

การศึกษาตัวแปรของเครื่องกัดแนวตั้ง  
ที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน

THE STUDY OF VERTICAL MILLING MACHINE VARIABLES  
ON SURFACE ROUGHNESS

นายวีรวัฒน์ มະณี รหัส 47360524

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ...../...../.....
เลขทะเบียน..... 1 5067788 2.2
เลขเรียกหนังสือ..... ปร.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ๒๕๖๗


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
ปีการศึกษา 2552




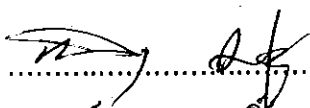
## ใบรับรองปริญญาโท

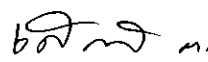
ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาตัวแปรของเครื่องกักแวนดิ่งที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน  
ผู้ดำเนินโครงการ นายวีรวัฒน์ มะณี รหัส 47360524  
ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ศรีสัจจา บุญฤทธิ  
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ  
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ  
ปีการศึกษา 2552

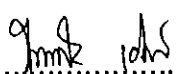
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ

  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(อาจารย์ศรีสัจจา บุญฤทธิ)

  
.....กรรมการ  
(รศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ธนา บุญฤทธิ)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์เสาวลักษณ์ ทองกลั่น)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์วัฒน์ชัย เขาวรัตน์)

ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาตัวแปรของเครื่องกัดแนวตั้งที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน  
ผู้ดำเนินโครงการ นายวีรวัฒน์ มะณี รหัส 47360524  
ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ศรีสังจา บุญฤทธิ์  
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา 2552

---

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาค่าตัวแปรของเครื่องกัดแนวตั้งที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน(ในที่นี้คือความหยาบผิวเฉลี่ย ( $R_a$ )) โดยเริ่มจากการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งในการทดลองใช้เหล็กเหนียวอุตสาหกรรม (ST 37) ขนาดกว้าง 1 นิ้ว, ยาว 4 นิ้วและหนา 1 นิ้วนำมาผ่านกระบวนการกัดและได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้แก่ อัตราป้อนของโต๊ะงาน (Feed) 40, 70 และ 100 มิลลิเมตรต่อนาทีและความเร็วรอบของดอกกัด (Speed) ที่ 340, 450 และ 680 รอบต่อนาที แล้วนำชิ้นงานไปวัดค่าความเรียบผิวด้วยเครื่องวัดความเรียบผิวยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SV-400

จากผลที่ได้พบว่าตัวแปรทั้งสองตัวแปรมีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน และอัตราป้อนของโต๊ะงานที่ 70 มิลลิเมตรต่อนาทีและความเร็วรอบของดอกกัดที่ 680 รอบต่อนาทีจะส่งผลให้ได้ค่าความเรียบผิวที่ดี โดยสามารถเขียนเป็นสมการถดถอยแบบพหุคูณคือ  $Y(R_a) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed} * \text{Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 - 0.000008 (\text{Speed})^2$  และการวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอยและค่าเฉลี่ยจากการทดลองเท่ากับ 1.94 %

**Project title**                    The study of vertical milling machine variables on surface roughness  
**Name**                                Mr. Weerawat Manee    ID. 47360524  
**Project advisor**                Mrs. Srisadja Boomyarit  
**Major**                                Industrial Engineering  
**Department**                    Industrial Engineering  
**Academic year**                2009

.....

### **Abstract**

The objective of this project is to study of vertical milling machine variables on surface roughness (in this place roughness average ( $R_a$ )). The starts of the experiments design and analysis of variance with program Minitab. In the experiments to use mild steel industries (ST 37) is 1 inch wide, 4 inch long and 1 inch thick .Operation by milling machine. And variables used in the experiments is feed rate (Feed)40 ,70 and 100 millimeter per minute and speed round of milling cutter (Speed) 340,450 and 680 round per minute. Then jobs to test by surface roughness measuring system surface texture parameter brand Mitutoyo (SV-400)

According to the experiments and analysis of variance, The effect on surface roughness were both variables .On feed rate (Feed) 70 millimeter per minute and speed round of milling cutter (Speed) 680 round per minute generates a good surface roughness. The regression is  $Y (R_a) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed} * \text{Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 - 0.000008 (\text{Speed})^2$  . And analysis results error between the regression and average results of the experiments is 1.94 percents

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณบุคคล หน่วยงาน และสถาบันที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้  
การทำโครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ทำให้  
ให้คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรมได้มีโอกาสในการทำโครงการวิศวกรรมครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ศรีสังจา บุญฤทธิ์ และอาจารย์ธนา บุญฤทธิ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา  
อธิบายและแนะนำแนวทางในการดำเนินงานโครงการวิศวกรรมและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำ  
โครงการวิศวกรรม

ขอขอบพระคุณอาจารย์ช่างประเทือง โมรราย, อาจารย์ช่างรัชชัย ชุลบุตรและอาจารย์  
ช่างไพรัช แสงส่องที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้อาคารปฏิบัติการอุตสาหการ

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ได้ให้ความอนุเคราะห์  
ในการใช้งานเครื่องกักและให้คำปรึกษา

บิดา มารดา และเพื่อนๆที่ได้คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจ แก่ผู้วิจัยตลอดมา ผู้ทำการวิจัย  
จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายวีรวัฒน์ มະณี

กุมภาพันธ์ 2553

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน.....	1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ.....	1
1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	3
2.1 เครื่องกัก.....	3
2.2 การคำนวณค่าต่างๆของเครื่องกักแนวคิ่ง.....	30
2.3 การวัดความเรียบผิว.....	34
2.4 การออกแบบการทดลอง.....	37
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	43

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	45
3.1 ศึกษาทฤษฎีการออกแบบการทดลอง.....	45
3.2 การออกแบบการทดลอง.....	45
3.3 ศึกษาส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกักแนวตั้ง.....	48
3.4 ดำเนินการทดลอง.....	49
3.5 การทดสอบการวัดความเรียบผิว.....	49
3.6 บันทึกผลการทดลอง.....	50
3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	50
3.8 สรุปผลการดำเนินการวิจัย.....	50
3.9 จัดพิมพ์รูปเล่มและนำเสนอผลการดำเนินงาน.....	50
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	51
4.1 การเก็บข้อมูลต่างๆ.....	51
4.2 การวิเคราะห์ผล.....	54
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 สรุปผล.....	63
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก ก.....	65

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	2
2.1 ความเร็วของการหมุนกัก.....	31
2.2 การส่งชิ้นงานต่อหนึ่งคมีค.....	33
3.1 ตารางการออกแบบการทดลองแบบคิ้ว โปรแกรม Minitab.....	47
3.1 (ต่อ) ตารางการออกแบบการทดลองคิ้ว โปรแกรม Minitab.....	48
3.2 ตารางบันทึกผลการทดลอง.....	48
4.1 ตารางข้อมูลที่ได้จากการทดลอง.....	51
4.2 ตารางข้อมูลที่ได้จากการออกแบบคิ้ว โปรแกรม Minitab.....	52
4.2 (ต่อ) ตารางข้อมูลที่ได้จากการออกแบบคิ้ว โปรแกรม Minitab.....	52
4.3 Analysis of Variance for $R_a$ , using Adjusted SS for Tests.....	55
4.4 Regression Analysis: $R_a$ versus อัตราป้อนของโต๊ะงาน, ความเร็วรอบของคอกกัก.....	58
4.5 Regression Analysis: $R_a$ .....	59
4.6 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอยและ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง.....	62



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะและส่วนต่างๆของ HORIZONTAL MILLING MACHINE.....	4
2.2 ลักษณะและส่วนต่างๆของ VERTICAL MILLING MACHINE.....	5
2.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของแท่นรองรับงาน.....	6
2.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ไป-มา-เข้า-ออกและขึ้น-ลงในแนวคิ่งของแท่นชุดรองรับงาน.....	6
2.5 ทิศทางการเคลื่อนที่ของแท่นรองรับงาน.....	6
2.6 ทิศทางการเคลื่อนที่ของ SADDLE.....	7
2.7 ทิศทางการเคลื่อนที่ของ KNEE.....	7
2.8 แท่นรองรับงานแบบปรับได้ + 45 องศา.....	7
2.9 แท่นรองรับงาน.....	8
2.10 ช่วยปรับให้แท่นรองรับงานหมุนเอียงได้ + 45 องศา.....	8
2.11 SADDLE.....	8
2.12 การขับเคลื่อน โต๊ะงานด้วยระบบไฮดรอลิกของเครื่องกัด.....	9
2.13 เครื่องกัดชนิดถอดเปลี่ยนหัวกัดได้.....	10
2.14 เครื่องกัดตั้งแบบมีก้านช่วยและสามารถเปลี่ยนประกอบหัวกัดได้.....	11
2.15 เครื่องกัดแนวอนที่มีหัวกัดแนวคิ่งรวมอยู่ด้วย.....	11
2.16 แสดงถึงการส่งกำลังจากมอเตอร์.....	12
2.17 แสดงการปรับเอียงมุมการทำงาน.....	12
2.18 ชื่อส่วนต่างๆของเครื่องกัดแนวคิ่งขนาดเล็ก.....	13
2.19 แสดงถึงทิศทางการทำงานของเครื่องกัดแนวคิ่งขนาดเล็ก.....	13
2.20 ชนิดของคอกกักแนวคิ่ง.....	14
2.21 ค้ำตรงคมเอียง.....	15
2.22 ค้ำมเร็วชนิด 2 คมตัด.....	15
2.23 คมสองด้าน.....	16
2.24 ชนิดของคมตัดเอียง.....	16
2.25 คมตัดเอียงแบบขึ้นรูป.....	16
2.26 การป้อนกักขวาของมีดกัดคมตัดเอียงขวา.....	17
2.27 การป้อนกักซ้ายของมีดกัดคมตัดเอียงขวา.....	17
2.28 ทิศทางการทำงานของคอกกัก.....	18
2.29 อุปกรณ์ประกอบการจับมีดคอกกัก.....	18

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 การวัดขนาดดอกกัศชนิกคมตัดข้างเดียว.....	19
2.31 การวัดขนาดดอกกัศชนิกคมตัดสองข้าง.....	19
2.32 การวัดขนาดดอกกัศปลายมน.....	19
2.33 แสดงการทำงานของดอกกัศ.....	20
2.34 หัวกัศตั้งแบบพิเศษ.....	21
2.35 ดอกกัศ END MILL แบบก้านจับตรง.....	21
2.36 ดอกกัศ END MILL แบบก้านจับเรียว.....	21
2.37 แสดงการกัดผิวในแนวคิ่ง.....	22
2.38 แสดงการกัดผิวในแนวเอียง.....	22
2.39 แสดงการกัดผิวในแนวนอน.....	22
2.40 แสดงการกัดผิวโค้ง.....	23
2.41 ดอกกัศ SLOTTING END MILL.....	23
2.42 ไข้กัศร่อง.....	23
2.43 แสดงการกัดร่องบนงานกลม.....	24
2.44 แสดงการกัดร่องน้ำมันบนเพลลา.....	24
2.45 ดอกกัศ WOODRUFF KEY.....	25
2.46 ภาพด้านหน้าดอกกัศ WOODRUFF KEY.....	25
2.47 แสดงการกัดร่องลิ้มพระจันทร์.....	25
2.48 แสดงการกัดงานผ่าในแนวนอน.....	26
2.49 แสดงการกัดงานผ่าในแนวคิ่ง.....	26
2.50 ดอกกัศ T-SLOT CUTTER.....	26
2.51 แสดงการกัดในแนวนอน.....	27
2.52 แสดงการกัดในแนวตั้งของคมตัดเอียง.....	27
2.53 แสดงการกัดในแนวตั้งของคมตัดตรง.....	27
2.54 แสดงการกัดร่องที่.....	28
2.55 ดอกกัศ DOVERALL CUTTER.....	28
2.56 แสดงการกัดร่องเอียงภายใน.....	29
2.57 แสดงการกัดร่องเอียงภายนอก.....	29

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 กราฟแสดงส่วนตักข้างของข้อมูลของการวัดความเรียบผิวของชิ้นงาน.....	54
4.2 แผนภูมิแสดงผลของปัจจัยหลัก.....	56
4.3 แผนภูมิแสดงอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย.....	57
ก.1 แสดงรายละเอียดในการปรับตั้งค่าต่างๆของเครื่อง ณ วันที่ทำการวัด.....	66
ก.2 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว.....	67
ก.3 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว.....	67
ก.4 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว.....	67
ก.5 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว.....	68
ก.6 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว.....	68
ก.7 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว.....	68
ก.8 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว.....	69
ก.9 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว.....	69
ก.10 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว.....	69

## สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

$\bar{y}$	=	ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
$\sigma^2$	=	ค่าความแปรปรวนของประชากร
$\alpha$	=	ระดับนัยสำคัญ
$\beta_0$	=	ค่าจุดตัดแกน y
$\beta_k$	=	สัมประสิทธิ์ของการถดถอยในรูปคะแนนดิบที่ k

ANOVA (Analysis of Variance) = การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Coef	=	Coefficient (ค่าสัมประสิทธิ์)
DF	=	Degree of Freedom (ขนาดของตัวแปรอิสระ)
F	=	Fisher's F Ratio (ค่าจากการแจกแจงตาราง F)
MS	=	Mean Square (ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง)
P	=	Percentage, Percentile
$R^2$	=	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
R-Square	=	สัมประสิทธิ์ภาพการตัดสินใจ
$S^2$	=	ค่าความแปรปรวนของตัวอย่าง
SS	=	Sums of Square (ผลบวกกำลังสอง)
T	=	Computed Value of t Test

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 หลักการและเหตุผล

ในช่วงระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆในประเทศไทยได้มีการพัฒนาและเติบโตอย่างรวดเร็วอันเนื่องมาจากปัจจัยหลายๆ ด้านทั้งเศรษฐกิจ การเงิน และเทคโนโลยี โดยเฉพาะเทคโนโลยีที่ทันสมัยขึ้นมีผลต่อการผลิตเป็นอย่างมากแต่การจะมีซึ่งเทคโนโลยีที่ทันสมัยก็ต้องมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่สูงตามมาด้วยแต่ก็มีอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้มีการผลิตที่มีประสิทธิภาพก็คือการทราบถึงขีดความสามารถของเครื่องจักรที่มีอยู่และใช้ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

จากการศึกษาเครื่องกัศพบว่ามีปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับความเรียบผิวของชิ้นงานเช่น ความเร็วของเครื่องขณะทำการกัด ชนิดของเหล็กที่กัด ขนาดของมีดกัด เป็นต้นด้วยเหตุนี้เราจึงทำการศึกษาเพื่อที่จะหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกัดและสะดวกในการทำงานให้มากขึ้นและเพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวที่ต้องการและเป็นแนวทางในการผลิตชิ้นงานในโรงงานอุตสาหกรรม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรในการกัดที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน

### 1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ทราบถึงตัวแปรในการกัดที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน

### 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการกัดกับความเรียบผิวของชิ้นงาน



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 เครื่องกัด (MILLING MACHINE)

##### 2.1.1 ลักษณะของเครื่องกัด

การกัดเป็นเครื่องจักรกลชนิดหนึ่ง ซึ่งการทำงานสามารถทำได้กว้างกว่าพวกเครื่องกลึง เครื่องไสและ เครื่องเจาะ งานที่ผ่านกรรมวิธีการกัดเฉือนนี้จะมีคุณภาพมากกว่างานที่เจาะ กลึงและไส เนื่องจากคมมีดกัด ระยะการป้อนตัดสามารถทำได้ดี ตลอดจนระบบกลไกต่าง ๆ ภายในเครื่องจะส่งผลทำให้ผลงานมีความประณีตสูงนอกจากนี้ตัวมีดกัดยังมีคมที่มีรูปร่างแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของการใช้งาน ตลอดจนมีอุปกรณ์ช่วยทำให้การทำงานสามารถทำได้อย่างกว้างขวางมากกว่าเครื่องจักรอื่น ๆ หลักการทำงาน ใช้การหมุนของตัวมีดกัด (CUTTER) ซึ่งติดอยู่บนเพลาหมุน จะมีฟันอยู่รอบๆ ตัวเรียกกันว่ามีดกัด (MILLING CUTTER) ซึ่งจับเคลื่อนให้เกิดการตัดเฉือนด้วยเพลา (SPINDLE) โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ดังนี้

1. ขนาดความ โดของมีดกัด (SIZE OF MILLING CUTTERS)
2. ชนิดของมีดกัด (TYPE OF MILLING CUTTERS)
3. รูปร่างของมีดกัด (SHAPE OF MILLING CUTTERS)
4. ชนิดของวัสดุงาน (TYPE OF MATERIAL)
5. ความเร็วที่ใช้ในการป้อนกัดและความเร็วของเพลา (FEED AND SPEEDS OF SPINDLE)

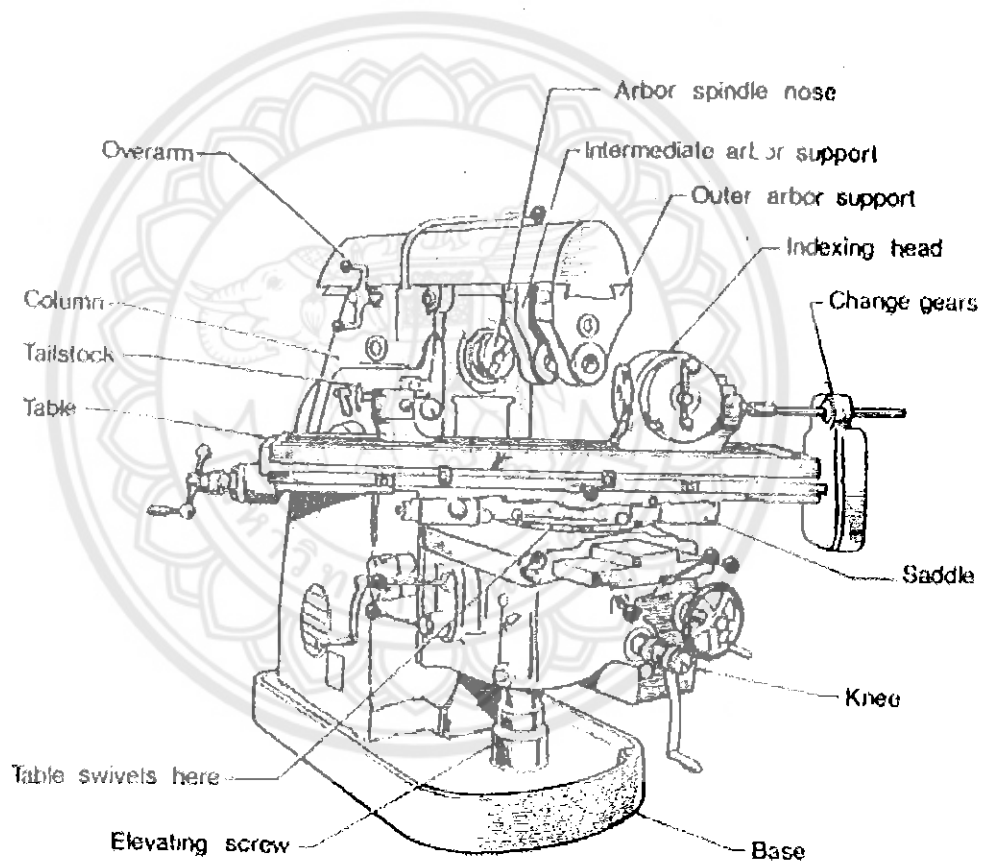
##### 2.1.2 การทำงานของเครื่องกัด (MILLING OPERATION)

ผู้ผลิตจะออกแบบมาให้เหมาะสมกับความต้องการของการใช้งาน โดยยึดถือความสะดวกในการทำงานและประโยชน์การใช้งานเป็นหลักซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลักดังนี้

1. ชนิดของเครื่องกัด (TYPE OF MACHINE)
2. ชนิดของมีดกัด (TYPE OF MILLING CUTTERS)
3. อุปกรณ์ช่วยจับและอุปกรณ์ช่วยงานพิเศษต่าง ๆ (HELP CAPTURE DEVICES AND THE SPECIAL EQUIPMENT)

ทั้งหมดเมื่อทำงานพร้อมกันแล้วจะแบ่งเป็นงานหลักใหญ่ ๆ ได้ ดังนี้

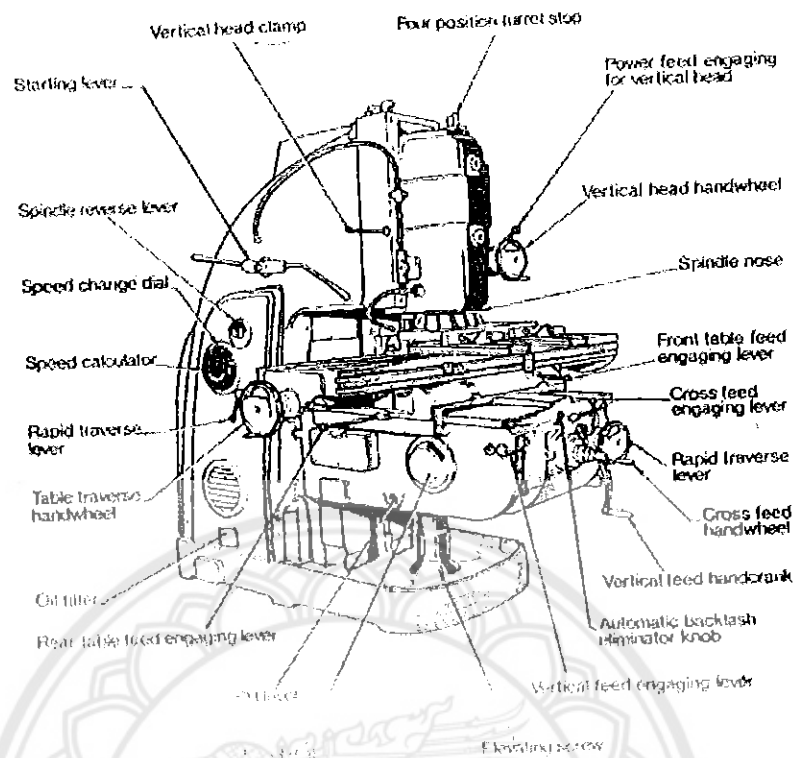
1. งานผิวราบ (Horizontal surface) ได้แก่
  - 1.1 งานกัดผิวราบ
  - 1.2 งานกัดผิวดังฉาก
  - 1.3 งานกัดผิวเอียง
2. งานขึ้นรูปผิวแบบต่าง ๆ (Forming machine) ได้แก่
  - 2.1 ร่องลิ่ม
  - 2.2 ร่องตัวที
  - 2.3 ร่องทางเขี้ยว



รูปที่ 2.1 ลักษณะและส่วนต่างๆของ HORIZONTAL MILLING MACHINE

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>





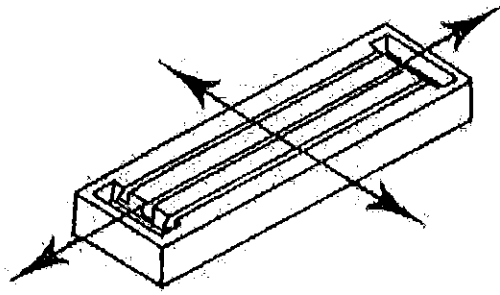
รูปที่ 2.2 ลักษณะและส่วนต่างๆของ VERTICAL MILLING MACHINE

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

### 2.1.3 ส่วนประกอบของเครื่องกัด

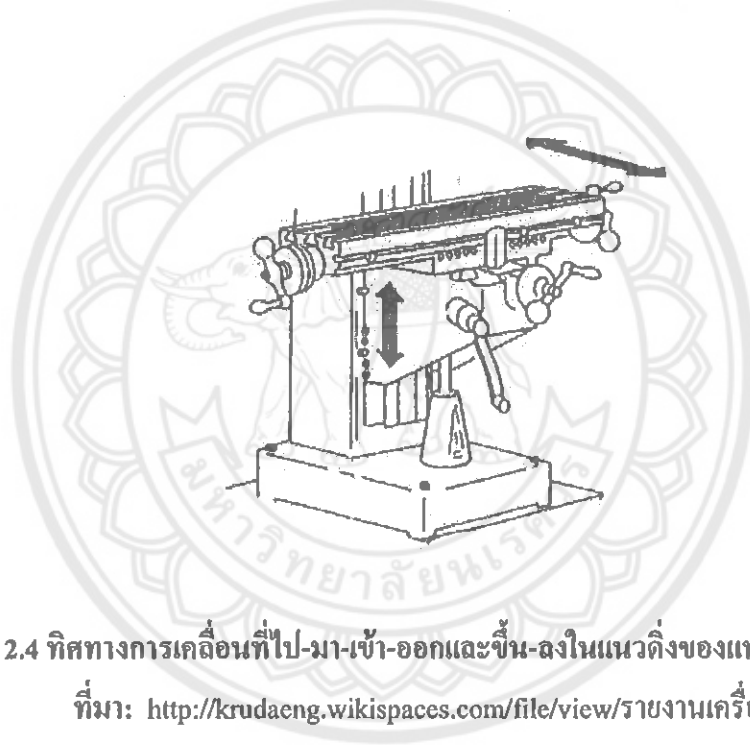
เครื่องกัดมีส่วนประกอบต่าง ๆ มากมายหลายส่วน ดังนี้

1. โต๊ะงาน (Work Table) ใช้สำหรับจับชิ้นงานที่วางอยู่บนโต๊ะงาน เคลื่อนที่ไปและกลับ (แกน y) ลักษณะการจับยึดได้หลายแบบ เช่น ปากกาจับงานสำหรับบนโต๊ะงาน โดยใช้ T-Slots เป็นตัวจับยึดปากกา เป็นต้น
2. รางเลื่อน (Saddle) ใช้สำหรับรองรับโต๊ะงาน เลื่อนโต๊ะงานให้เคลื่อนที่ไปและกลับ (แกน x) เพื่อที่จะป้อนงานกัด
3. แท่นรองรับรางเลื่อน (Knee) ใช้สำหรับรองรับรางเลื่อนและเคลื่อนที่โต๊ะงานในแนวตั้ง (แกน Z) เพื่อที่จะป้อนงานกัด และทำหน้าที่ปรับระยะป้อนกินลึกในงานกัดวัสดุ
4. เพลามัดกัด (Arbor) ใช้สำหรับจับมีดกัดในลักษณะที่มีดกัดสวมอยู่บนเพลามัดกัด เพลามัดกัดจะต้องมีความแข็งแรง เพลามัดกัดจะสวมอยู่ในเบร็งที่หัวเครื่องและปลายของคานจับเพลามัดกัด
5. คานจับเพลามัดกัด (Over arm) ใช้สำหรับจับเพลามัดกัดที่ปลายด้านนอกและสามารถปรับระยะได้ตามต้องการ



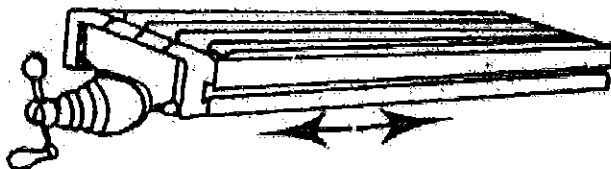
รูปที่ 2.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของแท่นรองรับงาน

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



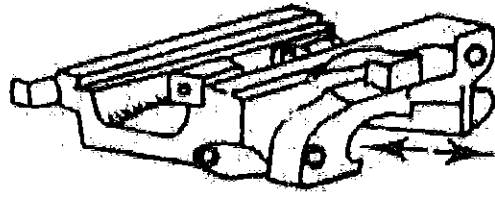
รูปที่ 2.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ไป-มา-เข้า-ออกและขึ้น-ลงในแนวตั้งของแท่นชุดรองรับงาน

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



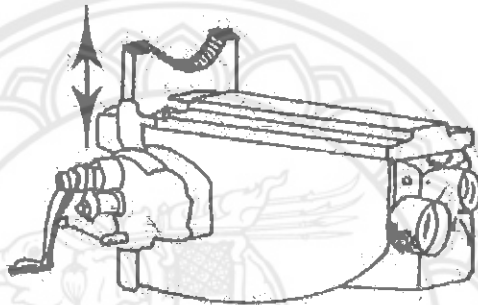
รูปที่ 2.5 ทิศทางการเคลื่อนที่ของแท่นรองรับงาน (TABLE)

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



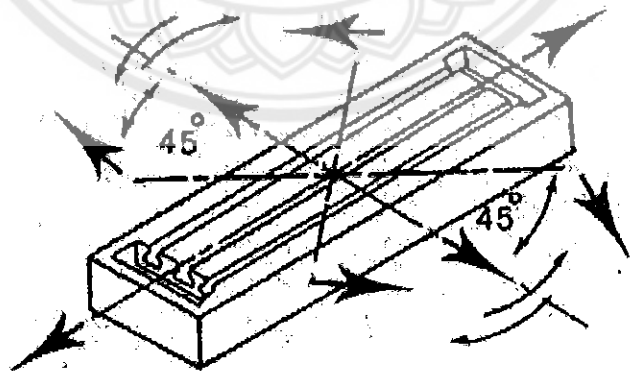
รูปที่ 2.6 ทิศทางการเคลื่อนที่ของ SADDLE

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



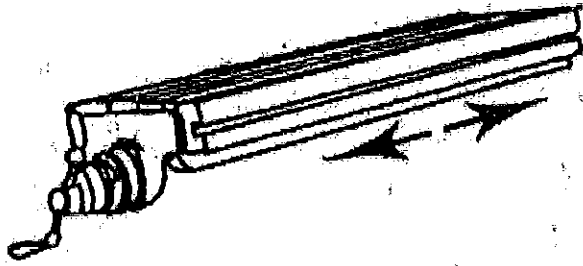
รูปที่ 2.7 ทิศทางการเคลื่อนที่ของ KNEE

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.8 แทนรองรับงานแบบปรับได้  $\pm 45$  องศา

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.9 แท่นรองรับงาน (TABLE)

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



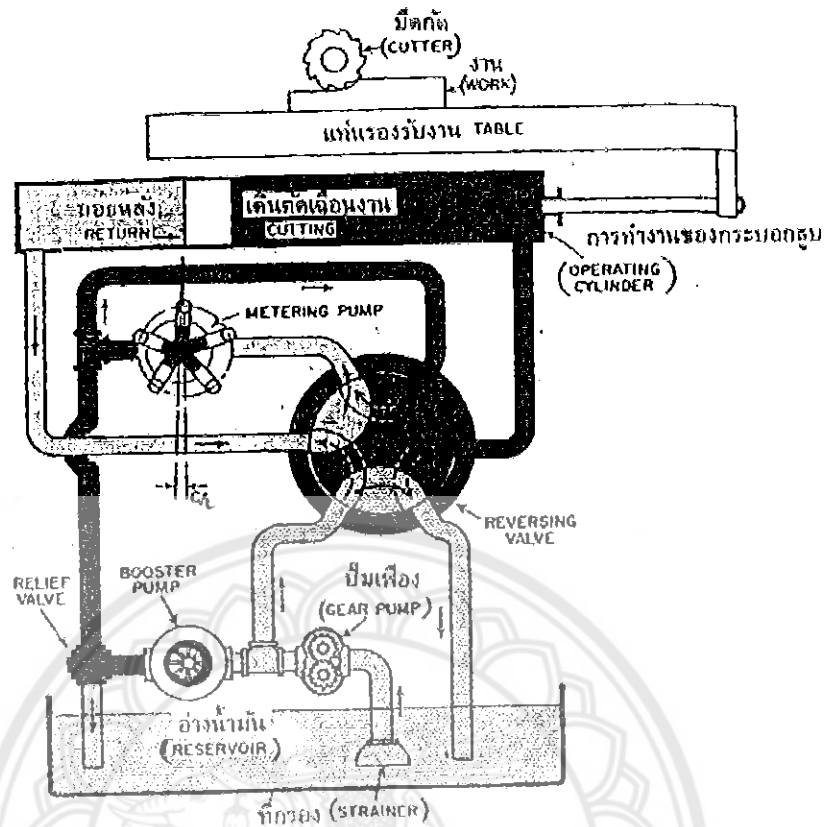
รูปที่ 2.10 ช่วยปรับให้แท่นรองรับงานหมุนเอียงได้  $\pm 45$  องศา

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.11 SADDLE

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.12 การขับเคลื่อนโต๊ะงานด้วยระบบไฮดรอลิกของเครื่องกัด  
ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

เครื่องกัดแบ่งออกตามลักษณะได้ดังนี้

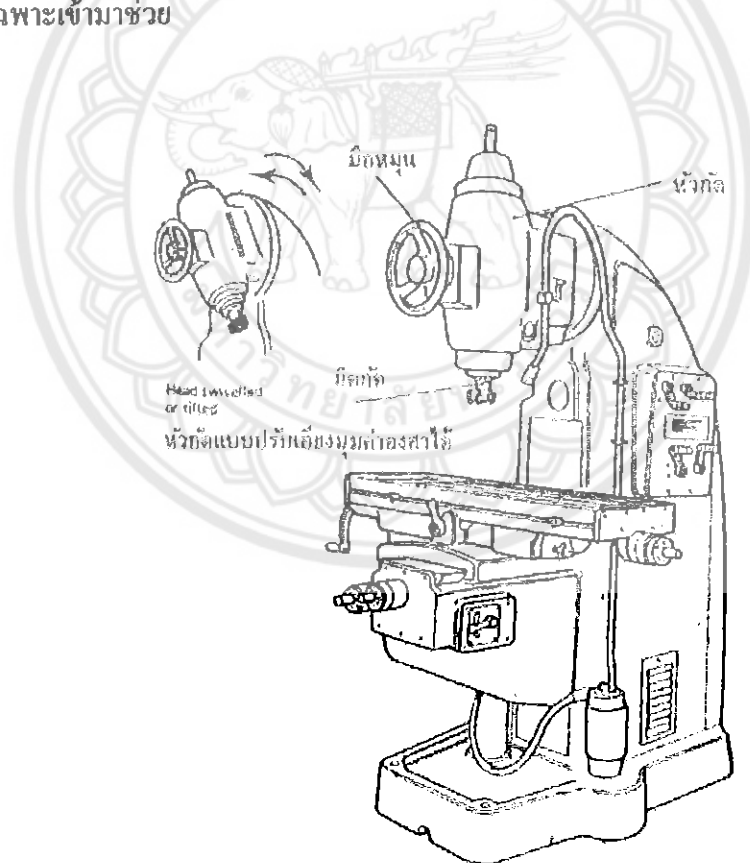
1. เครื่องกัดแนวนอน (HORIZONTAL MILLING MACHINE)
2. เครื่องกัดเอนกประสงค์ แนวดิ่ง+แนวนอน (UNIVERSAL MILLING MACHINE)
3. เครื่องกัดแนวตั้ง (VERTICAL MILLING MACHINE)
4. เครื่องกัดแบบพิเศษ (SPECIAL MILLING MACHINE)

ซึ่งในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้ขอกล่าวถึงเครื่องกัดแนวตั้ง (VERTICAL MILLING MACHINE) เพียงชนิดเดียวเพื่อความสะดวกในการเข้าใจเกี่ยวกับการศึกษาข้อมูลต่างๆและเพื่อความรวดเร็วในการปฏิบัติงานนี้

### 2.1.4 เครื่องกัดแนวตั้ง (VERTICAL MILLING MACHINE)

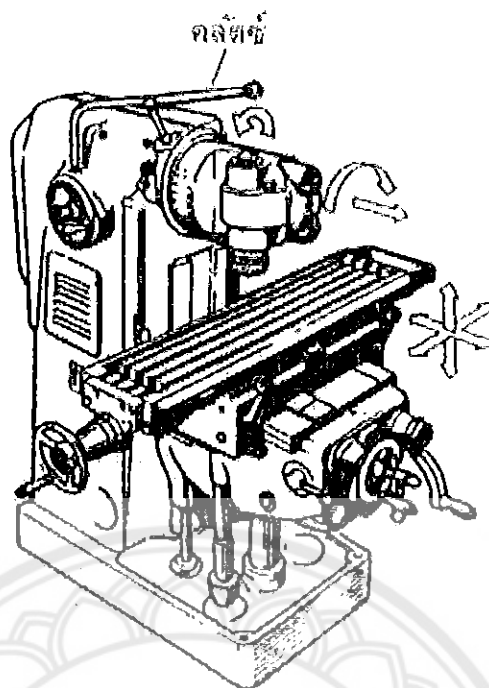
ชนิดของเครื่องกัดแนวตั้งที่ออกแบบมาสามารถเปลี่ยนหัวกัดแบบต่างๆ ได้ตามความเหมาะสมตามใช้งาน และระบบกลไกที่ขับเคลื่อนต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะเหมือนกับเครื่องกัดแนวนอนทั่วไป ซึ่งมีจุดเด่นคือขณะปฏิบัติงานสามารถดูความสัมพันธ์ของมีดกัดและชิ้นงานได้ง่ายจากด้านหน้าของเครื่อง จึงสะดวกในการหมุนกัดปาดหน้าด้วยใบมีด การกัดเจาะร่องด้วยมีดหมุนปาดกัด การหมุนกัดด้วยมีดหมุนข้างกัด และโดยการให้แทนชิ้นงานแบบกลมจะสามารถกัดลูกเบี้ยวได้สะดวกอีกด้วย นอกจากนี้มีดหมุนกัดปาดหน้าแบบฝั่งจะช่วยให้การหมุนกัดปาดหน้ามีประสิทธิภาพสูงขึ้นจึงนิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะเครื่องกัดแนวตั้งเมื่อทำการหมุนกัดปาดหน้าเรียบร้อยแล้ว เพียงแต่เปลี่ยนใบมีดอย่างเดียวก็สามารถเจาะรูชิ้นงานในตำแหน่งนั้นได้เลยโดยไม่ต้องจัดวางชิ้นงานใหม่

การออกแบบเครื่องกัดของบริษัท จะออกแบบให้สามารถทำงานได้กว้างขวางขึ้น โดยการทำงานในแนวนอน แนวตั้ง และแนวเอียงมุมในเครื่องเดียวกัน โดยใช้อุปกรณ์ซึ่งมีลักษณะเฉพาะเข้ามาช่วย



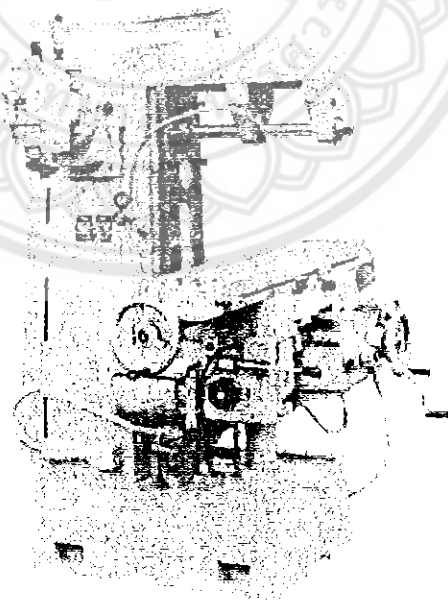
รูปที่ 2.13 เครื่องกัดชนิดถอดเปลี่ยนหัวกัดได้

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



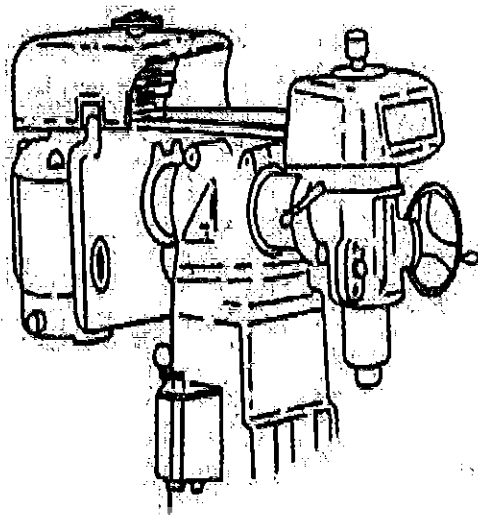
รูปที่ 2.14 เครื่องกัดตั้งแบบมีกัลลัชนีช่วยและสามารถเปลี่ยนประกอบหัวกัดได้

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.15 เครื่องกัดแนวอนที่มีหัวกัดแนวตั้งรวมอยู่ด้วย

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.16 แสดงถึงการส่งกำลังจากมอเตอร์

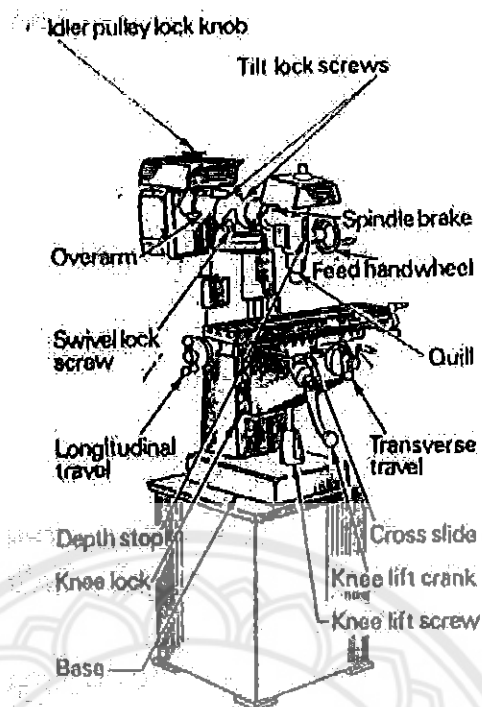
ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.17 แสดงการปรับเอียงมุมการทำงาน

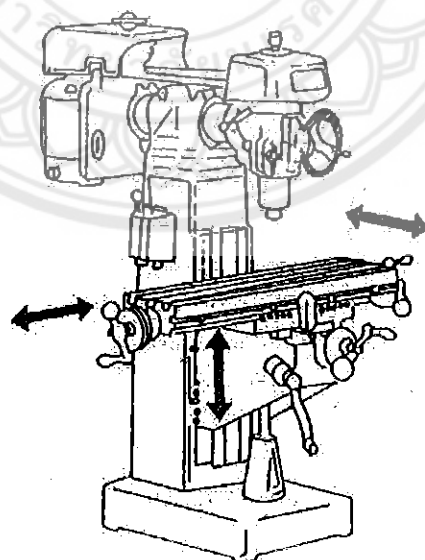
ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>





รูปที่ 2.18 ชื่อส่วนต่างๆของเครื่องกัดแนวตั้งขนาดเล็ก

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.19 แสดงถึงทิศทางการทำงานของเครื่องกัดแนวตั้งขนาดเล็ก

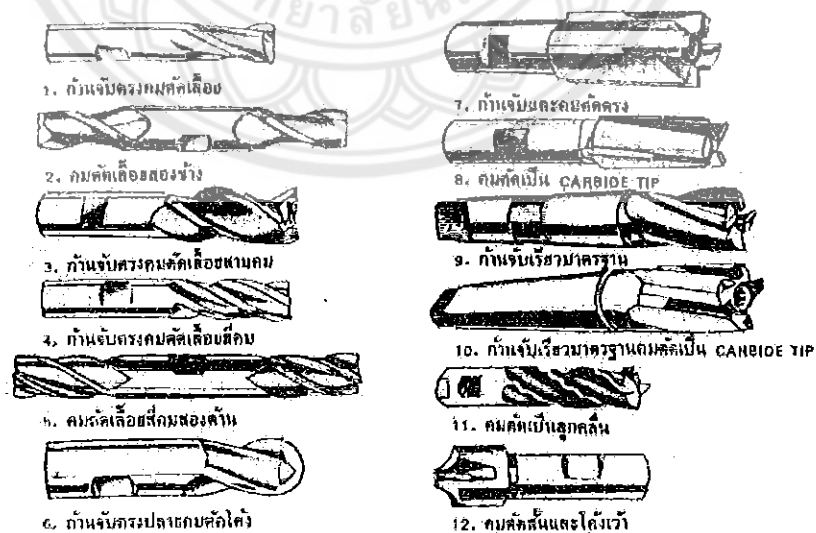
ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

### 2.1.5 ชนิดของดอกกัดแนวตั้ง

ดอกกัดแนวตั้งแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ทำการกัดซึ่งมีอยู่หลายประเภท ได้แก่

1. ก้านจับตรงคมตัดเลื่อย
2. คมตัดเลื่อยสองข้าง
3. ก้านจับตรงคมตัดเลื่อยสามคม
4. ก้านจับตรงคมตัดเลื่อยสี่คม
5. คมตัดเลื่อยสี่คมสองด้าน
6. ก้านจับตรงปลายคมตัดโค้ง
7. ก้านจับและคมตัดตรง
8. คมตัดเป็น CARBIDE TIP
9. ก้านจับเรียวมาตรฐาน
10. ก้านจับเรียวมาตรฐานคมตัดเป็น CARBIDE TIP
11. คมตัดเป็นรูปคลื่น
12. คมตัดสั้นและโค้งเว้า

ดอกกัดแนวตั้ง (VERTICAL MILLING CUTTER) มีรูปร่างหลายแบบ หลายลักษณะตามต้องการใช้งานรวมถึงลักษณะของก้านจับและคมตัดที่มีรูปทรงใช้เฉพาะงานนั้นๆมีขายตามท้องตลาดทั่วไป



### รูปที่ 2.20 ชนิดของดอกกัดแนวตั้ง (VERTICAL MILLING MACHINE)

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

### 2.1.6 ลักษณะคมตัดของดอกกัดแนวตั้ง

ลักษณะคมตัดของดอกกัด END MILL จะแบ่งลักษณะของคมตัดออกไปได้หลายรูปแบบตามลักษณะของการใช้งาน ที่นิยมใช้งานกันทั่วไป ได้แก่ ดอกกัดด้ามตรงคมเอียง ใช้กับงานทั่ว ๆ ไป มีหลายขนาด แบ่งลักษณะของคมตัดออกไปเป็น แบบคมตัดตรง แบบคมตัดเอียง แบ่งคมตัดเป็นแบบชนิดสองคมตัด และคมตัดมากกว่าสองคมตัด

ดอกกัดก้านจับเรียวคมตัดเอียง เป็นดอกกัดที่มีด้ามกัดเอียง และเรียวนี้จะเป็นเรียวมาตรฐาน ที่นิยมใช้งาน ได้แก่ เรียว MORSE ลักษณะของคมตัดจะเป็นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.21 ด้ามตรงคมเอียง

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.22 ด้ามเรียวชนิด 2 คมตัด

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

ดอกกัดชนิดคมสองด้านก้านจับตรงกลางจะตรงและมีขนาดความโตเท่าขนาดความโตของคมตัดเพื่อประโยชน์ในการจับยึดชิ้นแน่นจะไม่โดนกับคม ลักษณะคมตัดจะมีคมตัดมากกว่าสองคมขึ้นไป

ดอกกัดคมตัดเอียงแบบขึ้นรูป ขนาดความโตของคมตัดจะแบ่งออกไปตามลักษณะของการใช้งาน เช่น คมตัดเรียวมาก เรียวน้อย หรือเรียวและปลายคมตัดจะมนโค้งด้วย โดยที่ปลายคมตัดเป็นรัศมีมากน้อยต่างกัน ส่วนใหญ่จะเป็นดอกกัดที่มีจำนวนคมตัดมากกว่าสองคมขึ้นไป เหมาะกับการใช้งานได้เฉพาะอย่างเท่านั้น

ชนิดของคมตัดเอียง ความเอียงของคมตัด จะแบ่งออกไปตามลักษณะการใช้งานและทิศทางการหมุนกัด ดูตามหัวลูกศรที่หมุนไว้ในด้านหน้าของคมตัด การหมุนนี้จะเป็นการกำหนดทิศทางของคมตัด ซึ่งแบ่งออกเป็น

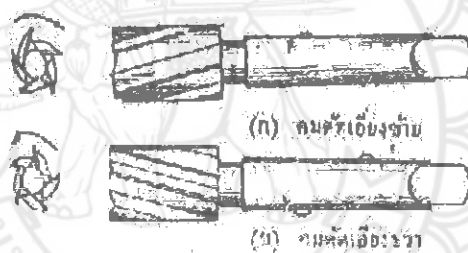
1. คมตัดเอียงซ้าย
2. คมตัดเอียงขวา

ข้อแนะนำ วิธีมอง ตั้งคอกกัดให้อยู่ในแนวตั้ง แล้วดูคมตัดเอียงไปทางใด



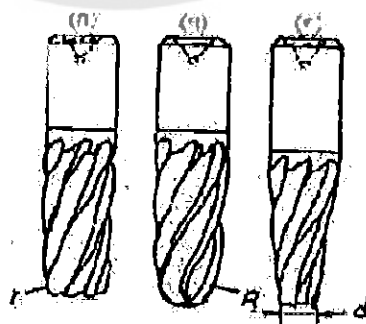
รูปที่ 2.23 คมสองด้าน

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.24 ชนิดของคมตัดเอียง

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



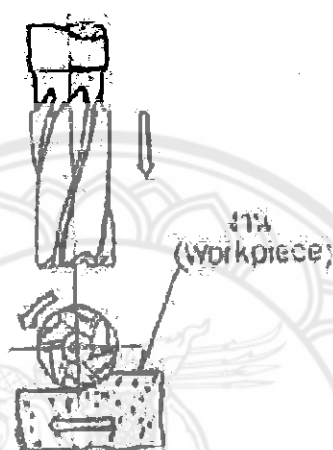
รูปที่ 2.25 คมตัดเอียงแบบขึ้นรูป

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

การป้อนกัด จะป้อนกัดได้ 2 ทิศทาง คือ การป้อนกัดตาม กับ การหมุนกัดงานของดอก  
กัด กับ การป้อนกัดสวน ทางกับการหมุนของดอกกัด

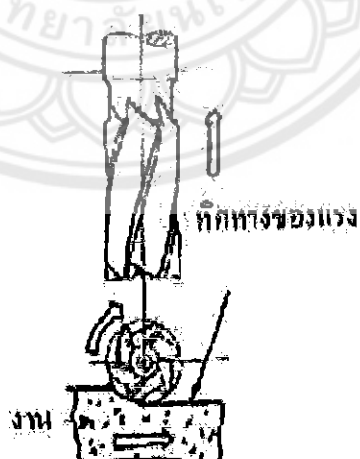
ทิศทางการทำงานกัด การเคลื่อนที่ของดอกกัดจะทำได้โดยการหมุนรอบตัว และ  
ขึ้น - ลง ในการป้อนกัด

การเคลื่อนที่ของชิ้นงานจะเคลื่อนที่ในลักษณะของกาบาทซึ่งอยู่ในแนวนอน  
(HORIZONTAL)



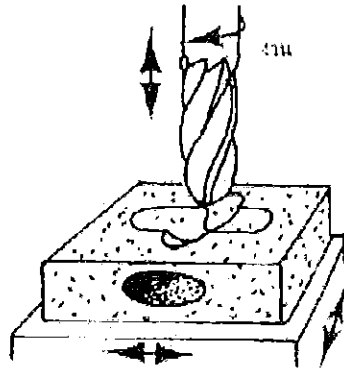
รูปที่ 2.26 การป้อนกัดขวาของมิดกัคมตัดเฉียงขวา

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.27 การป้อนกัดซ้ายของมิดกัคมตัดเฉียงขวา

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



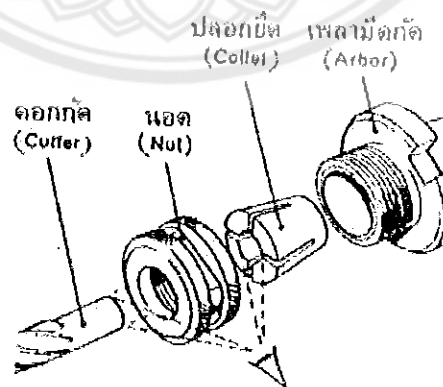
รูปที่ 2.28 ทิศทางการทำงานของดอกกัด

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

### 2.1.7 การวัดขนาดของดอกกัด

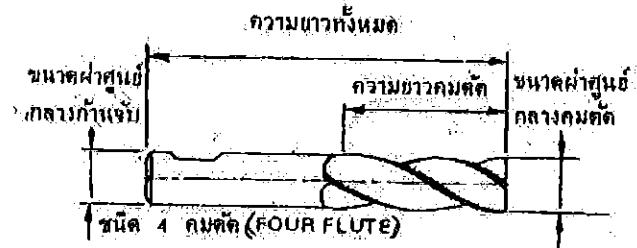
การวัดขนาดของดอกกัดชนิดคมตัดข้างเดียว (SINGLE END-END MILLS) โดยทั่วไป การแบ่งขนาดของการวัดได้ ดังนี้

1. ความยาวทั้งหมดของดอกกัด (LENGTH OVERALL)
2. ความยาวเฉพาะคมตัด (LENGTH OF CUT)
3. ความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านจับ (DIAMETER OF THE SHAFT CAPTURE) ของดอกกัดจะโตเท่าความ โตของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคมกัด
4. ความ โตของเส้นผ่านศูนย์กลางของคมตัด (DIA OF CUT) จะมีความยาวเท่า ความ โตของก้านจับ



รูปที่ 2.29 อุปกรณ์ประกอบการจับเม็ดดอกกัด

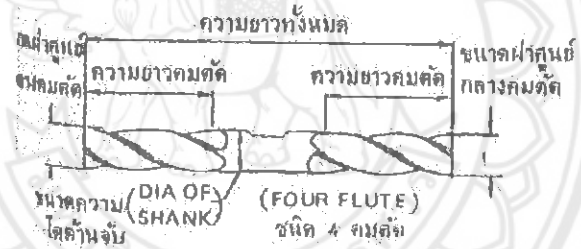
ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.30 การวัดขนาดดอกกัดชนิดคมตัดข้างเดียว (SINGLE-END END MILLS)

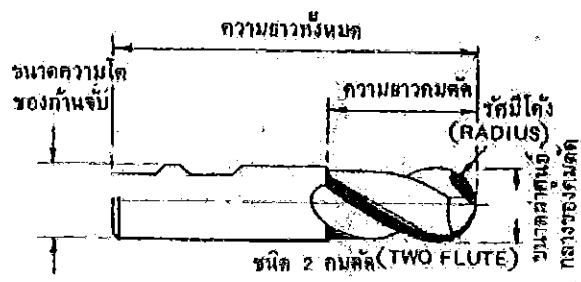
ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

การวัดขนาดของดอกกัดปลายมน จะเพิ่มการวัดที่แตกต่างกันออกไป คือ รัศมีโค้งของดอกกัดนี้ ซึ่งช่วงรัศมีโค้งของดอกกัดบางชนิดผู้ผลิตจะฝังคมตัดชนิด CARBIDE เข้าไป ช่วยในการกัดนำ สำหรับงานที่มีความแข็ง



รูปที่ 2.31 การวัดขนาดดอกกัดชนิดคมตัดสองข้าง (DOUBLE-END END MILLS)

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



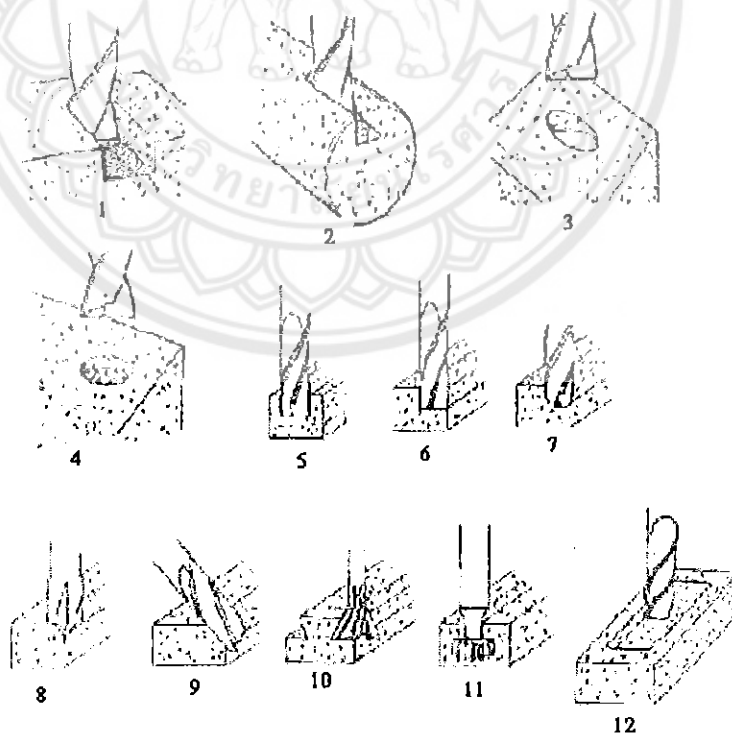
รูปที่ 2.32 การวัดขนาดดอกกัดปลายมน

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

### 2.1.8 การทำงานของดอกกัดแนวตั้ง

การทำงานของดอกกัดนั้นจะขึ้นอยู่กับแบบหรือชิ้นงานที่ต้องการซึ่งมีลักษณะดังรูปต่างๆที่แสดงดังนี้

1. แสดงการกัดร่องของดอกกัด END MILL บนชิ้นงานเหลี่ยม
2. แสดงการกัดงานของดอกกัด END MILL บนชิ้นงานกลม
3. แสดงการกัดงานในลักษณะของบนพื้นผิวเอียง
4. แสดงการกัดงานในลักษณะของรูบนผิวเรียบ
5. แสดงการกัดร่องฉาก
6. แสดงการกัดขึ้นป่าฉาก
7. แสดงการกัดขึ้นป่าโค้ง
8. แสดงการกัดขึ้นป่ารูป
9. แสดงการกัดมุมเอียง
10. แสดงการกัดมุมเอียงของร่องทางเหยี่ยว
11. แสดงการกัดร่อง - ที
12. แสดงการกัดขึ้นรูปร่อง

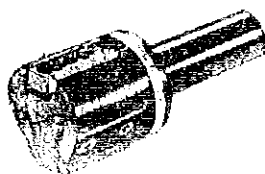


รูปที่ 2.33 แสดงการทำงานของดอกกัด

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



หัวกัดแบบพิเศษที่ใช้ใบมีดมาประกอบเข้ากับหัวกัด โดยการถอดเปลี่ยนปรับระยะได้ตามความต้องการที่จะใช้งาน



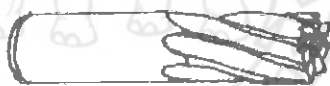
รูปที่ 2.34 หัวกัดตั้งแบบพิเศษ

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

#### ดอกกัด (END MILL)

ดอกกัด END MILL แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. การแบ่งตามแบบของก้านจับ คือ แบบก้านจับตรง และก้านจับเรียว
2. การแบ่งตามลักษณะของคมกัด แบ่งได้เป็นแบบสองคมตัดสองคมใช้กับงานกัดหนัก และแบบคมตัดมากกว่าสองคม



รูปที่ 2.35 ดอกกัด END MILL แบบก้านจับตรง

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

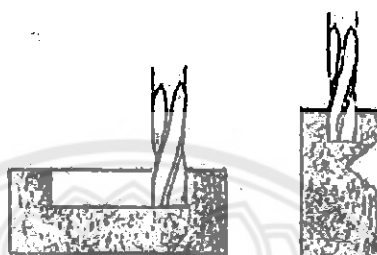


ก้านจับเรียว  
(Steep taper shank)

รูปที่ 2.36 ดอกกัด END MILL แบบก้านจับเรียว

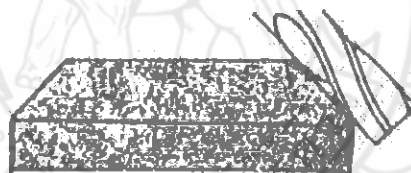
ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

การทำงานของคอกกักแนวตั้ง สามารถทำงานการกักได้ทั้งในแนวตั้ง การกักในแนวเอียงมุม ซึ่งการเอียงมุมจะขึ้นอยู่กับการปรับเอียงหัวจับของหัวกักแนวตั้งว่าจะเอียงเท่าใด และการกักในแนวนอน ซึ่งแสดงถึงทิศทางการทำงานไว้ด้วย ซึ่งสามารถดูได้จากหัวลูกศรที่บอกไว้ ทิศทางการทำงานของคอกกัก ซึ่งแบ่งการเคลื่อนที่ได้เป็นสองแบบ คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคอกกัก และทิศทางการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับการจับยึดคอกกัก และการจับยึดชิ้นงาน ตลอดจนรูปทรงของงานที่ต้องการการกัก



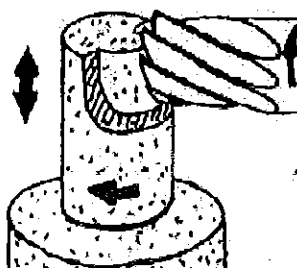
รูปที่ 2.37 แสดงการกักผิวในแนวตั้ง

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัก>



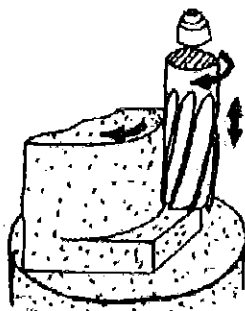
รูปที่ 2.38 แสดงการกักผิวในแนวเอียง

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัก>



รูปที่ 2.39 แสดงการกักผิวในแนวนอน

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัก>

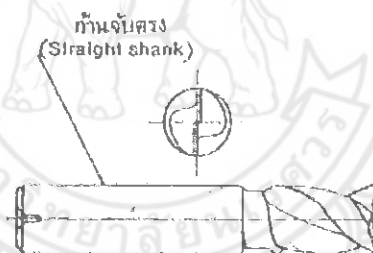


รูปที่ 2.40 แสดงการกัดผิวโค้ง

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

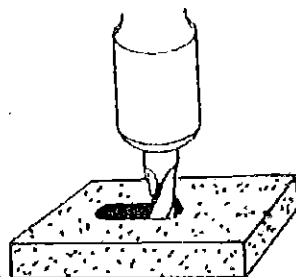
#### ดอกกัด (SLOTING END MILL)

ดอกกัด SLOTING END MILL ลักษณะของคมกัดจะมีความแตกต่างกับดอกกัดอื่น ๆ คือ ที่ส่วนปลายด้านหน้าคมตัดจะเว้า และจะไม่เกิดการตัดเฉือนงานช่วงเว้านี้ ส่วนใหญ่จะเป็นการกัดทะลุหรือการกัดร่องน้ำมันบนเพลางาน



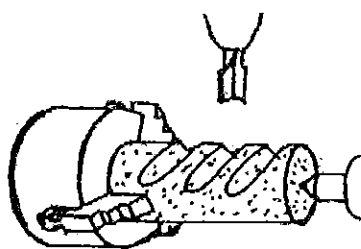
รูปที่ 2.41 ดอกกัด SLOTING END MILL

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



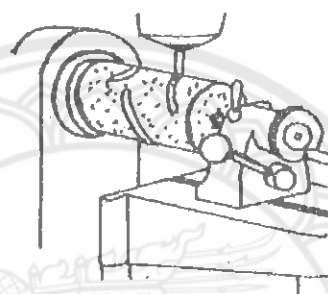
รูปที่ 2.42 ใช้กัดร่อง

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.43 แสดงการกดร่องบนงานกลม

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกด>



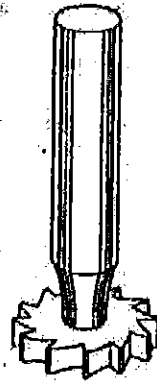
รูปที่ 2.44 แสดงการกดร่องน้ำเบนเพลลา

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกด>

การกดงานจะกดทั้งในแนวตั้ง และแนวนอน และการกดมุมเอียง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการจับที่ใช้จับยึดคอกกดให้อยู่ในตำแหน่งใดของเครื่องกด ทิศทางการทำงานกด จะเหมือนกับทิศทางการทำงานของเครื่องกด END MILL ในการกดงานแต่ละครั้งจะต้องคำนึงถึงระยะของการกดงานเพื่อจะตั้งการกดให้พอเหมาะและใช้เวลาในการทำงานน้อยพร้อมกับผลงานที่มีประสิทธิภาพสูง

#### คอกกด (WOODRUFF KEY)

คอกกด WOODRUFF KEY เป็นคอกกดที่มีคมอยู่รอบ ๆ ตัว และด้านหน้าจะเว้าลึกลงไป การทำงานของคอกกดนี้สามารถทำงานได้ทั้งการกดในแนวตั้งและแนวนอน ส่วนใหญ่แล้วคอกกดชนิดนี้จะถูกใช้งานกดร่องลิ่มตามขนาดของคอกกดเอง ซึ่งมีความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางคอกกดหลายขนาด ร่องลิ่มที่กดนี้เรียกว่า ร่องลิ่มพระจันทร์ เพราะมีลักษณะเป็น โค้งของวงกลมตามโค้งของขนาดของคอกกด นอกจากนี้การกดร่องลิ่มแล้ว ยังสามารถกดงานที่มีรูปร่างต่าง ๆ ได้ ตามความต้องการ ได้อีกด้วย



5067388

ป.ร.  
98360  
2552  
C2

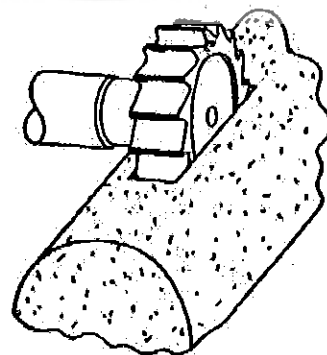
**รูปที่ 2.45 ดอกกััด WOODRUFF KEY**

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกััด>



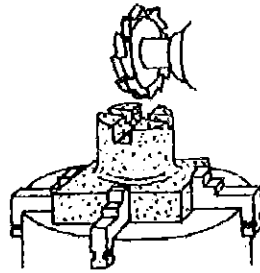
**รูปที่ 2.46 ภาพด้านหน้าดอกกััด WOODRUFF KEY**

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกััด>



**รูปที่ 2.47 แสดงการกััดร่องลิ้มพระจันทร์ (WOODRUFF KEY)**

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกััด>



รูปที่ 2.48 แสดงการกัดงานผ่าในแนวอน

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

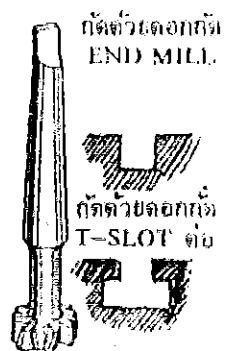


รูปที่ 2.49 แสดงการกัดงานผ่าในแนวตั้ง

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

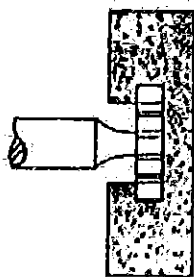
### ดอกกัด (TEE SLOT CUTTER)

ดอกกัด TEE SLOT CUTTER เป็นดอกกัดที่ใช้กัดร่อง TEE SLOT ต่อจากการกัดจากดอกกัด END MILL ดอกกัดนี้จะมีคมกัดรอบตัวของดอกกัด คมกัดจะแบ่งเป็นทั้งคมตัดตรงและคมกัดเอียง



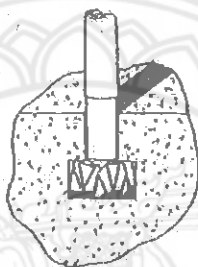
รูปที่ 2.50 ดอกกัด T- SLOT CUTTER

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.51 แสดงการกีดในแนวนอน

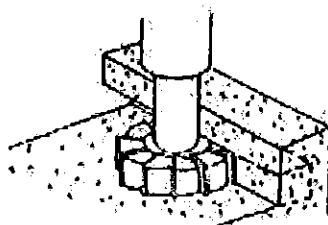
ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกีด>



รูปที่ 2.52 แสดงการกีดในแนวตั้งของคมตัดเอียง

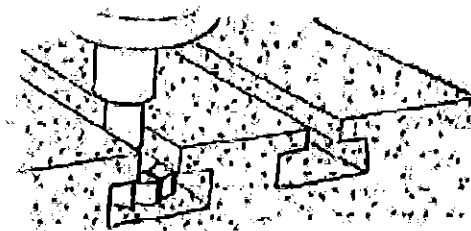
ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกีด>

การกีดงานของคอกกักสามารถกีดได้ทั้งในแนวตั้ง และแนวนอน และแนวมุมเอียง ตามแต่อุปกรณ์ของหัวกีดที่ใช้จับคอกกักไว้ คอกกักประเภทนี้ จะมีทั้งชนิดก้านตรงและชนิดก้านเรียว ซึ่งอยู่กับขนาดของคอกกักและบริษัทผู้ผลิตที่ผลิตออกมาจำหน่ายส่วนใหญ่ชนิดก้านจับเรียว จะเป็นขนาดโตมากกว่าชนิดก้านจับตรง



รูปที่ 2.53 แสดงการกีดในแนวตั้งของคมตัดตรง

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกีด>



รูปที่ 2.54 แสดงการกัดร่องที่

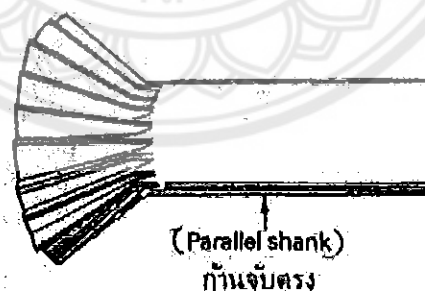
ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

### ดอกกัด (DOVERALL CUTTER)

ดอกกัดร่องทางเหี้ยว DOVERALL CUTTER ลักษณะของคมตัดจะเอียงมุมอยู่รอบ ๆ ตัวของดอกกัด และมีคมตัด อยู่บริเวณผิวด้านหน้า ของดอกกัดอีกด้วย

การทำงาน จะใช้กับงานขึ้นรูป ที่ต้องการตามขนาดความเอียงของคมดอกกัด ซึ่งจะใช้กัดทั้งการกัดภายในร่องที่ผ่านการกัดมาก่อนและอยู่ในลักษณะของร่องฉาก แล้วจึงใช้ดอกกัดนี้กัดตามเพื่อให้ได้ร่องเอียงภายใน

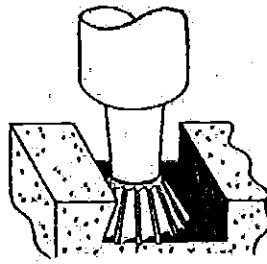
ในขณะเดียวกันของการทำงานที่ต้องการให้งาน 2 ชิ้นประกบกันและเคลื่อนที่ไปมาตามช่องเอียง เมื่อกัดได้ร่องเอียงภายในแล้วชิ้นงานอีกชิ้นจะต้องกัดให้เป็นร่องเอียงภายนอก ด้วยดอกกัดที่มีขนาดเท่ากันเพื่อจะให้ทำงานร่วมกันได้



รูปที่ 2.55 ดอกกัด DOVERALL CUTTER

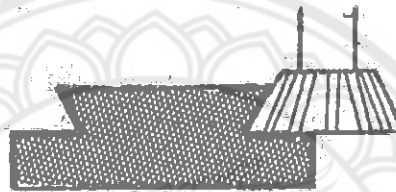
ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>





รูปที่ 2.56 แสดงการกัดร่องเอียงภายใน

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>



รูปที่ 2.57 แสดงการกัดร่องเอียงภายนอก

ที่มา: <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

### 2.1.9 ลักษณะของการกัดโลหะ

1. การกัดผิวราบ (Plain Milling) กัดโลหะในแนวราบตามแนวระนาบกับแกนเพลลา เครื่องมิลลิ่ง ใช้มีดกัดแบบกัดผิวราบ (Plain Milling Cutter) มีรูปร่างลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลมยาวและมีฟันรอบตัว

2. การกัดผิวด้านข้าง (Face Milling) กัดผิวด้านข้างของชิ้นงานที่ยึดติดแน่น กัดด้านข้างทำมุมฉากกับเพลลาเครื่องมิลลิ่ง ใช้มีดกัดแบบ (Face Milling Cutter) ซึ่งมีรูปร่างกลมมีฟันรอบตัวและด้านข้างหรือด้านหน้าคิ้ว

3. การกัดเป็นมุม (Angular Milling) กัดผิวหน้าในแนวราบ แต่เบี่ยงตำแหน่งงานตามมุมต่างๆ ใช้มีดกัดแบบ (Angular Milling Cutter) มีฟันรอบตัวแต่เอียงเป็นรูปกรวย

4. การกัดแบบสำเร็จรูป (Form Milling) กัดในแนวราบและกัดจนเป็นแบบสำเร็จรูปหรือกัดเป็นแบบแพทเทินตามขนาด ใช้มีดกัดแบบ (Form Milling Cutter) มีรูปร่างลักษณะมีฟันรอบตัวและเป็นแบบสำเร็จรูปเวลาตัดชิ้นงานทำให้ชิ้นงานมีลักษณะตามแบบมีดกัดเสมอ

5. การกัดแบบใช้มีดกัดเป็นชุด (Gang Milling) กัดในแนวราบใช้มีดกัด 2 อันหรือมากกว่าจะกัดชิ้นงานพร้อมๆกัน ทำให้ได้งานตามแบบขนาดที่ต้องการ

## 2.2 การคำนวณค่าต่างๆของเครื่องกัดแนวตั้ง

มีดกัดมีคมมีดหลายๆคมเรียงกันอยู่บนทรงกระบอกโดยการหมุนของมีดกัด ปลายคมมีดแต่ละคมจะกัดผิวชิ้นงานต่อเนื่องกันไป ในขณะที่คมมีดคมหนึ่งกำลังกัดผิวชิ้นงานอยู่และยังไม่เสร็จสิ้นการกัดนั้น คมมีดคมต่อไปก็จะเริ่มกัดและจะหมุนเวียนดังนี้ต่อไปเรื่อยๆสำหรับคมมีดแต่ละคมของมีดกัดรูปทรงกระบอกนั้น เมื่อกัดแต่ละครั้งเสร็จสิ้นแล้วจะหมุนไปหนึ่งรอบก่อนแล้วจึงเริ่มกัดครั้งต่อไป กล่าวคือ คมมีดของมีดกัดจะกัดเป็นจังหวะ ในขณะที่ทำการผลิตชิ้นงาน นอกจากเครื่องมือตัดและวิธีการกัดที่เหมาะสมแล้ว จะต้องกำหนดเงื่อนไขการตัดเฉือนที่เหมาะสมด้วย จะต้องมีการกำหนดความเร็วรอบ อัตราป้อนและระยะป้อนลึกที่เหมาะสม และอาจจะต้องมีการใช้น้ำมันหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อนในการทำงานและเพื่อกำจัดเศษตัดออกไปจากบริเวณการตัดเฉือนของคมตัด ซึ่งเงื่อนไขการตัดเฉือนจะขึ้นอยู่กับวัสดุชิ้นงานและวัสดุมีดตัดเป็นหลัก ซึ่งจะมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณเงื่อนไขการตัดเฉือนในการทำงานกับเครื่องกัด ดังนี้

### 2.2.1 ความเร็วรอบของการกัด

ความเร็วรอบของการกัดคือความเร็วที่ปลายคมมีดกัดกัดชิ้นงานมีค่าเท่ากับความเร็วเส้นรอบวงของมีดกัดดังนั้นความเร็วจึงหาได้จากเส้นผ่าศูนย์กลางของมีดกัดและความเร็วรอบต่อนาที ดังสูตร

สูตร หาความเร็วรอบของการกัด

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $n$  เป็นความเร็วรอบของการกัด (รอบต่อนาที) ซึ่งจะหาได้จากการคำนวณ

$V_c$  เป็นความเร็วตัด (เมตรต่อนาที) ซึ่งจะหาได้จากตารางของเครื่องมือตัด

$\pi$  เป็นค่าพาย ซึ่งเป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 3.14

$D$  เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือตัดหรือดอกกัด (มิลลิเมตร)

ตารางที่ 2.1 ความเร็วของการหมุนกัด (เมตร / นาที)

วัสดุของชิ้นงาน	คุณสมบัติเชิงกล	มีดเหล็กเหนียว		มีดโลหะผสมชนิด	
		ความเร็วสูง		แข็งพิเศษ	
		หมุนกัด หยาบ	หมุนกัดแต่ง สำเร็จรูป	หมุนกัด หยาบ	หมุนกัดแต่ง สำเร็จรูป
โลหะ-ผสมเบา	อ่อน	150-300	200-500	400-1000	800-2000
	แข็ง	150-300	200-500	200-500	300-600
บรอนซ์	แข็งปานกลาง	50-60	70-90	150-200	200-350
	แข็ง	25-40	40-60	100-150	150-300
ทองเหลือง	อ่อน	25-40	40-60	100-150	150-300
	แข็ง	13-25	30-40	50-100	100-150
เหล็กหล่อ	H <sub>B</sub> ต่ำกว่า 200	15-25	25-40	60-100	80-120
	H <sub>B</sub> ต่ำกว่า 250	12-18	22-30	50-70	70-100
	H <sub>B</sub> สูงกว่า 250	10-13	15-20	30-50	50-80
เหล็กหล่อ ตีแผ่ได้	—	15-20	22-28	50-80	80-120
เหล็กหล่อ แบบชิล	ความทนแรงดึงต่ำ 85 กก. / (มม.) <sup>2</sup>	10-13	12-15	30-50	50-70
เหล็กเหนียวหล่อ	—	15-20	25-30	25-70	50-120
เหล็กเหนียวผสม	ต่ำกว่า 80 กก. / (มม.) <sup>2</sup>	10-15	15-20	40-80	50-100
	สูงกว่า 80 กก. / (มม.) <sup>2</sup>	8-12	12-18	20-50	40-80
เหล็กเหนียว คาร์บอน	ต่ำกว่า 50 กก. / (มม.) <sup>2</sup>	16-25	25-40	80-150	120-200
	50-70 กก. / (มม.) <sup>2</sup>	15-20	20-30	50-120	80-180
	70-100 กก. / (มม.) <sup>2</sup>	10-18	15-20	30-80	50-140

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), เทคนิคช่างกล (เล่ม 1).พ.ศ. 2528 .หน้า 139

## 2.2.2 การหาอัตราป้อนของเครื่องกัดแนวตั้ง

อัตราป้อนเป็นตัวแปรที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพผิวของชิ้นงาน และยังรวมไปถึงระยะเวลาในการตัดเนื้อชิ้นงานอีกด้วย

สูตร หาอัตราป้อน

$$f_1 = n \cdot f_2 \cdot z \quad (2.2)$$

เมื่อ  $f_1$  เป็นอัตราป้อนของโต๊ะงาน (มิลลิเมตรต่อนาที) ซึ่งจะหาได้จากการคำนวณ

$n$  เป็นความเร็วรอบของคอกกัด (รอบต่อนาที) ซึ่งจะหาได้จากการคำนวณ

$f_2$  เป็นอัตราป้อนต่อคมตัด (มิลลิเมตรต่อคมตัด) ซึ่งจะหาได้จากตารางของเครื่องมือตัด

$z$  เป็นจำนวนคมตัดของเครื่องมือตัดหรือคอกกัด

ส่วนระยะป้อนลึกที่เหมาะสมของเครื่องมือตัดในแต่ละครั้ง จะสามารถเปิดดูได้จากตารางของเครื่องมือตัดที่ได้จากผู้ผลิตเครื่องมือตัดนั้นๆ ซึ่งค่าในตารางจะเป็นค่าที่จะต้องปรับเปลี่ยนค่าอีกในขณะทำการผลิตชิ้นงานจริงๆ เนื่องจากยังมีตัวแปรอื่นๆ อีกนอกเหนือจาก ความแข็งแรงของเครื่องมือตัดที่ผู้ผลิตได้ทดสอบมา ตัวแปรที่มีผลอย่างมากต่อระยะป้อนลึก คือ ความแข็งแรงของเครื่องกัด วิธีการจับยึดชิ้นงานและระยะความยาวของเครื่องมือตัด ซึ่งผู้ปฏิบัติงานที่มีความชำนาญมากๆ จะสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบ อัตราป้อนและระยะป้อนลึก ให้เหมาะสมกับสภาพของเครื่องกัด วิธีการจับยึดชิ้นงานและระยะความยาวของเครื่องมือตัดได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 2.2 การส่งชิ้นงานต่อหนึ่งคมมีด (มิลลิเมตร / คนตัด)

วัสดุของชิ้นงาน	มีดหมุนกัด ปากหน้า		มีดหมุนกัด เรียบคมเฉ		มีดหมุนข้าง กัด, กัดร่อง		มีดหมุน ปลายกัด		มีดหมุน กัดขึ้นรูป		มีดหมุนรูป เกือบวงเคียน	
	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C
พลาสติก	0.32	0.38	0.25	0.30	0.20	0.23	0.18	0.18	0.10	0.13	0.08	0.10
โลหะผสม Al. Mg	0.55	0.50	0.45	0.40	0.32	0.30	0.28	0.25	0.18	0.15	0.13	0.13
บรอนซ์ทองเหลือง												
ธรรมดา	0.35	0.30	0.28	0.25	0.20	0.18	0.18	0.15	0.10	0.10	0.08	0.08
แข็ง	0.23	0.25	0.18	0.20	0.15	0.15	0.13	0.13	0.08	0.08	0.05	0.08
เหล็กหล่อ												
H <sub>B</sub> 150-180	0.40	0.50	0.32	0.40	0.23	0.30	0.20	0.25	0.13	0.15	0.10	0.13
H <sub>B</sub> 180-220	0.32	0.40	0.25	0.32	0.18	0.25	0.18	0.20	0.10	0.13	0.08	0.10
H <sub>B</sub> 220-300	0.28	0.30	0.20	0.25	0.15	0.18	0.15	0.15	0.08	0.10	0.08	0.08
เหล็กหล่อตีแผ่ได้ - เหล็กเหนียวหล่อ	0.30	0.35	0.25	0.28	0.18	0.20	0.15	0.18	0.10	0.13	0.08	0.10
เหล็กเหนียวคาร์บอน	0.25	0.35	0.20	0.28	0.15	0.20	0.13	0.18	0.08	0.10	0.08	0.10
เหล็กเหนียวผสม												
อบนึ่ง H <sub>B</sub> 180-220	0.20	0.35	0.18	0.28	0.13	0.20	0.10	0.18	0.08	0.10	0.05	0.10
H <sub>B</sub> 220-300	0.15	0.30	0.13	0.25	0.10	0.18	0.08	0.15	0.005	0.10	0.05	0.08
แข็ง H <sub>B</sub> 300-400	0.10	0.25	0.08	0.20	0.08	0.15	0.05	0.13	0.005	0.08	0.03	0.08
ไร้สนิม	0.15	0.25	0.13	0.20	0.10	0.15	0.08	0.13	0.005	0.08	0.05	0.08

ที่มา: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), เทคนิคช่างกล (เล่ม 1).พ.ศ. 2528 .หน้า 140

HS : มีดหมุนกัดเหล็กเหนียวความเร็วสูง

C : มีดหมุนกัดโลหะผสมชนิดแข็งพิเศษ

### 2.2.3 ความลึกของการกัด

อายุการใช้งานของมีดกัดเหมือนกับของมีดกลึง คือจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง เพราะสาเหตุกัดลึกมากหรือน้อยดังนั้นก็ควรใช้กัดให้ลึกไว้ แต่ในกรณีที่ต้องกัดผิวโลหะออกมา ควรแบ่งการกัดเป็น 2 - 3 ครั้ง ตามปกติจะใช้ความลึกในการกัดครั้งนี้การกัดหยาบใช้ 3 มิลลิเมตร การกัดแต่งสำเร็จใช้ 0.5 มิลลิเมตร

### 2.3 การวัดความเรียบผิว (SURFACE FINISH MEASUREMENT)

ในอดีตนั้นความเรียบผิวไม่มีความสัมพันธ์เท่าปัจจุบันนี้ เพราะฉะนั้นเครื่องจักรและรถยนต์ต่างๆจึงกำหนดขึ้นใช้ได้ทนยิ่งขึ้นเพื่อที่จะป้องกันความร้อนที่จะเกิดขึ้นจากความเสียดทานจะเป็นเหตุให้เกิดความอันตรายกับเครื่องจักรจึงกำหนดเป็นมาตรฐานเสมอ เป็นหยาบ ปานกลางและละเอียด ที่เป็นชนิดของความเรียบที่แสดงให้ทราบ โดยใช้กรรมวิธี คว้านด้วยดอกคว้าน (Ream) เจียรนัย (Grimo) ขัด (LAP) ฯลฯ ดังนั้นความเรียบของผิวจึงมักจะตรวจสอบ โดยใช้มือลูบไปตามผิวเพื่อแสดงถึงความไม่สม่ำเสมอ ส่วนการตรวจด้วยตาเปล่าจะใช้ก็ด้วย แต่จะไม่ปฏิบัติกับผิวมันที่ไม่จำเป็นต้องแสดงให้ทราบถึงผิวละเอียด

เทคโนโลยีในสมัยใหม่จึงมีความเรียบของผิวที่ทำให้ดีขึ้นตามประเภทการใช้ ลูกสูบ (Pistons) แบริ่ง (bearing) และเฟืองต่างๆ (Gears) จะขึ้นอยู่กับความเรียบของผิวที่ดีที่สุดสำหรับการใช้งานถูกต้อง ดังนั้น จึงบังคับขึ้นเล็กน้อยหรือเวลาที่ทำไม่ลดลงมีความเรียบดีกว่าเมื่อบังคับให้ปฏิบัติเพิ่มขึ้นเสมอ เช่น การขัดด้วยแผ่นโลหะหรือสารเชิงทราย (Lapping) หรือการขัดด้วยหินหรือสารเชิงทราย (Honing) และค่าแรงในการผลิตแพงมากเพื่อให้มีความเรียบตามความประสงค์จึงแสดงไว้บนแรงงานและแจ้งความรู้กับผู้ปฏิบัติเครื่องมือกลด้วยระบบของสัญลักษณ์ที่คิดค้นขึ้น โดยสมาคมมาตรฐานอเมริกัน (American Standard Association (ASA)) ใช้ระบบมาตรฐานนี้ขึ้นกำหนดแสดงให้ทราบถึงความเรียบของผิวขึ้นเป็นหน่วยในการวัดความเรียบของผิวคือ ไมโครนิ้ว หรือหนึ่งในล้านนิ้ว (0.000001) หรือไมโครเมตร (0.000001) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความเรียบของผิวโดยมาก คือ เครื่องแสดงผิว (Surface Indicator)

เครื่องนี้ประกอบด้วยเทรเซอร์เฮด (Tracer Head) และเครื่องขยาย (Amplifier) ซึ่งโครงของเทรเซอร์เฮดเป็นหลายแหลมเส้นตัดกัน (Diamond Stylus) มีรัศมีที่ปลาย 0.0005 นิ้ว (0.11 มิลลิเมตร) รองรับการเคลื่อนที่อยู่กับชั้นผิวงานที่อาจจะเคลื่อนที่ไปตามผิวงานด้วยมือหรือจับด้วยมอเตอร์เมื่อปลายแหลมเคลื่อนที่ไปบนผิวที่ไม่สม่ำเสมอแล้วจะเปลี่ยนเป็นไฟขึ้นๆลงๆโดยเทรเซอร์เฮดสัญญาณเหล่านี้ขยายให้เห็น โดยเครื่องขยายและแสดงที่มีเตอร์ด้วยเข็มแล้ว อ่านจากที่แสดงที่มีเตอร์เป็นไมโครนิ้ว(ไมโครเมตร) โดยเฉลี่ยความสูงของความหยาบของผิวหรือการยื่นออกของผิวนี้จากที่เกี่ยวเส้น (ศูนย์กลาง)

การอ่านอาจจะเป็นไปได้ทั้งเฉลี่ยตัวเลข (AA) หรือรากที่สอง (Root Mean Square (RMS)) ตามปกติรูปตัดตามขวางของชิ้นงานจะขยายได้มากขึ้น เพื่อที่จะคำนวณความเรียบของผิวโดยไม่มีเครื่องแสดงผิวและความสูงของการเบี่ยงเบนเหล่านี้จะต้องวัดและบันทึกไว้ เป็นตัวเลขหรือรากที่สอง เป็นวิธีที่ดีที่สุดที่จะหาความหยาบของผิวดังนั้นการเบี่ยงเบนจึงมีมากเป็นพิเศษ

สำหรับการหาความเที่ยงขนาดความเรียบของผิวด้วยเครื่องแสดงนั้น ขั้นแรกจะต้องแก้ขนาดความผิดพลาดโดยการตั้งกับผิวที่มีความเกี่ยวข้องชนิดละเอียดอยู่บนแท่งทดสอบที่แก้ขนาดความผิดพลาดกับมาตรฐาน (ASA)

### 2.3.1 คำจำกัดความของความเรียบของผิว (SURFACE FINISH DEFINITIONS)

การเบี่ยงเบนของผิว (Surface Deviations) คือ การยื่นจากผิวปกติเป็นรูปร่างต่างๆของลูกคลื่นความหยาบ ต่าหนิ จักคลื่นและรูปด้านข้าง

ลูกคลื่น (Waviness) เกี่ยวข้องกับความไม่สม่ำเสมอของลูกคลื่นที่เบี่ยงเบนออกจากผิวเฉลี่ยในรูปลูกคลื่นซึ่งอาจจะเกิดจากการสั่นของเครื่องหรือชิ้นงาน โดยทั่วไปแล้วจะมีระยะขยายไปกว้าง

ความหยาบ (Roughness) มีความสัมพันธ์ของระยะละเอียดที่ไม่สม่ำเสมอของลูกคลื่นและเกิดขึ้นจากเครื่องมือตัดหรือการกร่อนของเม็ดแกรนสารเชิงทรายด้วยความเร็วป้อนของเครื่องซึ่งไม่มีความสม่ำเสมอเหล่านี้จะแคบมากกว่าลูกคลื่น

ตำหนิ (Flaw) คือ ความไม่สม่ำเสมอ เช่นรอยบุบ รอยแตก สันหรือโพรงที่ไม่เป็นไปตามแบบสม่ำเสมอในกรณีนี้จะเกิดขึ้นในลูกคลื่นและความหยาบ

จักคลื่น (Lay) คือ ทิศทางของแบบผิวที่ตกลงกันไว้เกิดขึ้นจากกรรมวิธีการใช้เครื่องทำรูปด้านข้าง (Profile) คือรูปร่างที่กำหนดตลอดหน้าตัดของผิว

ไมโครนิ้ว (Microinch) คือหน่วยของการวัดที่ใช้วัดความเรียบของผิวจะเท่ากับหนึ่ง ไมโครนิ้ว (0.000001) หรือ ไมโครเมตร (0.000001)

สัญลักษณ์ที่แสดงให้ทิศทางที่จักคลื่นดังนี้

- || คือสัญลักษณ์ที่ขนานกับเส้นขอบเขตของผิว
- ⊥ คือสัญลักษณ์ที่ตั้งฉากกับเส้นขอบเขตของผิว
- X คือสัญลักษณ์ที่เป็นเชิงมุมทั้งสองทิศทางบนผิว
- M หลายทิศทาง
- C คือสัญลักษณ์ของวงกลมประมาณกับศูนย์กลางของผิว
- R คือสัญลักษณ์ของรัศมีที่มีประมาณสัมพันธ์กับศูนย์กลางของผิว

เฉลี่ยความหยาบของผิวที่ผลิตขึ้นจากกรรมวิธีการใช้เครื่องมาตรฐานเป็น ไมโครนิ้วและไมโครเมตร

	ไมโครนิ้ว	ไมโครเมตร
การกลึง	100-250	2.54-6.35
การเจาะ	100-200	2.54-5.08
การคว้านด้วยดอกคว้าน	50-150	1.27-3.81
การเจียรนัย	20-100	0.50-2.54
การจักด้วยหินขัด(Mowing)	5-20	0.12-0.50
การจักด้วยสารเชิงทราย(Lapping)	1-10	0.20-0.25

### 2.3.2 วิธีวัดความเรียบของผิวด้วยเครื่องแสดงผิว

1. เปิดสวิตช์และอุ่นเครื่อง (Warmup) อยู่ประมาณสามนาที
  2. ตรวจสอบว่าเครื่องมีมาตรฐานเพียงพอที่จะทำการวัดหรือไม่โดยเคลื่อนหลายแหลม (Stylus) ไปตามแท่งทดสอบ 125 ไมโครนิ้ว (3.1 ไมโครเมตร) ประมาณ 1/8 นิ้วต่อวินาที (3 มิลลิเมตรต่อวินาที)
  3. ถ้ามีความจำเป็นให้ปรับเครื่องควบคุมการแก้นาฬิกาความผิดพลาดจนเข้มเช่นเดียวกับแท่งทดสอบ
  4. จะต้องใช้ค่าตัดออก (Cut-Off-Value) 0.30 (0.80 มิลลิเมตร) เสมอจนกว่าถ้าผิวที่น้อยกว่า 30 ไมโครนิ้ว (1 ไมโครเมตร) จะใช้ค่าตัดออก 0.010 (0.25 มิลลิเมตร)
- หมายเหตุ** เมื่อวัดผิวที่ไม่ทราบขนาดในทางปฏิบัติที่สมควรจะตั้งสวิตช์ให้ระยะสวิตช์ให้สูงเพื่อไม่ให้เป็นอันตรายกับเครื่องมือหลังจากที่เริ่มทดสอบแล้วระยะสวิตช์อาจจะหมุนไปตั้งที่ละเอียดเพื่อให้อ่านผิวที่ขึงขนาดยิ่งขึ้น
5. ทำความสะอาดผิวที่ทำการวัดให้ทั่วถึง จะทำให้การอ่านค่ามีความเที่ยงขนาดและลดการสึกหรอของฝาปิดหลายแหลม (Stylus)
  6. ถ้าอยู่กับผิวละเอียดแล้วหลายสัมผัส (Stylus) จะเลื่อนที่สม่ำเสมอกับผิวงานประมาณ 0.80 นิ้วต่อวินาทีหรือ 4.800 นิ้วต่อนาที (2 มิลลิเมตรต่อวินาทีหรือ 120 มิลลิเมตรต่อนาที)
  7. บันทึกค่าที่อ่านเป็นไมโครนิ้ว (ไมโครเมตร) จากมิเตอร์สเกลไว้
- เครื่องมือเพิ่มเติมมีอยู่มากสำหรับการวัดความเรียบของผิวเป็นเครื่องวิเคราะห์ผิว เมื่อนำมารวมเข้าด้วยกันแล้ว จะบันทึกออกมาเป็นเส้นหมึกกราฟที่ผิวไม่สม่ำเสมออยู่บนกราฟ ถึงแม้ว่าเครื่องแสดงผิวมีวิธีใช้มากอยู่แล้วก็ตาม แต่ยังมีวิธีที่จะใช้วัดความเรียบของผิวที่อยู่ในระหว่างกรรมวิธีที่ใช้เครื่องทำมีความเที่ยงขนาดสมเหตุผล

### 2.3.3 เครื่องทดสอบความเรียบของผิว (SUREFACE ROUGHNESS TESTER)

เครื่องทดสอบผิวนี้จะใช้ในการวัดความเรียบของผิวในเทอมของ  $R_a$  (ใช้เลขคณิตหาตัวกลางการเบี่ยงเบน) หรือ  $R_q$  (กำหนดขึ้นจากมาตรฐานเยอรมนี) จึงอ่าน  $R_a$  และ  $R_q$  โดยตรงจากมิเตอร์ เมื่อนำเครื่องมาบันทึกมารวมเข้าด้วยกันแล้วจะบันทึกออกมาได้เช่นเดียวกัน

เครื่องทดสอบประกอบด้วยเครื่องสามตัว เครื่องรับคลื่น เครื่องขับ และเครื่องขยายมิเตอร์อยู่ด้วย

เครื่องรับคลื่น อยู่สคิด (Skid) ลาก (Trace) ไปบนผิวที่ไม่สม่ำเสมอให้หลายแหลมเส้นตัดกัน (Diamond Tipped Stylus) รัศมี 1.25 ไมโครเมตร (0.005 นิ้ว) มุม 60 องศาใช้แรงน้อยกว่า 1.5 gf มีระยะเคลื่อนที่ขึ้นลง



เครื่องขยายและมีมิเตอร์ติดอยู่ มีทั้งที่กำหนดขึ้นเป็นระบบเมตริก หรือ เมตริก/อังกฤษ ขนาด 0.3 ไมโครเมตร (10 ไมโครนิ้วถึง 3000 ไมโครนิ้ว) เครื่องจับ 0.02 ไมโครเมตร ถึง 5.0 ไมโครเมตร (0.5 ไมโครนิ้วถึง 200.0 ไมโครนิ้ว) ค่าตัดออก (Cut-Off-Value) 6 มิลลิเมตร(0.240 นิ้ว) ต่อวินาที ใช้ขนาด 2.5 มิลลิเมตร(1 นิ้ว) ถึง 0.25 มิลลิเมตร(0.10 นิ้ว) และ 2 มิลลิเมตร(0.808 นิ้ว) ต่อวินาที ใช้ขนาด 0.8 มิลลิเมตร(0.30 นิ้ว) ถึง 0.08 มิลลิเมตร(0.003 นิ้ว)

แรงขับเคลื่อนและเครื่องรับคลื่นขนาด 6 มิลลิเมตร (240 นิ้ว) ต่อวินาที หรือ 2 มิลลิเมตร ต่อวินาที คลื่นละเอียด มีความเร็วที่ขงขนาดแน่นอนและไวใจได้

เครื่องนี้เป็นทรานซิสเตอร์อยู่ร่วมกับวงจรพิมพ์มีความสามารถให้จุดต่างๆที่เส้นผลิต ออกมาสำหรับกรรมวิธีตรวจที่อยู่ระหว่างกลางของความเรียบผิว

เครื่องบันทึกผิว เมื่อนำไปใช้กับเครื่องทดสอบผิวแล้ว จะบันทึก  $R_q$  ออกมาสำหรับผู้ตรวจใช้สะดวกยิ่งขึ้น

เครื่องลากด้วยมือ (Hand Tracer) ใช้สำหรับวัดผิวเว้า (Concave) หรือนูน (Convex) เครื่องรับคลื่นรับมาตรฐานอยู่กับเครื่องจับไม่สามารถที่จะใช้ได้จึงใช้เครื่องชนิดนี้โดยที่ลายแหลม (Stylus) รองรับโดยที่สติกทั้งสามจึงทำให้วัดได้สม่ำเสมอแน่นอน

#### 2.4 การออกแบบการทดลอง

ไม่ว่าเราจะอยู่ในสาขาวิชาใดก็ตาม เราจะต้องมีความเกี่ยวข้องกับการทดลองบ้างไม่มากก็น้อย ทั้งนี้เพื่อให้เราทราบหรือค้นพบบางสิ่งบางอย่างเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบบางอย่างโดย คำศัพท์แล้วการทดลองจะหมายถึงการทดสอบ เราอาจจะให้คำนิยามของการทดลองว่าเป็นการ ทดสอบหรือเป็นชุดการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรขาเข้า(Input Variable) ของ กระบวนการหรือระบบเพื่อที่เราอาจจะสังเกตหรือบ่งชี้ถึงเหตุผลของการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิด ขึ้นกับผลตอบขาออกได้

เนื้อหาของหัวข้อนี้จะเกี่ยวกับการออกแบบและการดำเนินการทดลองและการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองเพื่อที่จะหาข้อสรุปที่มีเหตุผล หัวข้อนี้จะเน้นไปที่การทดลองทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์ ฟิสิกส์ และเคมี สำหรับทางด้านวิศวกรรมศาสตร์นั้นการทดลองจะมีบทบาทที่ สำคัญในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การพัฒนากระบวนการผลิต และการปรับปรุงกระบวนการ ผลิตวัตถุดิบประสงค์หลักที่จะพัฒนากระบวนการที่มีความเข้มแข็ง (Robust Process) ซึ่งความแปรผัน ภายนอกจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการได้น้อยมาก

ตัวอย่างการทดลองก็คือสมมติว่าวิศวกร โลหะการคนหนึ่งต้องการจะศึกษาถึงผลกระทบของกระบวนการชุบแข็ง 2 วิธี ที่ใช้กับโลหะผสมอะลูมิเนียม คือ วิธีการใช้น้ำมันและวิธีการใช้น้ำเกลือ ในที่นี้วัตถุประสงค์ในการทดลองก็เพื่อจะหาว่าสารละลายชนิดไหนที่ทำให้เกิดความแข็งมากที่สุด ต่อโลหะผสมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ วิศวกรคนนั้นก็ดำเนินการทดลองโดยใช้ตัวอย่างของโลหะผสมจำนวนหนึ่งลงในสารละลายแต่ละชนิดและหลังจากนั้นก็ทำการวัดค่าความแข็งของชิ้นงาน ค่าเฉลี่ยของความแข็งของชิ้นงานที่ถูกจุ่มลงในสารละลายต่างชนิดกันจะนำมาใช้ในการตรวจสอบว่าสารละลายชนิดไหนดีที่สุด หลังจากที่เราศึกษาการทดลองที่ง่าย ๆ ตามตัวอย่างข้างต้นไปแล้ว เราอาจจะมีคำถามมากมายในใจตามมาได้ เช่น

1. สารละลายสองชนิดเท่านั้นเองหรือที่เราสนใจ
2. มีปัจจัยอื่นอีกหรือไม่ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรง ซึ่งเราควรตรวจสอบหรือควบคุมในการทดลอง
3. เราควรจะใช้ตัวอย่างจำนวนเท่าใดในการทดลอง
4. เราจะกำหนดลำดับชิ้นงานตัวอย่างที่จะทดสอบกับสารละลายอย่างไร
5. เราควรจะใช้วิธีการใดในการวิเคราะห์ผลการทดลอง
6. ค่าความแตกต่างขนาดใดของความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานที่จุ่มลงในสารละลายที่แตกต่างกันจะเรียกว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

คำถามเหล่านี้และอาจจะมีคำถามอื่นๆอีก ควรจะมีคำตอบก่อนที่จะทำการทดลองจริง

ในการทดลองใดๆก็ตาม ผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับวิธีการเก็บข้อมูล สมมติว่าวิศวกร โลหะการนำชิ้นงานตัวอย่างชิ้นหนึ่งที่ถูกเผาด้วยความร้อนค่าหนึ่งแล้วนำไปจุ่มลงความร้อนด้วยน้ำเกลือ เมื่อนำเอาค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงานทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน เขาจะไม่สามารถกล่าวได้ว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้น มีขนาดเท่าใดที่เป็นผลมาจากตัวกลางที่ใช้ด้วยความร้อนและขนาดอีกเท่าใดที่เป็นผลมาจากความแตกต่างของความร้อนดังนั้นจะเห็นว่าวิธีการในการเก็บข้อมูลจะส่งผลกระทบอย่างมากต่อข้อสรุปที่จะเกิดขึ้นจากการทดลอง ตามปกติแล้วการทดลองถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ

เราจะมองได้ว่า กระบวนการคือการรวมเอาคนงาน เครื่องจักร วิธีการ และทรัพยากรอื่นๆเข้าด้วยกัน เพื่อเปลี่ยนอินพุต(เช่น วัตถุดิบ) ไปสู่เอาต์พุตที่มีผลตอบออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่า ซึ่งเราสามารถเห็นได้ด้วยตัวแปรกระบวนการบางชนิด  $x_1, x_2, \dots, x_p$  เป็นตัวแปรที่เราสามารถควบคุมได้ ในขณะที่ตัวแปรบางตัว  $z_1, z_2, \dots, z_p$  เป็นตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้

(ถึงแม้ว่าในบางครั้งเราอาจควบคุมตัวแปรพวกนี้ได้ในขณะที่ทำการทดลองก็ตาม)

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองอาจจะเกี่ยวกับ

1. หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ  $y$
2. หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  ที่มีผลต่อค่าผลตอบ  $y$  เพื่อให้  $y$  อยู่ที่ค่าที่ต้องการ

3. หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  ที่มีผลต่อค่าผลตอบ  $y$  เพื่อให้  $y$  มีค่าน้อย
4. หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  ที่มีผลต่อค่าผลตอบ  $y$  เพื่อให้ผลของตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้  $z_1, z_2, \dots, z_p$  มีค่าน้อยสุด

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า การทดลองส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายตัว และวัตถุประสงค์ของคนที่ทำการทดลอง(เรียกว่า ผู้ทดลอง) ก็คือหาผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้กับผลตอบของระบบ เราเรียกการวางแผนและดำเนินการทดลองว่า กลยุทธ์ของการทดลอง (Strategy of Experimentation) ซึ่งมีกลยุทธ์หลายอย่าง que ผู้ทดลองสามารถนำไปใช้ได้ เช่น แบบหนึ่งปัจจัยต่อครั้ง (One Factor at a Time) หรือการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทต่อไป

#### 2.4.1 หลักการพื้นฐาน

ถ้าต้องการให้การทดลองมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด เราจะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็นเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายังมีปัญหาที่น่าสนใจเกี่ยวข้องกับข้อผิดพลาดในการทดลอง (Experiment Error) วิธีการตามสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญสองประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือการออกแบบการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีการเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้หลักการพื้นฐานสามประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ เรพลิเคชัน (Replication) แรมดอมไมเซชัน (Randomization) และบล็อกกิง (Blocking) ในที่นี้เรากำหนดให้ว่า เรพลิเคชันหมายถึงทำการทดลองซ้ำ เรพลิเคชันมีคุณสมบัติที่สำคัญสองประการ คือ

ประการแรกเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่

ประการที่สองค่าเฉลี่ย(ตัวอย่างเช่น  $\bar{y}$ ) ถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลีเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้ ตัวอย่างเช่น ถ้า  $\sigma^2$  คือความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละตัว และมี  $n$  เรพลีเคต ดังนั้นค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างนี้

$$\sigma \frac{2}{y} = \sigma^2 / n \quad (2.3)$$

ผลในการปฏิบัติคือว่า  $n = 1$  เรพลีเคตและค่าที่ได้จากการทดลอง  $y_1 = 145$  (ใช้น้ำเป็นตัวดับความร้อน) และ  $y_2 = 147$  (ใช้น้ำเกลือเป็นตัวดับความร้อน) เราอาจจะไม่สามารถที่จะสรุปอะไรเกี่ยวกับผลการทดลองทั้งสองนี้ได้ นั่นคืออาจเป็นไปได้ว่าความแตกต่างที่สังเกตได้ อาจจะเป็นผลมาจากความผิดพลาดในการทดลอง ในทางตรงกันข้าม ถ้า  $n$  มีค่ามากเพียงพอและความผิดพลาดของการใช้น้ำเกลือเป็นตัวดับความร้อนจะทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานมากกว่าการใช้น้ำเป็นตัวดับความร้อนสำหรับโลหะผสมอะลูมิเนียม

แรนคอมไมเซชัน เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง แรนคอมไมเซชัน หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนคอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การที่เราแรนคอมไมซ์การทดลองทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

บล็อกกิง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง บล็อกอีกอันนี้อาจหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิงหลักการพื้นฐานทั้งสามที่กล่าวมานี้มีความสำคัญอย่างมากต่อการทดลองทุกๆชนิด ดังนั้นเราอาจจะต้องกล่าวถึงหลักการทั้งสามนี้บ่อยครั้ง เพื่อเป็นการแสดงและเน้นเห็นถึงประโยชน์ของหลักการดังกล่าว

#### 2.4.2 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

1. ทำความเข้าใจถึงปัญหา บางคนอาจคิดว่าขั้นตอนนี้น่าจะง่ายและตรงไปตรงมา แต่ในความเป็นจริงการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะต้องมีความเข้าใจอย่างทอ่งแท่งล่วงหน้าว่า เรากำลังศึกษาอะไรอยู่จะเก็บข้อมูลได้อย่างไรและจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้จริงแล้วขั้นตอนนี้ไม่ได้ง่ายอย่างที่คิด ในขั้นตอนนี้เราจะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลองและบ่อยครั้งที่เราจะต้องหาข้อมูลอินพุตจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต

แผนการตลาด ผู้บริหาร ลูกค้าและแผนกบุคคล ด้อยแสดงของปัญหาที่มีความชัดเจนจะมีผลอย่างมากต่อความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์และคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้นๆด้วยเหตุนี้เองการออกแบบการทดลองทุกครั้งควรจะมีการทำงานเป็นทีม

2. เลือกปัจจัย ระดับและขอบเขต ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ(Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลองจะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดให้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก ซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจากประสบการณ์และความรู้ทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่เราจะต้องตรวจสอบว่า ปัจจัยที่กำหนดมาทั้งหมดนี้มีความสำคัญหรือไม่และมีวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย (Screening) เราควรกำหนดให้ระดับต่างๆที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเราควรเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆและเมื่อเราได้มีความรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตลงมาให้แคบลงได้

3. เลือกตัวแปรผลตอบ ในการเลือกตัวแปรผลตอบ ผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการตัวแปรเป็นผลตอบ เป็นไปได้ว่าการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบหลายตัวและมีความจำเป็นอย่างมากเราจะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรผลตอบ และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองได้จริง

4. เลือกการออกแบบการทดลอง ถ้ากิจกรรมการวางแผนก่อนการทดลองทำได้อย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้จะเป็ขั้นตอนที่ง่ายมาก การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับ การพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (จำนวนเรพลีเขต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมกับการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่าควรใช้วิธีบล็อกหรือใช้การแรนดอมไมเซชันอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ในการเลือกการออกแบบ เราจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองวิศวกรรมศาสตร์ส่วนมาก เราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวมีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่างและประมาณความแตกต่างที่เกิดขึ้น

5. ทำการทดลองเมื่อทำการทดลองเราจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผนถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำให้การทดลองนี้ใช้ไม่ได้ดังนั้นการวางแผนในขั้นตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่เกิดขึ้น

6. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เราควรจะนำวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการเชิงสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการทางสถิติก็คือ ทำให้ผู้มีอำนาจทางการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ และถ้านำวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรมความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และสามัญสำนึก จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

สรุปและข้อเสนอแนะ เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในการปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้เราจะนำวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเราต้องการนำเสนอผลงานนี้ให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำกรทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำการขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

#### 2.4.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

การทดลองส่วนมากในเชิงปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมตัวของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับและปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เปรดิกเต (Replicate) จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด  $ab$  การทดลองและเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบเชิงแฟกทอเรียล เราจะกล่าวปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน ซึ่งผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) เนื่องจากว่ามันเกี่ยวข้องกับปัจจัยเบื้องต้นของการทดลองในการทดลองบางอย่างเราอาจจะพบความแตกต่างของผลที่เกิดขึ้นตามระดับต่างๆของปัจจัยหนึ่งมีค่าไม่เท่ากัน ที่ระดับอื่นๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายความว่า ผลตอบของปัจจัยหนึ่งกับระดับปัจจัยอื่นๆนั้นเอง และเราเรียกเหตุการณ์นี้ว่า มีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.5.1 หัวข้อโครงการ : การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความสึกหรอของคมตัด ในการกัดทองเหลืองผสม

บทคัดย่อ : ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความสึกหรอของคมตัด วัสดุที่ใช้ การทดลองเป็นทองเหลืองผสมและใช้มีดกัด (End Mill) ชนิดเหล็กกล้ารอบสูง (High Speed Steel : HSS) ปัจจัยที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย สารหล่อเย็น ความเร็วรอบ ความเร็วตัด อัตราป้อน และ ความลึกในการป้อนตัด ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผล คือ สารหล่อเย็นที่มีผลต่อความผิวงานอย่าง มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยที่สารหล่อเย็นชนิดน้ำมันแบบผสมน้ำให้ค่าความเรียบผิวมากกว่าน้ำมัน พืช ส่วนความเร็วตัดมีผลต่อความผิวงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเพิ่มความเร็วตัดให้สูงขึ้น มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเพิ่มอัตราป้อนให้สูงจากการใช้น้ำมันแบบผสมน้ำ ทำให้ค่าความเรียบ ผิว ของชิ้นงานลดลง ตรงข้ามกับการใช้น้ำมันพืชจะให้ค่าความเรียบผิวชิ้นงานที่สูงขึ้น อัตราป้อนมี ผลต่อ ความสึกหรอของคมตัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยเมื่อเพิ่มอัตราป้อนให้สูงขึ้นจะให้ ค่าความ สึกหรอของคมตัดที่ลดลง

### 2.5.2 หัวข้อโครงการ : การสร้างแบบจำลองความเที่ยงตรงและพื้นผิวสำเร็จสำหรับ

ทองเหลือง อลูมิเนียม และเหล็กหล่อ โดยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบ

บทคัดย่อ : วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมใน กระบวนการกัดผิวสำเร็จชิ้นงานโลหะ โดยการทดลองกับวัสดุ 3 ชนิด คือ อลูมิเนียม ทองเหลือง และเหล็กหล่อ โดยใช้กรรมวิธีการผลิตบนเครื่องกัดซีเอ็นซี ซึ่งได้กำหนดค่าตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ ความเร็วรอบและอัตราป้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะเข้าไปศึกษาและสร้างแบบจำลอง สำหรับตัวแปรในการผลิตที่มีผลกระทบต่อพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงานที่ผลิตบนเครื่องซีเอ็นซี โดย สามารถนำผลการวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ได้จริงในงานอุตสาหกรรมการออกแบบการทดลองสำหรับการวิจัยนี้ ได้เลือกวิธีการทดลองโดยใช้หลักการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology; RSM) ด้วยการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) โดยทดลองกับ อลูมิเนียม ชนิด Al 2072 และทองเหลือง ที่ผสมสังกะสี 10 % และเหล็กหล่อ เพื่อการศึกษา ความสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ และอัตราป้อนการกัดต่อผลตอบด้วยความเที่ยงตรง และพื้นผิวสำเร็จ โดยโปรแกรม Minitab จะถูกนำมาใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  ค่าปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมต่องานกัดด้วย เครื่องกัดซีเอ็นซีของอลูมิเนียมที่ให้ค่าความเรียบผิว ( $R_a$ ) เท่ากับ 0.69 ไมครอน คือ ความเร็วรอบ 1,175 รอบต่อนาที และอัตราป้อน 55 มิลลิเมตรต่อนาที ของชิ้นงานทองเหลือง ให้ค่าความเรียบผิว เท่ากับ 2.69 ไมครอน คือ ความเร็วรอบ 1,041 รอบต่อนาทีและอัตราป้อน 150 มิลลิเมตรต่อนาที

และชิ้นงานเหล็กหล่อ ให้ค่าความเรียบผิว เท่ากับ 2.43 ไมครอน คือ ความเร็วรอบ 862 รอบต่อนาที และอัตราป้อน 40 มิลลิเมตรต่อนาที

### 2.5.3 หัวข้อโครงการงาน : ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม

บทคัดย่อ : การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว ในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) โดยเทียบกับคุณภาพผิวของงานเจียรนัยเป็นเกณฑ์ วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็น เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel AISI/SUS 304) และใช้มีดกลึงอินเสิร์ทคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วย กระบวนการซีวีซี (CA 6525) ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ความเร็วตัด (cutting Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) และสารหล่อเย็น จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวคือ ความเร็วตัด ซึ่งมีคุณภาพผิวของงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยที่ความเร็วตัดต่ำจะทำให้ค่า คุณภาพผิวของงานที่ดี แต่เมื่อเพิ่มความเร็วตัดให้สูงขึ้นทำให้ค่าคุณภาพผิวของงานต่ำลง จากการ วิเคราะห์สมการถดถอยเป็นตัวระบุถึงอิทธิพลของความเร็วตัดที่มีต่อค่าความเรียบของงาน

### 2.5.4 หัวข้อโครงการงาน : การศึกษาตัวแปรของเครื่องกลึงที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน

บทคัดย่อ : การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาตัวแปร คือ ความเร็วรอบและอัตราป้อน โดยทำการกลึงชิ้นงานด้วยเครื่องกลึง CNC ว่าส่งผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานหรือไม่ เริ่มจากการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองด้วย Minitab 14 ซึ่งการทดลองประกอบไปด้วยความเร็วรอบที่ 1,425, 1,634 และ 1,844 รอบ/นาที, อัตราป้อน 0.05, 0.10 และ 0.15 มิลลิเมตร/นาที, เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 38 มิลลิเมตรจากการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวคือ ความเร็วรอบและอัตราการป้อน โดยมีแนวโน้มว่าเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น (1,844 รอบ/นาที) และอัตราการป้อน (0.05 มิลลิเมตร/นาที) จะส่งผลให้ได้ชิ้นงานที่มีความเรียบผิวที่ดี โดยสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ของการกลึงชิ้นงาน ได้ด้วยสมการนี้คือ

$R_a = 1.22 + 35.1\text{Feed} - 0.000578\text{Speed}$ . การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอยและค่าเฉลี่ยจากการทดลอง มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 11.61%



### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินโครงการ

#### 3.1 ศึกษาทฤษฎีการออกแบบการทดลอง

ศึกษาข้อมูลและวิธีการต่างๆ ในการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน

#### 3.2 การออกแบบการทดลอง

กำหนดปัจจัยที่น่าจะส่งผลกระทบต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน ได้แก่ ความเร็วรอบของการกัดและอัตราป้อนของเครื่องกัด ซึ่งมีวิธีการคำนวณค่าตัวแปรดังต่อไปนี้

##### 3.2.1 การคำนวณความเร็วรอบของดอกกัด

$$\text{จากสมการที่ (2.1)} \quad n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

โดยที่  $n$  เป็นความเร็วรอบของดอกกัด (รอบต่อนาที) ซึ่งจะหาได้จากการคำนวณ  
 $V_c$  เป็นความเร็วตัด (เมตรต่อนาที) ซึ่งจะหาได้จากตารางของเครื่องมือตัด  
 $\pi$  เป็นค่าพาย ซึ่งเป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 3.14  
 $D$  เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือตัดหรือดอกกัด (มิลลิเมตร)

จากสูตรการคำนวณเมื่อนำค่าจากตารางที่ 2.1 โดยใช้ค่าความเร็วของการหมุนกัดซึ่งพิจารณาจากการที่ใช้วัสดุคือเหล็กเหนียวอุตสาหกรรม (ST 37) และเมื่อนำมาตรวจสอบกับตารางก็จะได้ค่าความเร็วของการหมุนกัดที่ค่าระหว่าง 25-40 เมตรต่อนาทีซึ่งในการทดลองนี้เราจะใช้ค่าสูงสุดและต่ำสุดก็คือ 25 และ 40 เมตรต่อนาทีและค่าเฉลี่ยของค่าทั้งสองก็คือ 32.5 เมตรต่อนาทีนำค่าทั้ง 3 ค่าที่ได้มาคำนวณในสมการ (2.1) และใช้ดอกกัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรจะได้ความเร็วรอบของดอกกัดดังนี้

ที่ความเร็วตัดของดอกกัด 25 รอบต่อนาทีจะได้  $n = 398.089$  รอบต่อนาที

ที่ความเร็วตัดของดอกกัด 40 รอบต่อนาทีจะได้  $n = 636.94$  รอบต่อนาที

ที่ความเร็วตัดของดอกกัด 32.5 รอบต่อนาทีจะได้  $n = 517.515$  รอบต่อนาที

และเมื่อนำค่าที่ได้ไปเทียบกับค่าความเร็วรอบที่เครื่องสามารถปฏิบัติงานได้ก็จะได้ค่าความเร็วรอบของคอกกัดสำหรับการปฏิบัติงานจริงคือ 340, 450 และ 680 รอบต่อนาที

### 3.2.2 การคำนวณอัตราป้อนของเครื่องกัด

$$\text{จากสมการที่ (2.2)} \quad f_t = n \cdot f_z \cdot z$$

โดยที่  $f_t$  เป็นอัตราป้อนของโต๊ะงาน (มิลลิเมตรต่อนาที) ซึ่งจะหาได้จากการคำนวณ

$n$  เป็นความเร็วรอบของคอกกัด (รอบต่อนาที) ซึ่งจะหาได้จากการคำนวณ

$f_z$  เป็นอัตราป้อนต่อคมตัด (มิลลิเมตรต่อคมตัด) ซึ่งจะหาได้จากตารางของเครื่องมือตัด

$z$  เป็นจำนวนคมตัดของเครื่องมือตัดหรือคอกกัด

การคำนวณอัตราป้อนจากสมการจะได้ดังนี้

ที่ความเร็วรอบของคอกกัด 340 รอบต่อนาทีและค่า  $f_z$  จากตารางที่ 2.2 คือ 0.25 มิลลิเมตรต่อคมตัด  
จะได้  $f_t = 340 \times 0.25 \times 4 = 340/1000 = 0.34$  มิลลิเมตรต่อนาที

ที่ความเร็วรอบของคอกกัด 450 รอบต่อนาทีและค่า  $f_z$  จากตารางที่ 2.2 คือ 0.25 มิลลิเมตรต่อคมตัด  
จะได้  $f_t = 450 \times 0.25 \times 4 = 450/1000 = 0.45$  มิลลิเมตรต่อนาที

ที่ความเร็วรอบของคอกกัด 680 รอบต่อนาทีและค่า  $f_z$  จากตารางที่ 2.2 คือ 0.25 มิลลิเมตรต่อคมตัด  
จะได้  $f_t = 680 \times 0.25 \times 4 = 680/1000 = 0.68$  มิลลิเมตรต่อนาที

เมื่อดูจากค่าที่เครื่องสามารถทำได้โดยเลือกให้ใกล้เคียงกับการคำนวณซึ่งใช้วิธีการเพิ่มค่าและเปรียบเทียบให้ใกล้เคียงกับค่าที่เครื่องสามารถปฏิบัติงานได้ก็คือ 40, 70 และ 100 มิลลิเมตรต่อนาที

เมื่อได้ค่าความเร็วรอบของคอกกัดและอัตราป้อนของโต๊ะงานแล้วขั้นตอนต่อไปก็เป็นการออกแบบการทดลองซึ่งจะได้ค่าดังตาราง

ตารางที่ 3.1 ตารางออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของดอกกัก (มิลลิเมตร)	อัตราป้อนของ โต๊ะงาน (มิลลิเมตรต่อนาที)	ความเร็วรอบ ของดอกกัก (รอบต่อนาที)	Roughness ( $R_a$ ) (ไมโครเมตร)
2	1	20	40	450	
5	2	20	70	450	
24	3	20	70	680	
4	4	20	70	340	
9	5	20	100	680	
8	6	20	100	450	
22	7	20	70	340	
25	8	20	100	340	
7	9	20	100	340	
13	10	20	70	340	
11	11	20	40	450	
21	12	20	40	680	
6	13	20	70	680	
19	14	20	40	340	
27	15	20	100	680	
10	16	20	40	340	
20	17	20	40	450	
1	18	20	40	340	
14	19	20	70	450	
17	20	20	100	450	
16	21	20	100	340	
23	22	20	70	450	
12	23	20	40	680	
26	24	20	100	450	

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) ตารางข้อมูลที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของดอกกัด (มิลลิเมตร)	อัตราป้อนของ โต๊ะงาน (มิลลิเมตรต่อนาที)	ความเร็วรอบ ของดอกกัด (รอบต่อนาที)	Roughness ( $R_a$ ) (ไมโครเมตร)
26	24	20	100	450	
18	25	20	100	680	
3	26	20	40	680	
15	27	20	70	680	

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของดอกกัด (มิลลิเมตร)	อัตราป้อนของ โต๊ะงาน (มิลลิเมตรต่อนาที)	ความเร็วรอบของ ดอกกัด (รอบต่อนาที)	$R_a$ (ไมโครเมตร)			
			ค่าที่ 1	ค่าที่ 2	ค่าที่ 3	ค่าเฉลี่ย
20	40	340				
		450				
		680				
	70	340				
		450				
		680				
	100	340				
		450				
		680				

### 3.3 ศึกษาส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกัดแนวตั้ง

ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องกัดแนวตั้ง ยี่ห้อ TRADE MARK ในการทำงาน  
ของเครื่องกัดนั้นจะประกอบด้วยแผงปรับความเร็วรอบ แผงปรับอัตราป้อน แผงควบคุมการใช้งาน  
ของเครื่อง แทนรองรับงาน ปากกาจับยึดชิ้นงาน แทนยึดดอกกัด

### 3.4 ดำเนินการทดสอบ

- 3.4.1 เตรียมชิ้นงานที่ต้องการคือเหล็กเหนียวอุตสาหกรรม (ST 37) ขนาดกว้าง 1 นิ้ว X ยาว 4 นิ้วและหนา 1 นิ้ว
- 3.4.2 ทำการติดตั้งดอกกัดตามขนาดที่กำหนดไว้ต่อไปตั้งค่าความเร็วรอบตามที่กำหนดไว้ และตั้งค่าอัตราป้อนตามที่กำหนดไว้ให้พร้อมสำหรับปฏิบัติงาน
- 3.4.3 ทดสอบการทำงานของระบบต่างๆของเครื่องกัดแนวตั้ง
- 3.4.4 ติดตั้งชิ้นงานตามตำแหน่งที่กำหนดไว้
- 3.4.5 ทำการกัดชิ้นงานตามที่ต้องการคือจำนวนชิ้นงาน 14 ชิ้นและใช้ทั้งหมด 27 พื้นผิว
- 3.4.6 ดอกกัดที่ใช้ในการกัดคือดอกกัด High Speed Steels (HSS) ชนิดดอกกัด END MILL ก้านจับตรงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรมีคมตัด 4 คมตัดแต่ละคมตัดมีลักษณะเอียง
- 3.4.7 ลักษณะการกัดคือกัดไปในทิศทางเดียวจนหมดด้านยาวของชิ้นงานจากนั้นจึงเลื่อนดอกกัดมาไว้ที่ตำแหน่งเริ่มต้นกัดในด้านกว้างต่อไปและทำการกัดในลักษณะนี้จนหมดพื้นผิว

### 3.5 การทดสอบการวัดความเรียบผิว

3.5.1 ศึกษาวิธีการทำงานของเครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงานเป็นการศึกษาวิธีการทำงานของเครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงาน (Surface Roughness Measuring System Surface Texture Parameters) รุ่น SV-400 ที่ถูกต้องและเหมาะสม เพื่อไม่ให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดที่ผิดพลาด

3.5.2 ทำการทดสอบเครื่องวัดความเรียบผิวชิ้นงานและตรวจสอบว่าเครื่องมีมาตรฐานเพียงพอที่จะทำการวัดหรือไม่โดยให้อาจารย์ผู้ควบคุมเครื่องเป็นผู้ตรวจสอบและแก้ไขโดยเลือกใช้ R profile เพราะเราสามารถที่จะอ่านค่า Mean line ได้ค่าเดียวและตั้งค่าให้เข็มวัดวัดความเรียบโดยใช้ระยะ 0.25 มิลลิเมตรจำนวน 5 ครั้งติดต่อกัน

3.5.3 ทำความสะอาดชิ้นงานเพื่อให้เศษคราบต่างๆที่จะมีผลต่อการวัดออกไปและทำการวางชิ้นงานไว้ ณ ตำแหน่งที่กำหนดโดยให้เข็มวัดอยู่ตรงกลางชิ้นงานที่จะทำการวัดจากนั้นเลื่อนเข็มวัดมาไว้บนพื้นผิวชิ้นงานเมื่อเข็มวัดอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดแล้วต่อไปก็ทำการตั้งค่าเริ่มต้นการวัดจากนั้นจึงทำการวัดค่าเมื่อเครื่องทำการวัดค่าความเรียบผิวเสร็จแล้วก็จะแสดงผลที่ได้จากนั้นเราจึงนำค่านั้นมาบันทึกลงไปในตารางที่ได้ออกแบบไว้ เมื่อทำการบันทึกผลแล้วก็เลื่อนเข็มวัดขึ้นไว้ ณ ตำแหน่งเริ่มต้นและนำชิ้นงานที่ทำการวัดเสร็จสิ้นแล้วออกจากแท่นวาง

3.5.4 ทำตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.5.3 ต่อไปจนครบตามจำนวนชิ้นงานและพื้นผิวที่จะทำการวัดความเรียบผิว

### 3.6 บันทึกผลการทดลอง

นำผลการทดลองที่ได้จากการวัดความเรียบผิวโดยใช้ค่า  $R_a$  มาบันทึกไว้ตามตารางให้ตรงกับค่าที่ทำการวัดไว้ตั้งแต่ต้น

### 3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรมทางสถิติและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 3.8 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

สรุปปัจจัยในการกัดที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานต่อไปในอนาคต

### 3.9 จัดพิมพ์รูปเล่มและนำเสนอผลการดำเนินงาน

ทำการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดในการดำเนินการวิจัยมาจัดพิมพ์รูปเล่มและนำเสนอ

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์

เมื่อทำการทดลองและวัดค่าความเรียบผิวเสร็จสิ้นแล้วในขั้นตอนต่อไปก็คือการนำค่าต่างๆที่ได้บันทึกไว้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติคือ โปรแกรม Minitab ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบของของดอกกัด ซึ่งมี 3 ค่าได้แก่ 340, 450 และ 680 รอบต่อนาที และอัตราป้อนของ โຕ้ะงาน 40, 70 และ 100 มิลลิเมตรต่อนาที

#### 4.1 การเก็บข้อมูลต่างๆ

การเก็บข้อมูลผลการทดลอง เพื่อนำมาวิเคราะห์นั้น ได้ทำการเก็บข้อมูลของความเรียบผิวของชิ้นงาน โดยใช้ค่า  $R_a$  มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดอกกัด (มิลลิเมตร)	อัตราป้อนของ โຕ้ะงาน (มิลลิเมตรต่อนาที)	ความเร็วรอบของ ดอกกัด (รอบต่อนาที)	$R_a$ (ไมโครเมตร)			
			ค่าที่ 1	ค่าที่ 2	ค่าที่ 3	ค่าเฉลี่ย
20	40	340	5.355	5.015	5.156	5.175
		450	5.536	5.550	5.594	5.560
		680	5.798	5.512	5.651	5.654
	70	340	5.348	5.055	5.331	5.245
		450	5.689	5.403	5.681	5.591
		680	5.742	5.597	5.722	5.687
	100	340	4.368	4.752	4.564	4.561
		450	5.424	4.965	4.825	5.071
		680	5.747	5.122	5.743	5.537

ตารางที่ 4.2 ตารางข้อมูลที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของดอกกัด (มิลลิเมตร)	อัตราป้อนของ โต๊ะงาน (มิลลิเมตรต่อนาที)	ความเร็วรอบ ของดอกกัด (รอบต่อนาที)	Roughness ( $R_a$ ) (ไมโครเมตร)
2	1	20	40	450	5.536
5	2	20	70	450	5.689
24	3	20	70	680	5.742
4	4	20	70	340	5.348
9	5	20	100	680	5.747
8	6	20	100	450	5.424
22	7	20	70	340	5.055
25	8	20	100	340	4.368
7	9	20	100	340	4.752
13	10	20	70	340	5.331
11	11	20	40	450	5.550
21	12	20	40	680	5.798
6	13	20	70	680	5.597
19	14	20	40	340	5.355
27	15	20	100	680	5.122
10	16	20	40	340	5.015



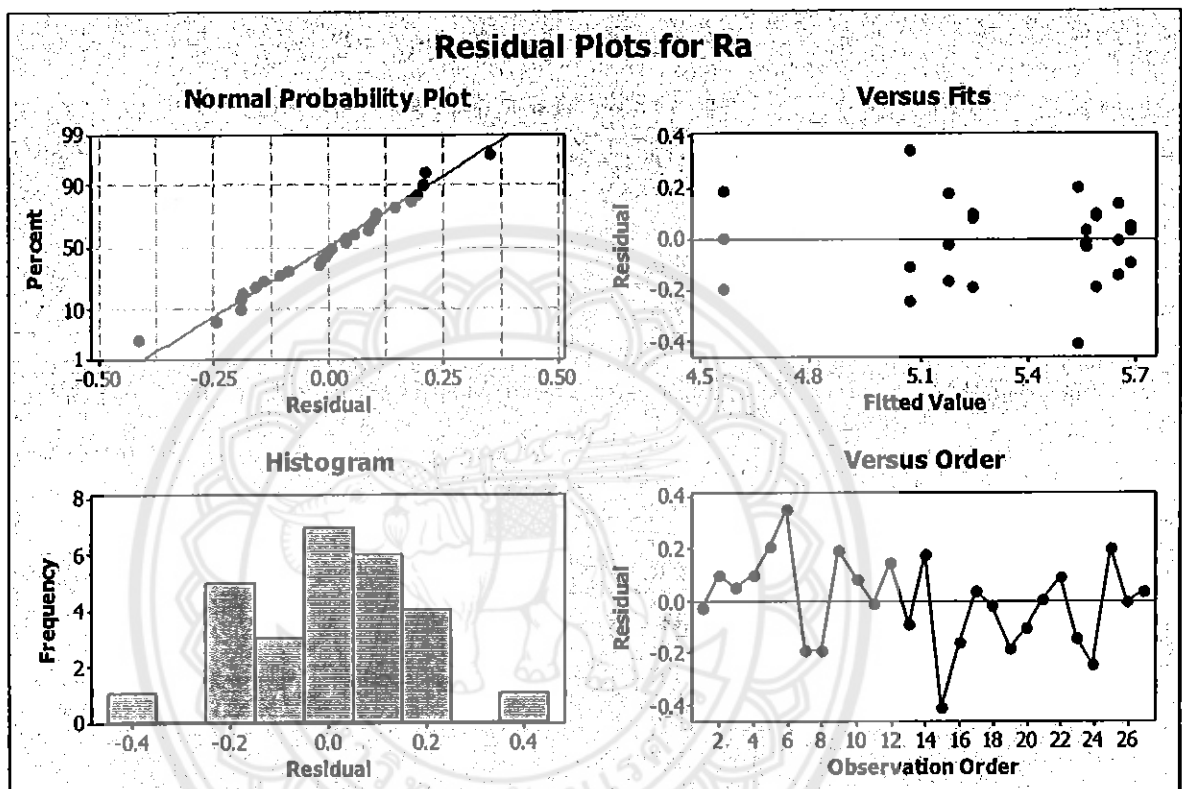
ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ตารางข้อมูลที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางของคอกกัด (มิลลิเมตร)	อัตราป้อนของ โต๊ะงาน (มิลลิเมตรต่อนาที)	ความเร็วรอบ ของคอกกัด (รอบต่อนาที)	Roughness ( $R_a$ ) (ไมโครเมตร)
20	17	20	40	450	5.594
1	18	20	40	340	5.156
14	19	20	70	450	5.403
17	20	20	100	450	4.965
16	21	20	100	340	4.564
23	22	20	70	450	5.681
12	23	20	40	680	5.512
26	24	20	100	450	4.825
18	25	20	100	680	5.743
3	26	20	40	680	5.651
15	27	20	70	680	5.722

## 4.2 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่ได้มานั้น จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วย โปรแกรม Minitab ซึ่งจะได้ผลดังรูปดังต่อไปนี้

### 4.2.1 การวิเคราะห์ผลจากกราฟ



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลของการวัดความเรียบผิวของชิ้นงาน

กราฟทั้ง 4 กราฟนี้เป็นการนำส่วนตกค้างของข้อมูลของการวัดความเรียบผิวของชิ้นงาน ที่ได้จากการเก็บข้อมูลนำมาวิเคราะห์ดูว่า ข้อมูลที่ได้เก็บมานั้นมีความน่าเชื่อถือหรือว่าพอเพียงต่อการวิเคราะห์โดยวิธีการปกติหรือว่าจะต้องทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีขั้นสูงกว่า ซึ่งในรูปที่ 4.1 นี้จะแสดงถึงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ

1. Normal Probability Plot of the Residuals เป็นกราฟที่แสดงค่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residuals) ว่ามีการกระจายตัวเป็นแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจะเห็นได้จากการที่จุดบนกราฟเรียงตัวกันเป็นลักษณะเส้นตรงและมีการกระจายตัวที่หนาแน่นบริเวณใกล้ๆ ศูนย์

2. Residuals Versus the Fitted Values เป็นกราฟที่ใช้ตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้เก็บมานั้น มีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในแต่ละช่วงของข้อมูลนั้น มีการกระจายตัวใกล้เคียงกันและลักษณะของกราฟควรมีการกระจายตัวแบบสุ่มรอบค่า 0 ซึ่งจากกราฟก็มีการกระจายตัวใกล้เคียงกันและการกระจายตัวแบบสุ่มรอบค่า 0

3. Histogram of the Residuals เป็นกราฟที่ใช้ตรวจสอบว่าส่วนตกค้างนั้น มีการกระจายตัวที่เป็นปกติหรือไม่ ซึ่งกราฟฮิสโตแกรมนั้นควรจะมีรูปทรงสมมาตรเป็นรูประฆังคว่ำและมีการกระจายตัวแบบสุ่มรอบค่า 0 ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าการกระจายตัวที่เป็นปกติและมีลักษณะสมมาตรเป็นรูประฆังคว่ำ

4. Residuals Versus the Order of the Data เป็นกราฟที่ใช้ตรวจสอบดูว่าส่วนตกค้างนั้น ขึ้นอยู่กับเวลาที่เปลี่ยนไปในการเก็บข้อมูลหรือไม่ ซึ่งบนกราฟนี้ไม่ควรปรากฏลักษณะของแนวโน้มหรือรูปแบบใดๆอย่างชัดเจน ซึ่งควรจะมีการกระจายตัวที่ขึ้นลงอย่างสม่ำเสมอซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่ามีข้อมูลมีการกระจายตัวไม่มีรูปทรงที่ชัดเจน

#### 4.2.2 การวิเคราะห์ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ 4.3 Analysis of Variance for  $R_p$ , using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
อัตราป้อนของ ไต้ะงาน	2	1.11118	1.11118	0.55559	13.34	0.000
ความเร็วรอบของคอกกัก	2	1.85577	1.85577	0.92789	22.2	0.000
อัตราป้อนของ ไต้ะงาน * ความเร็วรอบของคอกกัก	4	0.28442	0.28442	0.07111	1.71	0.192
Error	18	0.74946	0.74946	0.04164		
Total	26	4.00084				

S = 0.204051 R-Sq = 81.27% R-Sq(adj) = 72.94%

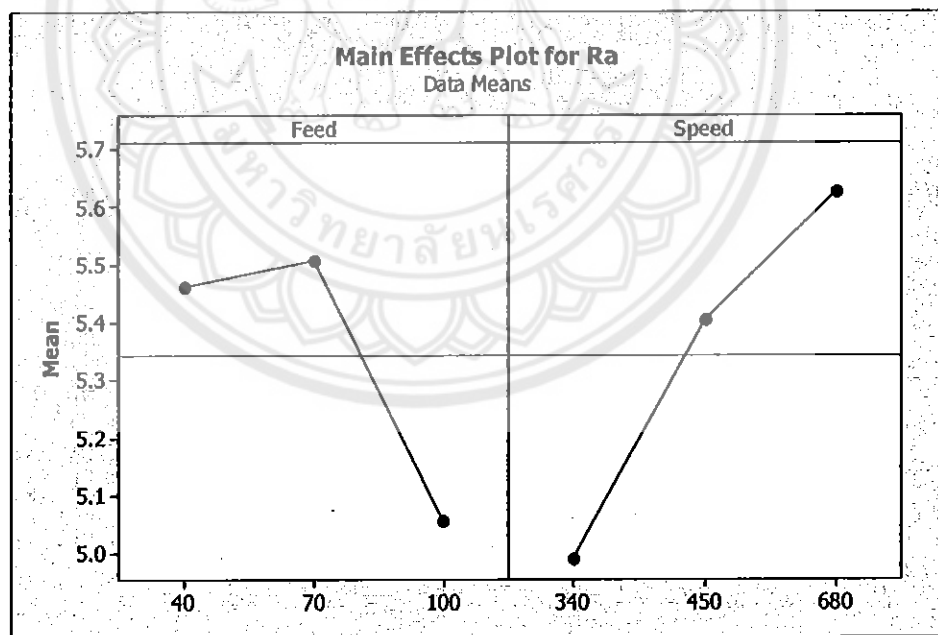
การแปรผลสำหรับการทดลองนี้ จะพิจารณาความน่าจะเป็นทางสถิติหรือเรียกว่าค่า P-value ที่ได้จากการทดสอบค่า P-value คือความน่าจะเป็นทางสถิติของพื้นที่ใต้โค้ง (Normal Curve) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

ถ้าค่า P-value มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญ 0.05 จะยอมรับว่าข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% Confidence interval

ถ้าค่า P-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จะปฏิเสธว่าข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% Confidence interval

ดังนั้นข้อมูลของการวัดความเรียบผิวที่ได้วิเคราะห์ผ่านกระบวนการนี้ จะสรุปได้ว่าปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย คือ อัตราป้อนของโต๊ะงานและความเร็วรอบของดอกก้านมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% Confidence interval และผลจากการสรุปได้ว่าปัจจัยที่นำมาใช้เป็นตัวแปรในการทดลองทั้ง อัตราป้อนของโต๊ะงานและความเร็วรอบของดอกก้าน มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานที่ 81.27%

Main Effects เป็นผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับต่างๆของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ จะได้ดังรูปที่ 4.2 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงผลของปัจจัยหลัก

จากรูปที่ 4.2 สามารถวิเคราะห์ปัจจัยหลัก (Main Effect) ได้ดังนี้คือ

- อัตราป้อนของโต๊ะงาน

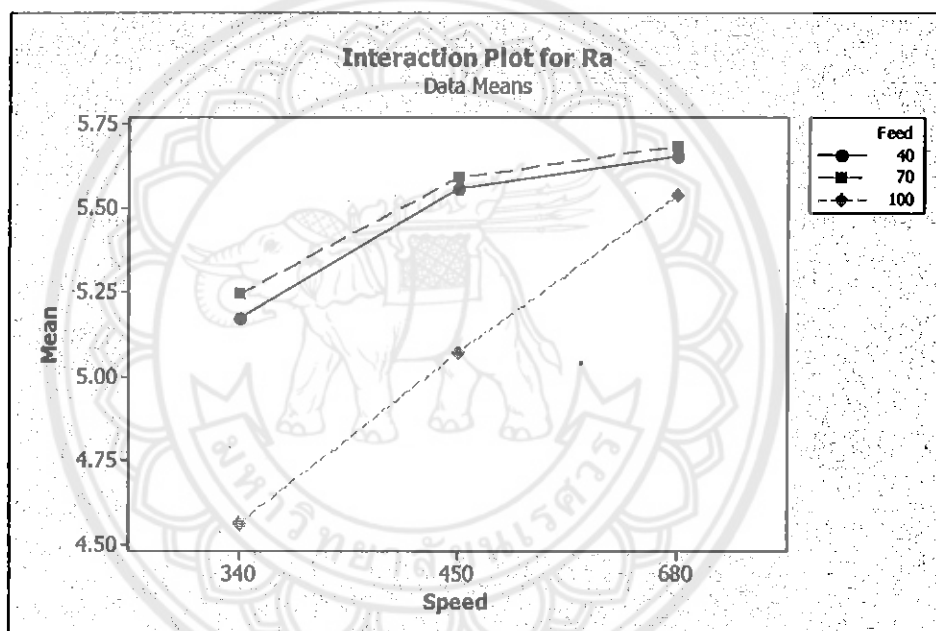
จากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าอัตราป้อนของโต๊ะงานที่เหมาะสมคืออัตราป้อนของโต๊ะงานกัตโดยเฉลี่ยที่ 70 มิลลิเมตรต่อนาทีจะได้ค่าความเรียบผิวที่มีค่าสูงกว่าอัตราป้อนของโต๊ะงานกัตที่ 40

มิลลิเมตรต่อนาทีและที่ 100 มิลลิเมตรต่อนาทีสรุปได้ว่าอัตราป้อนของ โต้ะงานกักเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน

- ความเร็วรอบของดอกกัด

จากแผนภูมิจะพบว่า ค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลจะเห็นได้ว่ายิ่งความเร็วรอบของดอกกัดเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความเรียบผิวของชิ้นงานมีค่ามากขึ้น สรุปได้ว่าความเร็วรอบของดอกกัดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน

การมีอันตรกิริยา เป็นผลตอบของปัจจัยหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่นๆซึ่งผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab จะได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย

ในการวิเคราะห์อันตรกิริยานั้น ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นร่วมกันระหว่าง 2 ปัจจัย นั้นเราจะพิจารณาได้ดังนี้คือ อันตรกิริยาระหว่าง อัตราป้อนของโต้ะงานและความเร็วรอบของดอกกัด นั้นจากรูปที่ 4.3 เราจะกล่าวได้ว่า ถ้าใช้อัตราป้อนของโต้ะงานและความเร็วรอบของดอกกัดที่เหมาะสมแล้วจะทำให้ความเรียบผิวของชิ้นงานมีค่าสูง

จากการวิเคราะห์ในกระบวนการต่างๆที่ได้ดำเนินการนั้นทำให้ทราบถึงผลของการวิเคราะห์ที่ได้นั้นมีลักษณะที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ในงานวิจัยต่างๆเช่นงานวิจัยของนายปวุฒิ เพชรไพรินทร์.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ปี พ.ศ. 2550 และนายบุญฤทธิ์ ปิ่นตาสี.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปี พ.ศ. 2551

#### 4.2.3 การวิเคราะห์การถดถอย

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม(Dependent variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่แปรเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่เรียกว่าตัวแปรอิสระ (Independent variable) ซึ่งการวิเคราะห์ที่ได้เป็นการถดถอยแบบพหุคูณ เนื่องจากเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตามหนึ่งตัว กับตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวซึ่งมีสมการถดถอยแบบพหุคูณดังต่อไปนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x + \beta_3x + \dots + \beta_kx \quad (3.1)$$

จากการวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุคูณด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลเป็นสมการต่อไปนี้

Feed = อัตราป้อนของไค้ะงาน

Speed = ความเร็วรอบของคอกกัก

$$Y (R_s) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed*Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 - 0.000008 (\text{Speed})^2$$

ตารางที่ 4.4 Regression Analysis:  $R_s$  versus อัตราป้อนของไค้ะงาน, ความเร็วรอบของคอกกัก

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2.5913	0.9939	2.61	0.016
อัตราป้อนของไค้ะงาน	0.01961	0.01386	1.42	0.172
ความเร็วรอบของคอกกัก	0.008555	0.003500	2.44	0.023
อัตราป้อนของไค้ะงาน * ความเร็วรอบของคอกกัก	0.00002479	0.00001105	2.24	0.036
อัตราป้อนของไค้ะงาน * อัตราป้อนของไค้ะงาน	-0.00027525	0.00009040	-3.04	0.006
ความเร็วรอบของคอกกัก*ความเร็วรอบของคอกกัก	-0.00000827	0.00000328	-2.52	0.020
S = 0.199297 R-Sq = 79.2% R-Sq(adj) = 74.2%				

ตารางที่ 4.5 Regression Analysis: R<sub>1</sub>

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	3.16674	0.63335	15.95	0.000
Residual Error	21	0.83410	0.03972		
Lack of Fit	3	0.08464	0.02821	0.68	0.577
Pure Error	18	0.74946	0.04164		
Total	26	4.00084			

จากตารางทำการทดสอบค่าสามารถสร้างสมการถดถอยได้หรือไม่

$$H_0 : \beta_1 = 0 \quad \text{ไม่มีสมการถดถอย}$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0 \quad \text{สมการถดถอยสามารถสร้างได้}$$

โดย จะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อ  $F_{\text{คำนวณ}} > F_{0.05 (5, 21)}$  จากตารางที่ 4.5 จะได้  $F_{\text{คำนวณ}} = 15.95$ ,  $F_{0.05 (5, 21)} = 2.68$

ซึ่งผลที่ได้คือค่า F จากการคำนวณมากกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตารางจึงสรุปได้ว่าสมการถดถอยสามารถสร้างได้

จากตารางทำการทดสอบว่าสมการถดถอยมีความเหมาะสมหรือไม่

$$H_0 : \text{สมการถดถอยมีความเหมาะสม}$$

$$H_1 : \text{สมการถดถอยขาดความเหมาะสม}$$

โดย จะปฏิเสธ  $H_0$  เมื่อ  $F_{\text{คำนวณ}} > F_{0.05 (3, 18)}$  จากตารางที่ 4.5 จะได้  $F_{\text{คำนวณ}} = 0.68$ ,  $F_{0.05 (3, 18)} = 3.16$

ซึ่งผลที่ได้คือค่า F จากการคำนวณน้อยกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตารางจึงสรุปได้ว่าสมการถดถอยมีความเหมาะสม

จากตารางสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 79.2% ซึ่งหมายความว่า ค่าความเรียบผิว (Y) ขึ้นอยู่กับอัตราป้อนของโต๊ะงาน (Feed) และความเร็วรอบของดอกกัด (Speed) ประมาณ 79.2% ส่วนอีก 20.8 % จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ได้นำมาศึกษาในที่นี้หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า สมการถดถอย  $Y (R_x) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed} * \text{Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 - 0.000008 (\text{Speed})^2$  สามารถพยากรณ์ค่าความเรียบผิวได้ถูกต้อง 79.2%

#### ทำการทดสอบสมการ โดยเปรียบเทียบกับค่าจริง

โดยให้ Feed = 40 มิลลิเมตรต่อนาทีและ Speed = 340 รอบต่อนาที

$$Y (R_x) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed} * \text{Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 - 0.000008 (\text{Speed})^2$$

$$Y = 2.59 + 0.0196 (40) + 0.00856 (340) + 0.000025 (40 \times 340) - 0.000275 (40)^2 - 0.000008 (340)^2$$

$$Y = 5.2596 \text{ ไมโครเมตร}$$

โดยให้ Feed = 40 มิลลิเมตรต่อนาทีและ Speed = 450 รอบต่อนาที

$$Y (R_x) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed} * \text{Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 - 0.000008 (\text{Speed})^2$$

$$Y = 2.59 + 0.0196 (40) + 0.00856 (450) + 0.000025 (40 \times 450) - 0.000275 (40)^2 - 0.000008 (450)^2$$

$$Y = 5.616 \text{ ไมโครเมตร}$$

โดยให้ Feed = 40 มิลลิเมตรต่อนาทีและ Speed = 680 รอบต่อนาที

$$Y (R_x) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed} * \text{Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 - 0.000008 (\text{Speed})^2$$

$$Y = 2.59 + 0.0196 (40) + 0.00856 (680) + 0.000025 (40 \times 680) - 0.000275 (40)^2 - 0.000008 (680)^2$$

$$Y = 5.7356 \text{ ไมโครเมตร}$$

โดยให้ Feed = 70 มิลลิเมตรต่อนาทีและ Speed = 340 รอบต่อนาที

$$Y (R_x) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed} * \text{Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 - 0.000008 (\text{Speed})^2$$

$$Y = 2.59 + 0.0196 (70) + 0.00856 (340) + 0.000025 (70 \times 340) - 0.000275 (70)^2 - 0.000008 (340)^2$$

$$Y = 5.1951 \text{ ไมโครเมตร}$$



โดยให้ Feed = 70 มิลลิเมตรต่อนาทีและ Speed = 450 รอบต่อนาที

$$Y (R_s) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed*Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 \\ - 0.000008 (\text{Speed})^2$$

$$Y = 2.59 + 0.0196 (70) + 0.00856 (450) + 0.000025 (70 \times 450) - 0.000275 (70)^2 - 0.000008 (450)^2$$

$$Y = 5.634 \text{ ไมโครเมตร}$$

โดยให้ Feed = 70 มิลลิเมตรต่อนาทีและ Speed = 680 รอบต่อนาที

$$Y (R_s) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed*Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 \\ - 0.000008 (\text{Speed})^2$$

$$Y = 2.59 + 0.0196 (70) + 0.00856 (680) + 0.000025 (70 \times 680) - 0.000275 (70)^2 - 0.000008 (680)^2$$

$$Y = 5.2961 \text{ ไมโครเมตร}$$

โดยให้ Feed = 100 มิลลิเมตรต่อนาทีและ Speed = 340 รอบต่อนาที

$$Y (R_s) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed*Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 \\ - 0.000008 (\text{Speed})^2$$

$$Y = 2.59 + 0.0196 (100) + 0.00856 (340) + 0.000025 (100 \times 340) - 0.000275 (100)^2 - 0.000008 (340)^2$$

$$Y = 4.6356 \text{ ไมโครเมตร}$$

โดยให้ Feed = 100 มิลลิเมตรต่อนาทีและ Speed = 450 รอบต่อนาที

$$Y (R_s) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed*Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 \\ - 0.000008 (\text{Speed})^2$$

$$Y = 2.59 + 0.0196 (100) + 0.00856 (450) + 0.000025 (100 \times 450) - 0.000275 (100)^2 - 0.000008 (450)^2$$

$$Y = 5.157 \text{ ไมโครเมตร}$$

โดยให้ Feed = 100 มิลลิเมตรต่อนาทีและ Speed = 680 รอบต่อนาที

$$Y (R_s) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed*Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 \\ - 0.000008 (\text{Speed})^2$$

$$Y = 2.59 + 0.0196 (100) + 0.00856 (680) + 0.000025 (100 \times 680) - 0.000275 (100)^2 - 0.000008 (680)^2$$

$$Y = 5.6216 \text{ ไมโครเมตร}$$

## 4.2.4 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอยและ

## ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง

## ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอยและ

## ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง

ค่าที่ได้จากการคำนวณสมการถดถอย (ไมโครเมตร)	ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง (ไมโครเมตร)	ความคลาดเคลื่อน (%)
5.2596	5.175	1.63 %
5.616	5.560	1.00 %
5.7356	5.654	1.44 %
5.1951	5.245	0.95 %
5.634	5.591	0.76 %
5.2961	5.687	6.87 %
4.6356	4.561	1.63 %
5.157	5.071	1.69 %
5.6216	5.537	1.52 %
	เฉลี่ย	1.94 %

หมายเหตุ ความคลาดเคลื่อน 1.94 % อาจจะมีสาเหตุมาจากตัวแปรอื่นๆที่ไม่สามารถควบคุมได้ซึ่งในการกักนั้นมีปัจจัยที่มีผลต่อการกักที่ไม่ได้นำมาใช้เป็นปัจจัยร่วมในการทำวิจัยในครั้งนี้จึงอาจจะทำให้สมการที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไป

จากการวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนนั้นเมื่อนำไปเทียบกับงานวิจัยที่มีการวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนเช่นงานวิจัยของปีทมา กางตันและรุ่งนภา ร่องจิก.มหาวิทยาลัยนเรศวร, ปี พ.ศ. 2551.ที่มีการวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนและได้ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 11.61 %

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

ผู้จัดทำได้นำหลักการออกแบบการทดลอง(Design of Experiment, DOE) โดยใช้โปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานซึ่งได้แก่อัตราป้อนของ โต๊ะงานและความเร็วรอบของดอกกัด โดยการนำเหล็กเหนียวอุตสาหกรรม (ST 37) ขนาดกว้าง 1 นิ้ว X ยาว 4 นิ้วและหนา 1 นิ้วมาทำการกัดด้วยเครื่องกัดยี่ห้อ TRADE MARK จากนั้นจึงนำเหล็กที่ทำการกัดแล้วไปทำการวัดความเรียบผิวด้วยเครื่องวัดความเรียบผิวรุ่น SV-400 และนำผลจากการวัดความเรียบผิวไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานและทำให้สรุปได้ว่า ปัจจัยทั้งสองส่งผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานโดยสรุปได้ว่าเมื่อใช้อัตราป้อนของโต๊ะงาน ที่ 70 มิลลิเมตรต่อนาทีและความเร็วรอบของดอกกัดที่ 680 รอบต่อนาทีจะมีค่าความเรียบผิวโดยเฉลี่ยที่ดี และได้สมการถดถอยแบบพหุคูณคือ  $Y (R_a) = 2.59 + 0.0196 \text{ Feed} + 0.00856 \text{ Speed} + 0.000025 \text{ Feed} * \text{Speed} - 0.000275 (\text{Feed})^2 - 0.000008 (\text{Speed})^2$  และจากการวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอยและค่าเฉลี่ยจากการทดลองซึ่งจะมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนคือ 1.94 %

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ผู้ปฏิบัติงานต้องทำการศึกษการใช้โปรแกรม Minitab ให้เข้าใจเพื่อที่จะให้การวิเคราะห์ผลที่ได้มีความแม่นยำ

5.2.2 ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้เกี่ยวกับเครื่องกัดเป็นอย่างดี สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องแม่นยำมากที่สุดและช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในขณะปฏิบัติงาน

5.2.3 เนื่องจากในปัจจุบันเครื่องกัดถูกพัฒนาให้เป็นเครื่องกัด CNC เป็นส่วนใหญ่ซึ่งถ้าหากในระหว่างการดำเนินงานเครื่องกัดเกิดการขัดข้องขึ้นก็จะทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัยเพิ่มมากขึ้นและการที่จะหาเครื่องทดแทนก็หาได้ยาก

## เอกสารอ้างอิง

วีระ รัตนไชย.(2527). ทฤษฎีเครื่องมือกล .พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพมหานคร:

สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช .

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). (2535). เทคนิคช่างกล (เล่ม 1) เครื่องมือกล. พิมพ์ครั้งที่ 4.

กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น.

วุฒิพงษ์ โปธาเจริญ, ศราวุฒิ รัตนังและศราวุธ สีขาว.รายงาน :เครื่องกัด. สืบค้นเมื่อ 4 สิงหาคม

2552, จาก <http://krudaeng.wikispaces.com/file/view/รายงานเครื่องกัด>

รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา,รศ.ดร. พงศ์ชนัน เหลือง ไพบุลย์(2551). การออกแบบและ

วิเคราะห์การทดลอง. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท็อป

ปวุฒิ เพชรไพรินทร์.(2550). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวและความสึกหรอของคมตัด

ในการกัดทองเหลืองผสม. บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต

มหาบัณฑิต ปีการศึกษา 2549. กรุงเทพมหานคร: คณะครุศาสตรบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าธนบุรี.

บุญฤทธิ์ ปินดาดี.(2551). การสร้างแบบจำลองความเที่ยงตรงและพื้นผิวสำหรับทองเหลือง

อลูมิเนียมและเหล็กหล่อ โดยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบ. บทคัดย่อวิทยานิพนธ์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ปีการศึกษา 2551. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กัมพล เพชรคง (2551). ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม.

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าธนบุรี.

พระจอมเกล้าธนบุรี.

ปัทมา กางถัน, รุ่งนภา ร่องจิก. (2551). การศึกษาตัวแปรของเครื่องกลึงที่มีผลต่อความเรียบผิว

ของชิ้นงาน. บทคัดย่อปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ปีการศึกษา 2550.

พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.



## Mitutoyo SURFTTEST SV-400

DATE ' 11/02/09  
 TIME 13:11:25

MEAS. CONDITION  
 N=OPT. 1.0mm  
 FILE

FILTER 2CR75  
 CURVE-COMP :OFF

PRINT  
 PRINT-FMAT.

o: LOGO  
 o: DATE  
 o: TIME  
 x: MEMO >

TILT COMP :NO.  
 AUTO PRINT :ON

## STATISTICS

AVG :ON  
 MAX :ON  
 MIN :ON  
 $\sigma$  :ON  
 AVG+ $\sigma$  :OFF  
 AVG- $\sigma$  :OFF  
 GO/NOGO :OFF

NOGO  
 NUMBER  
 ALL

OVER RANGE  $\pm$ ESC  
 PRM DEFINITION

Rz ISO(JIS)  
 Rz 5P 5V  
 Pc 1  
 DEF. R

## CONDITION

PRE-TRAVEL : 2  
 PANEL-SW :ON  
 MEAN-LINE :F  
 EVA.-L :NORMAL  
 R-SPEED :2  
 UNIT :mm

RS-232C

BAUD RATE:9600  
 DATA BITS:8  
 PARITY :NONE  
 STOP BITS:1

รูปที่ ก.1 แสดงรายละเอียดในการปรับตั้งค่าต่างๆของเครื่อง ณ วันที่ทำการวัด

ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงานที่อัตราป้อนของโต๊ะงาน 40 มิลลิเมตรต่อนาที  
และความเร็วรอบของดอกกัดที่ 340 รอบต่อนาทีทั้ง 3 ค่า

R-PROFILE			R-PROFILE			R-PROFILE		
$\lambda_c$	N	0.5 mm	$\lambda_c$	N	0.5 mm	$\lambda_c$	N	0.5 mm
L	5	0.5 mm	L	5	0.5 mm	L	5	0.5 mm
N	5	0.5 mm	N	5	0.5 mm	N	5	0.5 mm
Ra	5	0.5 mm	Ra	5	0.15 mm	Ra	5	1.56 mm

รูปที่ ก.2 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว

ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงานที่อัตราป้อนของ โต๊ะงาน 40 มิลลิเมตรต่อนาที  
และความเร็วรอบของดอกกัดที่ 450 รอบต่อนาทีทั้ง 3 ค่า

R-PROFILE			R-PROFILE			R-PROFILE		
$\lambda_c$	N	0.5 mm	$\lambda_c$	N	0.5 mm	$\lambda_c$	N	0.5 mm
L	5	0.5 mm	L	5	0.5 mm	L	5	0.5 mm
N	5	0.5 mm	N	5	0.5 mm	N	5	0.5 mm
Ra	5	5.36 $\mu$ m	Ra	5	5.50 $\mu$ m	Ra	5	5.94 $\mu$ m

รูปที่ ก.3 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว

ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงานที่อัตราป้อนของ โต๊ะงาน 40 มิลลิเมตรต่อนาที  
และความเร็วรอบของดอกกัดที่ 680 รอบต่อนาทีทั้ง 3 ค่า

R-PROFILE			R-PROFILE			R-PROFILE		
$\lambda_c$	N	0.5 mm	$\lambda_c$	N	0.5 mm	$\lambda_c$	N	0.5 mm
L	5	0.5 mm	L	5	0.5 mm	L	5	0.5 mm
N	5	0.5 mm	N	5	0.5 mm	N	5	0.5 mm
Ra	5	7.98 $\mu$ m	Ra	5	5.12 $\mu$ m	Ra	5	0.51 $\mu$ m

รูปที่ ก.4 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว

ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงานที่อัตราป้อนของโต๊ะงาน 70 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วรอบของดอกกัดที่ 340 รอบต่อนาทีทั้ง 3 ค่า

R-PROFILE			R-PROFILE			R-PROFILE		
$\lambda_c$	2.5	mm	$\lambda_c$	2.5	mm	$\lambda_c$	2.5	mm
L	2.5	mm	L	2.5	mm	L	2.5	mm
N	5		N	5		N	5	
Ra	5.348	$\mu\text{m}$	Ra	5.055	$\mu\text{m}$	Ra	5.331	$\mu\text{m}$

รูปที่ ก.5 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว

ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงานที่อัตราป้อนของ โต๊ะงาน 70 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วรอบของดอกกัดที่ 450 รอบต่อนาทีทั้ง 3 ค่า

R-PROFILE			R-PROFILE			R-PROFILE		
$\lambda_c$	2.5	mm	$\lambda_c$	2.5	mm	$\lambda_c$	2.5	mm
L	2.5	mm	L	2.5	mm	L	2.5	mm
N	5		N	5		N	5	
Ra	5.689	$\mu\text{m}$	Ra	5.403	$\mu\text{m}$	Ra	5.681	$\mu\text{m}$

รูปที่ ก.6 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว

ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงานที่อัตราป้อนของ โต๊ะงาน 70 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วรอบของดอกกัดที่ 450 รอบต่อนาทีทั้ง 3 ค่า

R-PROFILE			R-PROFILE			R-PROFILE		
$\lambda_c$	2.5	mm	$\lambda_c$	2.5	mm	$\lambda_c$	2.5	mm
L	2.5	mm	L	2.5	mm	L	2.5	mm
N	5		N	5		N	5	
Ra	5.742	$\mu\text{m}$	Ra	5.597	$\mu\text{m}$	Ra	5.722	$\mu\text{m}$

รูปที่ ก.7 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว



ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงานที่อัตราป้อนของ โต๊ะงาน 100 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วรอบของคอกกัทที่ 340 รอบต่อนาทีทั้ง 3 ค่า

R-PROFILE		R-PROFILE		R-PROFILE	
$\lambda_c$	2.5 mm	$\lambda_c$	2.5 mm	$\lambda_c$	2.5 mm
L	2.5 mm	L	2.5 mm	L	2.5 mm
N	5	N	5	N	5
Ra	4.368 $\mu\text{m}$	Ra	4.752 $\mu\text{m}$	Ra	4.564 $\mu\text{m}$

รูปที่ ก.8 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว

ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงานที่อัตราป้อนของ โต๊ะงาน 100 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วรอบของคอกกัทที่ 450 รอบต่อนาทีทั้ง 3 ค่า

R-PROFILE		R-PROFILE		R-PROFILE	
$\lambda_c$	2.5 mm	$\lambda_c$	2.5 mm	$\lambda_c$	2.5 mm
L	2.5 mm	L	2.5 mm	L	2.5 mm
N	5	N	5	N	5
Ra	5.424 $\mu\text{m}$	Ra	4.965 $\mu\text{m}$	Ra	4.825 $\mu\text{m}$

รูปที่ ก.9 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว

ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงานที่อัตราป้อนของ โต๊ะงาน 100 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วรอบของคอกกัทที่ 680 รอบต่อนาทีทั้ง 3 ค่า

R-PROFILE		R-PROFILE		R-PROFILE	
$\lambda_c$	2.5 mm	$\lambda_c$	2.5 mm	$\lambda_c$	2.5 mm
L	2.5 mm	L	2.5 mm	L	2.5 mm
N	5	N	5	N	5
Ra	5.747 $\mu\text{m}$	Ra	5.122 $\mu\text{m}$	Ra	5.743 $\mu\text{m}$

รูปที่ ก.10 ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว