36	27	8	0.17	0.19	0.2	0.22
1	-1	0.1776	2.8326	19	21	5	29	0.35	0.20	0.18	0.26
1	-1	0.1776	2.8326	38	60	3	7	0.2	0.23	0.18	0.17
1	1	0.1776	1.4189	53	52	12	55	0.24	0.34	0.23	0.30
1	1	0.1776	1.4189	64	59	33	57	0.26	0.23	0.32	0.34
1	1	0.1776	1.4189	54	13	47	16	0.29	0.29	0.25	0.27
1	1	0.1776	1.4189	46	1	62	6	0.23	0.27	0.26	0.21
0	0	0.1238	2.1258	65	66	67	68	0.28	0.26	0.24	0.25
0	0	0.1238	2.1258	69	70	71	72	0.24	0.24	0.28	0.24
0	0	0.1238	2.1258	73	74	75	76	0.22	0.25	0.24	0.23
0	0	0.1238	2.1258	77	78	79	80	0.23	0.20	0.28	0.17

จากการเพิ่มการทดลองในระดับกลางของปัจจัย จะสามารถนำมาทำการคำนวณค่าต่าง ๆ และสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนใหม่ ดังที่แสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ANOVA Table ของความหยาบผิวเฉลี่ย (Addition of Center Points to  $2^2$  Design)

Source of Variation	Sum of Squares	DF	Mean Square	F0	P - value
D	0.010252	1	0.010252	11.73	0.001
E	0.026002	1	0.026002	29.76	0.000
DE	0.011289	1	0.011289	12.92	0.001
Pure Quadratic	0.003315	1	0.003315	3.79	0.055
Error	0.065537	75	0.000874		
TOTAL	0.116395	79			

R-squared = 0.4369

R-squared (adj. For d.f.) = 0.4069

จากตารางที่ 4.13 และ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $F_{0.05,1,79} = 3.96$ ) นั้น สามารถยืนยันได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย คือ

1. อัตราการป้อนล้อยินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ(D) โดยดูได้จากค่า  $F_0$  ที่มากถึง 11.73 (จากตารางที่ 4.13) ซึ่งมีค่ามากกว่า 3.96 ( $F_{0.05,1,79}$ )
2. เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (E) โดยดูได้จากค่า  $F_0$  ที่มากถึง 29.76 (จากตารางที่ 4.13) ซึ่งมีค่ามากกว่า 3.96 ( $F_{0.05,1,79}$ )
3. อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้น (DE) โดยดูได้จากค่า  $F_0$  ที่มากถึง 12.92 (จากตารางที่ 4.13) ซึ่งมีค่ามากกว่า 3.96 ( $F_{0.05,1,79}$ )

ส่วนค่าอิทธิพลกำลังสอง (Pure Quadratic) ของปัจจัยนั้น ไม่สามารถยืนยันได้ว่า เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ทั้งนี้เนื่องจากค่า  $F_0=3.79$  (จากตารางที่ 4.13) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 3.96 ( $F_{0.05,1,79}$ ) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้จากตารางที่ 4.8 ( $2^2$  Factorial Design)

จากอิทธิพลที่มีผลกระทบต่อ ค่าความหยابผิวเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 4.13 สามารถทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมการถดถอยใหม่ ซึ่งสามารถทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อ ความหยابผิวเฉลี่ย ดังนี้

$$\hat{Ra} = 0.2278 + 0.0127D + 0.0202E + 0.0133DE$$

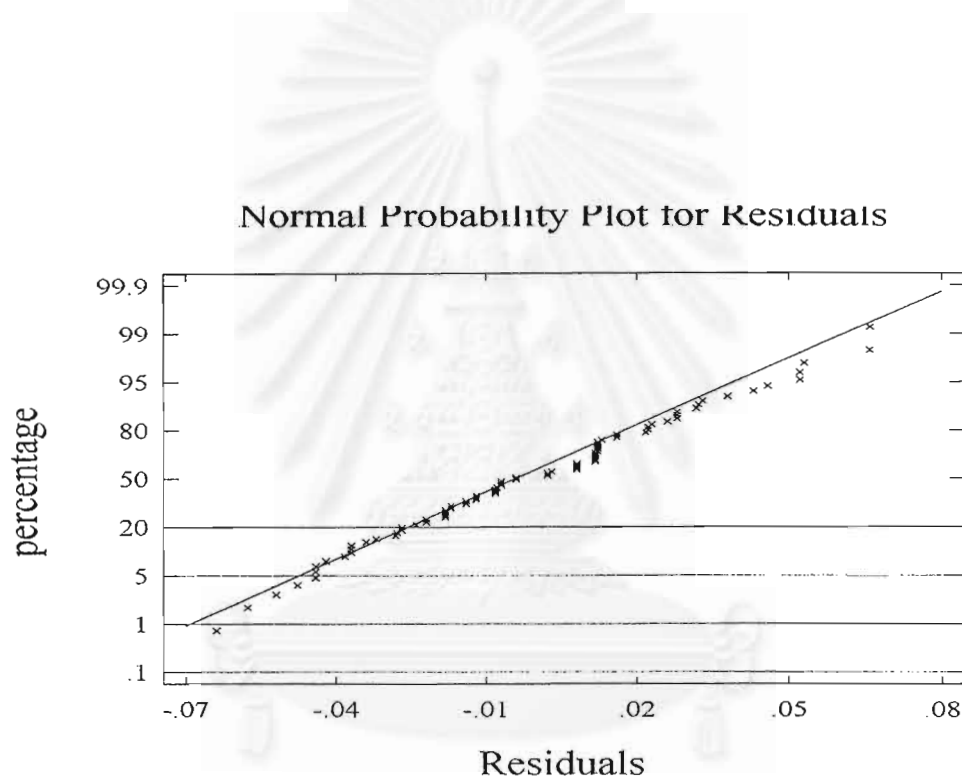
โดยที่ D คือ อัตราการป้อนล่อนใยระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ  
E คือ เวลาหยุดหลังจากผ่านการเจียรระไนในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ  
ซึ่งมีค่าเท่ากับ -1, 0 และ 1

หากทำการพิจารณาให้ละเอียดขึ้นนั้นจะพบว่าตัวแบบใหม่นั้นเหมาะสม มากกว่าตัวแบบเก่า ทั้งนี้เนื่องจากค่า  $SS_E$  มีค่าลดลงมากกว่าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของตัวแบบเดิม  $MS_E$  ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของตัวแบบใหม่ มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของตัวแบบเดิม และจากค่า R-squared ซึ่งมีค่าเท่ากับ 43.69 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้สามารถอ้างอิงได้จาก ทฤษฎีในหัวข้อที่ 2.3, 2.5 และ 2.6 นั่นคือ ความหยابผิวของชิ้นงานนั้นขึ้นอยู่กับอิทธิพลต่างๆมากมาย และที่สำคัญก็คือ รูปร่าง ขนาด และรูปทรงทางเรขาคณิตหรือมุมต่างๆ ของเม็ดขัด ซึ่งเม็ดขัดจะมีการกระจายตัวในลักษณะแบบสุ่ม (Random) นอกจากนี้ยังมีการสึกหรอของล่อนใยระไน และ มีการตกแต่งล่อนใยระไนโดยล่อนใยเอง (Self Dressing) ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการผลิตค่อนข้างสูง หรือไม่สามารถทำการควบคุมอิทธิพลดังกล่าวข้างต้น

## 4.8 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบใหม่

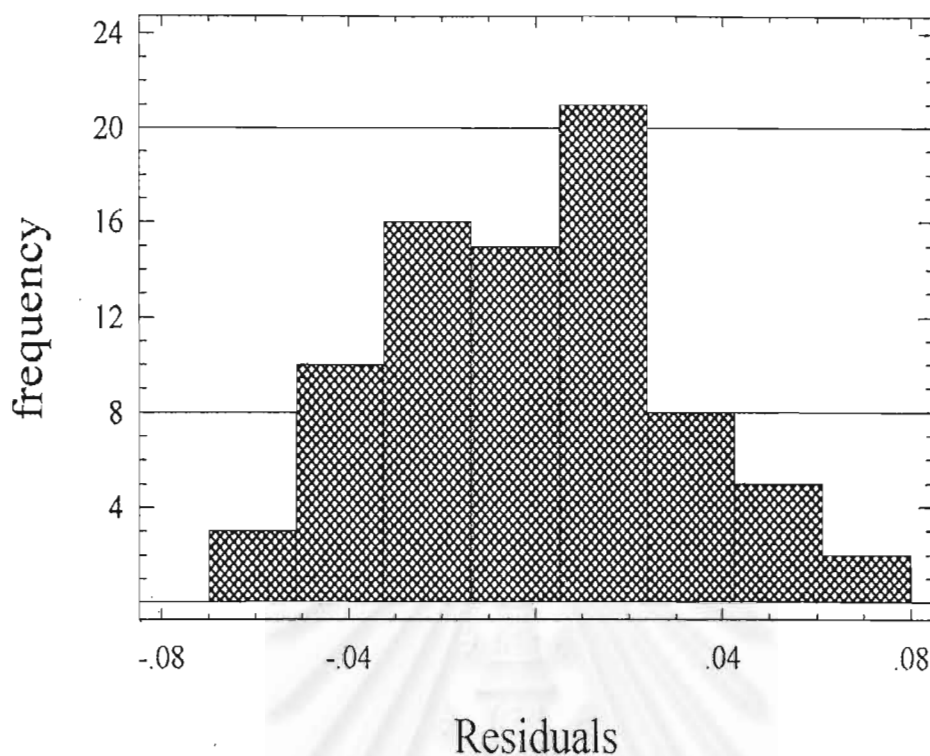
เพื่อทำการยืนยันความถูกต้อง และ เชื่อถือได้ของข้อมูลนั้นจะต้องนำข้อมูลมา ทำการตรวจสอบความถูกต้องของ ข้อสมมติที่สำคัญ คือ ความคลาดเคลื่อน (Errors) ที่เกิดขึ้นเป็น ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสาเหตุทางด้านรีพีทะบิลิตี้ (Repeatability) ของการทดลองจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข 3 ประการ เช่นเดิม คือ

4.8.1.ความเป็นปกติ (Normality) ซึ่งผลได้แสดงไว้ใน รูปที่ 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.11 กราฟ Normal Probability Plot ของค่าเศษเหลือ(Addition of Center Points to  $2^2$  Design)

## Histogram for Residuals

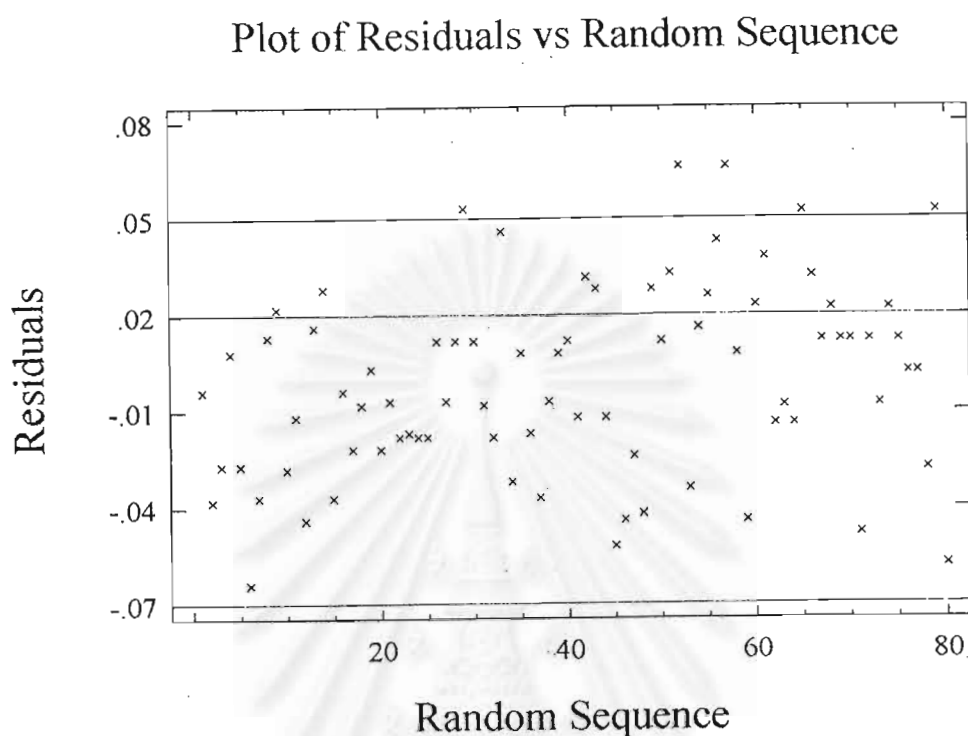


รูปที่ 4.12 แผนภูมิแท่ง (Histogram) ของค่าเศษเหลือ (*Addition of Center Points to 2<sup>2</sup> Design*)

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่ออกมาสามารถประมาณเป็นเส้นตรงได้ แสดงว่า ข้อมูลชุดนี้มีลักษณะรูปแบบ การกระจายแบบปกติ และ จากรูปที่ 4.12 สามารถแสดง การกระจายตัวของค่าเศษเหลือที่มีลักษณะการกระจายใกล้เคียงกับการกระจายตัวแบบปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.8.2.ความเป็นอิสระ (Independence) ซึ่งผลได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.13

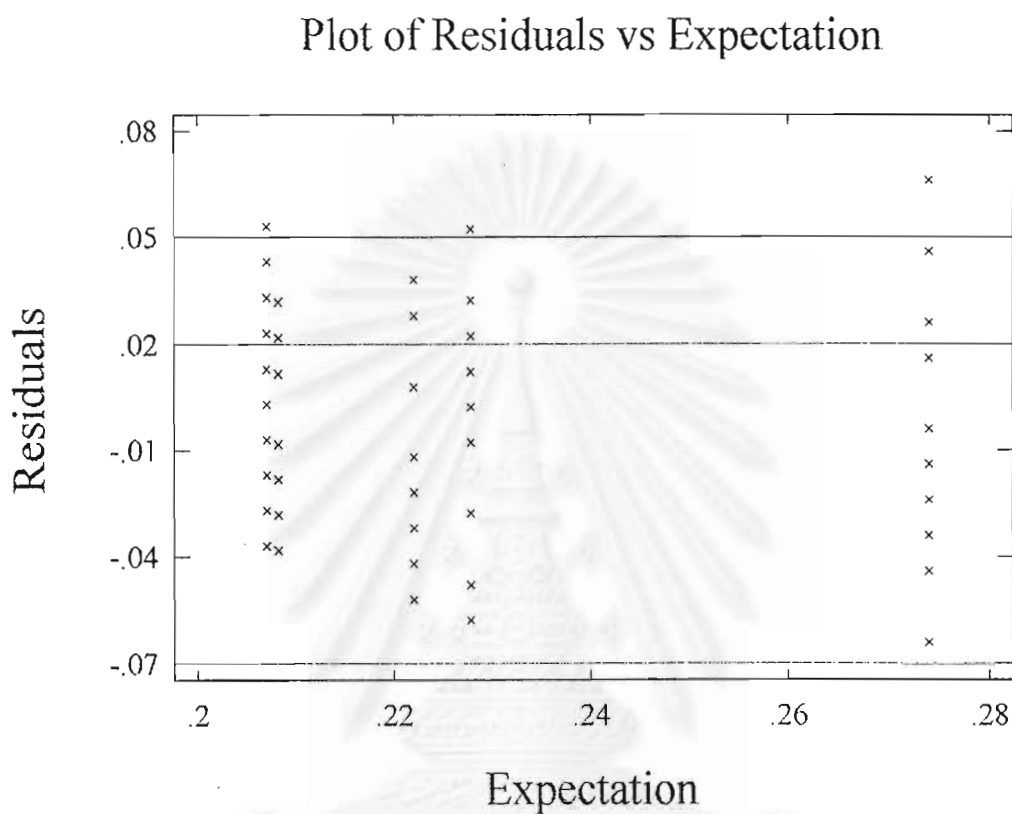


รูปที่ 4.13 แผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยเหลือ กับลำดับการทดลอง  
(Addition of Center Points to  $2^2$  Design)

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า แผนภาพการกระจายที่ออกมานั้นมีลักษณะที่ไม่แน่นอน และไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงว่า ข้อมูลชุดนี้มีความเป็นอิสระต่อกัน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.8.3.ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) ซึ่งผลได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยเหลือ กับค่าควรจะเป็นของตัวแปรตอบสนอง ( $\hat{R}_a$ ) (Addition of Center Points to  $2^2$  Design)

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า แผนภาพการกระจาย ที่ออกมาไม่มีลักษณะ ลู่เข้า หรือ ลู่ออก แสดงว่า ข้อมูลชุดนี้มีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



#### 4.9 ค่าคาดหมายความหยาบผิวเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้จากตารางที่ 4.13 สามารถทำการสรุปออกมาเป็นรูปแบบของสมการถดถอยแสดง ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อ ความหยาบผิวเฉลี่ย คือ

$$\hat{Ra} = 0.2278 + 0.0127D + 0.0202E + 0.0133DE$$

เพื่อให้ได้คุณภาพผิว(ความหยาบผิวเฉลี่ย) ที่ดีขึ้นสำหรับชิ้นงานทดสอบ เราควรที่จะปรับค่าอัตราการป้อนล้อหินเจียรระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ (D) และเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรระไนในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ (E) ให้อยู่ในระดับต่ำทั้งสองปัจจัย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0699 เส้นผ่านศูนย์กลางมิลลิเมตรต่อนาที และ 2.8326 วินาที ตามลำดับ ทั้งนี้ในกรณีที่ใช้ค่าอัตราการป้อนล้อหินเจียรระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษในระดับสูงจะทำให้ชิ้นงานมีโอกาสที่จะไม่กลม (Roundness) สูง (ดังแสดงในรูปที่ 2.4) หรืออาจพิจารณาได้จากรูปที่ 4.15 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ณ.ค่าอัตราการป้อนล้อหินเจียรระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ (D) ในระดับต่ำจะให้ค่าคาดหมายเฉลี่ยสำหรับค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานมีค่าต่ำกว่า ค่าคาดหมายเฉลี่ยสำหรับค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานที่ตั้งค่าอัตราการป้อนล้อหินเจียรระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ (D) ในระดับสูง และมีค่าความแตกต่างของค่าคาดหมายความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำเช่นกัน เมื่อพิจารณาอิทธิพลของเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรระไนในช่วงการเจียรระไนละเอียดพิเศษ(E) สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของข้อมูลในระดับต่ำของอิทธิพลทั้งสองนั้นมีการกระจายตัวอยู่ในช่วงที่แคบกว่าการกระจายตัวของข้อมูลในระดับต่างๆของอิทธิพลทั้งสอง

ดังนั้นจึงแนะนำให้ปรับอิทธิพลทั้งสองให้อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งจะให้ค่าคาดหมายความหยาบผิวเฉลี่ย,  $\hat{Ra}$  (D=-1,E=-1) นอกจากนี้มีความจำเป็นที่จะต้องทำการหาช่วงความเชื่อมั่นของ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยคาดหมาย  $\hat{Ra}$  (D=-1,E=-1) นี้ด้วย ซึ่งได้ค่าคาดหมาย และ ช่วงของค่าคาดหมายของค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ดังนี้

ค่าคาดหมายความหยาบผิวเฉลี่ย จะได้ว่า

$$\hat{Ra} (D=-1,E=-1) = 0.21 \quad \text{ไมโครเมตร}$$

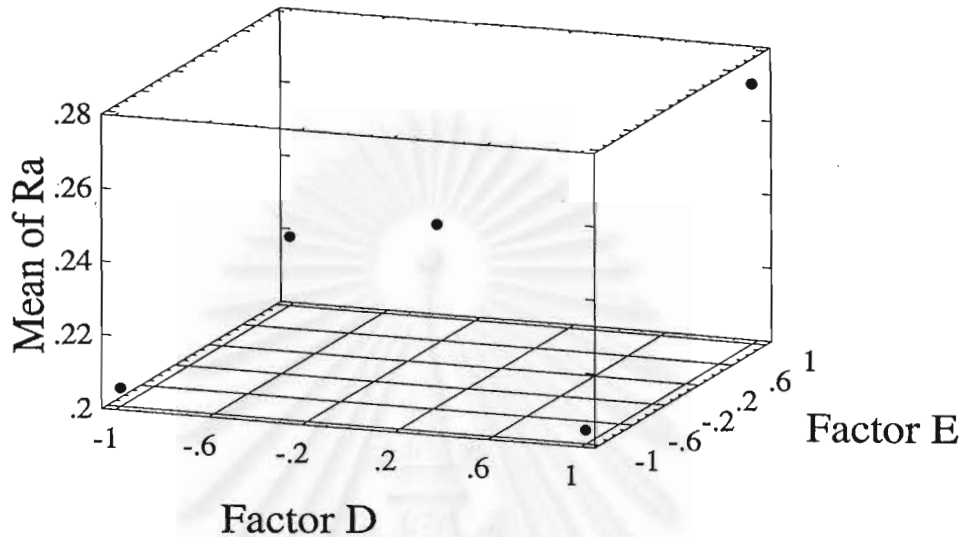
และ ช่วงความเชื่อมั่น 95% ของค่าคาดหมายความหยาบผิวเฉลี่ย สำหรับค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน จะได้ว่า

$$\hat{Ra}(D=-1, E=-1) = 0.21 \pm 0.06 \quad \text{ไมโครเมตร}$$

หรือ

$$0.15 \leq \hat{Ra}(D=-1, E=-1) \leq 0.27 \quad \text{ไมโครเมตร}$$

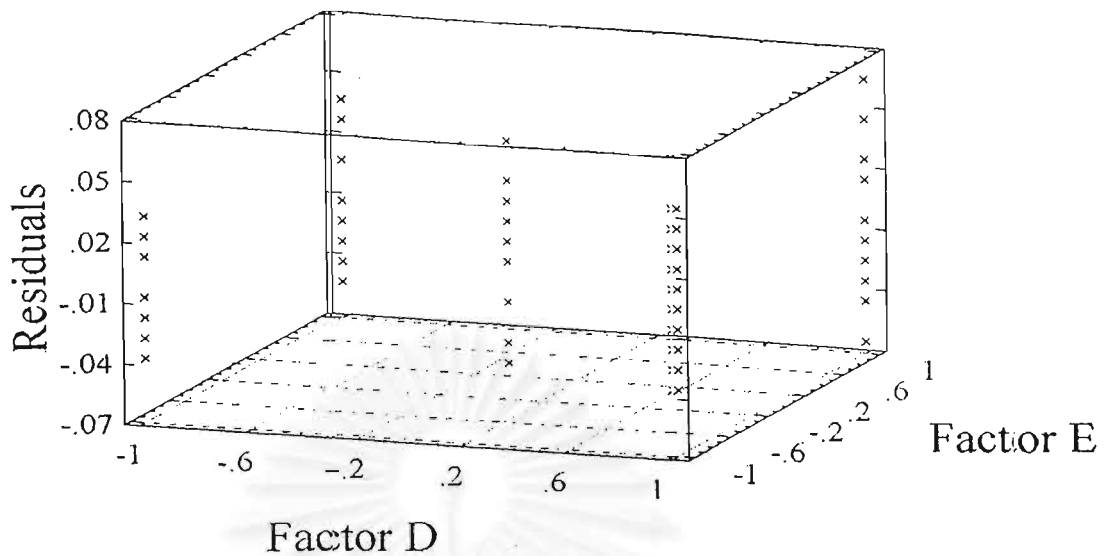
Plot of Mean of Ra vs Factor D and Factor E



รูปที่ 4.15 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาดหมายเฉลี่ย สำหรับค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน กับ ระดับของอัตราการบินเจียรในเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรในละเอียดพิเศษ (D) และ ระดับของเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรในในช่วงการเจียรในละเอียดพิเศษ (E)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Plot of Residuals vs Factor D and Factor E



รูปที่ 4.16 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือ กับ ระดับของอัตราการป้อนล้อยิน เจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (D) และ ระดับของเวลาหยุดหนึ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (E)

สำหรับช่วงความเชื่อมั่น 95% ของค่าคาดหมายเฉลี่ย สำหรับค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน จำนวน 10 ชิ้นงาน จะได้ว่า

$$\bar{Ra}(D=-1, E=-1) = 0.21 \pm 0.01 \quad \text{ไมโครเมตร}$$

หรือ

$$0.20 \leq \bar{Ra}(D=-1, E=-1) \leq 0.22 \quad \text{ไมโครเมตร}$$

และ เพื่อเป็นการยืนยันอีกครั้งได้มีการทำการทดลองเพิ่ม ในเงื่อนไขที่ว่า ปรับค่าอัตราการป้อนล้อยินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (D) และ เวลาหยุดหนึ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ (E) ให้อยู่ในระดับต่ำทั้งสองปัจจัย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0699 เส้นผ่านศูนย์กลางมิลลิเมตรต่อนาที และ 2.8326 วินาที ตามลำดับ ส่วนปัจจัยที่เหลือที่ไม่เกี่ยวกับค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน จำนวนทั้งสิ้น 10 ชิ้นงาน ซึ่งได้ผลการเจียรไนภายใต้เงื่อนไขข้างต้นดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงผลการเจียรไนภายใต้เงื่อนไข ( $D = -1, E = -1$ )

ชั้นงานเจียรไนที่	ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย	ชั้นงานเจียรไนที่	ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย
1	0.19	6	0.18
2	0.17	7	0.18
3	0.22	8	0.21
4	0.20	9	0.23
5	0.24	10	0.18

จากตารางที่ 4.14 ได้ค่าเฉลี่ยของความหยาบผิวเฉลี่ย = 0.20 ไมโครเมตร และพบว่าค่าต่าง ๆ นั้นอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัย หรืออาจทำการพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวเฉลี่ยที่ได้จากสมการถดถอย กล่าวคือ สมการถดถอยมีความถูกต้อง 95.24 เปอร์เซ็นต์

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ

จากการทำการทดลองเพื่อทำการศึกษาหาอิทธิพลของสภาวะการตัดที่มีผลกระทบต่อค่าความหยابผิวของชิ้นงาน ที่ผ่านกระบวนการเจียระไนทรงกระบอก (แบบยื่นศูนย์) สามารถทำการสรุปผลการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย การประยุกต์ใช้ ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยค้นคว้าเพิ่มเติม ได้ดังนี้

#### 5.1. ข้อสรุปผลการวิจัย

5.1.1. รายการสภาวะการตัดที่ไม่สามารถทำการยืนยันได้ว่ามีผลกระทบต่อ ค่าความหยابผิวเฉลี่ยของชิ้นงานตัวอย่าง ในช่วงของค่าสภาวะการตัดที่ทำการวิจัย คือ

- 5.1.1.1. ความเร็วรอบของชิ้นงานในช่วงการเจียระไนหยาบ
- 5.1.1.2. ความเร็วรอบของชิ้นงานในช่วงการเจียระไนขั้นสุดท้าย
- 5.1.1.3. อัตราการป้อนล้อหินเจียระไนในช่วงการเจียระไนหยาบ
- 5.1.1.4. อัตราการป้อนล้อหินเจียระไนในช่วงการเจียระไนละเอียด
- 5.1.1.5. รวมถึงอิทธิพลร่วมของปัจจัยดังกล่าวข้างต้น

5.1.2. รายการสภาวะการตัดที่มีผลกระทบต่อ ค่าความหยابผิวเฉลี่ยของชิ้นงานตัวอย่าง ในช่วงของค่าสภาวะการตัดที่ทำการวิจัย คือ

- 5.1.2.1. อัตราการป้อนล้อหินเจียระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษ
- 5.1.2.2. เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียระไนในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษ
- 5.1.2.3. รวมถึงอิทธิพลของปัจจัยทั้งสองข้างต้น

เมื่อพิจารณาเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียระไน ในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษในระดับต่ำ หรือ ใช้เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียระไนในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษนานขึ้นนั้น ไม่ว่าจะค่าอัตราการป้อนล้อหินเจียระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษจะอยู่ในระดับใดก็ตาม จะให้ค่าความหยابผิวเฉลี่ยที่น้อย และมีการกระจายตัวไม่มากนัก หรืออาจกล่าวได้ว่าเมื่ออัตรา

การป้อนลัทธิเจียระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษอยู่ในระดับสูง หรือป้อนหนัก (เร็ว) จะทำให้รอยตัดซึ่งเกิดจากเม็ดขัดมีลักษณะลึก (หรือมียอดสูง) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 หากใช้เวลาในการหยุดนิ่งหลังการเจียระไนในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษอยู่ในระดับสูง หรือใช้เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียระไนในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษไม่นานพอที่จะให้เม็ดขัดเม็ดอื่นๆไม่ทันหมุนมาทำการกำจัดยอดของรอยตัด ส่งผลให้ผิวของชิ้นงานมีลักษณะหยาบ หรือมีค่าความหยาบผิวสูง

ถึงอย่างไรก็ตาม สมการแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ( $\bar{Ra} = 0.2278 + 0.0127D + 0.0202E + 0.0133DE$ ) สามารถที่จะทำนายทิศทางของค่าความหยาบผิวเฉลี่ย แต่ไม่เหมาะสมที่จะนำมาประมาณค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ทั้งนี้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าค่อนข้างน้อย คือ  $R^2 = 0.4369$  หรืออีกนัยหนึ่งคือ สามารถที่จะทำการอธิบายความแปรปรวนของค่าความหยาบผิวเฉลี่ย ได้เพียง 43.69 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความแปรปรวนทั้งหมดของการทดลองชุดนี้เท่านั้น ทั้งนี้สามารถทำการวิเคราะห์ได้จาก ทฤษฎีในหัวข้อที่ 2.3, 2.5 และ 2.6 นั่นคือ ความหยาบผิวของชิ้นงานนั้นขึ้นอยู่กับ อิทธิพลต่างๆมากมาย และที่สำคัญก็คือ รูปร่างของเม็ดขัด ขนาด และรูปทรงทางเรขาคณิตหรือมุมต่างๆของเม็ดขัด ซึ่งเม็ดขัดจะมีการกระจายตัวในลักษณะแบบสุ่ม (Random) นอกจากนี้ยังมีการสึกหรอของลัทธิเจียระไน และ มีการตกแต่งลัทธิเจียระไนโดยลัทธิเอง (Self Dressing) ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการผลิตค่อนข้างสูง หรือไม่สามารทำการควบคุมอิทธิพลดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นเพื่อความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือมากขึ้นนั้นคือจะต้องทำการทดลองเพิ่มขึ้น และใช้เวลาทำการทดลองนานๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 5.2. ประโยชน์ที่ได้จากผลการวิจัย และการประยุกต์ใช้

จากผลการวิจัยนี้ ทำให้ทราบถึงอิทธิพลที่มีผลกระทบต่อ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานนั้นคือ

5.2.1. อัตราการป้อนล้อยินเจียรไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ

5.2.2. เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียรไนในช่วงการเจียรไนละเอียดพิเศษ

ซึ่งจะทำการปรับปรุงปัจจัยทั้งสอง ส่วนปัจจัยที่ทำการศึกษาอื่นนั้นไม่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิว เฉลี่ยนั้นสามารถปรับ เพื่อให้ใช้เวลาในการเจียรไนนั้นน้อยลงได้

ในอดีตก่อนที่จะมีการทำการวิจัยนี้ นั้นไม่ทราบถึงอิทธิพลที่มีผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวเฉลี่ย นั้นคือพนักงานจะกระทำการปรับ ความเร็วรอบของชิ้นงานทั้งในช่วงการเจียรไนหยาบ และ ในช่วงการเจียรไนในขั้นสุดท้ายให้เร็วขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสการเกิดข้อบกพร่องของผิวชิ้นงาน เช่น รอยไหม้ (Discoloration) หรือ รอยขีดข่วน (Chatter Marks) ซึ่งเกิดจากการไถล (Slip) ระหว่าง ล้อยินเจียรไน กับชิ้นงาน และ ไม่ได้ทำให้ใช้เวลาในการเจียรไนลดลงแต่อย่างใด นอกจากนี้ ยังมีการปรับอัตราการป้อนล้อยินเจียรไนเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงการเจียรไนต่างๆ ให้มีค่าต่ำลง หรือป้อนช้า ซึ่งส่งผลให้ใช้เวลาในการเจียรไนเพิ่มสูงขึ้น ทั้งๆที่อัตราการป้อนล้อยินเจียรไนเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงการเจียรไนหยาบ และในช่วงการเจียรไนละเอียดไม่ได้ส่งผลให้ คุณภาพผิว หรือความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานดีขึ้นเลย เปรียบเสมือนกับสูญเสียเวลาในการเจียรไนโดยเปล่าประโยชน์ นั้นคือ 31.58 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และยังเป็น การเพิ่มแรงที่ใช้ในการเจียรไนซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการสึกหรอของเม็ดขัด หรือการหลุดออกของเม็ด (ซึ่งจะส่งผลให้ไม่สามารถทำการควบคุมข้อมูลได้ อาจมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้น)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงถึง การเปรียบเทียบ สภาวะการตัด และ เวลาที่ใช้ในการเจียรในทั้ง ก่อนและหลังการทดลอง

สภาวะการตัด สำหรับการเจียรในทรงกระบอก	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง
ความเร็วรอบของชิ้นงาน ในช่วงการเจียรในหยาบ (Rough Grinding Work Spindle Speed (r.p.m.))	339	403
ความเร็วรอบของชิ้นงาน ในช่วงการเจียรในขั้นตอนสุดท้าย (Finish Grinding Work Spindle Speed (r.p.m.))	233	296
อัตราการป้อนล้อหินเจียรในเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงของการเจียรในหยาบ (Rough Grinding Feed Rate ( $\phi mm / min.$ ))	1.0594	1.9069
อัตราการป้อนล้อหินเจียรในเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงของการเจียรในละเอียด (Fine Grinding Feed Rate ( $\phi mm / min.$ ))	0.1200	0.2400
อัตราการป้อนล้อหินเจียรในเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงของการเจียรในละเอียดพิเศษ (Micro Grinding Feed Rate ( $\phi mm / min.$ ))	0.0699	0.0699
เวลาหยุดหลังจากการเจียรในชิ้นงาน ในช่วงของการเจียรในละเอียดพิเศษ (Feed Stop after Micro Grinding (sec.))	2.8326	2.8326
เวลาที่ใช้ในการเจียรในชิ้นงานตัวอย่าง	1นาที่ 16วินาที	52วินาที



### 5.3. ข้อเสนอแนะ และ แนวทางการวิจัยค้นคว้าเพิ่มเติม

สำหรับข้อเสนอแนะ และ แนวทางการวิจัยเพิ่มเติม เพื่อที่จะได้มีการพัฒนาปรับปรุงความก้าวหน้าทั้งทางด้านการผลิต และ การวิจัย อีกทั้งเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และ ผู้สนใจสามารถกระทำเพิ่มเติมได้ดังนี้

5.3.1. การทดลองนี้เป็นแนวทางในการหาอิทธิพล ของสภาวะการตัด และ ค่าที่เหมาะสม สำหรับวิธีการเจียรระไนแบบพลันในกระบวนการเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยันศูนย์) ภายใต้เงื่อนไขการทดลองเท่านั้น หากเปลี่ยนชิ้นงานที่ทำการศึกษา หรือ เงื่อนไขการทดลองต้องทำการทดลองเพิ่มเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการเจียรระไน นอกจากนี้ควรทำการทดลองอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากอาจจะพบปัจจัยอื่นๆเข้ามาอีก

5.3.2. จากผลงานวิจัยของ Hiroshi, N., Heiji, Y., Makato, K. และ Akira, H. [5] ซึ่งได้แสดงถึง การกระจายตัวของมุมตัดบนผิวของล้อหินเจียรระไนนั้น มีความสัมพันธ์กับความ สามารถในการเจียรระไนของล้อหินเจียรระไน นอกจากนี้ยังแสดงถึงอิทธิพลของการตกแต่งล้อหินเจียรระไน (Dressing) ที่มีผลต่อการกระจายตัวของมุมตัด ซึ่งสามารถทำการควบคุมการกระจายตัวของมุมตัดได้เพียงแต่ในช่วงกว้างๆ เท่านั้น ดังนั้นคาดว่าอิทธิพลหลักที่มีผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงาน นั้นคือ ล้อหินเจียรระไนเอง จึงเหมาะที่จะทำการศึกษาถึงอิทธิพลของล้อหินเจียรระไน ในประเภทต่างๆ ลักษณะการกระจายตัวของมุมตัดของเม็ดขัด และ ลำดับของชิ้นงานต่างๆ ที่ผ่านการเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยันศูนย์) หลังการตกแต่งล้อหินเจียรระไน ว่ามีอิทธิพลต่อความหยาบผิวเฉลี่ยหรือไม่ อย่างไร

5.3.3. การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของสภาวะการตัด เฉพาะวิธีการเจียรระไนแบบพลัน (Plunge Grinding Method) เท่านั้น ซึ่งหากมีการศึกษาถึงอิทธิพลของสภาวะการตัด ในวิธีการเจียรระไนแบบเลื่อนขวาง (Traverse Grinding Method) และวิธีการเจียรระไนแบบผสม (Plunge and Traverse Grinding Method) จะทำให้ได้ความรู้ และ แนวทางการเลือกใช้วิธีการเจียรระไนแบบต่างๆ ที่ค่อนข้างครอบคลุม กระบวนการผลิตด้วยวิธีการเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยันศูนย์)

5.3.4. การทดลองนี้ใช้น้ำยาหล่อเย็น คือ โซลคัท 763 เอ็ม ซึ่งเป็นน้ำยาหล่อเย็นชนิดสังเคราะห์เท่านั้น ดังนั้นหากมีการศึกษาถึงอิทธิพลของน้ำยาหล่อเย็น ว่ามีผลกระทบต่อคุณภาพผิว หรือ ค่าความหยาบผิวอย่างไร รวมถึงการศึกษาถึงอิทธิพลต่างๆ ที่ทำการกำหนดไว้อย่างแน่นอน อย่างเช่น ชนิดของวัสดุ ความแข็งของวัสดุ ขนาดของชิ้นงาน รูปร่างของชิ้นงาน เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

1. Instruction Manual. (1995). Operation Manual GE4A CNC Cylindrical Grinder. Toyota Machine Works, Ltd.
2. Houghton, P. S. (1963). Grinding Wheels and Machines. London: E & F. N. Spon, Ltd.
3. Arshinov, V. and Alekseev, G. (1976). Metal Cutting Theory and Cutting Tool Design. Moscow: Mir Publishers.
4. Jilani, S. T. and P. C. Pandey. (1984). Experimental Investigations into the Performance of Water as Dielectric in EDM. International Journal Of Machine Tool Design and Research. 24(1): 31-34.
5. Hiroshi, N., Heiji, Y., Makato, K. และ Akira, H. (1990). Studies on dressing of the resin-bond CBN grinding wheel (1<sup>st</sup> report) An Investigation of Cutting Edge Distribution. Bolletín of the Japan Society of Precision Engineering. 24(1): 51-56.
6. บรรยงค์ จงไทยรุ่งเรือง. (2537). การศึกษาความสัมพันธ์ของส่วนโค้งปลายมีด ความลึกในการตัด และอัตราการเดินมีดที่มีผลต่อความเรียบผิว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
7. สมเจตน์ สิงห์พันธ์. (2533). ผลของเงื่อนไขการแปรรูปโลหะที่ใช้วิธีอีดีเอ็มที่มีต่อลักษณะเฉพาะของกรรมวิธี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
8. โฆษิต สุขก้องวารีย์. (2541). อิทธิพลของอุณหภูมิต่อโฟลว์ไลน์ และโคลด์ชัตในกระบวนการฉีดอะลูมิเนียมแบบไดแคสติง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
9. นิธิ บุรณจันทร์. (2533). การกำหนดสภาวะการตัดที่ให้ผลดีที่สุดในกระบวนการกลึงทรงกระบอก. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
10. Ancell, C. T. and Taylor, J. (1963). The Surface Finishing Properties of Carbide and Ceramic Cutting Tools. Advances in Machine Tool Design and Research. Pergamon Press.
11. บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ. และ วิรุพห์ มังคะวิรัช. (2518). ทฤษฎีงานเครื่องมือกล. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซี. ยอจ เวสเตอร์มานน์ จำกัด
12. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. และ จันทนา จันทโร. (2529). สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

13. Montgomery, D. C. (1997). Design and Analysis of Experiments. 4<sup>th</sup> ed. Singapore: John Wiley & Sons.
14. Hines, W. W. and D. C. Montgomery. (1990). Probability and Statistics in Engineering and Management Science. Singapore: John Wiley & Sons.
15. Box, G. E. P. and R. D. Meyer. (1986). An Analysis of Unreplicated Fraction Factorials. Technometric. Vol. 28:11-18.
16. กัลยา วาณิชย์ปัญญา. (2539). การวิเคราะห์ด้วย SPSS for Windows. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
17. วชิระ มีทอง. (2523). วิศวกรรมการวัดละเอียด. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
18. มานพ ตันตระบัณฑิตย์. (2539). เขียนแบบวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
19. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2539). สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
20. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2540). สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม2. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
21. Popov, S. , Dibner, L. and Kamenkovich, A. (1972). Sharpening of Cutting Tools. Moscow: Mir Publisher.
22. Robert, E. Green. (1995). Machinery 's Handbook. 25<sup>th</sup> ed. New York: Industrial Press Inc.
23. Warren, T. White. , John, E. Neely. , Richard, R. Kibbe. And Roland, O. Meyer. (1987). Machine Tools And Machining Practices. John Wiley & Sons.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

## ก.1 วิธีการคำนวณค่า Rigidity

กำหนดให้ Rigidity = A

$$A = \frac{\text{Overall length of workpiece rigidity}}{\text{Average value of workpiece diameter}}$$

ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงถึงค่า Rigidity

Value " A "	Rigidity	Setting
8 or Smaller	Large	1
8 – 12	Medium	2
12 or Larger	Small	3

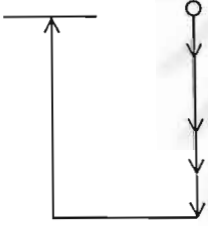
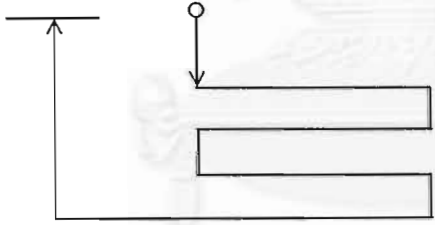
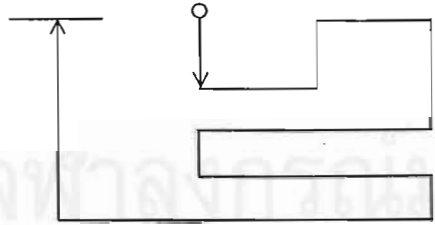
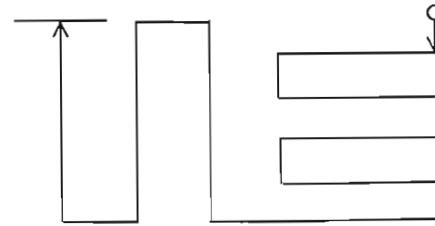
## ก.2 วิธีการเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยื่นศูนย์กลาง) แบบต่าง ๆ

วิธีการเจียรระไนทรงกระบอก ด้วยเครื่องเจียรระไนทรงกระบอก (แบบยื่นศูนย์กลาง) สามารถแบ่งได้ออกเป็น 4 วิธี คือ

1. วิธีการเจียรระไนแบบพลัน (Plunge Grinding Method)
2. วิธีการเจียรระไนแบบเคลื่อนขวาง (Traverse Grinding Method)
3. วิธีการเจียรระไนแบบผสม (Plunge and Traverse Grinding Method)
4. วิธีการเจียรระไนแบบไหล่เดอร์ (Shoulder Grinding Method)

ซึ่งในแต่ละวิธีสามารถอธิบายได้ด้วยตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ตารางแสดงถึงวิธีการเจียรระไนแบบต่างๆ สำหรับการเจียรระไน ทรงกระบอก (แบบยื่นศูนย์กลาง)

	<p>วิธีการเจียรระไนแบบพลัน (Plunge Grinding Method)</p>
	<p>วิธีการเจียรระไนแบบเคลื่อนขวาง (Traverse Grinding Method)</p>
	<p>วิธีการเจียรระไนแบบผสม (Plunge and Traverse Grinding Method)</p>
	<p>วิธีการเจียรระไนแบบไหล่เดอร์ (Shoulder Grinding Method)</p>

### ก.3 ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเจียรระไนทรงกระบอกอัตโนมัติ รุ่น GE4A - 50

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ เครื่องเจียรระไนทรงกระบอกอัตโนมัติ รุ่น GE4A - 50 ที่ (ผลิตโดย TOYODA MACHINE WORK, LTD.) ซึ่งได้มีการกำหนดมาจาก TOYODA MACHINE WORK, LTD.เป็นส่วนหนึ่งของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าสภาวะการตัด และการกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่า Rigidity ดังแสดงในตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 ตารางแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าสภาวะการตัด และการกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ กับค่า Rigidity

AUTOMATIC DETERMINATING PARAMETERS	Rigidity 1	Rigidity 2	Rigidity 3
ROUGH WORK SPINDLE SPEED COEFF	317.0000	283.0000	267.0000
FINISH WORK SPINDLE SPEED COEFF	233.0000	217.0000	183.0000
TRAVERSE SPEED COMPENSATION COEFF	0.6500	0.6500	0.6500
FACE ROUGH WORK SPINDLE SPEED COEFF	350.0000	300.0000	200.0000
FACE FINISH WORK SPINDLE SPEED COEFF	250.0000	200.0000	120.0000
ATR CUT FEEDRATE COEFF	10.0000	10.0000	10.0000
ROUGH GRIND FEEDRATE COEFF	90.0000	70.0000	50.0000
FINE GRIND FEEDRATE COEFF	0.2400	0.1800	0.1200
MICRO GRIND FEEDRATE COEFF	0.0006	0.0005	0.0003
FACE AIR CUT GRIND FEEDRATE COEFF	5.0000	5.0000	5.0000
FACE ROUGH GRIND FEEDRATE COEFF	1.5000	1.0000	0.6000
AIR CUT GRIND START DIA COEFF	0.1000	0.1000	0.1000
ROUGH GRIND START DIA COEFF	0.0300	0.0300	0.0300
#2 ROUGH GRIND AMOUNT COEFF	0.0000	0.0000	0.0000
FINE GRIND AMOUNT COEFF	0.0300	0.0400	0.0500
MICRO GRIND AMOUNT COEFF	0.0080	0.0100	0.0120
FACE AIR CUT GRIND AMOUNT COEFF	0.1000	0.1000	0.1000
FACE ROUGH GRIND AMOUNT COEFF	0.0150	0.0150	0.0150
FACE FINE GRIND AMOUNT COEFF	0.0200	0.0250	0.0300

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ตารางแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ  
ค่าสภาวะการตัด และ การกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ กับค่า Rigidity

AUTOMATIC DETERMINATING PARAMETERS	Rigidity 1	Rigidity 2	Rigidity 3
FACE MICRO GRIND AMOUNT COEFF	0.0050	0.0060	0.0070
COEFF OF FEED STOP AFTER ROUGH GR	3.0000	4.0000	5.0000
COEFF OF FEED STOP AFTER MICRO GR	7.0000	9.0000	11.0000
COEFF OF FEED STOP AFTER FACE GR	2.0000	3.0000	4.0000
COEFF OF FEED STOP AFTER TRVRS GR	2.0000	2.5000	3.0000
ROUGH GR TRAVERSE SPEED COEFF	0.1700	0.1500	0.1500
FINE GR TRAVERSE SPEED COEFF	0.1500	0.1300	0.1300
MICRO GR TRAVERSE SPEED COEFF	0.1300	0.1100	0.1100
FACE FINE GR TRAVERSE SPEED COEFF	6.5000	6.0000	5.5000
FACE MICRO GR TRAVERSE SPEED COEFF	5.5000	5.0000	4.5000
RGH GR INTERMIT INFEEED COEFF	0.0100	0.0100	0.0100
FINE GR INTERMIT INFEEED COEFF	0.0050	0.0050	0.0050
MCR GR INTERMIT INFEEED COEFF	0.0020	0.0020	0.0020
FACE FINE GR INTERMIT INFEEED COEFF	0.0030	0.0030	0.0030
FACE MICRO GR INTERMIT INFEEED COEFF	0.0015	0.0015	0.0015
SPARK OUT TRAVERSE TIMES COEFF	4	5	6
FACE SPARK OUT TRAVERSE TIMES COEFF	4	5	6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ค่าพารามิเตอร์ที่ได้รับการคำนวณหลังจากการเขียนโปรแกรม ซึ่งจะให้ค่า B และ C Data ดังแสดงในตารางที่ ก.4 และ ก.5 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.4 ตารางแสดง B Data ของ โปรแกรมสำหรับชิ้นงานที่ทำการทดลอง

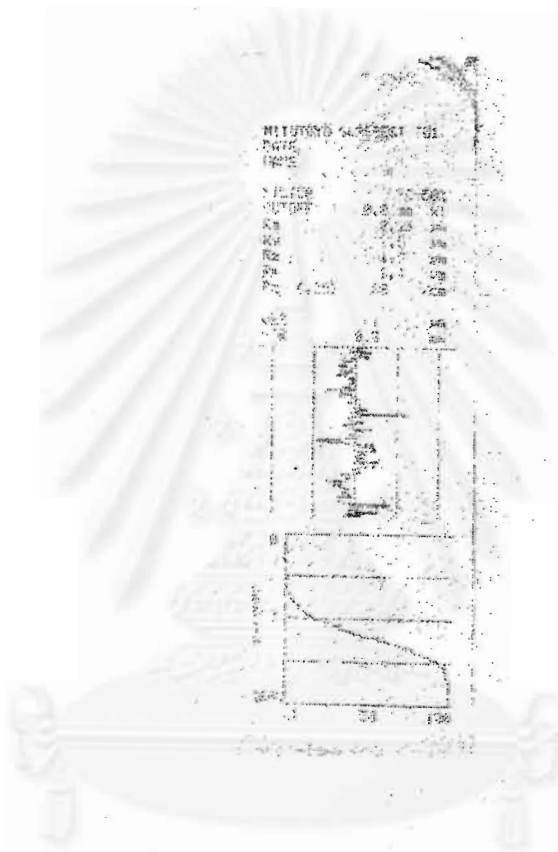
B data (Workpiece data )		Rigidity 1	Rigidity 3
B000:	TOTAL INPUT STEPS	1	2
B006:	LOCATING METHOD	1	2
B012:	DRESSING INTERVAL	0	1
B030:	MAXIMUM PART DIA.	0.0000	1.0000
B031:	PART DATUM POS.	0.0000	1.0000
B033:	PART LEFT END POS.	0.0000	1.0000
B036:	LOCATING STROKE	2.0000	3.0000
B040:	LTRL LOCATE POS. (MSTR)	383.3952	384.3952
B043:	Z - AXIS LD/UNLD POS.	535.0000	536.0000
B050:	WHEEL WARNING DIA.	330.0000	331.0000
B051:	WHEEL MINIMUM DIA.	325.0000	326.0000
B090:	LOCATING SPEED	60.0000	61.0000
B119:	Z - AXIS PSW ON	534.9000	535.9000
B120:	Z - AXIS PSW OFF	535.1000	536.1000
B136:	ROUGH GRIND Y/N	1	2
B137:	FINISH GRIND Y/N	1	2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

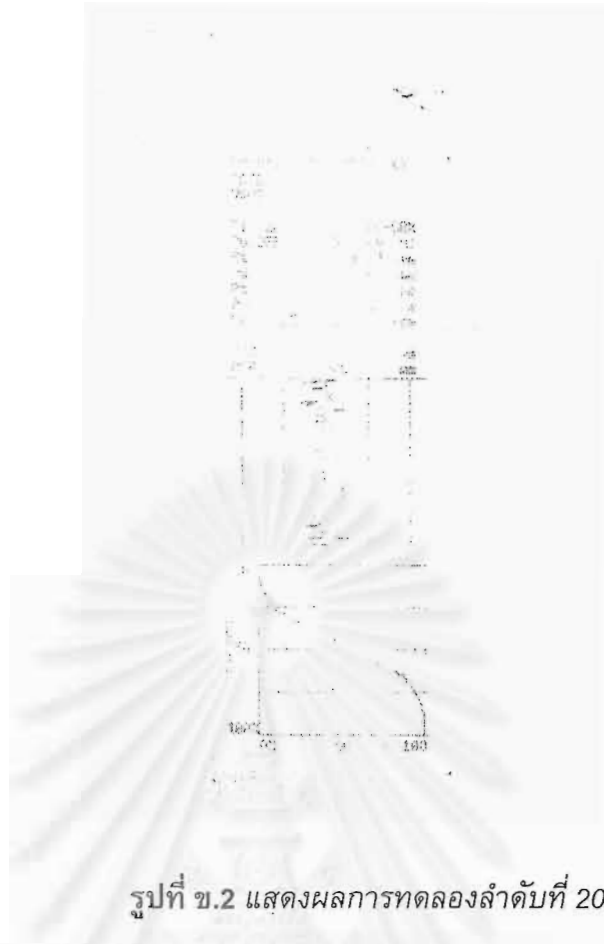
ตารางที่ ก.5 ตารางแสดง C Data ของ โปรแกรมสำหรับชิ้นงานที่ทำการทดลอง

C data (Process data )		Rigidity 1	Rigidity 3
C000:	GRINDING METHOD	1	1
C020:	RGH WK SP SPEED	403	403
C021:	FIN WK SP SPEED	296	296
C035:	TRAVERES END	0.0000	0.0000
C036:	INDEXING POSITION	377.0000	377.0000
C040:	FINISH DIAMETER	15.0235	15.0235
C041:	AIR GR START DIA.	0.5000	0.5000
C042:	RGH GRIND START DIA.	0.4300	0.4300
C044:	FIN GRIND START DIA.	0.0380	0.0620
C046:	MCR GRIND START DIA.	0.0080	0.0120
C080:	AIR CUT GR FEED RATE	10.0000	10.0000
C081:	ROUGH GRND FEED RATE	1.9069	1.0594
C083:	FINE GRND FEED RATE	0.2400	0.1200
C085:	MICRO GRND FEED RATE	0.1776	0.0699
C096:	SPARKOUT FEED RATE	4232.8000	2819.3000
C105:	CYLN SPARK OUT COUNT	0	0
C110:	FEED STOP AFTR RGH	0.4467	0.8850
C114:	FEED STOP AFTR MCR	0.4189	2.8326
C118:	RGHT STOP AFTR TRVS	0.4054	0.7725
C119:	LEFT STOP AFTR TRVS	0.4054	0.7725
C124:	ROUGH GRND OFFSET	0.0000	0.0000
C129:	FINISH GRIND OFFSET	0.0000	0.0000

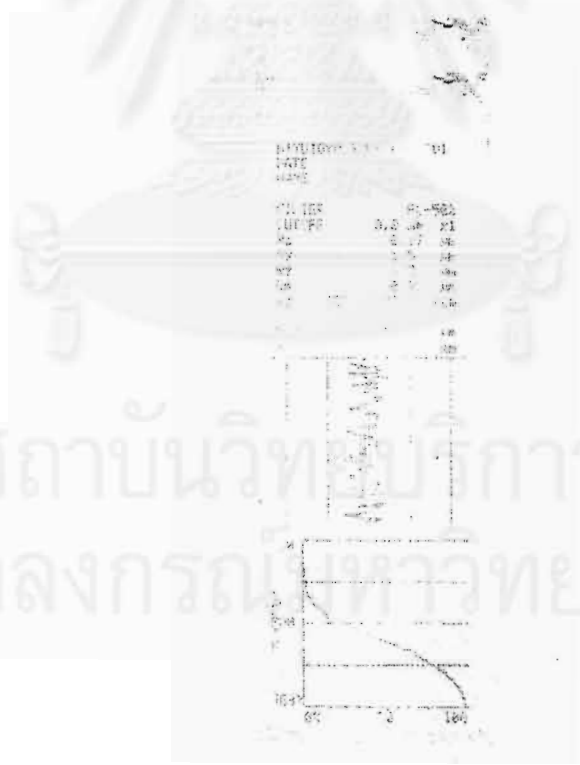
## ภาคผนวก ข

ข.1 ผลการทดลอง( $2_{IV}^{6-2}$  Design)

รูปที่ ข.1 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 9

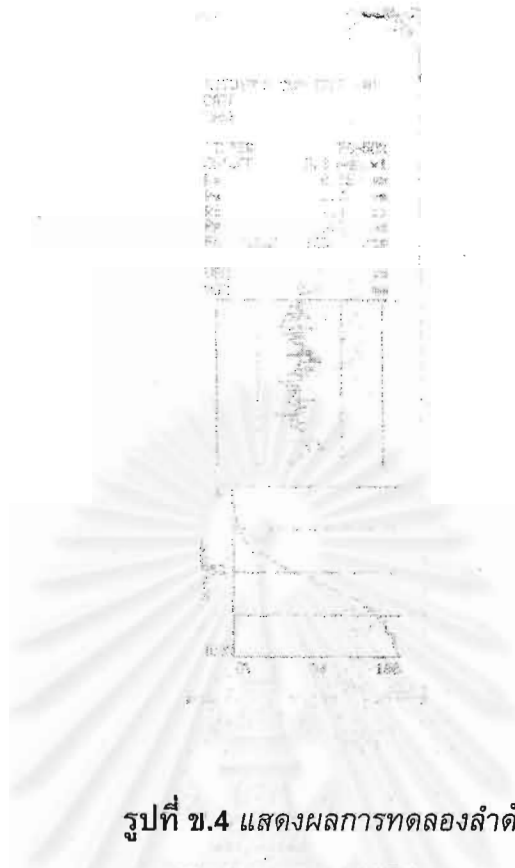


รูปที่ ข.2 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 20



รูปที่ ข.3 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 32

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๒.๔ แสดงผลการทดลองลำดับที่ ๔๘

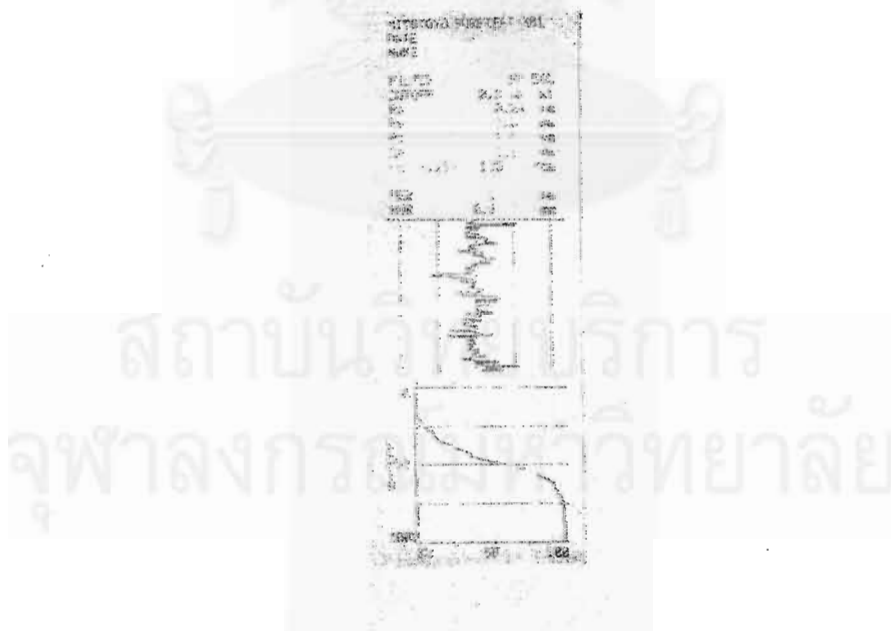


รูปที่ ๒.๕ แสดงผลการทดลองลำดับที่ ๖๔

## ข.2 ผลการทดลอง (Addition of Center Point to $2^2$ Design)



รูปที่ ข.6 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 67



รูปที่ ข.7 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 69



รูปที่ ข.8 แสดงผลการทดลองลำดับที่ 71



## ประวัติผู้เขียน

นายสุรสิทธิ์ ทองทวีชัยกิจ เกิดเมื่อวันที่ 27 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2517 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2537 จากนั้นได้เข้าทำงานในบริษัท ไทยเรดิโอเตอร์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด เป็นระยะเวลา 1ปี จากนั้นได้ย้ายมาทำงาน ณ. บริษัท เจอีพี เทคโนโลยี จำกัด จนถึงปัจจุบัน พร้อมกับได้ทำการศึกษาต่อ ในหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ณ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย