



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาค่าปัจจัยการกลึงสำหรับกระบวนการกลึงปอกหยาบและการกลึง
เก็บละเอียดในการผลิตสลักเกลียว

A Study of Turning Operation Factors for Roughing and Finishing
Processes in Bolt Production

อินทอร คชเสนีย์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิศวกรรมขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจ การศึกษาค่าปัจจัยการกลึงสำหรับกระบวนการกลึงปอกหยาบและการกลึงเก็บละเอียด
ในการผลิตสลักเกลียว

ชื่อ - สกุล นางสาวอินทอร คชเสนีย์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ - สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.จิตรภรณ์ วงศางาม

ชื่อ - สกุล ผู้นิเทศงาน นายกฤษฎา หาญสมบัติ

ชื่อสถานประกอบการ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

บทคัดย่อ

สลักเกลียวมีขั้นตอนการผลิตที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ การกลึงปอกหยาบและการกลึงเก็บละเอียด ในกระบวนการกลึงปอกหยาบนั้นมีตกลึงเมื่อถูกใช้งานเป็นระยะเวลาสั้นจะทำให้เกิดการสึกหรอ ส่งผลต่อคุณภาพการกลึง ทำให้ชิ้นงานมีขนาดที่ผิดเพี้ยนหรือเกิดรอยขีดข่วน ขณะที่การกลึงเก็บละเอียด มีตกลึงนั้น จำเป็นต้องใช้ค่าปัจจัยต่างๆให้ถูกต้องเหมาะสมตามความเรียบผิวชิ้นงานที่ต้องการ ปริมาณนิพจน์ฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาปัจจัยการกลึงปอกหยาบที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีตกลึงปอกหยาบและหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน และศึกษาค่าปัจจัยการกลึงปอกเก็บละเอียดที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานและหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน โดยออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล สนใจศึกษาปัจจัยการกลึง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัด ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab 19 ผลการทดลองพบว่ามีเพียงอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วตัดกับอัตราป้อนที่มีผลต่ออายุการใช้งานมีตกลึงปอกหยาบอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน 2 ค่า 1. ค่าที่มีอายุการใช้งานมีตกลึงสูงสุด มีความเร็วตัด 95 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.35 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.0 มิลลิเมตร 2. ค่าที่มีค่าใช้จ่ายในการกลึงต่ำสุด มีความเร็วตัด 95 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.35 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.4 มิลลิเมตร ส่วนการกลึงเก็บละเอียดพบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีช่วงที่เหมาะสมแก่การใช้งานสำหรับความเรียบผิวเกรด N6 คือ ช่วงอัตราป้อน 0.12 – 0.16 มิลลิเมตร/รอบ ที่ความลึกในการตัด 0.15 และ 0.25 มิลลิเมตร

คำสำคัญ : การกลึงปอกหยาบ, การกลึงเก็บละเอียด, ปัจจัยการกลึง

Co – operative title A Study of Turning Operation Factors for Roughing and Finishing Processes in Bolt Production

Student name Inthuon Kojchasenee

Faculty Engineering

Department Mechanical Engineering

Advisor name Asst. Prof. Dr. Jittraporn Wongsangam

Mentor name Mr.Krisda Harnsombat

Company Electricity Generating Authority of Thailand

Abstract

The bolts have two important production processes, roughing and finishing. In the roughing process, turning insert will wear after using for a long time affecting to the quality of workpiece. While finishing need to use the correct conditions according to the desired surface roughness. This thesis is to study the factors of roughing that affect the tool life of the roughing insert and find the working conditions for use and study the factors of finishing that affect the work surface roughness and find the working condition that is suitable for operation. This study base on designing a factorial experiment., study three turning factors including cutting speed, feed and depth of cut and statistically analyzing using Minitab19 program. The results showed that only the interaction effect between the cutting speed and the feed had a significant effect on the tool life of the roughing insert with 2 working conditions, 1. Maximum tool life with a cutting speed of 95 m/min, feed of 0.35 mm/rev and depth of cut of 1.0 mm. 2. Lowest roughing cost with a cutting speed of 95 m/min, feed of 0.35 mm/rev and depth of cut of 1.4 mm. As for the finishing, there are no factors that have a significant effect on the surface roughness with a working range for N6 surface roughness grade at feed range 0.12 - 0.16 mm/rev, depth of cut 0.15 and 0.25 mm.

Keywords: Roughing, Finishing, Turning factors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือ คำแนะนำและการปรึกษาเป็นอย่างดีจากบุคลากรหลายฝ่าย

ขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ความกรุณา สนับสนุน และช่วยเหลือด้านทรัพยากรในการทำปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.จิตราภรณ์ วงศางาม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ อาจารย์ทุกท่านทั้งในและนอกภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และอาจารย์ท่านอื่นๆที่ได้สั่งสอนและให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณกฤษฎา หาญสมบัติ คุณทวีวัฒน์ เครือมี และบุคลากรภายในแผนกเครื่องกลึง CNC ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำทดลองนี้

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจในการศึกษาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

อินทอร คชเสนีย์

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.3.1 ค่าปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	2
1.3.2 ตัวแปรตอบสนอง.....	2
1.3.3 ตัวแปรควบคุม.....	2
1.3.4 วิธีดำเนินการทดลอง.....	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 กระบวนการตัดเฉือน (Machining Process).....	4
2.1.2 กระบวนการกลึง (Turning).....	5
2.1.3 ปัจจัยกระบวนการกลึง (Cutting Conditions in Turning).....	9
2.1.4 การเสียหายของเครื่องมือตัด (Tool Failures).....	10
2.1.5 เครื่องกลึง CNC.....	10
2.1.6 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel).....	12
2.1.7 ต้นทุนการผลิต (Manufacturing Cost).....	14
2.1.8 ความหยาบผิว (Surface Roughness).....	15
2.1.9 การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design).....	20
2.1.10 การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment).....	20
2.1.11 การวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Model).....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	26
3.1 เครื่องมือในการทดลอง	29
3.2 ชิ้นงานทดสอบ	30
3.3 การทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบและหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน .	31
3.3.1 ออกแบบการทดลอง.....	31
3.3.2 การบันทึกและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	32
3.4 การทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานของการกลึงเก็บละเอียดและหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน	32
3.4.1 ออกแบบการทดลอง.....	32
3.4.2 การบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	33
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	34
4.1 ผลการทดลองส่วนที่ 1 การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบ.....	34
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบและค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน	37
4.2.1. การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	37
4.2.2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอายุการใช้งาน.....	39
4.2.3. อิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบ	40
4.2.4 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	41
4.2.5 การพิสูจน์สมการอายุการใช้งานมีดกลึง	43
4.2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งาน	44
4.2.7 ผลกระทบของปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมต่ออายุการใช้งาน	46
4.2.8 ค่าใช้จ่ายในการกลึงปกหยาบ	47
4.2.9 การเลือกค่าใช้จ่าย	48
4.3 ผลการทดลองส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงาน	49

สารบัญ (ต่อ)

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานและค่าที่เหมาะสม แก่การใช้งาน	51
4.4.1 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	51
4.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเรียบผิว	53
4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานและค่าที่เหมาะสม แก่การใช้งาน (ความเร็วตัดคงที่ 120 เมตร/นาที).....	56
4.5.1 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	56
4.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเรียบผิว	58
4.5.3 อิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว	59
4.5.4 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	59
4.5.5 การพิสูจน์สมการความเรียบผิว	61
4.5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว.....	61
4.5.7 ผลกระทบของปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมต่อความเรียบผิว.....	62
4.5.8 การเลือกช่วงการใช้งาน.....	63
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการวิจัย	66
5.1.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบและค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน	66
5.1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานของมีดกลึงเก็บละเอียดและช่วงที่เหมาะสม แก่การใช้งาน	66
5.2 อภิปรายผล	67
5.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบ	67
5.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเรียบผิวชิ้นงานของมีดกลึงเก็บละเอียด	67
5.3 ข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก ก อายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบต่อคมตัด.....	71
ภาคผนวก ข เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนและตรวจสอบเม็ดมีด.....	74

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ค ค่าใช้จ่ายในการกลึงปกหยาบ..... 76



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเครื่องกลึง CNC เครื่องหมายการค้า Mazak รุ่น Quick Turn Smart 100s.....	12
ตารางที่ 2.2 ส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ธาตุต่างๆของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 422 (Alloy 616).....	14
ตารางที่ 2.3 เกรดความเรียบผิว.....	18
ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแพคทอเรียล 3 ปัจจัย	22
ตารางที่ 4.1 แสดงลำดับการเก็บข้อมูลอายุการใช้งานมีดกลึงปกกหยาบ	34
ตารางที่ 4.2 จำนวนชิ้นงานที่สามารถกลึงปกกหยาบได้ตามแต่ละค่าปัจจัยต่อเม็ดมีด (ชิ้น).....	36
ตารางที่ 4.3 เวลาที่ใช้ในการกลึงปกกหยาบตามแต่ละค่าปัจจัย (วินาที/ชิ้น).....	36
ตารางที่ 4.4 อายุการใช้งานมีดกลึงปกกหยาบ (นาที่).....	37
ตารางที่ 4.5 อิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกกหยาบ	40
ตารางที่ 4.6 การลดรูปสมการถดถอยอายุการใช้งานมีดกลึง	43
ตารางที่ 4.7 การทดลองสมการอายุการใช้งานมีดกลึง.....	43
ตารางที่ 4.8 ความคลาดเคลื่อนของสมการอายุการใช้งานมีดกลึง	44
ตารางที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายในการกลึงปกกหยาบ (บาท/ชิ้น).....	48
ตารางที่ 4.10 ลำดับการเก็บข้อมูลความเรียบผิว	49
ตารางที่ 4.11 ความเรียบผิวRaเฉลี่ยตามแต่ละค่าปัจจัย (μm)	51
ตารางที่ 4.12 ลำดับการเก็บข้อมูลความเรียบผิว (ความเร็วตัดคงที่ 120 เมตร/นาที่).....	54
ตารางที่ 4.13 ความเรียบผิวRaเฉลี่ยตามแต่ละค่าปัจจัย (μm)	55
ตารางที่ 4.14 อิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว.....	59
ตารางที่ 4.15 สมการถดถอยค่าความเรียบผิว	60
ตารางที่ 4.16 การทดลองสมการความเรียบผิว	61
ตารางที่ 4.17 ความคลาดเคลื่อนของสมการอายุการใช้งานมีดกลึง.....	61
ตารางที่ 4.18 ค่าความเรียบผิวต่ำสุดและสูงสุดของชิ้นงาน	64
ตารางที่ 4.19 เกรดความเรียบผิวของชิ้นงาน.....	64
ตารางที่ 4.20 การทดลองช่วงการทำงานที่เหมาะสมของความเรียบผิว (μm).....	65
ตารางที่ ก1 อายุการใช้งานมีดกลึงปกกหยาบต่อคมตัด (นาที่).....	72
ตารางที่ ข1 เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนและตรวจสอบเม็ดมีด (นาที่).....	75
ตารางที่ ค1 ค่าแรงงาน (บาท/ชิ้น).....	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ ค2 ค่าเมล็ดมิด (บาท/จีน).....	77
ตารางที่ ค3 ค่าไสหุ้ย (บาท/จีน).....	77
ตารางที่ ค4 ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนและตรวจสอบเมล็ดมิด (บาท/จีน).....	78



สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	กระบวนการตัดเฉือนที่นิยมกันมาก 3 วิธี : (a) การกลึง, (b) การเจาะ, (c) การกัดขึ้นรูป.....	5
รูปที่ 2.2	การกลึงปาดหน้า.....	6
รูปที่ 2.3	การกลึงปกหยาบ.....	6
รูปที่ 2.4	การกลึงเก็บละเอียด.....	7
รูปที่ 2.5	การกลึงเกลียว.....	7
รูปที่ 2.6	การกลึงคว้านรู.....	8
รูปที่ 2.7	การกลึงเจาะร่อง.....	8
รูปที่ 2.8	การกลึงตัด.....	9
รูปที่ 2.9	ปัจจัยกระบวนการกลึง.....	10
รูปที่ 2.10	เครื่องกลึง CNC เครื่องหมายการค้า Mazak รุ่น Quick Turn Smart 100s.....	11
รูปที่ 2.11	ระยะ cut-off length.....	16
รูปที่ 2.12	ความหยาบผิวเฉลี่ย.....	16
รูปที่ 2.13	ความหยาบผิวรากกำลังสองเฉลี่ย.....	17
รูปที่ 2.14	ความหยาบผิวสูงสุด.....	17
รูปที่ 2.15	แผ่นเทียบผิว.....	18
รูปที่ 2.16	เครื่องวัดความเรียบผิวแสดงผลหน้าปัด.....	19
รูปที่ 2.17	เครื่องวัดความเรียบผิวแสดงผลแบบกราฟ.....	19
รูปที่ 2.18	เครื่องวัดความเรียบผิว เครื่องหมายการค้า Mitutoyo รุ่น SJ-201.....	19
รูปที่ 2.19	กราฟโครงร่างพื้นผิว (Contour Plot).....	23
รูปที่ 2.20	กราฟพื้นผิวดอปสนอง (Surface Plot).....	24
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการทดลองการกลึงปกหยาบ.....	27
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการทดลองการกลึงเก็บละเอียด.....	28
รูปที่ 3.3	เครื่องกลึง CNC เครื่องหมายการค้า Mazak รุ่น Quick Turn Smart 100s.....	29
รูปที่ 3.4	มีดกลึงปกหยาบ เครื่องหมายการค้า Kyocera รุ่น TNMG 160404TK PR1125.....	29
รูปที่ 3.5	มีดกลึงเก็บละเอียด เครื่องหมายการค้า Kyocera รุ่น TNMG 160404TK PR1125.....	30
รูปที่ 3.6	เครื่องวัดความเรียบผิว เครื่องหมายการค้า Mitutoyo รุ่น SJ-201.....	30
รูปที่ 3.7	ชิ้นงานตัวอย่าง.....	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.1 กราฟการกระจายตัวของส่วนตักข้างของอายุการใช้งานมีดกลึง	38
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตักข้างของอายุการใช้งานมีดกลึงกับลำดับความต่อเนื่อง	38
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตักข้างของอายุการใช้งานมีดกลึงกับค่าตอบสนอง	39
รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอายุการใช้งานมีดกลึง	40
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของอายุการใช้งานมีดกลึงทุกปัจจัย	42
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของอายุการใช้งานมีดกลึงเฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ	42
รูปที่ 4.7 กราฟโครงสร้างพื้นผิวของอายุการใช้งานมีดกลึง	45
รูปที่ 4.8 กราฟพื้นผิวของอายุการใช้งานมีดกลึง	45
รูปที่ 4.9 กราฟผลกระทบของปัจจัยหลักต่ออายุการใช้งานมีดกลึง	46
รูปที่ 4.10 กราฟผลกระทบอิทธิพลร่วมต่ออายุการใช้งานมีดกลึง	46
รูปที่ 4.11 กราฟการกระจายตัวของส่วนตักข้างของความเรียบผิว	52
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตักข้างของค่าความเรียบผิวกับลำดับความต่อเนื่อง	52
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตักข้างของค่าความเรียบกับค่าตอบสนอง	53
รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเรียบผิว	53
รูปที่ 4.15 กราฟการกระจายตัวของส่วนตักข้างของความเรียบผิว	57
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตักข้างของค่าความเรียบผิวกับลำดับความต่อเนื่อง	57
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตักข้างของค่าความเรียบกับค่าตอบสนอง	58
รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเรียบผิว	59
รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์การถดถอยค่าความเรียบผิวทุกปัจจัย	60
รูปที่ 4.20 กราฟโครงสร้างพื้นผิวของค่าความเรียบผิว	62
รูปที่ 4.21 กราฟพื้นผิวของค่าความเรียบผิว	62
รูปที่ 4.22 กราฟผลกระทบของปัจจัยหลักต่อค่าความเรียบผิว	63
รูปที่ 4.23 กราฟผลกระทบของอิทธิพลร่วมต่อค่าความเรียบผิว	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ฝ่ายโรงงานและอะไหล่) ดำเนินงานด้านการซ่อม ตรวจสอบ ผลิตอะไหล่เครื่องจักรและอุปกรณ์โรงไฟฟ้าต่างๆ สำหรับโรงไฟฟ้าของบริษัทในเครือและโรงไฟฟ้าเอกชน กระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพจะช่วยเพิ่มความสามารถในการผลิต ลดความผิดพลาดและควบคุม ต้นทุนการผลิต จากการสำรวจพบว่าชิ้นส่วนที่ทำการผลิตมากที่สุดคือสลักเกลียวด้วยกระบวนการกลึง โดย เครื่องจักรแบบอัตโนมัติ (CNC Lathe) เนื่องจากมีประสิทธิภาพ ใช้งานง่าย สามารถทำงานซับซ้อนได้ มีความรวดเร็วและความแม่นยำสูง

กระบวนการกลึงคือการตัดโลหะโดยให้ชิ้นงานหมุนรอบตัวเองและมีดกลึงเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน การกลึงปอกนั้นประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ การกลึงปอกหยาบเพื่อลดขนาดชิ้นงานให้ได้ตามต้องการ ตามด้วยการกลึงเก็บละเอียดเพื่อให้ได้ความเรียบผิวตามที่ต้องการ ในกระบวนการกลึงปอกหยาบมีดกลึงเมื่อถูก ใช้งานเป็นระยะเวลาอันยาวนานจะทำให้เกิดการสึกหรอ ส่งผลต่อคุณภาพการกลึง ทำให้ชิ้นงานมีขนาดที่ผิดเพี้ยน หรือเกิดรอยขีดข่วน แตกต่างกับการกลึงเก็บละเอียดที่มีดกลึงนั้นมียุการใช้นานกว่ามาก แต่ จำเป็นต้องใช้ค่าปัจจัยต่างๆ ให้ถูกต้องเหมาะสมตามความเรียบผิวชิ้นงานที่ต้องการ

จากที่กล่าวมา ผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึงปอก หยาบและค่าความเรียบผิวชิ้นงานของมีดกลึงเก็บละเอียด และหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาค่าความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัดของการกลึงปอกหยาบที่ส่งผลต่อ อายุการใช้งานมีดกลึงปอกหยาบ
2. เพื่อหาค่าปัจจัยของการกลึงปอกหยาบที่เหมาะสมแก่การใช้งาน
3. เพื่อศึกษาค่าความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัดของการกลึงปอกเก็บละเอียดที่ ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงาน
4. เพื่อหาค่าปัจจัยของการกลึงเก็บละเอียดที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ค่าปัจจัยที่ทำการศึกษา

ความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed) และความลึกในการตัด (Depth of cut)

1.3.2 ตัวแปรตอบสนอง

อายุการใช้งานมีดกลึงปอกหยาบและความเรียบผิวชิ้นงานการกลึงปอกผิว

1.3.3 ตัวแปรควบคุม

เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 422 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42.00 มิลลิเมตร ยาว 805.00 มิลลิเมตร

มีดกลึงปอกหยาบ เครื่องหมายการค้า Kyocera รุ่น TNMG 160404TK PR1125 รูปทรงสามเหลี่ยม มีรัศมีปลายมีด 0.8 มิลลิเมตร มีคมตัดจำนวน 6 คมตัดต่อ 1 มีดกลึง

มีดกลึงเก็บละเอียด เครื่องหมายการค้า Kyocera รุ่น TNMG 160404TK PR1125 รูปทรงสามเหลี่ยม มีรัศมีปลายมีด 0.4 มิลลิเมตร มีคมตัดจำนวน 6 คมตัดต่อ 1 มีดกลึง

การระบายความร้อนจากกระบวนการกลึงด้วยสารหล่อเย็น เครื่องหมายการค้า Gulf รุ่น Coolant Cascade Syngrid Super

เครื่องกลึง CNC 2 แกน เครื่องหมายการค้า Mazak รุ่น Quick Turn Smart 100s

เครื่องมือวัดความเรียบผิว เครื่องหมายการค้า Mitutoyo รุ่น SJ-201 สัญลักษณ์การวัด Ra มีความละเอียดการวัด 0.01 ไมโครเมตร

1.3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

ทำการกลึงด้วยเครื่องกลึง CNC โดยมีดกลึงกับวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมที่กำหนดข้างต้น

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

ลำดับ	แผนการดำเนินงาน	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ศึกษาปัญหาและคิดหัวข้อโครงการ	■	■														
2	ศึกษาข้อมูลและออกแบบการทดลอง		■	■													
3	ดำเนินการทดลองการกลิ้งเก็บละเอียด				■	■	■	■	■								
4	ดำเนินการทดลองการกลิ้งปอกหยาบ									■	■	■	■	■	■		
5	วิเคราะห์ผลการทดลอง													■	■	■	■
6	จัดทำรูปเล่มโครงการและนำเสนอ															■	■

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลิ้งปอกหยาบ
2. สามารถหาค่าปัจจัยการกลิ้งปอกหยาบที่เหมาะสมแก่การใช้งาน
3. ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานของการกลิ้งเก็บละเอียด
4. สามารถหาค่าปัจจัยการกลิ้งเก็บละเอียดที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาปัจจัยกระบวนการกลึง CNC ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 422 ที่มีผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงสำหรับการกลึงปอกหยาบ ความเรียบผิวชิ้นงานสำหรับการกลึงเก็บละเอียด และหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน ซึ่งได้ค้นคว้างานวิจัย แนวความคิดและทฤษฎีต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในงานวิจัย ดังนี้

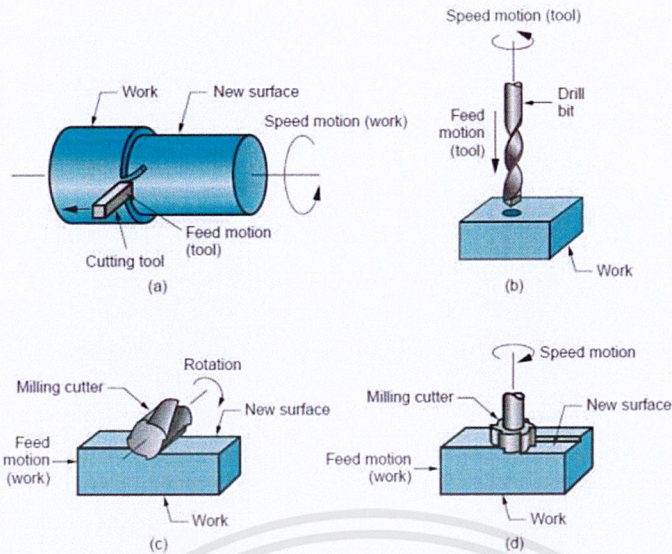
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 กระบวนการตัดเฉือน (Machining Process)

กระบวนการตัดเฉือน (Machining Process) หมายถึง กระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องมือตัดหรือมีดตัด (Cutting Tool) ในการกำจัดเนื้อวัสดุส่วนเกินออกจากชิ้นงานและวัสดุส่วนที่เหลือให้มีขนาดและรูปร่างตามที่ต้องการ โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน ขั้นตอนหลักในกระบวนการตัดเฉือนเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปโดยการเฉือน (Shear Deformation) ทำให้เกิดเศษตัด (Chip) เมื่อเศษตัดถูกกัดออกจากชิ้นงานจะเกิดผิวชิ้นงานใหม่ กระบวนการตัดเฉือนนี้ใช้ในการผลิตชิ้นงานให้มีรูปร่างต่างๆ

กระบวนการตัดเฉือนถือว่ามีความสำคัญมากทั้งในเชิงพาณิชย์และเชิงเทคโนโลยี เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวางกับวัสดุหลายประเภท สามารถใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างหลากหลายและซับซ้อน ชิ้นงานมีขนาดความคลาดเคลื่อนหรือพิสัยความเผื่อ (Tolerance) น้อย มีความสามารถผลิตผิวสำเร็จ (Surface finish) ด้วยคุณสมบัติข้างต้น กระบวนการตัดเฉือนจึงถือเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง

กระบวนการตัดเฉือนไม่ได้มีเพียงหนึ่งกระบวนการแต่ประกอบด้วยหลายกระบวนการย่อย โดยแต่ละกระบวนการจะมีขีดความสามารถในการผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างและลักษณะผิวที่เฉพาะตัว โดยกระบวนการตัดเฉือนที่นิยมกันมาก ได้แก่ การกลึง (Turning) การเจาะ (Drilling) และการกัดขึ้นรูป (Milling) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการตัดเฉือนที่นิยมกันมาก 3 วิธี : (a) การกลึง, (b) การเจาะ, (c) การกัดขึ้นรูป [1]

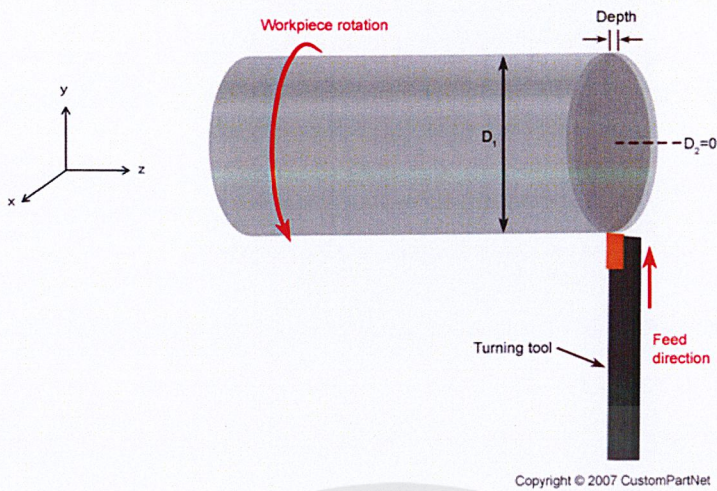
นอกเหนือจากการกลึง การเจาะ และการกัดขึ้นรูปแล้ว ยังมีกระบวนการตัดเฉือนแบบอื่นๆที่เป็นพื้นฐานในงานอุตสาหกรรม เช่น การไส (Shaping and Planing) การแทงขึ้นรูป (Broaching) และการเลื่อย (Sawing) รวมถึงกระบวนการที่ใช้ผงขัด (Abrasive) ในการกัดวัสดุ เช่น การเจียรระไน (Grinding)

2.1.2 กระบวนการกลึง (Turning)

กระบวนการกลึง (Turning) คือ กระบวนการขึ้นรูปงานในลักษณะของงานทรงกระบอกเป็นหลัก ลักษณะการขึ้นรูปของงานกลึงนั้น ชิ้นงานจะยึดติดอยู่กับที่และหมุนอยู่บนหัวจับ (Spindle) ของเครื่องกลึง หลังจากนั้นเครื่องมือตัด (Cutting tool) จะเคลื่อนที่เข้าตัดชิ้นงานเป็นรูปร่างต่างๆ

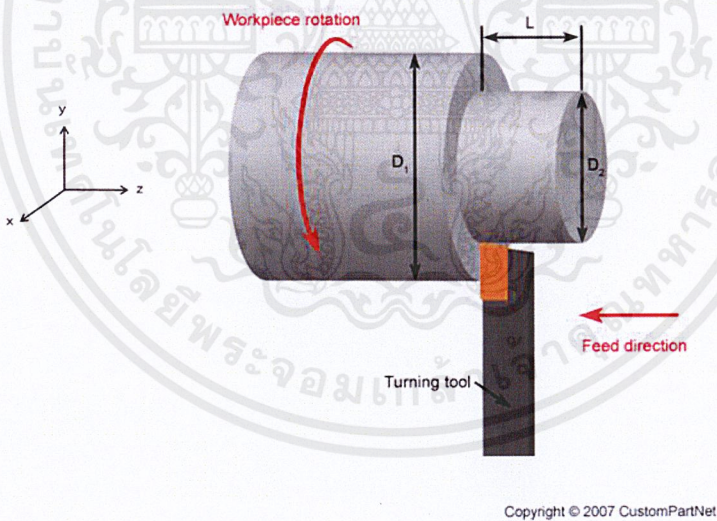
กระบวนการกลึงนั้นมีหลายประเภท ได้แก่ การกลึงปาดหน้า (Facing) การกลึงปอกหยาบ (Roughing) การกลึงปอกผิว (Finishing) การกลึงเกลียว (Threading) การกลึงคว้านรู (Boring) การกลึงเซาะร่อง (Grooving) การกลึงตัด (Cutting)

การกลึงปาดหน้า (Facing) คือ การกลึงปาดผิวหน้าตัดของชิ้นงานออก ชิ้นงานจะหมุน ส่วนมีดกลึงจะเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงานในทิศตั้งฉากกับแนวแกนเพลาลำดับเพื่อปาดผิวหน้า (ทิศแกน x) และเลื่อนซ้าย-ขวาในแนวแกนเดียวกับเพลาลำดับเพื่อควบคุมระยะความยาว (ทิศแกน z) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



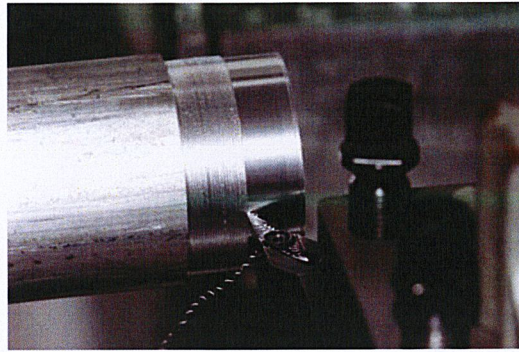
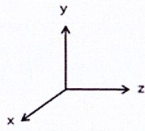
รูปที่ 2.2 การกลึงปาดหน้า [2]

การกลึงปอกหยาบ (Roughing) คือ การกลึงเพื่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของชิ้นงานให้มีขนาดเล็กลง โดยมีดกลึงจะเคลื่อนที่เข้า-ออกทิศทางตั้งฉากกับแกนเพลลาจับยึด (ทิศแกน x) เพื่อให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต้องการ และเคลื่อนที่ตามแนวขนานเพลลาจับยึด (ทิศแกน z) ตามระยะที่ต้องการกลึงปอก ดังแสดงในรูปที่ 2.3



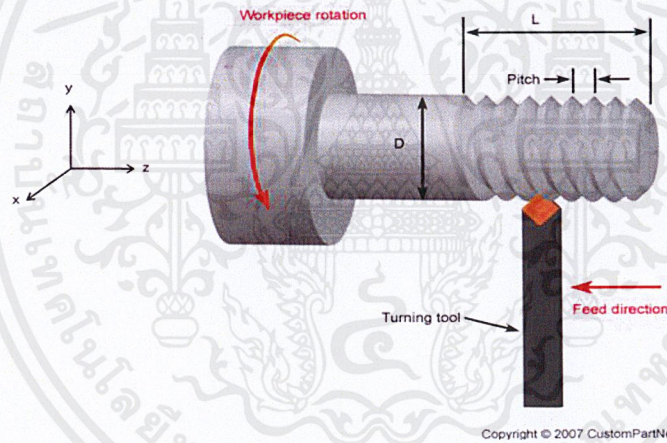
รูปที่ 2.3 การกลึงปอกหยาบ [2]

การกลึงเก็บละเอียด (Finishing) คือ การกลึงเพื่อเก็บชิ้นงานให้ได้ความเรียบผิวหลังจากได้ขนาดตามที่ต้องการ โดยมีดกลึงจะเคลื่อนที่เหมือนการกลึงปอกหยาบ มีดกลึงจะเคลื่อนที่เข้า-ออกทิศทางตั้งฉากกับแกนเพลลาจับยึด (ทิศแกน x) และเคลื่อนที่ตามแนวขนานเพลลาจับยึด (ทิศแกน z) ตามระยะที่ต้องการกลึงปอก ดังแสดงในรูปที่ 2.4



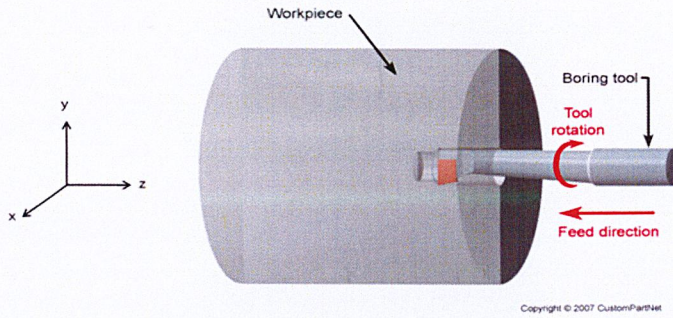
รูปที่ 2.4 การกลึงเก็บละเอียด [3]

การกลึงเกลียว (Threading) คือ การกลึงเพื่อขึ้นรูปเกลียว โดยมีดกลึงจะเคลื่อนที่คล้ายการปอกหยาบ มีดกลึงจะเคลื่อนที่เข้า-ออกทิศทางตั้งฉากกับแกนเพลลาจับยึด (ทิศแกน x) และเคลื่อนที่ตามแนวขนานเพลลาจับยึด (ทิศแกน z) ตามระยะที่ต้องการกลึงปอก แต่จะต่างกันตรงที่การกลึงปอกหยาบจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ทำให้ชิ้นงานมีลักษณะเรียบ ส่วนการเคลื่อนที่ของการกลึงเกลียวเป็นการเคลื่อนที่ตามระยะพิทช์ของเกลียวตามที่เรากำหนด ดังแสดงในรูปที่ 2.5



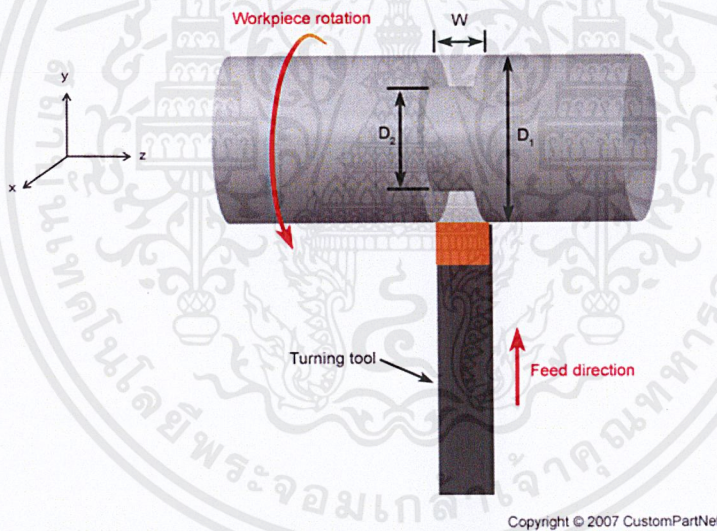
รูปที่ 2.5 การกลึงเกลียว [2]

การกลึงคว้านรู (Boring) คือ การกลึงเพื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูภายในของชิ้นงานให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยมีดกลึงจะเคลื่อนที่เข้า-ออกทิศทางตั้งฉากกับแกนเพลลาจับยึด (ทิศแกน x) เพื่อให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต้องการ และเคลื่อนที่ตามแนวขนานเพลลาจับยึด (ทิศแกน z) ตามระยะที่ต้องการกลึงปอก ดังแสดงในรูปที่ 2.6



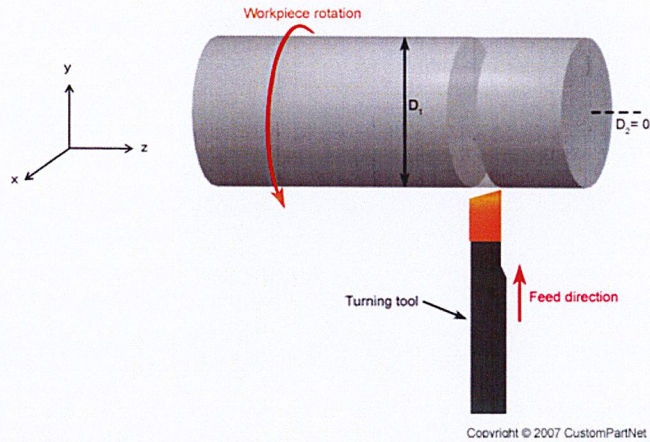
รูปที่ 2.6 การกลึงคว้านรู [2]

การกลึงเซาะร่อง (Grooving) คือ การกลึงเพื่อทำร่องของชิ้นงานให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ เป็นลักษณะของการกลึงปกผสมกับการกลึงปาดขึ้นอยู่กับขนาดของร่องและความเรียบผิวที่ต้องการในแต่ละด้าน โดยมีดกลึงจะเคลื่อนที่เข้า-ออกทิศทางตั้งฉากกับแกนเพลาลับยัด (ทิศแกน x) เพื่อให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต้องการ และเคลื่อนที่ตามแนวขนานเพลาลับยัด (ทิศแกน z) ตามระยะที่ต้องการทำร่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การกลึงเซาะร่อง [2]

การกลึงตัด (Cutting) คือ การกลึงเพื่อตัดให้ชิ้นงานขาดออกจากกัน โดยมีดกลึงจะเคลื่อนที่เข้า-ออกทิศทางตั้งฉากกับแกนเพลาลับยัด (ทิศแกน x) เพื่อให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต้องการ และเคลื่อนที่ตามแนวขนานเพลาลับยัด (ทิศแกน z) ตามระยะที่ต้องการกลึงปอก ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การกลึงตัด [2]

2.1.3 ปัจจัยกระบวนการกลึง (Cutting Conditions in Turning)

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เกิดกระบวนการของการกลึงปอก คือ ความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed) ความลึกในการตัด (Depth of Cut) ดังแสดงในรูปที่ 2.9

ความเร็วตัด (Cutting Speed) คือ ความเร็วที่คมมีดกลึงตัดหรือปาดผิวชิ้นงานออก มีหน่วยเป็น เมตร/นาที เมื่อชิ้นงานหมุนครบ 1 รอบ คมมีดกลึงก็จะตัดชิ้นงานออกเป็นแนวตัดยาวเท่าเส้นรอบวงพอดี เมื่อหมุน N รอบ/นาทีก็จะได้ค่าความเร็วตัด ดังสมการที่ (2.1)

$$V_c = 2\pi dN \quad (2.1)$$

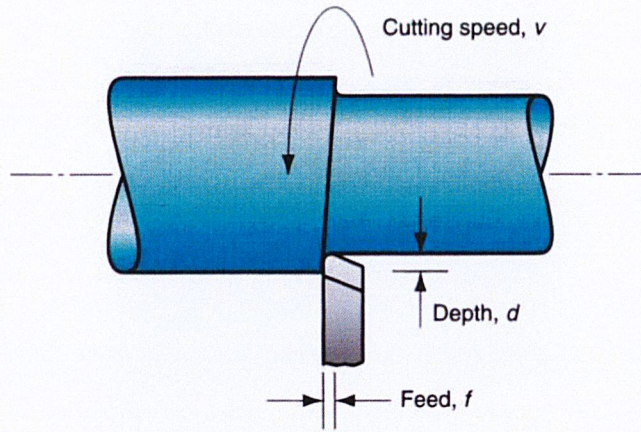
เมื่อ V_c = ความเร็วตัด (เมตร/นาที)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน (เมตร)

N = ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

อัตราป้อน (Feed) คือ ระยะทางการเดินป้อนของมีดไปตามความยาวของชิ้นงานในแต่ละรอบการหมุนเพลลาของเครื่อง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/นาที โดยอาจพิจารณาจากความหนาของเศษตัด เช่น อัตราป้อน 0.3 มิลลิเมตร/รอบ หมายถึง มีดตัดเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 0.3 มิลลิเมตรตามความยาวชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานหมุนไป 1 รอบ

ความลึกในการตัด (Depth of Cut) คือ ความลึกในการตัดชิ้นงานที่ทำให้เศษตัดไหลออกมา มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร เช่น ความลึกในการตัด 0.15 มิลลิเมตร หมายถึง มีดตัดตัดชิ้นงานที่ความลึก 0.15 มิลลิเมตร เมื่อหมุนครบ 1 รอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานจะลดลง 0.3 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.9 ปัจจัยกระบวนการกลึง [4]

2.1.4 การเสียหายของเครื่องมือตัด (Tool Failures)

1. การเสียหายเนื่องจากการแตกหัก (Fracture Failure) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงในการตัดมีค่าสูงมาก ทำให้เกิดการแตกหักทันที โดยเฉพาะวัสดุเปราะ
2. การเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Failure) เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการตัดมีค่าสูงเกินกว่าที่ใช้ในการทำมิติตัดจะทนได้ ทำให้เกิดการอ่อนตัวลงและเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Plastic Information) เป็นผลให้เกิดการสูญเสียคมในการตัด
3. การสึกหรอ (Gradual Wear) การสึกหรอที่เล็กน้อยของคมตัดจะมีผลต่อการสูญเสียรูปร่างของมิติตัดและการลดลงของประสิทธิภาพการตัด ที่สภาวะสุดท้ายมิติตัดจะมีลักษณะคล้ายการเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิ

2.1.5 เครื่องกลึง CNC

เครื่องกลึง CNC (Computer Numerical Control Turning Machine) คือเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่ทำงานได้ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการผลิตชิ้นส่วนวัสดุให้ได้ขนาดและรูปร่างตามที่ต้องการด้วยการกลึง เหมาะสำหรับงานกลึงที่ต้องการความต่อเนื่องรวดเร็ว มีความละเอียดหรือมีความซับซ้อนสูง

สำหรับด้านโครงสร้างเครื่องกลึง CNC มีความคล้ายกับเครื่องกลึงมือ (Manual) มาก แตกต่างกันในด้านการควบคุมการทำงานและการตรวจวัด ซึ่งเครื่องกลึง CNC มีการเพิ่มในส่วนดังต่อไปนี้เข้ามา ระบบส่งกำลัง ระบบขับเคลื่อนแกน ระบบจับยึดชิ้นงาน ระบบจับยึดเครื่องมือตัด ระบบตรวจวัด ระบบไฟฟ้า และระบบควบคุม เพื่อการวัดและสร้างชิ้นงานที่เที่ยงตรงแม่นยำมากขึ้น

ระบบส่งกำลัง เครื่องกลึง CNC จะใช้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ซึ่งสามารถควบคุมความเร็ว การหมุน แรงบิด ตำแหน่ง ให้เป็นไปตามความต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบขับเคลื่อนแกน เครื่องกลึง CNC จะใช้สเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor) ทำงานร่วมกับระบบควบคุมระยะในการควบคุมแกนให้เข้าตัดชิ้นงานต่างๆ

ระบบจับยึดชิ้นงาน หรือ หัวจับ (JAW) ทำหน้าที่ยึดชิ้นงานอย่างมั่นคง ทำให้สามารถตกแต่ง กลึงชิ้นงานได้อย่างราบรื่น ซึ่งหัวจับชิ้นงานนี้มีทั้งแบบธรรมดาที่ไม่ตกแต่งรูปร่างอะไรหรือแบบพิเศษที่ใช้ผลิตงานจำนวนไม่มากแต่มีความเฉพาะตัวสูง

ระบบจับยึดเครื่องมือตัด (Turret) ระบบจับยึดเครื่องมือเป็นอีกสิ่งที่ทำให้ CNC มีความแตกต่างกับการกลึงแบบมือ เพราะใน Turret จะประกอบด้วยเครื่องมือตัดเป็นจำนวนมาก สามารถหมุนเพื่อใช้งานในรูปแบบต่างๆได้โดยตามที่คอมพิวเตอร์กำหนดคำสั่งเอาไว้โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนหัวตัดด้วยมือ

ระบบตรวจวัด ระบบตรวจวัดสำหรับเครื่อง CNC จะมีการติดตั้ง Linear Scale ซึ่งคืออุปกรณ์ตรวจวัดระยะเส้นตรงความละเอียดสูง (สูงสุด 0.001 มิลลิเมตร) หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่มีความสามารถใกล้เคียงกัน เพื่อวัดระยะของชิ้นงาน หรือใช้เพื่อคำนวณในฟังก์ชันต่างๆเพื่อการใช้งานเครื่อง CNC

ระบบไฟฟ้า ส่วนใหญ่ระบบไฟฟ้าของเครื่องกลึง CNC จะเป็นระบบไฟฟ้าแบบ 3 เฟส 380 โวลต์เป็นหลัก ยกเว้นเป็นเครื่องแบบ MINI CNC ที่จะใช้ไฟฟ้าแบบ 220 โวลต์

ระบบควบคุม เครื่องกลึง CNC จะมีการควบคุมการทำงานทั้งหมดผ่านคอมพิวเตอร์ โดยจะอาศัย G Code และ M Code ในการป้อนข้อมูล ซึ่งสามารถควบคุมได้ตั้งแต่การเคลื่อนที่ง่ายๆ ไปจนถึงการปรับรายละเอียดการกลึง สามารถเพิ่มโปรแกรมเพิ่มเติมได้โดยการเขียนโค้ด ซึ่งในปัจจุบันนิยมเขียนลงในโปรแกรม CAD (Computer Aided Design) ทั้ง 2D CAD และ 3D CAD แล้วใช้โปรแกรมประเภท CAM (Computer Aided Manufacturing) ในการปรับแต่งให้เหมาะสมกับงาน

เครื่องกลึง CNC เครื่องหมายการค้า Mazak รุ่น Quick Turn Smart 100s



รูปที่ 2.10 เครื่องกลึง CNC เครื่องหมายการค้า Mazak รุ่น Quick Turn Smart 100s [5]

เครื่องกลึง CNC เครื่องหมายการค้า Mazak รุ่น Quick Turn Smart 100s ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เป็นเครื่องกลึง 2 แกน โดยแกน x ทำงานในระยะ 200 มิลลิเมตร ส่วนแกน z ทำงานในระยะ 340 มิลลิเมตร มีความเร็วรอบสูงสุดที่ 6000 รอบ/นาที สามารถใส่มีดกลึงได้จำนวน 12 มีด ผลิตชิ้นงานที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 280 มิลลิเมตรและยาวสูงสุด 310 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 คุณสมบัติเครื่องกลึง CNC เครื่องหมายการค้า Mazak รุ่น Quick Turn Smart 100s

Specification		Bed Length - 300U mm
Capacity	Maximum Swing	580 mm / 22.83 in
	Maximum Machining Diameter	280 mm / 11.020 in
	Maximum Bar Work Capacity	52 mm / 2.1 in
	Maximum Machining Length	310 mm / 12.200 in
Main Spindle	Chuck Size	6 in
	Maximum Speed	6000 rpm
	Motor Output (30 minute rating)	11 kw / 15.0 hp
Turret (Upper)	Number of Tools	12
Feed Axes	Travel (X Axis)	200 mm / 7.87 in
	Travel (Z Axis)	340 mm / 13.39 in

2.1.6 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ในทางโลหกรรมถือว่าเป็นโลหะผสมเหล็กที่มีโครเมียม (Chromium) อย่างน้อยที่สุด 10.5% มีคุณสมบัติเด่นตามชื่อคือไม่เกิดสนิม เนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโครเมียมกับออกซิเจนเกิดเป็นฟิล์มบางๆ เคลือบผิวไว้ ทำหน้าที่ปกป้องความเสียหายและการกัดกร่อน

เหล็กกล้าไร้สนิมแบ่งออกเป็นกลุ่มพื้นฐาน ได้ 5 กลุ่ม คือ กลุ่มเฟอร์ริติก (Ferritic) กลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic) กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex) กลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic) และกลุ่มเพิ่มความแข็งโดยวิธีการตกผลึก (Precipitation Hardening)

กลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic) เป็นกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะผสมนิกเกิล (Nickel) หรือธาตุแมงกานีส (Manganese) ขึ้นอยู่กับแต่ละเกรด มีโครงสร้างจุลภาคเป็นออสเทนไนต์ (Austenite) คุณสมบัติโดดเด่นด้านการยึดตัวสูง ทำให้สามารถขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ได้โดยไม่เสี่ยงต่อการแตกร้าว นอกจากนี้ โครงสร้างออสเทนไนต์ยังเป็นโครงสร้างที่แม่เหล็กไม่สามารถดูดติด (Non – Magnetic)

กลุ่มเฟอร์ริติก (Ferritic) เป็นกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิมที่เป็นพื้นฐานของเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งหมด โดยผสมโครเมียมในปริมาณ 12% - 27% ขึ้นอยู่กับแต่ละเกรด มีคุณสมบัติต้านทานต่อการกัดกร่อน โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุโครเมียมเป็นสำคัญ โดเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์ (Ferrite) ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของเหล็กกล้าทั่วไป ไม่สามารถทำการชุบแข็ง (Hardening) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ และยังคงสมบัติที่แม่เหล็กสามารถดูดติด (Magnetic)

กลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีลักษณะร่วมทางโครงสร้างจุลภาคระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกกับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก แต่มีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมทั้ง 2 ชนิด โดยลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้เกิดจากการมีปริมาณของธาตุนิกเกิลไม่ถึงร้อยละ 8 และมีปริมาณของธาตุโครเมียมสูงมากกว่า 20% ซึ่งทำให้ได้โครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์และออสเทนไนต์ เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีราคาค่อนข้างแพงเนื่องจากมีความแข็งแรงและความทนทานต่อการกัดกร่อนสูง

กลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก แต่มีปริมาณธาตุคาร์บอนที่สูงกว่าเพื่อให้เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้สามารถทำการชุบแข็ง (Hardening) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ โครงสร้างจุลภาคภายหลังการชุบแข็งจะได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ (Martensite) การใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกส่วนใหญ่คำนึงถึงความแข็งแรงและความทนทานต่อการเกิดสนิมในระดับปานกลางเท่านั้น เนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่สูงจะทำให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนลดลง แต่ก็ยังคงไม่เป็นสนิมในสารละลายที่มีการกัดกร่อนไม่สูงมากนักหรือในสารละลายที่เป็นกลางได้

กลุ่มเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกผลึก (Precipitation Hardening) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีการใช้งานน้อยในประเทศไทย โดยเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้มีความแข็งแรงสูง เนื่องจากเกิดการตกผลึกของเฟสต่างๆ มีค่าความเค้นพิสูจน์ (Proof Stress) อยู่ระหว่าง 1,000 ถึง 1,500 เมกะปาสกาล (MPa) ขึ้นอยู่กับชนิดและกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน (Heat Treatment) ภายในเนื้อวัสดุที่มีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ โครงสร้างกึ่งออสเทนไนต์ หรือโครงสร้างออสเทนไนต์ และจุดเด่นที่สำคัญของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้คือ ขึ้นงานภายหลังจากการอบชุบมีโอกาสนิดเบือนน้อย

เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 422 (Alloy 616)

เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด 422 หรือที่รู้จักกันในชื่อ Alloy 616 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมในกลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic) มีส่วนผสมของธาตุต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 โดยปรับปรุงมาจากเกรด 420 โดยการเพิ่มนิกเกิล (Nickel) โมลิบดีนัม (Molybdenum) ทังสแตน (Tungsten) และวานาเดียม (Vanadium) ลงไป เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานต่อการกัดกร่อน เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้มีคุณสมบัติที่โดดเด่น

คือ ความทนทานสูง ทนความร้อน เหมาะแก่ชิ้นงานในอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิสูงอย่างโรงงานไฟฟ้า ทนความร้อน เหมาะแก่ชิ้นงานในอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิสูงอย่างโรงงานไฟฟ้า

ตารางที่ 2.2 ส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ธาตุต่างๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 422 (Alloy 616)

Carbon	0.20-0.25	Manganese	1.00
Phosphorus	0.040 max	Sulfur	0.30 max
Silicon	0.20-0.60	Chromium	11.00-13.50
Nickle	0.50-1.00	Molybdenum	0.75-1.25
Vanadium	0.17-0.30	Tungsten	0.75-1.25
Iron	Balance	Copper	0.50

2.1.7 ต้นทุนการผลิต (Manufacturing Cost)

ต้นทุนการผลิต (Manufacturing Cost) คือต้นทุนที่ใช้ในการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ประกอบด้วยวัตถุดิบทางตรง (Direct Materials) ค่าแรงงานทางตรง (Direct Labor) และค่าใช้จ่ายการผลิต (Manufacturing Overhead)

1. วัตถุดิบ (Materials)

วัตถุดิบนับว่าเป็นส่วนประกอบสำคัญของการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปโดยทั่วไป ซึ่งต้นทุนที่เกี่ยวกับการใช้วัตถุดิบในการผลิตสินค้าอาจจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1.1 วัตถุดิบทางตรง (Direct materials) หมายถึง วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตและสามารถระบุได้ อย่างชัดเจนว่าใช้ในการผลิตสินค้าชนิดใดชนิดหนึ่งในปริมาณและต้นทุนเท่าใด รวมทั้งจัดเป็นวัตถุดิบส่วน ใหญ่ที่ใช้ในการผลิตสินค้าชนิดนั้นๆ เช่น ไม้แปรรูปจัดเป็นวัตถุดิบทางตรงของการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ผ้าที่ใช้ ในอุตสาหกรรมเสื้อผ้า ยางดิบที่ใช้ในการผลิตยางรถยนต์ แร่เหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก กระดาษที่ ใช้ในธุรกิจสิ่งพิมพ์ เป็นต้น

1.2 วัตถุดิบทางอ้อม (Indirect materials) หมายถึง วัตถุดิบต่างๆที่เกี่ยวข้องโดยทางอ้อมกับการ ผลิตสินค้า แต่ไม่ใช่วัตถุดิบหลักหรือวัตถุดิบส่วนใหญ่ เช่น ตะปู กาว กระดาษทรายที่ใช้เป็นส่วนประกอบ ของการทำเครื่องหนังหรือเฟอร์นิเจอร์ น้ำมันหล่อลื่นเครื่องจักร เส้นด้ายที่ใช้ในการตัดเย็บเสื้อผ้า เป็นต้น โดยปกติแล้ววัตถุดิบทางอ้อมอาจจะถูกเรียกว่า “วัสดุโรงงาน” ซึ่งจะถือเป็นค่าใช้จ่ายการผลิตชนิดหนึ่ง

2. ค่าแรงงาน (Labor)

ค่าแรงงาน หมายถึง ค่าจ้างหรือผลตอบแทนที่จ่ายให้แก่ลูกจ้างหรือคนงานที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับ การผลิตสินค้า โดยปกติแล้วค่าแรงงานจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ค่าแรงงานทางตรง (Direct labor) หมายถึง ค่าแรงงานต่างๆ ที่จ่ายให้แก่คนงานหรือลูกจ้างที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการผลิตสินค้าสำเร็จรูปโดยตรง รวมทั้งเป็นค่าแรงงานที่มีจำนวนมากเมื่อเทียบกับค่าแรงงานทางอ้อมในการผลิตสินค้าหน่วยหนึ่งๆ และจัดเป็นค่าแรงงานส่วนสำคัญในการแปรรูปวัตถุดิบให้เป็นสินค้าสำเร็จรูป เช่น คนงานที่ทำงานเกี่ยวกับการควบคุมเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตก็ควรถือเป็นแรงงานทางตรง พนักงานในสายการประกอบ เป็นต้น

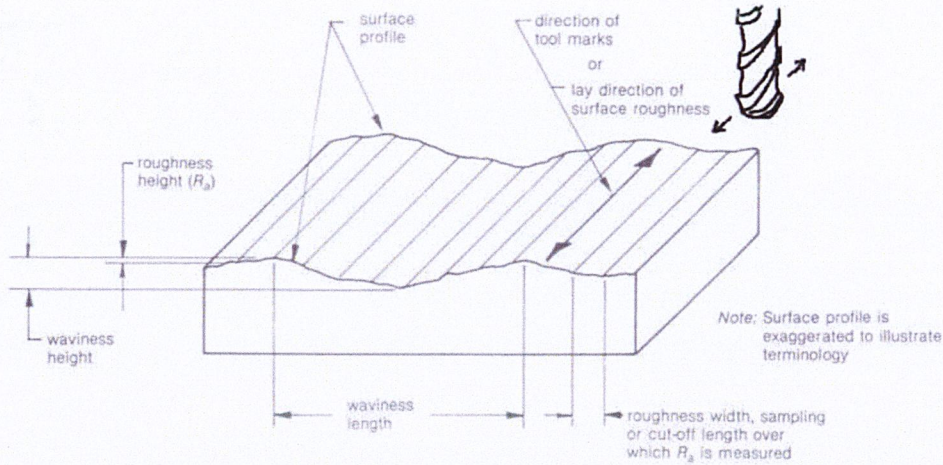
2.2 ค่าแรงงานทางอ้อม (Indirect labor) หมายถึง ค่าแรงงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับค่าแรงงานทางตรงที่ใช้ในการผลิตสินค้า เช่น เงินเดือนผู้ควบคุมโรงงาน เงินเดือนพนักงานทำความสะอาดเครื่องจักร และโรงงาน พนักงานตรวจสอบคุณภาพ ช่างซ่อมบำรุง ตลอดจนต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับคนงาน เช่น ค่าภาษีที่ออกให้ลูกจ้าง สวัสดิการต่างๆ เป็นต้น ซึ่งค่าแรงงานทางอ้อมเหล่านี้จะถือเป็นส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายการผลิต

3. ค่าใช้จ่ายการผลิต (Manufacturing Overhead)

ค่าใช้จ่ายการผลิต หมายถึง แหล่งรวบรวมค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าซึ่งนอกเหนือจากวัตถุดิบทางตรง ค่าแรงงานทางตรง เช่น วัตถุดิบทางอ้อม ค่าแรงงานทางอ้อม ค่าใช้จ่ายในการผลิตทางอ้อมอื่นๆ ได้แก่ ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าเช่า ค่าเสื่อมราคา ค่าประกันภัย ค่าภาษี เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายเหล่านี้ก็ต้องเป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการดำเนินการผลิตในโรงงานเท่านั้น ไม่รวมถึงเงินเดือน ค่าเช่า ค่าไฟฟ้า ค่าเสื่อมราคา ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานในสำนักงาน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายการผลิตจึงถือเป็นที่รวมของค่าใช้จ่ายในการผลิตทางอ้อมต่างๆ (Cost pool of indirect manufacturing costs) นอกจากนี้ ยังจะพบว่าในบางกรณีก็มีการเรียกค่าใช้จ่ายการผลิตในชื่ออื่นๆ เช่น ค่าใช้จ่ายโรงงาน (Factory Overhead) โสหุ่ยการผลิต (Manufacturing Burden) ต้นทุนผลิตทางอ้อม (Indirect Cost) เป็นต้น

2.1.8 ความหยาบผิว (Surface Roughness)

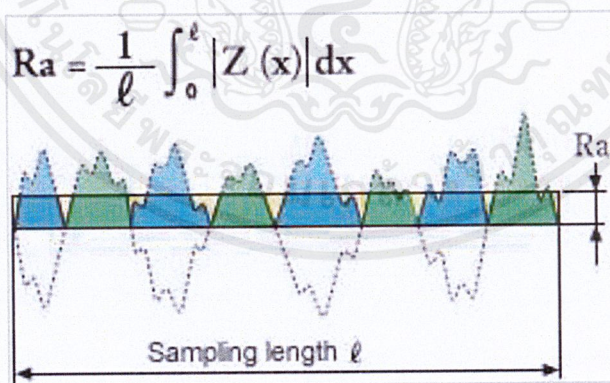
ความหยาบผิว (Surface Roughness) หรือ ความเรียบผิว เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการผลิตแบบหนึ่ง เกิดขึ้นจากรูปร่างของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานและกรรมวิธีการขึ้นรูป สำหรับการวัดความหยาบผิว เราจะวัดลักษณะที่เกิดจากความขรุขระของพื้นผิวที่ความยาวคลื่นน้อย ดังนั้นในการวัดเราจะต้องจำกัดระยะในการวัดให้ตามลักษณะความเป็นคลื่น เรียกว่า ระยะ cut-off length ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ระยะ cut-off length มีค่ามาตรฐานที่ใช้กันมากคือ 0.25 มิลลิเมตร 0.8 มิลลิเมตร และ 2.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.11 ระยะ cut-off length [6]

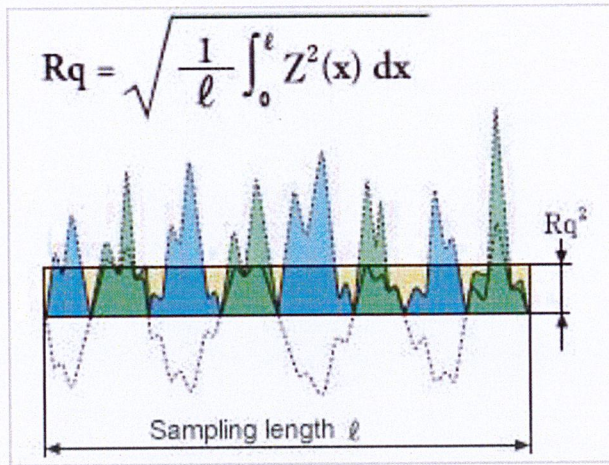
ค่าความหยาบผิวนั้นมีผลโดยตรงต่อความเงาของผิวชิ้นงาน เราอาจประมาณค่าความหยาบผิวได้จากความเป็นเงา แต่ถ้าต้องการความแม่นยำแล้วเราจำเป็นต้องมีค่ากำหนดเป็นตัวเลข และมีวิธีการคำนวณที่ชัดเจน ค่าความหยาบผิวที่นิยมใช้กันแพร่หลายมี 3 ค่า ได้แก่ ความหยาบผิวเฉลี่ยตามอนุกรมเลขคณิต (Roughness Average) ความหยาบผิวรากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Roughness) และความหยาบผิวสูงสุด (Maximum Height Roughness)

ความหยาบผิวเฉลี่ย (Roughness Average) เป็นการแสดงความหยาบของพื้นผิวที่วัดด้วยค่าเฉลี่ยหาได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือและใต้เส้นกึ่งกลาง (M line) หาด้วยช่วงระยะวัด (Sampling length) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 และเป็นค่าที่นิยมใช้มากที่สุด



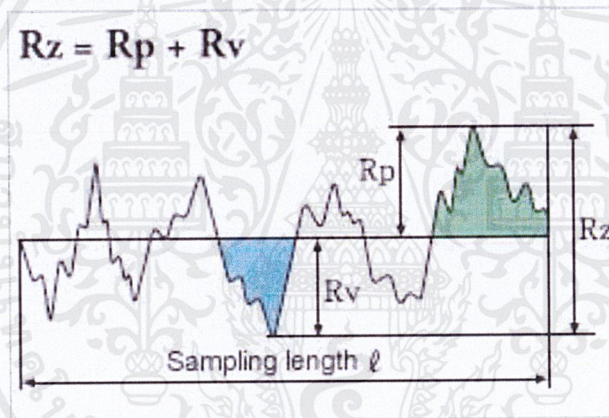
รูปที่ 2.12 ความหยาบผิวเฉลี่ย [7]

ความหยาบผิวรากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Roughness) เป็นการแสดงความหยาบของพื้นผิวที่วัดด้วยรากกำลังสองเฉลี่ย ได้จากรากกำลังสองของค่าเฉลี่ยความหยาบผิวกำลังสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ความหยาบผิวรากกำลังสองเฉลี่ย [7]

ความหยาบผิวสูงสุด (Maximum Height Roughness) เป็นการแสดงความหยาบของพื้นผิวที่วัดด้วยขนาด โดยวัดจากจุดยอดสูงสุดไปยังจุดยอดต่ำสุดของพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ความหยาบผิวสูงสุด [7]

เกรดความเรียบผิว (Roughness Grade Number)

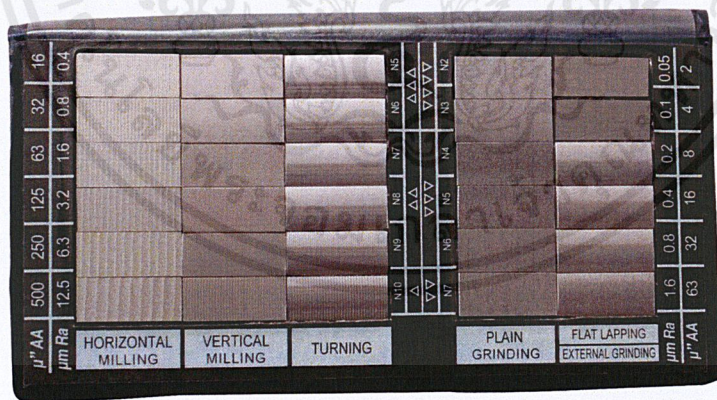
ในปัจจุบันมีการกำหนดชั้นความเรียบผิวของชิ้นงานไว้ 12 ชั้น ตั้งแต่ชั้น N1 ซึ่งมีความเรียบผิวมากไปจนถึง N12 ซึ่งมีความเรียบผิวน้อย ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์ความเรียบผิว [6]

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

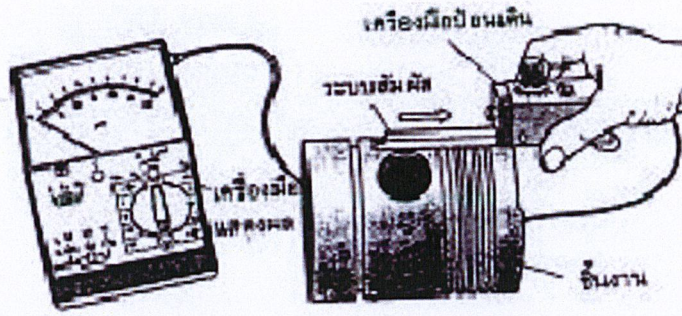
เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความเรียบผิว

1. แผ่นเทียบผิว (Surface Roughness Comparator) มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมวางเรียงกันเป็นชุดตามลำดับความเรียบ แต่ละแผ่นจะมีตัวอย่างผิวชิ้นงานและสัญลักษณ์บอกระดับความเรียบกำกับไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 เวลาใช้งานต้องนำแผ่นเทียบผิวไปเปรียบเทียบกับผิวชิ้นงาน โดยค่าความเรียบของผิวงานสามารถอ่านจากแผ่นเทียบผิวที่มีผิวตรงกับผิวของชิ้นงาน

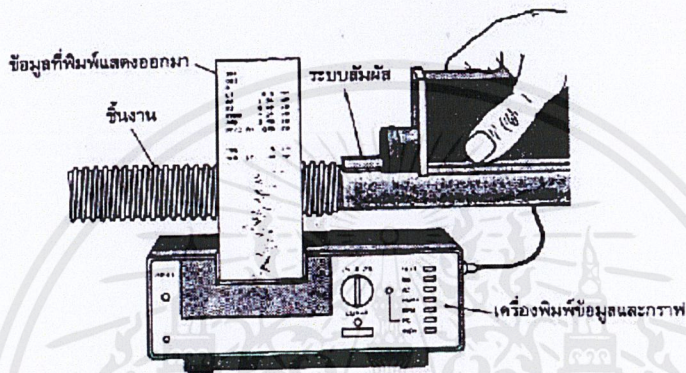


รูปที่ 2.15 แผ่นเทียบผิว [8]

2. เครื่องวัดความเรียบผิว (Surface Roughness Tester) เป็นเครื่องมือวัดความเรียบผิวที่ทำงานด้วยระบบไฟฟ้า สามารถบอกค่าความเรียบผิวได้หลายรูปแบบ เช่น R_a R_q และ R_z และแสดงผลเป็นตัวเลขหรือกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 เครื่องวัดความเรียบผิวแสดงผลหน้าปัด [9]



รูปที่ 2.17 เครื่องวัดความเรียบผิวแสดงผลแบบกราฟ [9]

เครื่องวัดความเรียบผิว เครื่องหมายการค้า Mitutoyo รุ่น SJ-201

เครื่องวัดความเรียบผิว เครื่องหมายการค้า Mitutoyo รุ่น SJ-201 ดังแสดงในรูปที่ 2.18 เป็นเครื่องวัดความเรียบผิวด้วยระบบไฟฟ้า สามารถเลือกใช้รูปแบบการวัดและระยะ cut-off length ได้ตามที่ต้องการ โดยมีรูปแบบการวัดทั้งหมด 19 รูปแบบ ที่นิยมกันมาก ได้แก่ Ra Rq และ Rz หน้าจอแสดงผลมีขนาดใหญ่สามารถป้องกันน้ำและฝุ่นได้ แบตเตอรี่สามารถทำงานได้อย่างน้อย 500 ค่าและสามารถบันทึกผลการวัด 10 ค่าสุดท้าย นอกจากนี้ยังสามารถพิมพ์ผลการวัดได้กับเครื่องพิมพ์ SJ-printer



รูปที่ 2.18 เครื่องวัดความเรียบผิว เครื่องหมายการค้า Mitutoyo รุ่น SJ-201 [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9 การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design)

การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) หรือ การทดลองแบบสุ่มตลอด เป็นแผนการทดลองที่ใช้เมื่อหน่วยทดลอง (Experimental Unit) มีความสม่ำเสมอ คือ เป็นหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกัน (Homogeneous) หรือเหมือนกันมากที่สุด โดยจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองอย่างสุ่ม หน่วยทดลองแต่ละหน่วยจะมีโอกาสเท่าๆกันที่จะได้รับทรีทเมนต์ใดทรีทเมนต์หนึ่ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบว่าค่าเฉลี่ยของประชากรหรือทรีทเมนต์ตั้งแต่ 2 ทรีทเมนต์ขึ้นไปเท่ากันหรือไม่สามารถใช้ได้กับการทดลองที่ทรีทเมนต์มีจำนวนมากๆ ได้ ซึ่งในแต่ละทรีทเมนต์อาจจะมีจำนวนซ้ำเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ แต่ปกติมักจะใช้จำนวนซ้ำเท่ากันเพื่อง่ายในการวิเคราะห์ผลการทดลอง แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์นี้จึงจัดเป็นแผนการทดลองที่ง่ายที่สุด กล่าวคือ ง่ายในการดำเนินการทดลอง การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ และการแปลผลการทดลอง

2.1.10 การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment) คือ การทดลองที่สนใจศึกษาปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยแต่ละปัจจัยจะมีหลายระดับ จำนวนของการทดลองรวมสามารถคิดได้จากจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยคูณกัน เรียกว่า ทรีทเมนต์คอมบิเนชัน (Treatment Combination)

การทดลองแบบแฟคทอเรียลมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยแต่ละปัจจัยและอิทธิพลร่วมของปัจจัย การทำการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว เมื่อต้องการศึกษาหลายๆปัจจัยก็จำเป็นต้องทำการทดลองจำนวนมากเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยแต่ทำละตัว ทำให้อาศัยระยะเวลาและงบประมาณจำนวนมาก ดังนั้นการทดลองแบบแฟคทอเรียลจึงเหมาะสม เนื่องจากทำการทดลองเพียงการทดลองเดียวแต่สามารถศึกษาอิทธิพลของปัจจัยหลายๆ ตัวได้พร้อมกัน ทำให้ประหยัดทั้งงบประมาณและเวลา แต่ในทางปฏิบัติจริงอาจไม่สามารถหาหน่วยทดลองจำนวนมากที่จะใช้ในการทดลองใหญ่ ซึ่งมีทรีทเมนต์คอมบิเนชันจำนวนมากๆ ได้ จึงอาจจำเป็นต้องทำการทดลองครั้งละ 2 หรือ 3 ปัจจัยเท่านั้น นอกจากนี้ถ้าจำนวน ทรีทเมนต์คอมบิเนชันยิ่งมาก ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานต่อหน่วยก็จะมีแนวโน้มสูงกว่าการทดลองที่มีเพียงปัจจัยเดียว

การทดลองแบบแฟคทอเรียล 3 ปัจจัย

การทดลองแบบแฟคทอเรียล 3 ปัจจัย เป็นการทดลองที่นิยมมาก สามารถศึกษาปัจจัยจำนวน 3 ปัจจัยพร้อมกัน เช่น ปัจจัย A ปัจจัย B และปัจจัย C โดยแต่ละปัจจัยจะมี a ระดับ b ระดับ และ c ระดับ ตามลำดับ จำนวนทรีทเมนต์คอมบิเนชันทั้งหมดเท่ากับ $a \times b \times c$ ทรีทเมนต์คอมบิเนชัน และทำซ้ำจำนวน n ครั้งตามความเหมาะสม

ตัวแบบสถิติสำหรับการทดลองที่มี 3 ปัจจัยออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ตัวแบบสถิติที่มี

อิทธิพลแบบกำหนดเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta_{ij}) + (\tau\gamma_{ik}) + (\beta\gamma_{jk}) + (\tau\beta\gamma_{ijk}) + e_{ijkl} \quad (2.2)$$

$$i = 1,2,3, \dots, a \quad j = 1,2,3, \dots, b \quad k = 1,2,3, \dots, c \quad l = 1,2,3, \dots, l$$

เมื่อ Y_{ijkl} คือ ค่าสังเกตการณ์ที่ได้รับจากทรีทเมนต์ ijk ตัวที่ l

μ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมด

τ_i คือ ผลจากปัจจัย A ที่ประกอบด้วย i ระดับ

β_j คือ ผลจากปัจจัย B ที่ประกอบด้วย j ระดับ

γ_k คือ ผลจากปัจจัย C ที่ประกอบด้วย k ระดับ

$\tau\beta_{ij}$ คือ ผลจากผลรวมจากปัจจัย A ที่ i และปัจจัย B ที่ j

$\tau\gamma_{ik}$ คือ ผลจากผลรวมจากปัจจัย A ที่ i และปัจจัย C ที่ k

$\beta\gamma_{jk}$ คือ ผลจากผลรวมจากปัจจัย B ที่ j และปัจจัย C ที่ k

$\tau\beta\gamma_{ijk}$ คือ ผลจากผลรวมจากปัจจัย A ที่ i ปัจจัย B ที่ j และปัจจัย C ที่ k

e_{ijkl} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ซ้ำที่ l ของปัจจัย A ที่ i ปัจจัย B ที่ j และปัจจัย C ที่ k

สูตรการคำนวณหาผลรวมกำลังสองของทั้งหมด

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n Y_{ijkl}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} \quad (2.3)$$

สูตรการคำนวณหาผลรวมกำลังสองของอิทธิพลหลัก

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_{i\dots}^2}{bcn} - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} \quad (2.4)$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{y_{\dots j}^2}{acn} - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} \quad (2.5)$$

$$SS_C = \sum_{k=1}^c \frac{y_{\dots k}^2}{abn} - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} \quad (2.6)$$

สูตรการคำนวณหาผลรวมกำลังสองของอิทธิพลร่วมแบบ 2 ปัจจัย

$$\begin{aligned} SS_{AB} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y_{ij\dots}^2}{cn} - \frac{y_{\dots}^2}{abcn} - SS_A - SS_B \\ &= SS_{\text{Subtotals}(AB)} - SS_A - SS_B \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned}
 SS_{AC} &= \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{y_{i.k}^2}{bn} - \frac{y_{...}^2}{abcn} - SS_A - SS_C \\
 &= SS_{\text{Subtotals}(AC)} - SS_A - SS_C
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

$$\begin{aligned}
 SS_{BC} &= \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{y_{j.k}^2}{an} - \frac{y_{...}^2}{abcn} - SS_B - SS_C \\
 &= SS_{\text{Subtotals}(BC)} - SS_B - SS_C
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

สูตรการคำนวณหาผลรวมกำลังสองของอิทธิพลร่วมแบบ 3 ปัจจัย

$$\begin{aligned}
 SS_{ABC} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{y_{ijk}^2}{n} - \frac{y_{...}^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \\
 &= SS_{\text{Subtotals}(ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

สูตรการคำนวณหาผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{Subtotals}(ABC)}
 \tag{2.11}$$

ทำการวิเคราะห์หาความแปรปรวนสำหรับการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแฟคทอเรียล 3 ปัจจัย

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

2.1.11 การวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Model)

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Model) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตอบสนอง (Dependent Variable) เพื่อนำมาสร้างสมการพยากรณ์ค่า แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

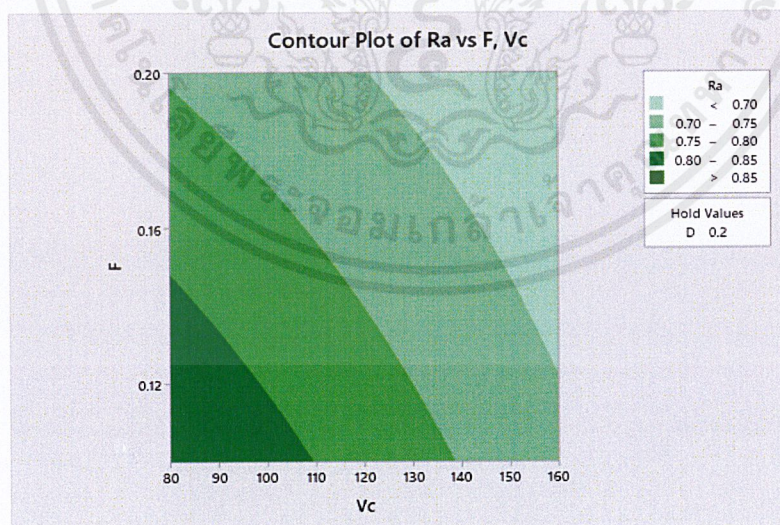
1. การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นเชิงเดียว (Simple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นเชิงเดียว (Simple Linear Regression Analysis) หรือ การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย เป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearity) โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวกับตัวแปรตอบสนองหนึ่งตัว

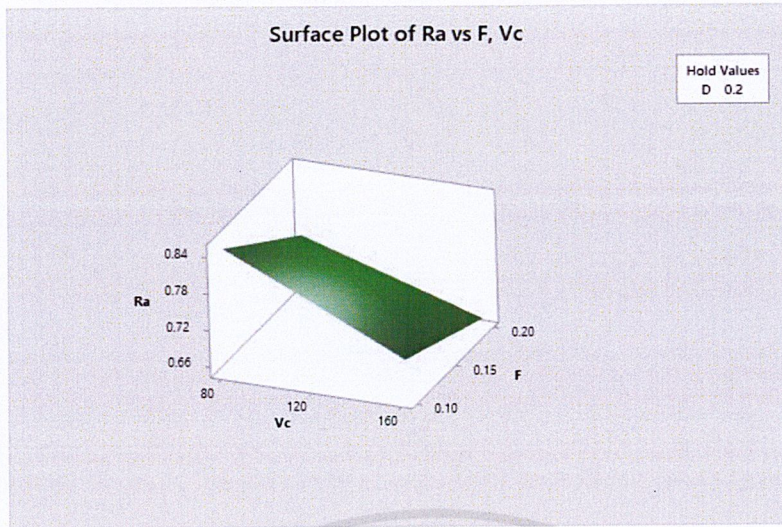
2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่มีมากกว่าหนึ่งตัวกับตัวแปรตอบสนองหนึ่งตัว โดยสมการที่ได้จะประกอบด้วยตัวแปรแต่ละตัวและอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปร

เมื่อทำการประมวลผลทางสถิติจะได้กราฟโครงร่างพื้นผิว (Contour Plot) และกราฟพื้นผิวดตอบสนอง (Surface Plot) เพื่อช่วยในการประมวลผลระหว่างปัจจัยร่วม ดังแสดงในรูปที่ 2.19 และรูปที่ 2.20 ตามลำดับ



รูปที่ 2.19 กราฟโครงร่างพื้นผิว (Contour Plot)



รูปที่ 2.20 กราฟพื้นผิวตอบสนอง (Surface Plot)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กัลยาพร ศรีสุขใสและมิณฑรา เข็มทอง [11] “การศึกษากระบวนการตัดเฉือนโลหะสแตนเลส ASTM A565 เกรด 616HT” งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเร็วตัด อัตราป้อนและความลึกในการตัดเฉือนที่มีผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกกหยาบ และคำนวณค่าใช้จ่ายในการกลึงปกกหยาบ โดยกำหนดความเร็วตัดในช่วง 100 – 120 เมตร/นาที อัตราป้อนในช่วง 0.20 – 0.25 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดในช่วง 0.8 – 1.2 มิลลิเมตร พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกกหยาบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อน ความลึกในการตัด อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วตัดกับอัตราป้อน อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วตัดกับความลึกในการตัด อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราป้อนกับความลึกในการตัด โดยเงื่อนไขการตัดที่มีอายุการใช้งานมีดกลึงปกกหยาบสูงสุด คือ ความเร็วตัด 100 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.2 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 0.8 มิลลิเมตร ส่วนค่าที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือความเร็วตัด 100 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.3 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.2 มิลลิเมตร

พงศธร จันทรสุขจำเริญ [12] “การศึกษาปัจจัยของกระบวนการกลึง CNC ที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 และความคุ้มค่าในการเลือกใช้เม็ดมีดกลึง” งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานได้แก่ความเรียบผิวระหว่าง 0.2 – 1.0 μm การเปลี่ยนแปลงความแข็ง ความแตกต่างของเส้นผ่านศูนย์กลาง และศึกษาความคุ้มค่าในการเลือกใช้เม็ดมีดกลึงระหว่างเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว PVD กับเม็ดมีดกลึงเซอร์เม็ท พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวโดยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว PVD คือ อัตราป้อนกับอัตราป้อนกำลังสอง ส่วนเม็ดมีดกลึงเซอร์เม็ท คือ อัตราป้อน อัตราป้อนกำลังสองและความลึกในการตัด ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งโดยเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว PVD และเม็ดมีดกลึงเซอร์เม็ท คือ ความลึกในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัด และไม่มีปัจจัยใดเลยที่ส่งผลต่อความแตกต่างของเส้นผ่านศูนย์กลาง การประเมินความคุ้มค่าในการใช้ มีดกลึงพบว่า มีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิว PVD มีต้นทุนการกลึงถูกกว่าเม้ดมีดกลึงเซอร์เม้ท 19.62%

จากงานวิจัยข้างต้นได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ทั้งการออกแบบการทดลองโดยสนใจศึกษา ปัจจัยการกลึง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อนและความลึกในการตัด การเก็บและวิเคราะห์ผลการ ทดลองทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab 19



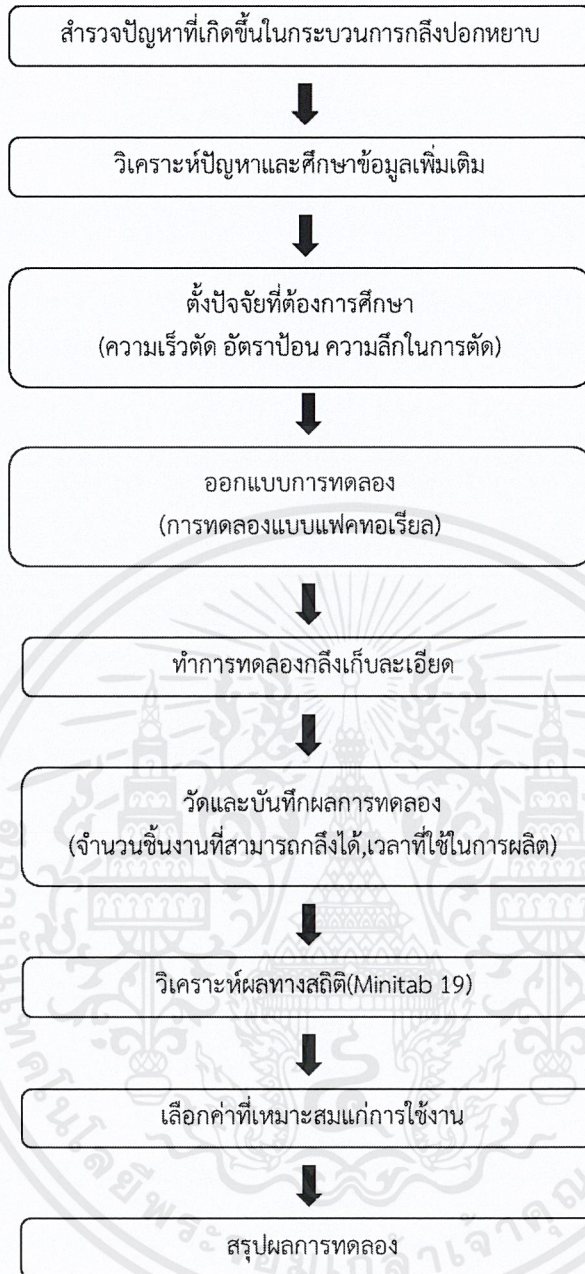
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ฝ่ายโรงงานและอะไหล่) รับผิดชอบงานด้านการบำรุงรักษาทุกประเภท โดยมีหน้าที่ซ่อม ตรวจสอบ ผลิตอะไหล่เครื่องจักรและอุปกรณ์โรงไฟฟ้าต่างๆ สำหรับโรงไฟฟ้าของบริษัทในเครือและโรงไฟฟ้าเอกชน โดยทางผู้จัดทำได้มีโอกาสเข้าไปศึกษาในส่วนแผนกโรงงาน 3 ชุด เครื่องกลึง CNC ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบด้านการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์และอะไหล่ต่างๆ สำหรับใช้ภายในโรงไฟฟ้า เช่น สกรู น็อต สลักเกลียว

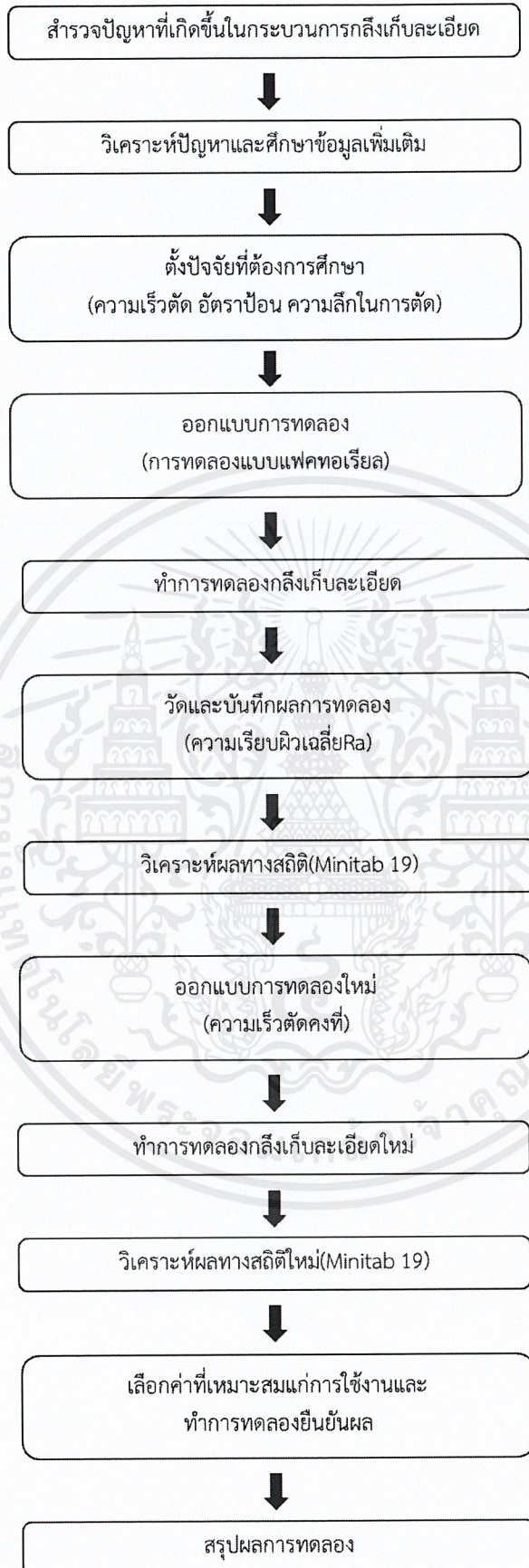
จากการสำรวจพบว่าสลักเกลียวเป็นชิ้นส่วนที่ทำการผลิตต่อล็อตจำนวนมากและมีการผลิตซ้ำทุกปี แต่กลับไม่มีค่าปัจจัยที่แน่นอนในการกลึง ซึ่งส่งผลอย่างมากต่อคุณภาพชิ้นงาน ทั้งขนาดและความเรียบผิว โดยสลักเกลียวมีขั้นตอนการผลิตที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ การกลึงปกกหยาบและการกลึงเก็บละเอียด ในกระบวนการกลึงปกกหยาบนั้นมีटकึงเมื่อถูกใช้งานเป็นระยะเวลาานจะทำให้เกิดการสึกหรอ ส่งผลต่อคุณภาพการกลึง ทำให้ชิ้นงานมีขนาดที่ผิดเพี้ยนหรือเกิดรอยขีดข่วน ขณะที่การกลึงเก็บละเอียดที่มีटकึงนั้นจำเป็นต้องใช้ค่าปัจจัยต่างๆ ให้ถูกต้องเหมาะสมตามความเรียบผิวชิ้นงานที่ต้องการ จากข้อมูลข้างต้นงานวิจัยฉบับนี้จึงออกแบบการทดลองออกเป็น 2 ส่วน โดยเป็นการศึกษาเชิงทดลองและนำเครื่องมือทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังนี้

การทดลองส่วนที่ 1 การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีटकึงปกกหยาบ และหา ค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน มีขั้นตอนการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลองการกลึงปกหยาบ

การทดลองส่วนที่ 2 ทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลความเรียบผิวชิ้นงานของมีดกลึงเก็บละเอียดและค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน มีขั้นตอนการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองการกลึงเก็บละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 เครื่องมือในการทดลอง

เครื่องมือในการทดลองนี้ใช้เครื่องกลึง CNC ในการกลึง เนื่องจากใช้งานง่าย รวดเร็ว มีประสิทธิภาพสูงและใช้งานอยู่ในปัจจุบัน รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

1. เครื่องกลึง CNC เครื่องหมายการค้า Mazak รุ่น Quick Turn Smart 100s ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องกลึง CNC เครื่องหมายการค้า Mazak รุ่น Quick Turn Smart 100s [5]

2. สารหล่อเย็น เครื่องหมายการค้า Gulf รุ่น Coolant Cascade Syngrind Super
3. มีดกลึงปกหยาบ เครื่องหมายการค้า Kyocera รุ่น TNMG 160404TK PR1125 ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 มีดกลึงปกหยาบ เครื่องหมายการค้า Kyocera รุ่น TNMG 160404TK PR1125

4. มีดกลึงเก็บละเอียด เครื่องหมายการค้า Kyocera รุ่น TNMG 160404TK PR1125 ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 มีดกลึงเก็บละเอียด เครื่องหมายการค้า Kyocera รุ่น TNGM 160404TK PR1125

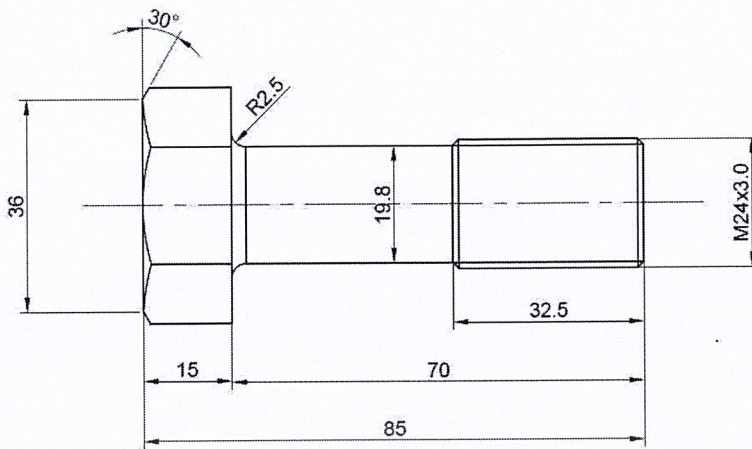
5. เครื่องวัดความเรียบผิว เครื่องหมายการค้า Mitutoyo รุ่น SJ-201 ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความเรียบผิว เครื่องหมายการค้า Mitutoyo รุ่น SJ-201 [10]

3.2 ชิ้นงานทดสอบ

งานวิจัยนี้ใช้เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 422 เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่โดดเด่น คือ มีความทนทานสูง ทนความร้อนและต้านทานการกัดกร่อน เหมาะสมกับอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิสูงอย่างโรงไฟฟ้า และยังเป็นวัสดุที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยชิ้นงานทดสอบ คือ สลักเกลียว หัวสลักเป็นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 41.6 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตร ส่วนแกนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.8 มิลลิเมตร ยาว 37.5 มิลลิเมตร ทำเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 มิลลิเมตร ยาว 32.5 มิลลิเมตร ระยะพิตช์ 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ชิ้นงานตัวอย่าง

3.3 การทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบและหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

3.3.1 ออกแบบการทดลอง

การทดสอบปัจจัยในกระบวนการกลึงปกหยาบโดยมีดกลึงปกหยาบ เครื่องหมายการค้า Kyocera รุ่น TNMG 160408TK PR1125 นั้น จะใช้ปัจจัยในการทดสอบทั้งหมด 3 ปัจจัย ประกอบด้วย ความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed) ความลึกป้อน (Depth of cut) โดยในการทดสอบได้อ้างอิงค่ามาตรฐานเงื่อนไขการตัดที่แนะนำจาก General Catalog 2016 - 2017 ของบริษัท Kyocera

1. ความเร็วตัด (Cutting Speed) ระบุว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับมีดกลึง TNMG 160408TK PR1125 เท่ากับ 70 – 160 เมตร/นาที งานวิจัยนี้จึงเลือกค่าความเร็วตัดที่จะศึกษาทั้งหมด 3 ระดับ คือ 95, 115, 135 เมตร/นาที โดยกำหนดจากค่ากลางของช่วงใช้งาน คือ 115 เมตร/นาที และทำการปรับเพิ่มและลดจากค่าดังกล่าว

2. อัตราป้อน (Feed) ระบุว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับมีดกลึง TNMG 160408TK PR1125 เท่ากับ 0.1 – 0.4 มิลลิเมตร/รอบ งานวิจัยนี้จึงเลือกค่าอัตราป้อนที่จะศึกษาทั้งหมด 3 ระดับ คือ 0.25, 0.30, 0.35 มิลลิเมตร/รอบ ซึ่งพิจารณาจากค่ากลางของช่วงใช้งาน คือ 0.25 มิลลิเมตร/รอบ และทำการปรับเพิ่มจากค่าดังกล่าวเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการกลึงปกหยาบคือการกำจัดเนื้อโลหะออกโดยไม่คำนึงถึงความเรียบผิวจึงใช้ค่าอัตราป้อนมากๆ เพื่อให้ใช้เวลาต่ำ มีประสิทธิภาพการทำงานสูง

3. ความลึกป้อน (Depth of cut) ระบุว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับมีดกลึง TNMG 160408TK PR1125 เท่ากับ 1.0 – 5.0 มิลลิเมตร งานวิจัยนี้จึงเลือกค่าอัตราป้อนที่จะศึกษาทั้งหมด 3 ระดับ คือ 1.0, 1.4, 1.8 มิลลิเมตร อ้างอิงจากค่าใช้งานจริงในปัจจุบันที่ 1.0 มิลลิเมตร และทำการปรับเพิ่มจากค่าดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเมื่อความลึกป้อนสูงขึ้นจะส่งผลให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมากขึ้น ประกอบกับรูปแบบการจับชิ้นงานที่ไม่มั่นคงพอ ทำให้มีค่าความลึกป้อนสูงสุดในการทำงานจริงที่ 1.8 มิลลิเมตร

3.3.2 การบันทึกและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำชิ้นงานกลึงปอกหยาบตามค่าปัจจัยที่กำหนด เก็บจำนวนชิ้นงานที่สามารถกลึงปอกหยาบได้และเวลาในการผลิตชิ้นงาน จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหาอายุการใช้งาน และวิเคราะห์ผลทางสถิติผ่านโปรแกรม Minitab 19 เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปอกหยาบ และค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

3.4 การทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานของการกลึงเก็บละเอียดและหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

3.4.1 ออกแบบการทดลอง

การทดสอบปัจจัยในกระบวนการกลึงปอกผิวโดยมีดกลึงปอกผิว เครื่องหมายการค้า Kyocera รุ่น TNMG 160404TK PR1125 นั้น จะใช้ปัจจัยในการทดสอบทั้งหมด 3 ปัจจัย ประกอบด้วย ความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed) ความลึกป้อน (Depth of cut) โดยในการทดสอบได้อ้างอิงค่ามาตรฐานเงื่อนไขการตัดที่แนะนำจาก General Catalog 2016 - 2017 ของบริษัท Kyocera

1. ความเร็วตัด (Cutting Speed) ระบุว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับมีดกลึง TNMG 160404TK PR1125 เท่ากับ 80 – 170 เมตร/นาที งานวิจัยนี้จึงเลือกค่าความเร็วตัดที่จะศึกษาทั้งหมด 10 ระดับ คือ 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170 เมตร/นาที โดยกำหนดจากค่ากลางของช่วงใช้งานคือ 120 เมตร/นาที และทำการปรับเพิ่มและลดจากค่าดังกล่าว

2. อัตราป้อน (Feed) ระบุว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับมีดกลึง TNMG 160404TK PR1125 เท่ากับ 0.1 – 0.4 มิลลิเมตร/รอบ งานวิจัยนี้จึงเลือกค่าอัตราป้อนที่จะศึกษาทั้งหมด 2 ระดับ คือ 0.1, 0.2 มิลลิเมตร/รอบ อ้างอิงจากค่าใช้งานจริงในปัจจุบันที่ 0.2 มิลลิเมตร และทำการปรับลดจากค่าดังกล่าวเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการกลึงเก็บละเอียดนั้นแตกต่างจากการกลึงปอกหยาบโดยไม่ได้ต้องการกำจัดเนื้อโลหะออกในปริมาณมากแต่ต้องการค่าความเรียบผิว การเพิ่มค่าอัตราป้อนที่สูงเกินไปจะทำให้ชิ้นงานมีค่าความเรียบผิวเกินความต้องการ จึงเลือกค่าทดลองสูงสุดเพียง 0.2 มิลลิเมตร/รอบ

3. ความลึกป้อน (Depth of cut) ระบุว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับมีดกลึง TNMG 160404TK PR1125 เท่ากับ 1 – 5 มิลลิเมตร งานวิจัยนี้จึงเลือกค่าอัตราป้อนที่จะศึกษาทั้งหมด 2 ระดับ คือ 0.15, 0.25 มิลลิเมตร เนื่องจากมีดมีดข้างต้นไม่ใช่มีดมีดสำหรับงานกลึงเก็บละเอียด ทำให้ช่วงใช้งานไม่เหมาะสมจึงต้องอ้างอิงจากค่าใช้งานจริงที่ 0.15 – 0.25 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองข้างต้น พบว่าไม่มีปัจจัยกำลังหนึ่งและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยใดที่ส่งผลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value > 0.05 ส่วนปัจจัยกำลังสองนั้นไม่สามารถวิเคราะห์ผลของอัตราป้อนกำลังสองและความลึกในการตัดกำลังสองได้ เนื่องจากมีระดับของปัจจัยที่ต่ำเกินไป จึงสามารถพิจารณาได้เพียงปัจจัยเดียวคือความเร็วตัดกำลังสองซึ่งไม่มีผลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นจากค่า P-value > 0.05

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าความเร็วตัดไม่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานในการกลึงเก็บละเอียด จึงทำการออกแบบการทดลองใหม่เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราป้อนและความลึกในการตัดต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน

ทำการออกแบบการทดลองใหม่ โดยใช้ความเร็วตัดคงที่ที่ 120 เมตร/นาที ทำซ้ำจำนวน 2 ครั้ง และศึกษาเพียง 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราป้อนและความลึกในการตัด โดยนำช่วงการทดลองเดิมมาแบ่งให้สูงขึ้น ดังนี้

1. อัตราป้อน (Feed) จากช่วงเดิม คือ 0.10 – 0.20 มิลลิเมตร/รอบ แบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 0.10, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, 0.20 มิลลิเมตร/รอบ
2. ความลึกในการตัด (Depth of cut) จากช่วงเดิม คือ 0.15 - 0.25 มิลลิเมตร แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 0.15, 0.20, 0.25 มิลลิเมตร

3.4.2 การบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำชิ้นงานกลึงเก็บละเอียดตามค่าปัจจัยที่กำหนด วัดความเรียบผิวชิ้นงานแบบ Ra ทำการวัดชิ้นงานบริเวณหัวสลัก ชิ้นงานละ 2 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งแรกและตำแหน่งที่ 2 ทำมุมกัน 180 องศา นำค่าความเรียบผิวที่ได้ไปคำนวณหาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์ผลทางสถิติผ่านโปรแกรม Minitab 19 เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน และหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยการศึกษาทดลองทั้งหมด 2 ส่วน

1. การทดลองส่วนที่ 1 การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบ และหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน
2. การทดลองส่วนที่ 2 ทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลความเรียบผิวชิ้นงานของมีดกลึงเก็บละเอียด และหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

4.1 ผลการทดลองส่วนที่ 1 การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบ

การทดลองแบบสุ่มเป็นการขจัดความเอนเอียงหรืออคติ (Bias) อันเกิดจากผู้ทดลอง เนื่องจากผู้ทดลองอาจมีความสนใจในบางปัจจัยมากกว่าปัจจัยอื่น ทำให้เกิดความไม่เท่าเทียมในการเก็บข้อมูล การสุ่มลำดับการทดลองจะช่วยขจัดความเอนเอียงหรืออคติเหล่านั้นและให้ผลการทดลองที่มีความถูกต้อง

ทำการจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มด้วยโปรแกรม Minitab 19 โดยสามารถแสดงลำดับการเก็บข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงลำดับการเก็บข้อมูลอายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบ

StdOrder	RunOrder	Cutting Speed (m/min)	Feed (mm/rev)	Depth Of Cut (mm)
23	1	135	0.30	1.4
8	2	95	0.35	1.4
11	3	115	0.25	1.4
6	4	95	0.30	1.8
16	5	115	0.35	1.0
25	6	135	0.35	1.0
10	7	115	0.25	1.0
5	8	95	0.30	1.4
7	9	95	0.35	1.0
15	10	115	0.30	1.8

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงลำดับการเก็บข้อมูลอายุการใช้งานมีดกลึงปอกหยาบ

StdOrder	RunOrder	Cutting Speed (m/min)	Feed (mm/rev)	Depth of Cut (mm)
1	11	95	0.25	1.0
20	12	135	0.25	1.4
21	13	135	0.25	1.8
18	14	115	0.35	1.8
14	15	115	0.30	1.4
17	16	115	0.35	1.4
4	17	95	0.30	1.0
13	18	115	0.30	1.0
24	19	135	0.30	1.8
2	20	95	0.25	1.4
12	21	115	0.25	1.8
26	22	135	0.35	1.4
22	23	135	0.30	1.0
27	24	135	0.35	1.8
9	25	95	0.35	1.8
3	26	95	0.25	1.8
19	27	135	0.25	1.0

ทำการกลึงชิ้นงานตามลำดับการสุ่ม เก็บจำนวนชิ้นงานที่สามารถกลึงได้ต่อ 1 คมตัดโดยชิ้นงานยังมีคุณสมบัติตรงตามต้องการและจับเวลาที่ใช้ในการกลึงปอกหยาบชิ้นงาน 1 ชิ้น แสดงผลดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 จำนวนชิ้นงานที่สามารถกลึงปอกหยาบได้ตามแต่ละค่าปัจจัยต่อคมตัด (ชิ้น)

ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)								
	0.15			0.25			0.35		
	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)								
	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8
95	18	18	2	23	20	2	27	22	1
115	21	17	2	19	15	1	16	12	3
135	17	14	9	8	6	1	7	4	1

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าที่กลึงชิ้นงานจำนวนสูงสุด มีความเร็วตัด 95 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.35 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.0 มิลลิเมตร สามารถกลึงชิ้นงานจำนวน 27 ชิ้น

ตารางที่ 4.3 เวลาที่ใช้ในการกลึงปอกหยาบตามแต่ละค่าปัจจัย (วินาที/ชิ้น)

ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)								
	0.15			0.25			0.35		
	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)								
	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8
95	221	161	129	185	135	108	160	116	93
115	184	134	107	154	112	90	133	97	77
135	159	116	93	133	97	78	115	84	67

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าที่ใช้เวลาในการกลึงปอกหยาบต่ำสุด มีความเร็วตัด 135 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.35 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.8 มิลลิเมตร ใช้เวลา 67 วินาที/ชิ้น

ทำการคำนวณอายุการใช้งานของมีดกลึงปอกหยาบจากตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3

ตัวอย่างการคำนวณ เช่น อายุการใช้งานของมีดกลึงปอกหยาบที่ความเร็วตัด 95 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.15 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.0 มิลลิเมตร สามารถผลิตชิ้นงานได้จำนวน 18 ชิ้น ใช้เวลาผลิตชิ้นละ 221 วินาที

$$\begin{aligned}
 \text{อายุการใช้งาน(นาที)} &= (\text{จำนวนชิ้นงาน} \times \text{เวลาในการกลึงปอกหยาบ}) / 60 \\
 &= (18 \times 221) / 60 \\
 &= 66.30 \text{ นาที}
 \end{aligned}$$

ได้ผลการคำนวณอายุการใช้งานของมีดกลึงปอกหยาบ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 อายุการใช้งานมีดกลึงปอกหยาบต่อคมตัด (นาทีก)

ความเร็วตัด (เมตร/นาทีก)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)								
	0.15			0.25			0.35		
	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)								
	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8
95	66.30	48.30	4.30	70.92	45.00	3.60	72.00	42.53	1.55
115	64.40	37.97	3.57	48.77	28.00	1.50	35.47	19.40	3.85
135	45.05	27.07	13.95	17.73	9.70	1.30	13.42	5.60	1.12

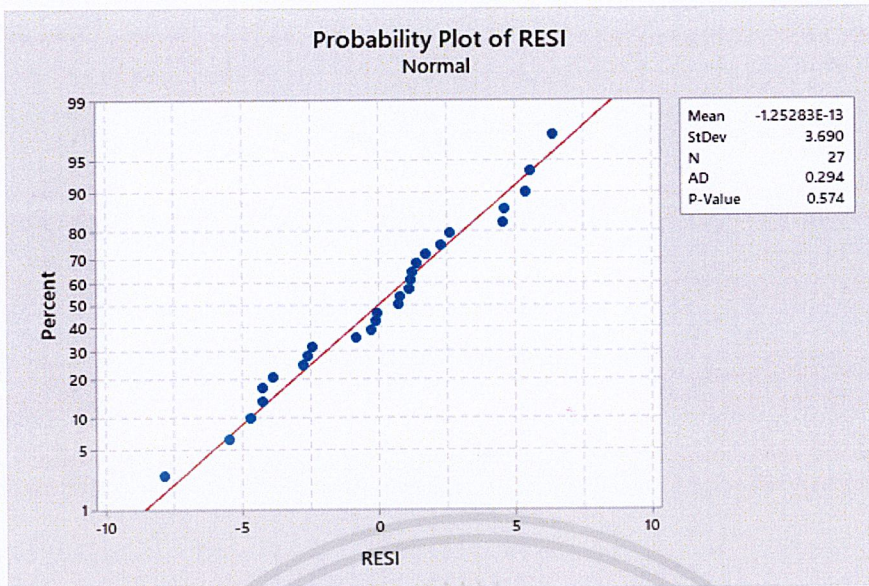
จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่าที่มีอายุการใช้งานมีดกลึงปอกหยาบสูงสุด มีความเร็วตัด 95 เมตร/นาทีก อัตราป้อน 0.35 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.0 มิลลิเมตร มีอายุการใช้งาน 72.00 นาทีก

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปอกหยาบและค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

4.2.1. การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

4.2.1.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Assumption)

การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลเป็นการทดสอบเพื่อดูความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้ เพื่อดูว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเชื่อมั่นหรือไม่ ซึ่งสามารถพิจารณาจาก “ค่าส่วนตกค้าง (Residuals)” ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ โดยงานวิจัยนี้จะใช้ความเชื่อมั่นที่ 95% หรือระดับนัยสำคัญที่ 0.05 เพื่อเป็นการเชื่อมั่นในผลวิเคราะห์ที่ต่อเนื่องกัน

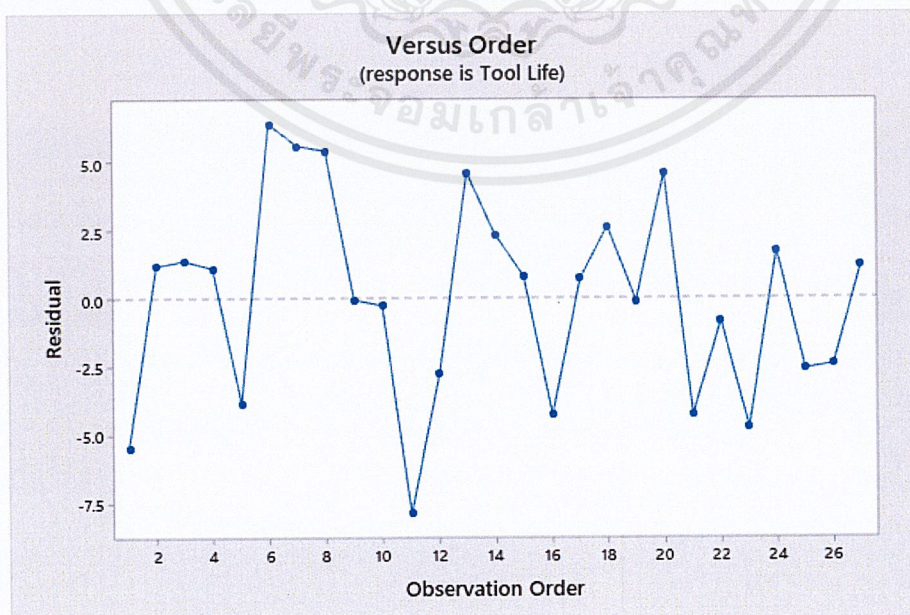


รูปที่ 4.1 กราฟการกระจายตัวของส่วนตกค้างของอายุการใช้งานมีดกลึง

จากรูปที่ 4.1 พบว่ากราฟการกระจายตัวของส่วนตกค้างของอายุการใช้งานมีดกลึงมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากลักษณะจุดในกราฟส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่ในแนวเส้นตรง มีค่า P-value เท่ากับ 0.574 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองนี้มีการแจกแจงแบบปกติ

4.2.1.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลเป็นการตรวจสอบข้อมูลจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องว่ามีแนวโน้มหรือรูปแบบที่แน่นอนหรือไม่ โดยข้อมูลที่เป็นอิสระต่อกันควรมีการกระจายตัวรูปแบบที่ไม่แน่นอน

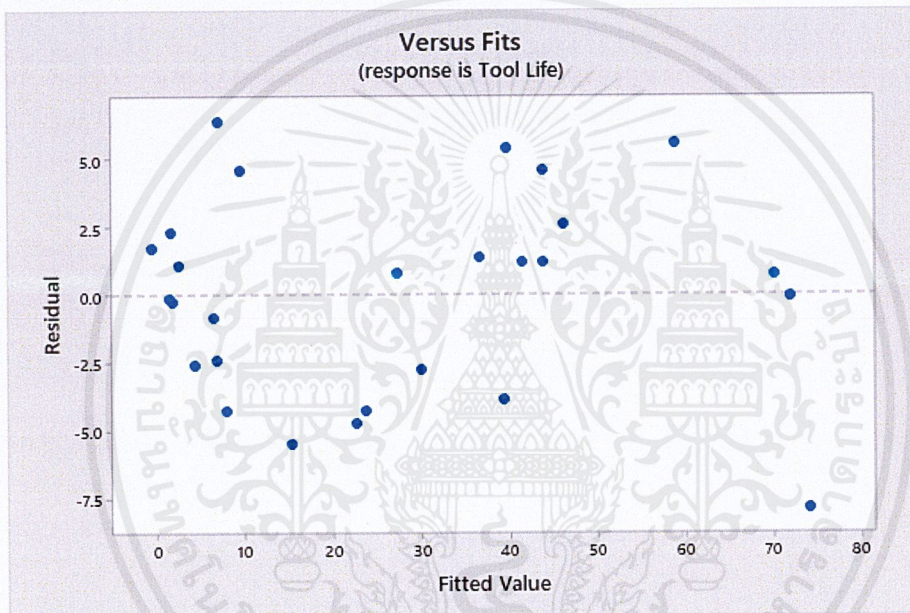


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของอายุการใช้งานมีดกลึงกับลำดับความต่อเนื่อง เอกลักษณ์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของอายุการใช้งานมีลักษณะการกระจายทั้งบนและใต้เส้น ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนและไม่สามารถประมาณรูปแบบได้ สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

4.2.1.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบข้อมูลจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอยว่ามีความกว้างของข้อมูลและรูปแบบที่แน่นอนหรือไม่ โดยข้อมูลที่มีความเสถียรภาพของความแปรปรวนควรมีความกว้างของข้อมูลค่อนข้างคงที่และมีรูปแบบที่แน่นอน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของอายุการใช้งานมีดกับค่าตอบสนอง

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของอายุการใช้งานมีลักษณะการกระจายทั้งบนและใต้เส้น ความกว้างของข้อมูลไม่คงที่และไม่มีรูปแบบที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลนี้ไม่มีเสถียรภาพของความแปรปรวน โดยมีสาเหตุมาจากการออกแบบการทดลองที่ยังไม่เหมาะสม เช่น ช่วงการทดลองไม่ครอบคลุม มีปัจจัยเพิ่มเติมที่ส่งผลต่อการทดลอง

4.2.2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอายุการใช้งาน

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.5 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.4

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	10	14585.9	1458.59	65.91	0.000
Speed	1	28.1	28.10	1.27	0.276
Feed	1	26.5	26.52	1.20	0.290
Depth	1	6.0	5.98	0.27	0.610
Speed*Speed	1	0.2	0.24	0.01	0.918
Feed*Feed	1	51.6	51.63	2.33	0.146
Depth*Depth	1	63.1	63.05	2.85	0.111
Speed*Feed	1	182.8	182.84	8.26	0.011
Speed*Depth	1	16.8	16.81	0.76	0.396
Feed*Depth	1	62.9	62.93	2.84	0.111
Speed*Feed*Depth	1	92.8	92.82	4.19	0.057
Error	16	354.1	22.13		
Total	26	14940.0			

รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอายุการใช้งานมีดกลึง

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงอย่างมีนัยสำคัญ คือ อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วตัดและอัตราป้อนเพียงปัจจัยเดียว เนื่องจากมีค่า P-value < 0.05 ส่วนปัจจัยกำลังหนึ่ง ปัจจัยกำลังสองนั้นไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงอย่างมีนัยสำคัญ แสดงผลจากค่า P-value > 0.05

4.2.3. อิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบ

ตารางที่ 4.5 อิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบ

Factor	Mean Square	Contribution ratio	% Contribution
Speed	28.10	0.0529	5.29
Feed	26.52	0.0499	4.99
Depth	5.98	0.112	1.12
Speed * speed	0.24	0.0004	0.04
Feed * Feed	51.63	0.0972	9.72
Depth * Depth	63.05	0.1187	11.87
Speed * Feed	182.84	0.3444	34.44
Speed * Depth	16.80	0.0316	3.16
Feed * Depth	62.90	0.1184	11.84

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) อิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบ

Factor	Mean Square	Contribution ratio	% Contribution
Speed*Feed*Depth	92.80	0.1748	17.48
Total	530.86	1.0000	100.00

จากการหาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบในตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าแต่ละปัจจัยส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงมากน้อยแตกต่างกัน โดยปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงอย่างมาก ได้แก่ อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วตัดกับอัตราป้อน อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วตัด อัตราป้อนและความลึกในการตัด อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราป้อนกับความลึกในการตัด มี % Contribution อยู่ที่ 34.44% , 17.48% และ 11.84% ตามลำดับ

4.2.4 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์สมการการถดถอยแบบพหุคูณตอบสนองเป็นการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยกำลังหนึ่ง ปัจจัยกำลังสองและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย เพื่อเป็นการพยากรณ์ค่าอายุการใช้งานมีดกลึงที่จะเกิดขึ้นเมื่อระดับค่าปัจจัยต่างๆเปลี่ยนไป

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงอย่างมีนัยสำคัญมีเพียงปัจจัยเดียว คือ อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วตัดกับอัตราป้อน เนื่องจากมีค่า P-value < 0.05

Regression Analysis: Tool Life versus Speed, Feed, Depth

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	10	14585.9	1458.59	65.91	0.000
Speed	1	28.1	28.10	1.27	0.276
Feed	1	26.5	26.52	1.20	0.290
Depth	1	6.0	5.98	0.27	0.610
Speed*Speed	1	0.2	0.24	0.01	0.918
Feed*Feed	1	51.6	51.63	2.33	0.146
Depth*Depth	1	63.1	63.05	2.85	0.111
Speed*Feed	1	182.8	182.84	8.26	0.011
Speed*Depth	1	16.8	16.81	0.76	0.396
Feed*Depth	1	62.9	62.93	2.84	0.111
Speed*Feed*Depth	1	92.8	92.82	4.19	0.057
Error	16	354.1	22.13		
Total	26	14940.0			

Regression Equation

$$\text{Tool Life} = -3 + 2.39 \text{ Speed} + 912 \text{ Feed} + 78 \text{ Depth} + 0.00050 \text{ Speed*Speed} + 1173 \text{ Feed*Feed} - 20.3 \text{ Depth*Depth} - 17.18 \text{ Speed*Feed} - 1.10 \text{ Speed*Depth} - 814 \text{ Feed*Depth} + 8.52 \text{ Speed*Feed*Depth}$$

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4.70421	97.63%	96.15%	89.90%

รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของอายุการใช้งานมีดกลึงทุกปัจจัย

ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลใหม่โดยตัดปัจจัยที่ไม่มีผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงอย่างมีนัยสำคัญ

ออก ดังรูปที่ 4.6

Regression Analysis: Tool Life versus Feed, Depth

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	3340	3339.5	7.20	0.013
Speed*Feed	1	3340	3339.5	7.20	0.013
Error	25	11600	464.0		
Total	26	14940			

Regression Equation

$$\text{Tool Life} = 83.4 - 1.631 \text{ Speed*Feed}$$

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
21.5411	22.35%	19.25%	10.46%

รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของอายุการใช้งานมีดกลึงเฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การลดรูปสมการถดถอยอายุการใช้งานมีดกลึง

Factor	Regression Equation	R-sq	R-sq (pre)
All	$- 3 + 2.39\text{Speed} + 912\text{Feed} + 78\text{Depth}$ $+ 0.00050\text{Speed}*\text{Speed} + 1173\text{Feed}*\text{Feed}$ $- 20.3\text{Depth}*\text{Depth} - 17.18\text{Speed}*\text{Feed}$ $- 1.1\text{Speed}*\text{Depth} - 814\text{Feed}*\text{Depth}$ $+ 8.52\text{Speed}*\text{Feed}*\text{Depth}$	97.63%	89.90%
Speed*Feed	$83.4 - 1.631\text{Speed}*\text{Feed}$	22.35%	10.46%

เมื่อ Speed = ความเร็วตัด (เมตร/นาที)
 Feed = อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)
 Depth = ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)

วิเคราะห์หาสมการถดถอยดังแสดงตามตารางที่ 4.6 โดยมีเงื่อนไขการใช้งาน ดังนี้ ความเร็วตัดในช่วง 95 – 135 เมตร/นาที อัตราป้อนในช่วง 0.15 – 0.35 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดในช่วง 1.0 – 1.8 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาความสมบูรณ์ของสมการและความสามารถในการพยากรณ์จากค่า R-square และค่า R-square (pre) ตามลำดับ พบว่าสมการใหม่จากการลดรูปให้เหลือเพียงปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงอย่างมีนัยสำคัญมีค่าลดลงทั้งคู่ โดยค่า R-square เหลือเพียง 22.35% จากเดิมที่พิจารณาทุกปัจจัยมีค่าอยู่ที่ 97.63% และค่า R-square (pre) เหลือเพียง 10.46% จากเดิมที่พิจารณาทุกปัจจัยมีค่าอยู่ที่ 89.90%

4.2.5 การพิสูจน์สมการอายุการใช้งานมีดกลึง

ทำการสุ่มค่าปัจจัยทดลองจากเดิมจำนวน 6 ค่า ทำการทดลองซ้ำและเก็บจำนวนชิ้นงานที่สามารถกลึงได้ คำนวณหาค่าอายุการใช้งานมีดกลึง แสดงผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การทดลองสมการอายุการใช้งานมีดกลึง

ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)	จำนวนชิ้นงาน (ชิ้น)	อายุการใช้งาน (นาที)
95	0.25	1.4	17	45.61
95	0.30	1.8	2	3.60
115	0.25	1.0	21	64.40
115	0.35	1.8	2	2.56

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) การทดลองสมการอายุการใช้งานมีดกลึง

ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)	จำนวนชิ้นงาน (ชิ้น)	อายุการใช้งาน (นาที)
135	0.30	1.4	8	12.93
135	0.35	1.0	6	11.50

นำผลอายุการใช้งานมีดกลึงจากตารางที่ 4.7 มาเปรียบเทียบกับอายุการใช้งานมีดกลึงจากสมการถดถอยและคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน แสดงผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความคลาดเคลื่อนของสมการอายุการใช้งานมีดกลึง

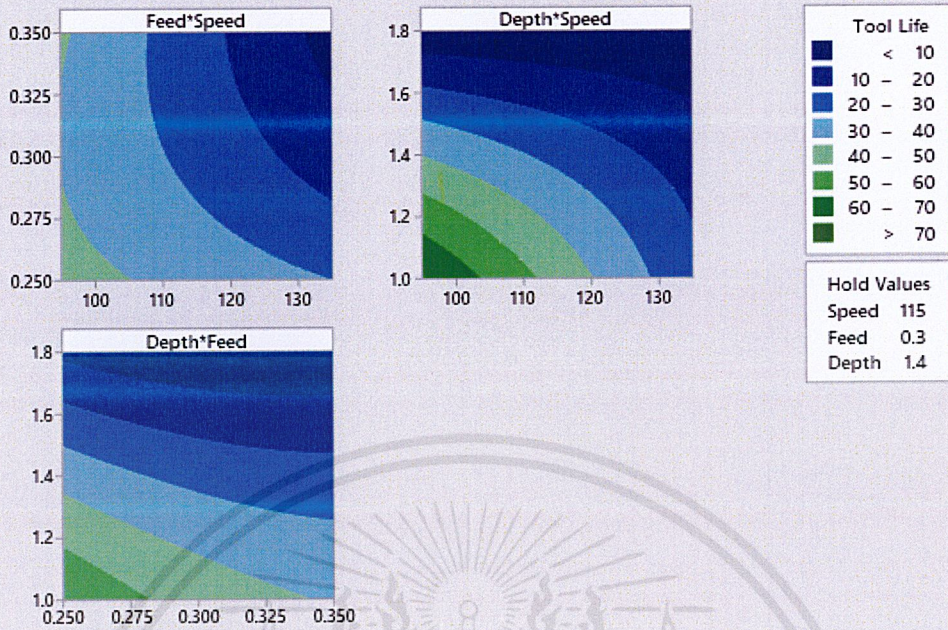
ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)	อายุการใช้งาน จากการคำนวณ (นาที)	อายุการใช้งาน จากทดลอง (นาที)	% คลาดเคลื่อน
95	0.25	1.4	44.66	45.61	2.13
95	0.30	1.8	36.91	3.60	90.24
115	0.25	1.0	36.50	64.40	76.39
115	0.35	1.8	17.75	2.56	85.54
135	0.30	1.4	17.34	12.93	25.43
135	0.35	1.0	6.33	11.50	81.52

จากตารางที่ 4.8 พบว่าอายุการใช้งานที่ได้จากสมการกับการทดลองมีความคลาดเคลื่อนสูง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดที่ 2.13% และค่าสูงสุดที่ 90.24% เนื่องจากสมการที่ได้มีความเข้ารูปกับผลการทดลองต่ำ R-square เพียง 22.35% เมื่อเทียบความสามารถในการพยากรณ์ค่าของสมการ พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5% มีค่าพยากรณ์ที่แม่นยำเพียง 1 ค่าจากทั้งหมด 6 ค่า คิดเป็น 16.67% ซึ่งตรงกับค่า R-square (pre) ที่ 10.46%

4.2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งาน

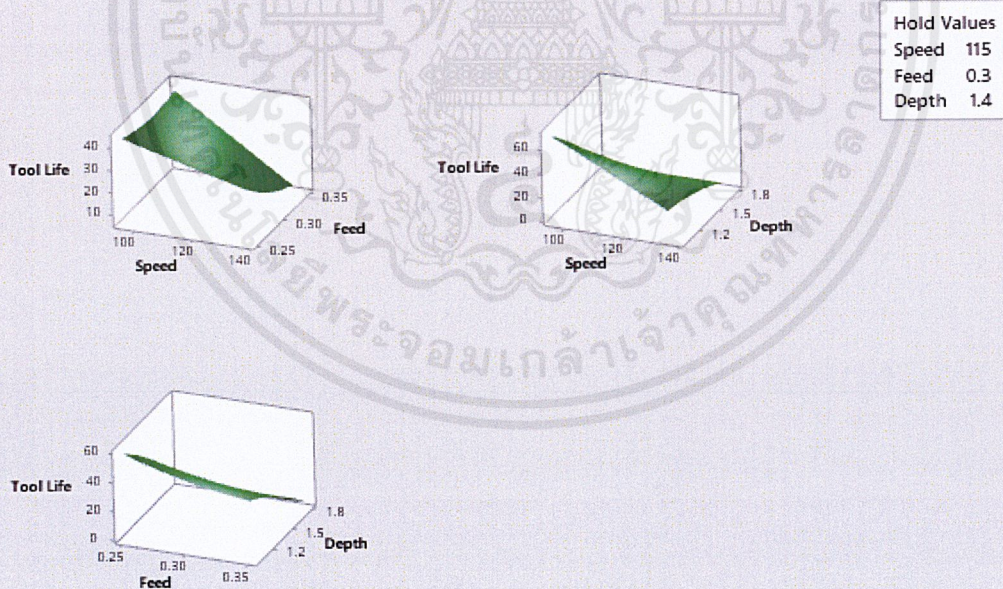
กราฟโครงร่างพื้นผิวและกราฟพื้นผิวจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับผลตอบสนองว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางใด จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าเมื่อแต่ละปัจจัยทั้งความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัดเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อายุการใช้งานมีดกลึงลดลง

Contour Plots of Tool Life



รูปที่ 4.7 กราฟโครงร่างพื้นผิวของอายุการใช้งานมีดกลึง

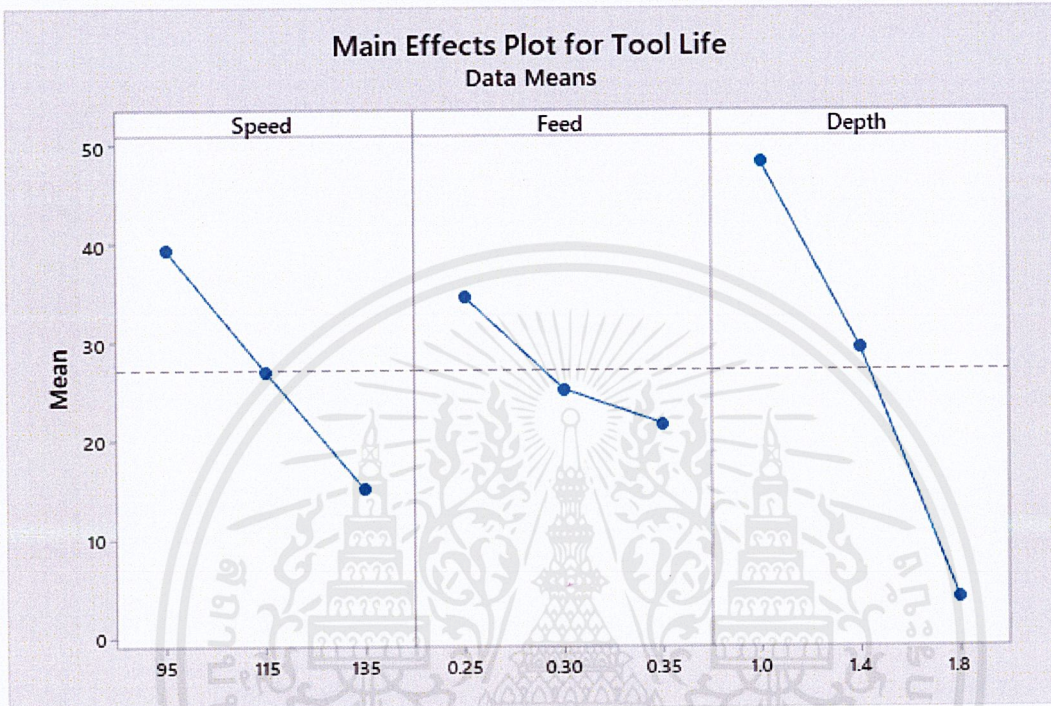
Surface Plots of Tool Life



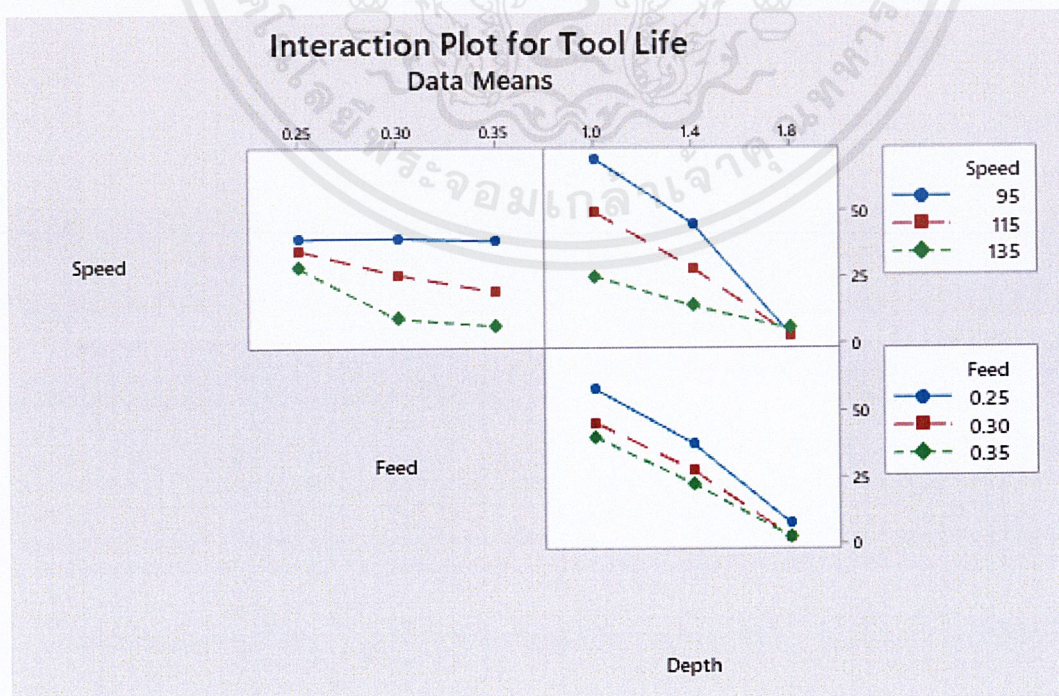
รูปที่ 4.8 กราฟพื้นผิวของอายุการใช้งานมีดกลึง

4.2.7 ผลกระทบของปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมต่ออายุการใช้งาน

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าเมื่อความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัดเพิ่มขึ้น จะทำให้อายุการใช้งานมีดกลึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความแปรปรวน กราฟโครงร่างพื้นผิวและกราฟพื้นผิว



รูปที่ 4.9 กราฟผลกระทบของปัจจัยหลักต่ออายุการใช้งานมีดกลึง



รูปที่ 4.10 กราฟผลกระทบอิทธิพลร่วมต่ออายุการใช้งานมีดกลึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 ค่าใช้จ่ายในการกลึงปอกหยาบ

4.2.8.1 ข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง

ค่าใช้จ่ายในการผลิตหลักเกี่ยวข้องกับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 422 โดยสนใจเพียงขั้นตอนการกลึงปอกหยาบโดยเครื่องกลึง Mazak รุ่น QUICK TURN 100s ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆอ้างอิงจากการสอบถามบริษัท ดังนี้

1. ค่าแรงงาน 300 บาท/วัน หรือ 0.0119 บาท/วินาที
2. ราคาเม็ดมีด 300 บาท/เม็ดมีด หรือ 50.00 บาท/คมตัด
3. ค่าไสหุ้ยต่างๆที่เกิดจากกระบวนการตัดเฉือนโลหะ 800 บาท/วัน หรือ 0.0317 บาท/วินาที
4. ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนและตรวจสอบเม็ดมีด ใช้เวลาทั้งหมด 8.32 นาที/ครั้ง

4.2.8.2 คำนวณค่าใช้จ่ายในการกลึงปอกหยาบ

ทำการคำนวณค่าใช้จ่ายในการกลึงปอกหยาบตามแต่ละค่าปัจจัยจากตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตัวอย่างการคำนวณ เช่น อายุการใช้งานของเม็ดกลึงปอกหยาบที่ความเร็วตัด 95 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.15 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.0 มิลลิเมตร สามารถผลิตชิ้นงานได้จำนวน 18 ชิ้นใช้เวลาผลิตชิ้นละ 221 วินาที

$$\begin{aligned}\text{ค่าแรงงาน} &= \text{เวลาการผลิต (วินาที/ชิ้น)} \times \text{อัตราค่าแรงงาน (บาท/วินาที)} \\ &= 221 \times 0.011 \\ &= 2.5415 \text{ บาท/ชิ้น}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าเม็ดมีด} &= \text{ราคาเม็ดมีด (บาท/คมตัด)} / \text{จำนวนชิ้นงาน (ชิ้น)} \\ &= 50 / 18 \\ &= 2.7778 \text{ บาท/ชิ้น}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าไสหุ้ย} &= \text{เวลาการผลิต (วินาที/ชิ้น)} \times \text{อัตราค่าไสหุ้ย (บาท/วินาที)} \\ &= 221 \times 0.0317 \\ &= 7.0057 \text{ บาท/ชิ้น}\end{aligned}$$

ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนและตรวจสอบเม็ดมีด

$$\begin{aligned} &= [\text{เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนและตรวจสอบ (วินาที)} \times (\text{อัตราค่าแรงงาน} + \text{อัตราค่าเสียหาย}) \\ &\quad (\text{บาท/วินาที})] / \text{จำนวนชิ้นงาน (ชิ้น)} \\ &= [8.32 \times 60 \times (0.0115 + 0.0317)] / 18 \\ &= 1.1981 \text{ บาท/ชิ้น} \end{aligned}$$

ค่าใช้จ่ายในการกรึง

$$\begin{aligned} &= \text{ค่าแรงงาน} + \text{ค่าเม็ดมีด} + \text{ค่าเสียหาย} + \text{ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนและตรวจสอบเม็ดมีด} \\ &= 2.5415 + 2.7778 + 7.0057 + 1.1981 \\ &= 13.5230 \text{ บาท/ชิ้น} \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายในการกรึงปกหยาบ (บาท/ชิ้น)

ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)								
	0.15			0.25			0.35		
	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)								
	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8
95	13.80	11.18	43.07	11.32	9.63	42.16	9.75	8.46	78.95
115	11.59	10.25	42.11	10.66	9.88	78.82	10.48	10.47	21.32
135	11.34	10.41	12.38	15.16	16.71	78.30	15.71	22.39	77.82

จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าที่มีค่าใช้จ่ายในการกรึงปกหยาบต่ำสุด มีความเร็วตัด 95 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.35 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.0 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายในการกรึงปกหยาบ 8.46 บาท/ชิ้น

4.2.9 การเลือกค่าใช้จ่าย

จากตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.9 พบว่าค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งานนั้นมี 2 ค่า โดยพิจารณาจากอายุการใช้งานมีดกึ่งและค่าใช้จ่ายในการกรึง ดังนี้

1. ค่าที่มีอายุการใช้งานมีดกึ่งสูงสุด มีความเร็วตัด 95 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.35 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.0 มิลลิเมตร สามารถผลิตชิ้นงานได้ 27 ชิ้น อายุการใช้งาน 72.00 นาที มีค่าใช้จ่าย 9.75 บาท/ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าที่มีค่าใช้จ่ายในการกลึงต่ำสุด มีความเร็วตัด 95 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.35 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.4 มิลลิเมตร สามารถผลิตชิ้นงานได้ 22 ชิ้น อายุการใช้งาน 42.53 นาที มีค่าใช้จ่าย 8.46 บาท/ชิ้น

เมื่อเทียบกับค่าใช้งานปัจจุบันที่ความเร็วตัด 110 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.25 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.0 มิลลิเมตร(ประมาณค่าเท่ากับความเร็วตัด 115 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.25 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.0 มิลลิเมตร) สามารถผลิตชิ้นงานได้ 21 ชิ้น อายุการใช้งาน 64.40 นาที มีค่าใช้จ่าย 11.59 บาท/ชิ้น พบว่าค่าปัจจัยการกลึงปกหยาบทั้ง 2 ค่า ได้แก่ค่าที่มีอายุการใช้งานมีดกลึงสูงสุดและค่าที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด ต่างสามารถผลิตชิ้นงานได้จำนวนมากกว่าและมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า

4.3 ผลการทดลองส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงาน

ทำการจัดลำดับการทดลองแบบสุ่มด้วยโปรแกรม Minitab 19 โดยสามารถแสดงลำดับการเก็บข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.10 ลำดับการเก็บข้อมูลความเรียบผิว

StdOrder	RunOrder	Cutting Speed (m/min)	Feed (mm/rev)	Depth Of Cut (mm)
1	1	80	0.1	0.15
13	2	110	0.1	0.15
14	3	110	0.1	0.25
34	4	160	0.1	0.25
8	5	90	0.2	0.25
23	6	130	0.2	0.15
3	7	80	0.2	0.15
5	8	90	0.1	0.15
40	9	170	0.2	0.25
35	10	160	0.2	0.15
25	11	140	0.1	0.15
2	12	80	0.1	0.25
26	13	140	0.1	0.25

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ลำดับการเก็บข้อมูลความเร็วปิว

StdOrder	RunOrder	Cutting Speed (m/min)	Feed (mm/rev)	Depth Of Cut (mm)
29	14	150	0.1	0.15
39	15	170	0.2	0.15
37	16	170	0.1	0.15
15	17	110	0.2	0.15
24	18	130	0.2	0.25
7	19	90	0.2	0.15
38	20	170	0.1	0.25
30	21	150	0.1	0.25
21	22	130	0.1	0.15
9	23	100	0.1	0.15
20	24	120	0.2	0.25
28	25	140	0.2	0.25
36	26	160	0.2	0.25
6	27	90	0.1	0.25
17	28	120	0.1	0.15
4	29	80	0.2	0.25
31	30	150	0.2	0.15
11	31	100	0.2	0.15
32	32	150	0.2	0.25
18	33	120	0.1	0.25
16	34	110	0.2	0.25
19	35	120	0.2	0.15
12	36	100	0.2	0.25
33	37	160	0.1	0.15
27	38	140	0.2	0.15
22	39	130	0.1	0.25
10	40	100	0.1	0.25

ทำการกลึงชิ้นงานตามลำดับการสุ่ม วัดความเรียบผิวชิ้นงานและนำมาหาค่าเฉลี่ย แสดงผลดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ความเรียบผิวRaเฉลี่ยตามแต่ละค่าปัจจัย (μm)

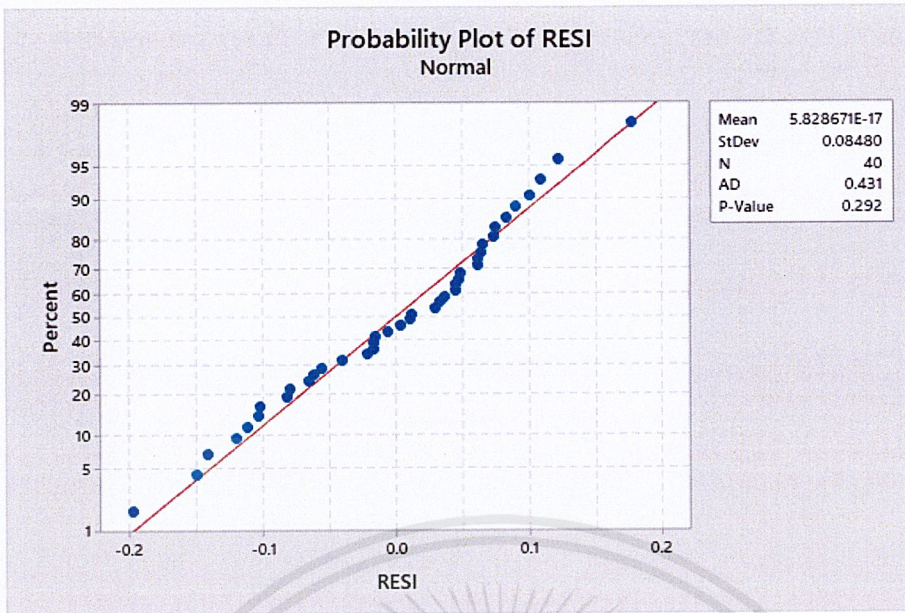
ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)			
	0.1		0.2	
	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)			
	0.15	0.25	0.15	0.25
80	0.77	0.84	0.53	0.73
90	0.60	0.94	0.70	0.64
100	0.82	0.92	0.91	0.81
110	0.59	0.70	0.85	0.84
120	0.62	0.94	0.83	0.82
130	0.80	0.95	0.62	0.73
140	0.60	0.96	0.68	0.85
150	0.79	0.87	0.74	0.82
160	0.69	0.80	0.72	0.71
170	0.68	0.88	0.80	0.71

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานและหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

4.4.1 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

4.4.1.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Assumption)

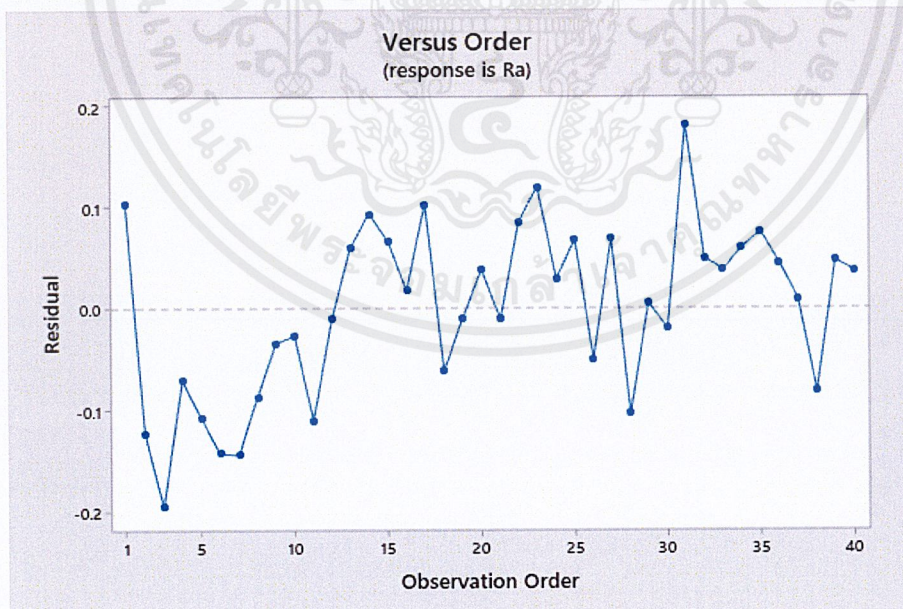
จากรูปที่ 4.11 พบว่ากราฟความน่าจะเป็นของส่วนตกค้างของความเรียบผิวจากตารางที่ 4.11 มีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากลักษณะจุดในกราฟส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่ในแนวเส้นตรง มีค่า P-value เท่ากับ 0.292 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองนี้มีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.11 กราฟการกระจายตัวของส่วนตกค้างของความเรียบผิว

4.4.1.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

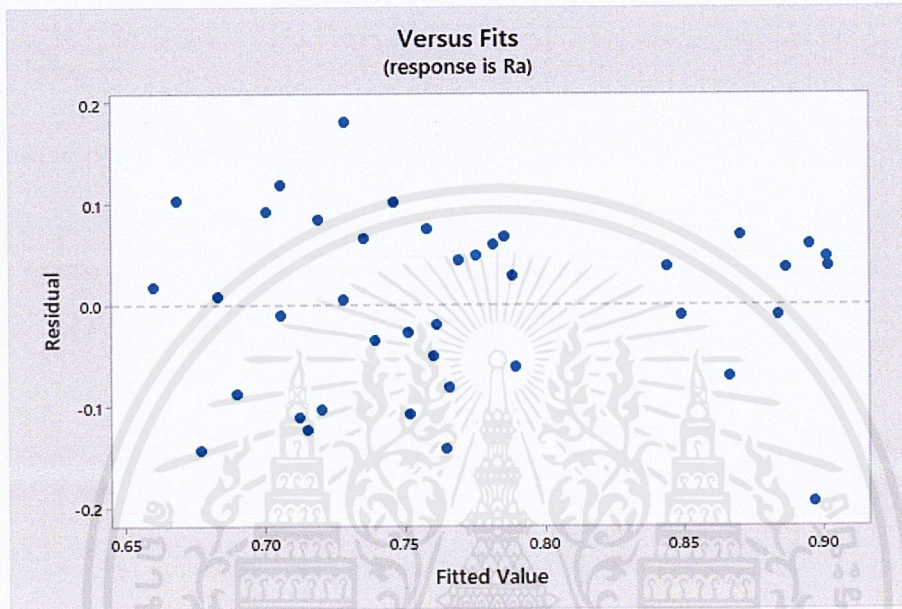
จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของความเรียบผิวจากตารางที่ 4.11 มีลักษณะการกระจายทั้งบนและใต้เส้น ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนและไม่สามารถประมาณรูปแบบได้ สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของค่าความเรียบผิวกับลำดับความต่อเนื่อง

4.4.1.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของความเรียบผิวจากตารางที่ 4.11 มีลักษณะการกระจายทั้งบนและใต้เส้น ความกว้างของข้อมูลไม่คงที่และไม่มีรูปแบบที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลนี้ไม่มีเสถียรภาพของความแปรปรวน โดยมีสาเหตุมาจากการออกแบบการทดลองที่ยังไม่เหมาะสม เช่น ช่วงการทดลองไม่ครอบคลุม มีปัจจัยเพิ่มเติมที่ส่งผลต่อการทดลอง



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของค่าความเรียบกับค่าตอบสนอง

4.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเรียบผิว

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.9 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.14

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	8	0.203003	0.025375	2.81	0.018
Speed	1	0.003257	0.003257	0.36	0.552
Feed	1	0.000157	0.000157	0.02	0.896
Depth	1	0.003410	0.003410	0.38	0.543
Speed*Speed	1	0.016135	0.016135	1.79	0.191
Speed*Feed	1	0.001259	0.001259	0.14	0.711
Speed*Depth	1	0.000311	0.000311	0.03	0.854
Feed*Depth	1	0.000870	0.000870	0.10	0.758
Speed*Feed*Depth	1	0.000676	0.000676	0.07	0.786
Error	31	0.279755	0.009024		
Total	39	0.482758			

รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเรียบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าไม่มีปัจจัยกำลังหนึ่งและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยใดที่ส่งผลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value > 0.05 โดยส่วนปัจจัยกำลังสองนั้นไม่สามารถวิเคราะห์ผลของอัตราป้อนกำลังสองและความลึกในการตัดกำลังสองได้ เนื่องจากมีระดับของปัจจัยที่ต่ำเกินไป จึงสามารถพิจารณาได้เพียงปัจจัยเดียวคือความเร็วตัดกำลังสองซึ่งไม่มีผลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นจากค่า P-value > 0.05

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าความเร็วตัดไม่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานในการกลึงเก็บละเอียด จึงทำการออกแบบการทดลองใหม่เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราป้อนและความลึกในการตัดต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน

ทำการออกแบบการทดลองใหม่ โดยใช้ความเร็วตัดคงที่ที่ 120 เมตร/นาที ทำการทดลองซ้ำจำนวน 2 ครั้ง และศึกษาเพียง 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราป้อนและความลึกในการตัด โดยนำช่วงการทดลองเดิมมาแบ่งให้ดีขึ้น ดังนี้

1. อัตราป้อน (Feed) จากช่วงเดิม คือ 0.10 – 0.20 มิลลิเมตร/รอบ แบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 0.10, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, 0.20 มิลลิเมตร/รอบ
2. ความลึกในการตัด (Depth of cut) จากช่วงเดิม คือ 0.15 - 0.25 มิลลิเมตร แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 0.15, 0.20, 0.25 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.12 ลำดับการเก็บข้อมูลความเรียบผิว (ความเร็วตัดคงที่ 120 เมตร/นาที)

StdOrder	RunOrder	Feed (mm/rev)	Depth (mm)
34	1	0.20	0.15
28	2	0.16	0.15
12	3	0.16	0.25
5	4	0.12	0.20
21	5	0.10	0.25
23	6	0.12	0.20
32	7	0.18	0.20
27	8	0.14	0.25
17	9	0.20	0.20
2	10	0.10	0.20
29	11	0.16	0.20

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ลำดับการเก็บข้อมูลความเรียบผิว (ความเร็วตัดคงที่ 120 เมตร/นาที)

StdOrder	RunOrder	Feed (mm/rev)	Depth (mm)
15	12	0.18	0.25
33	13	0.18	0.25
30	14	0.16	0.25
8	15	0.14	0.20
35	16	0.20	0.20
20	17	0.10	0.20
16	18	0.20	0.15
11	19	0.16	0.20
26	20	0.14	0.20
6	21	0.12	0.25
1	22	0.10	0.15
13	23	0.18	0.15
24	24	0.12	0.25
4	25	0.12	0.15
25	26	0.14	0.15
14	27	0.18	0.20

ทำการกลึงชิ้นงานตามลำดับการสุ่ม วัดความเรียบผิวชิ้นงานและนำมาหาค่าเฉลี่ย แสดงผลดัง
ตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ความเรียบผิวRaเฉลี่ยตามแต่ละค่าปัจจัย (μm)

อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)		
	0.15	0.20	0.25
0.10	0.52	0.53	0.49
	0.48	0.39	0.45
0.12	0.60	0.57	0.49
	0.54	0.45	0.58

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ความเรียบผิวRaเฉลี่ยตามแต่ละค่าปัจจัย (μm)

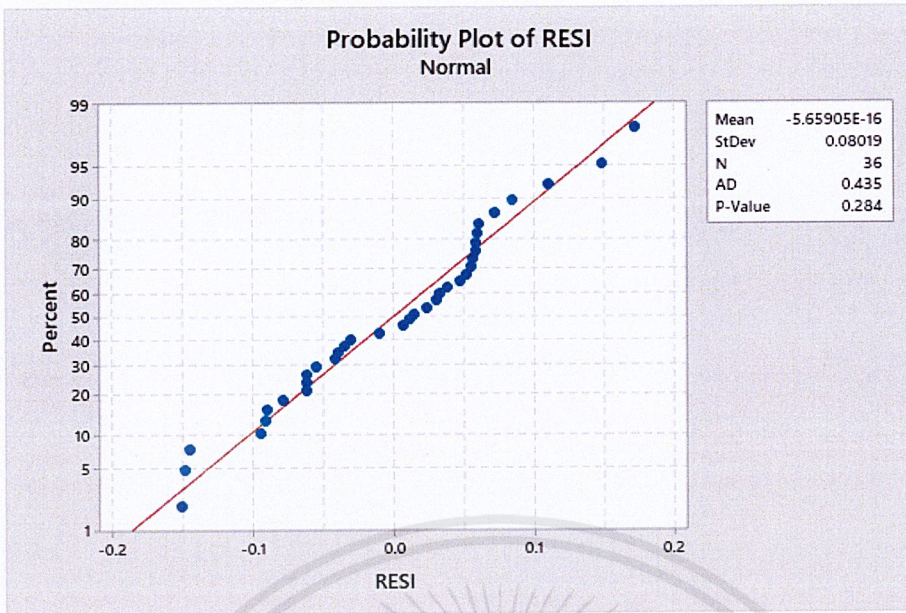
อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)		
	0.15	0.20	0.25
0.14	0.67	0.74	0.59
	0.58	0.60	0.43
0.16	0.73	0.67	0.60
	0.59	0.67	0.53
0.18	0.78	0.71	0.81
	0.65	0.50	0.60
0.20	0.79	0.58	0.80
	0.79	0.53	0.72

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานและหาค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน (ความเร็วตัดคงที่ 120 เมตร/นาที)

4.5.1 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

4.5.1.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Assumption)

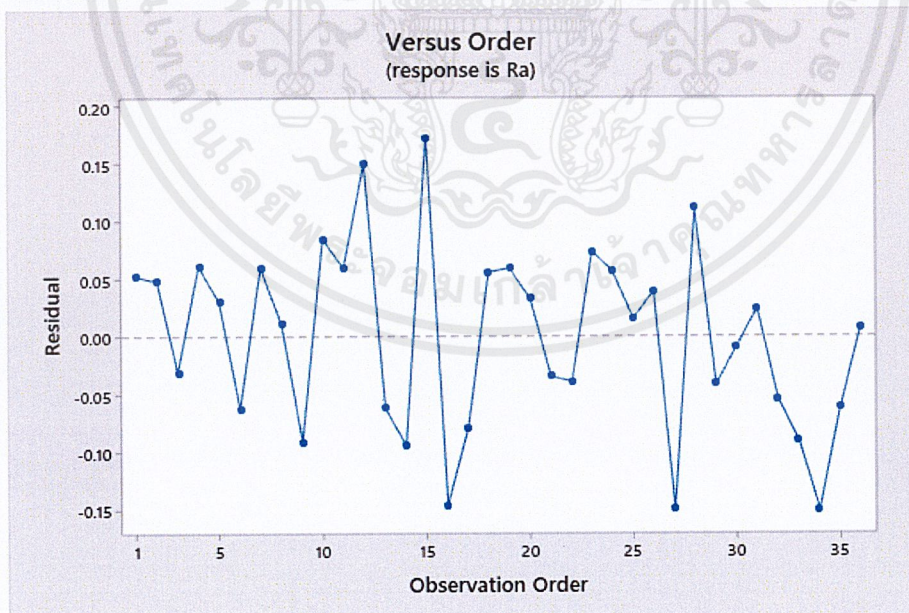
จากรูปที่ 4.15 พบว่ากราฟความน่าจะเป็นของส่วนตกค้างของความเรียบผิวจากตารางที่ 4.11 มีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากลักษณะจุดในกราฟส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่ในแนวเส้นตรง มีค่า P-value เท่ากับ 0.284 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองนี้มีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.15 กราฟการกระจายตัวของส่วนตกค้างของความเรียบผิว

4.5.1.2 ทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

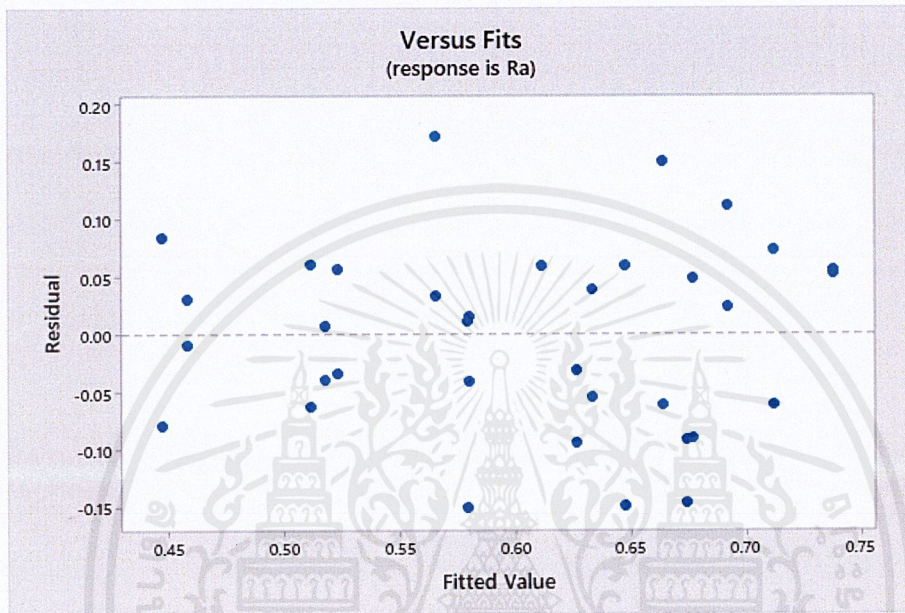
จากรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของความเรียบผิวจากตารางที่ 4.11 มีลักษณะการกระจายทั้งบนและใต้เส้น ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนและไม่สามารถประมาณรูปแบบได้ สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของค่าความเรียบผิวกับลำดับความต่อเนื่อง

4.5.1.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

จากรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของความเรียบผิวจากตารางที่ 4.11 มีลักษณะการกระจายทั้งบนและใต้เส้น ความกว้างของข้อมูลไม่คงที่และไม่มีรูปแบบที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลนี้ไม่มีเสถียรภาพของความแปรปรวน โดยมีสาเหตุมาจากการออกแบบการทดลองที่ยังไม่เหมาะสม เช่น ช่วงการทดลองไม่ครอบคลุม มีปัจจัยเพิ่มเติมที่ส่งผลต่อการทดลอง



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของค่าความเรียบกับค่าตอบสนอง

4.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเรียบผิว

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.13 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.18

จากรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value > 0.05

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	0.251717	0.050343	6.71	0.000
Feed	1	0.009444	0.009444	1.26	0.271
Depth	1	0.014811	0.014811	1.97	0.170
Feed*Feed	1	0.004675	0.004675	0.62	0.436
Depth*Depth	1	0.013203	0.013203	1.76	0.195
Feed*Depth	1	0.000140	0.000140	0.02	0.892
Error	30	0.225069	0.007502		
Lack-of-Fit	12	0.099142	0.008262	1.18	0.364
Pure Error	18	0.125926	0.006996		
Total	35	0.476785			

รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเรียบผิว

4.5.3 อิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว

ตารางที่ 4.14 อิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว

Factor	Mean Square	Contribution ratio	% Contribution
Feed	0.009444	0.2234	22.34
Depth	0.014811	0.3503	35.03
Feed*Feed	0.004675	0.1105	11.05
Depth*Depth	0.013203	0.3123	31.23
Feed*Depth	0.000140	0.0033	0.33
Total	0.042273	1.0000	100.00

จากการหาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวในตารางที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าแต่ละปัจจัยส่งผลต่อค่าความเรียบผิวมากน้อยแตกต่างกัน โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเรียบผิวอย่างมาก ได้แก่ ความลึกในการตัด ความลึกในการตัดกำลังสอง อัตราป้อน มี % Contribution อยู่ที่ 35.03% , 31.23% และ 22.34% ตามลำดับ

4.5.4 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในรูปที่ 4.19 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อค่าความเรียบผิวอย่างมีนัยสำคัญมีเพียงปัจจัยเดียว เนื่องจากมีค่า P-value > 0.05

Regression Analysis: Ra versus Feed, Depth

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	0.251717	0.050343	6.71	0.000
Feed	1	0.009444	0.009444	1.26	0.271
Depth	1	0.014811	0.014811	1.97	0.170
Feed*Feed	1	0.004675	0.004675	0.62	0.436
Depth*Depth	1	0.013203	0.013203	1.76	0.195
Feed*Depth	1	0.000140	0.000140	0.02	0.892
Error	30	0.225069	0.007502		
Lack-of-Fit	12	0.099142	0.008262	1.18	0.364
Pure Error	18	0.125926	0.006996		
Total	35	0.476785			

Regression Equation

$$Ra = 0.789 - 5.42 \text{ Feed} - 7.24 \text{ Depth} - 11.4 \text{ Feed}^2 + 16.3 \text{ Depth}^2 + 1.4 \text{ Feed} \cdot \text{Depth}$$

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0866157	52.79%	44.93%	33.76%

รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์การถดถอยค่าความเรียบผิวทุกปัจจัย

ตารางที่ 4.15 สมการถดถอยค่าความเรียบผิว

Factor	Regression Equation	R-sq	R-sq (pre)
All	$0.789 + 5.42\text{Feed} - 7.24\text{Depth} - 11.4\text{Feed}^2 + 16.3\text{Depth}^2 + 1.4\text{Feed} \cdot \text{Depth}$	44.93%	33.76%

เมื่อ Speed = ความเร็วตัด (เมตร/นาที)
 Feed = อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)
 Depth = ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)

วิเคราะห์หาสมการถดถอยดังแสดงตามตารางที่ 4.15 โดยมีเงื่อนไขการใช้งาน ดังนี้ ความเร็วตัด 120 เมตร/นาที อัตราป้อนในช่วง 0.10 – 0.20 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดในช่วง 0.15 – 0.25 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาความสมบูรณ์ของสมการและความสามารถในการพยากรณ์จากค่า R-square และค่า R-square (pre) พบว่ามีค่าอยู่ที่ 44.93% และ 33.76% ตามลำดับ

4.5.5 การพิสูจน์สมการความเรียบผิว

ทำการสุ่มค่าปัจจัยทดลองจากเดิมจำนวน 3 ค่า ทำการทดลองซ้ำและวัดความเรียบผิวเฉลี่ยของชิ้นงานแสดงผลดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การทดลองสมการความเรียบผิว

อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)	ความเรียบผิว จากการทดลอง (μm)
0.12	0.15	0.43666
0.14	0.25	0.58833
0.16	0.15	0.57000

นำผลอายุการใช้งานมีดกลึงจากตารางที่ 4.16 มาเปรียบเทียบกับอายุการใช้งานมีดกลึงจากสมการถดถอยและคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน แสดงผลดังตารางที่ 4.17

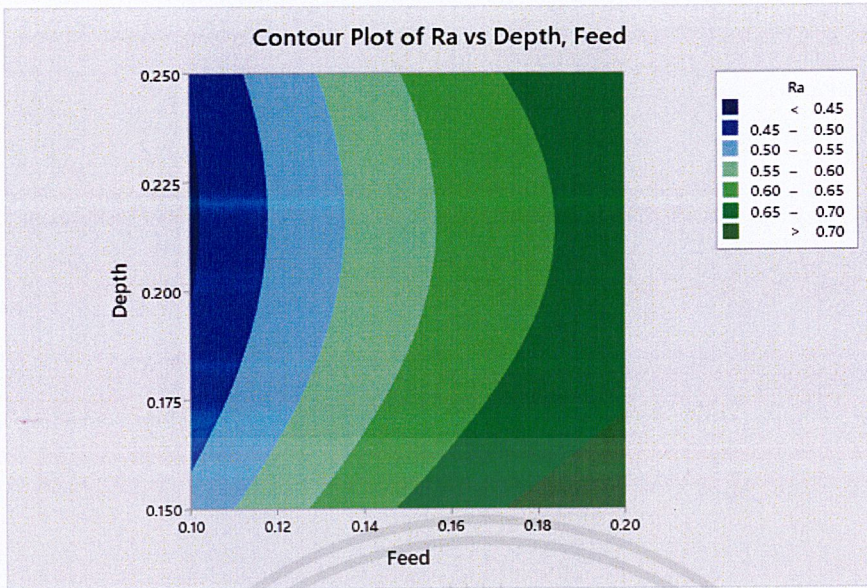
ตารางที่ 4.17 ความคลาดเคลื่อนของสมการอายุการใช้งานมีดกลึง

อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)	ความเรียบผิว จากการคำนวณ (μm)	ความเรียบผิว จากการทดลอง (μm)	% ความคลาดเคลื่อน
0.12	0.15	0.58119	0.43666	24.86
0.14	0.25	0.58211	0.58833	1.06
0.16	0.15	0.67871	0.57000	16.01

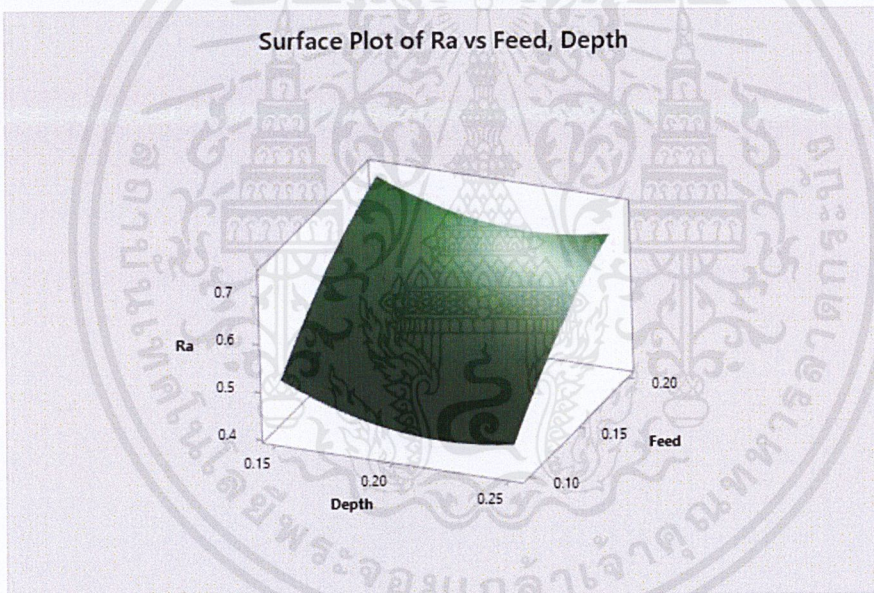
จากตารางที่ 4.17 พบว่าค่าความเรียบผิวที่ได้จากสมการกับการทดลองมีความคลาดเคลื่อนไม่สูงมากเมื่อเทียบกับสมการอายุการใช้งานมีดกลึงก่อนหน้า โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดที่ 1.06% และค่าสูงสุดที่ 24.86% เนื่องจากสมการที่ได้มีความเข้ารูปกับผลการทดลองสูงกว่าสมการอายุการใช้งานมีดกลึง มี R-square อยู่ที่ 52.79% เมื่อเทียบความสามารถในการพยากรณ์ค่าของสมการ พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5% มีค่าพยากรณ์ที่แม่นยำเพียง 1 ค่าจากทั้งหมด 3 ค่า คิดเป็น 33.33% ซึ่งใกล้เคียงกับค่า R-square (pre) ที่ 33.76%

4.5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิว

จากรูปที่ 4.20 และ 4.21 พบว่าเมื่ออัตราป้อนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความเรียบผิวมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเรียบผิวจะมีค่าลดลงในช่วงแรกและเพิ่มขึ้นในช่วงถัดมาเมื่อความลึกในการตัดเพิ่มขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



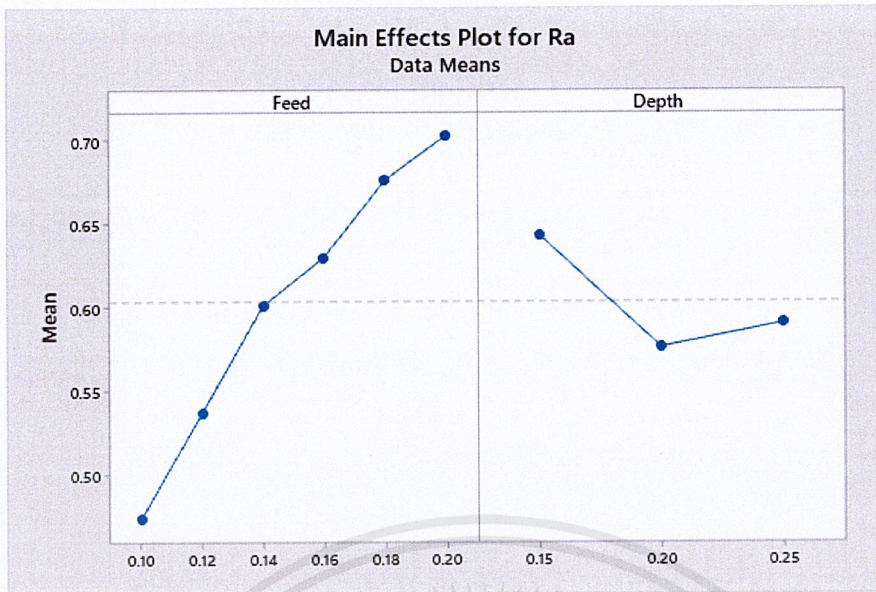
รูปที่ 4.20 กราฟโครงร่างพื้นผิวของค่าความเรียบผิว



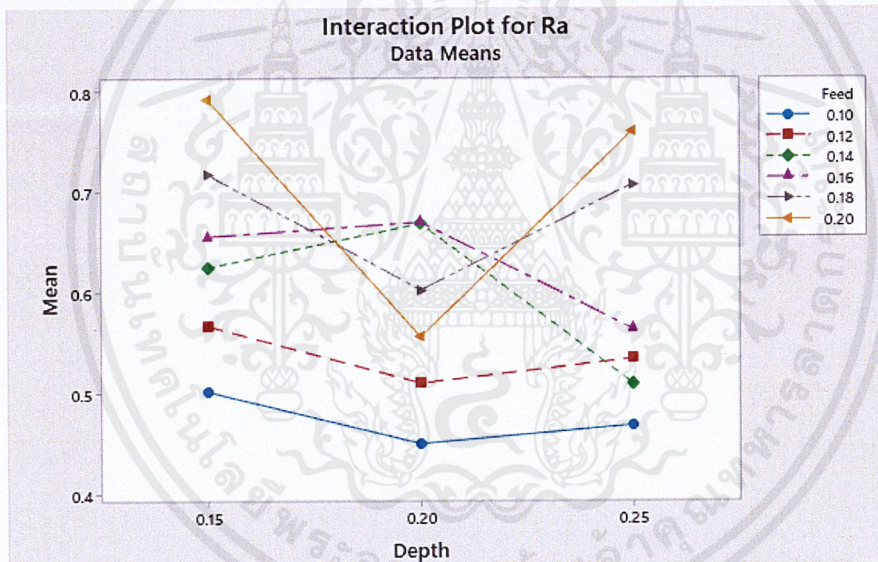
รูปที่ 4.21 กราฟพื้นผิวของค่าความเรียบผิว

4.5.7 ผลกระทบของปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมต่อความเรียบผิว

จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 พบว่าเมื่ออัตราป้อนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความเรียบผิวลดลง และเมื่อความลึกในการตัดเพิ่มขึ้น ค่าความเรียบผิวส่วนใหญ่มีค่าลดลงในช่วงแรกและเพิ่มขึ้นในช่วงถัดมา ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความแปรปรวน กราฟโครงร่างพื้นผิวและกราฟพื้นผิว



รูปที่ 4.22 กราฟผลกระทบของปัจจัยหลักต่อค่าความเรียบผิว



รูปที่ 4.23 กราฟผลกระทบของอิทธิพลร่วมต่อค่าความเรียบผิว

4.5.8 การเลือกช่วงการใช้งาน

นำการทดลองทั้ง 2 การทดลองมาวิเคราะห์ผลร่วมกันเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมแก่การใช้งาน โดยพิจารณาจากค่าความเรียบผิวต่ำสุดและสูงสุดของชิ้นงาน ได้ผลดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าความเรียบผิวต่ำสุดและสูงสุดของชิ้นงาน

อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)					
	0.15		0.20		0.25	
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
0.10	0.46	0.87	-	-	0.91	1.02
	0.43	0.63	0.47	0.65	0.43	0.61
	0.36	0.56	0.32	0.42	0.40	0.50
0.12	0.53	0.67	0.45	0.85	0.41	0.56
	0.46	0.62	0.38	0.55	0.52	0.68
0.14	0.61	0.73	0.58	0.82	0.49	0.79
	0.55	0.60	0.50	0.80	0.31	0.50
0.16	0.70	0.78	0.57	0.78	0.52	0.74
	0.49	0.77	0.59	0.78	0.42	0.65
0.18	0.67	0.89	0.66	0.77	0.73	0.92
	0.54	0.84	0.38	0.72	0.49	0.71
0.20	0.46	0.87	-	-	0.69	0.93
	0.70	0.88	0.53	0.68	0.77	0.83
	0.69	0.88	0.43	0.62	0.60	0.86

จากตารางที่ 4.18 เปลี่ยนค่าความเรียบผิวที่ได้เป็นเกรดความเรียบผิว ได้ผลดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 เกรดความเรียบผิวของชิ้นงาน

อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)		
	0.15	0.20	0.25
0.10	N7	N6	N7
0.12	N6	N7	N6
0.14	N6	N7	N6
0.16	N6	N6	N6

ตารางที่ 4.19 (ต่อ) เกรดความเรียบผิวของชิ้นงาน

อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)		
	0.15	0.20	0.25
0.18	N7	N6	N7
0.20	N7	N6	N7

จากตารางที่ 4.19 พบว่าทุกค่าสามารถทำงานโดยให้เกรดความเรียบผิวไม่ต่ำกว่า N7 ในขณะที่เกรดความเรียบผิว N6 มีช่วงการทำงานที่เหมาะสมอยู่ที่อัตราป้อน 0.12 – 0.16 มิลลิเมตร/รอบ ที่ความลึกในการตัด 0.15 และ 0.25 มิลลิเมตร

ทำการทดลองซ้ำตามช่วงการทำงานที่เหมาะสมที่อัตราป้อน 0.12 – 0.16 มิลลิเมตร/รอบ ที่ความลึกในการตัด 0.15 และ 0.25 มิลลิเมตร ค่าละ 30 ชั้น เพื่อยืนยันผลการทำงาน

ตารางที่ 4.20 การทดลองช่วงการทำงานที่เหมาะสมของความเรียบผิว (μm)

อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)			
	0.15		0.25	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
0.12	0.41	0.76	0.46	0.75
0.14	0.38	0.58	0.59	0.71
0.16	0.49	0.77	0.55	0.74

จากตารางที่ 4.20 พบว่าทุกค่าการทดลองที่อัตราป้อน 0.12 – 0.16 มิลลิเมตร/รอบ ที่ความลึกในการตัด 0.15 หรือ 0.25 มิลลิเมตร มีค่าความเรียบผิวสูงสุดอยู่ในเกรดความเรียบผิว N6

ดังนั้น ช่วงการใช้งานสำหรับความเรียบผิวเกรด N6 คือ ช่วงอัตราป้อน 0.12 – 0.16 มิลลิเมตร/รอบ ที่ความลึกผิว 0.15 และ 0.25 มิลลิเมตร

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกกหยาบและค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

ในการกลึงปกกหยาบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 422 โดยมีดกลึงเครื่องหมายการค้า Kyocera รุ่น TNMG160408 PR1125 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกกหยาบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วตัดกับอัตราป้อน เมื่อนำไปวิเคราะห์สมการถดถอย จะได้สมการ

$$\text{Tool life (min)} = 83.4 - 1.631\text{Speed}*\text{Feed}$$

เมื่อ Speed = ความเร็วตัด (เมตร/นาที); ช่วง 95 – 135 เมตร/นาที
Feed = อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ); ช่วง 0.15 – 0.35 มิลลิเมตร/รอบ
Depth = ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร); ช่วง 1.0 – 1.8 มิลลิเมตร

โดยค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งาน 2 ค่า ได้แก่

1. ค่าที่มีอายุการใช้งานมีดกลึงสูงสุด มีความเร็วตัด 95 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.35 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.0 มิลลิเมตร มีอายุการใช้งานสูงสุดที่ 72.00 นาที
2. ค่าที่มีค่าใช้จ่ายในการกลึงต่ำสุด มีความเร็วตัด 95 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.35 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกในการตัด 1.4 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่ 8.46 บาท/ชิ้น

5.1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานของมีดกลึงเก็บละเอียดและช่วงที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

ในการกลึงเก็บละเอียดเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 422 โดยมีดกลึงเครื่องหมายการค้า Kyocera รุ่น TNMG160404 PR1125 นั้น ไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อค่าความเรียบผิวชิ้นงานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อนำไปวิเคราะห์สมการถดถอย จะได้สมการ

$$\text{Ra } (\mu\text{m}) = 0.789 + 5.42\text{Feed} - 7.24\text{Depth} - 11.4\text{Feed}*\text{Feed} + 16.3\text{Depth}*\text{Depth} + 1.4\text{Feed}*\text{Depth}$$

เมื่อ Speed = ความเร็วตัด (เมตร/นาที); 120 เมตร/นาที
Feed = อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ); ช่วง 0.10– 0.20 มิลลิเมตร/รอบ
Depth = ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร); ช่วง 0.15 – 0.25 มิลลิเมตร

โดยช่วงที่เหมาะสมแก่การใช้งานสำหรับความเรียบผิวเกรด N6 คือ ช่วงอัตราป้อน 0.12 – 0.16 มิลลิเมตร/รอบ ที่ความลึกในการตัด 0.15 และ 0.25 มิลลิเมตร

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบ

จากการศึกษาของงานวิจัยของกัลยาพร ศรีสุขใสและมณฑรา เข้มทอง [11] ในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 422 โดยมีดกลึงปกหยาบเครื่องหมายการค้า Mitsubishi รุ่น TNMG160408 MA พบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานมีดกลึงอย่างมีนัยสำคัญ คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน ความลึกในการตัด อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วตัดกับอัตราป้อน อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วตัดกับความลึกในการตัด อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราป้อนกับความลึกในการตัด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองเพียงปัจจัยเดียว คือ อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วตัดกับอัตราป้อน ซึ่งอาจเกิดได้จากการออกแบบการทดลองที่แตกต่างกัน ทั้งชนิดเม็ดมีดและช่วงการทดลองของปัจจัย อีกทั้งอาจเกิดการรบกวนจากปัจจัยอื่นที่มีผลโดยตรงแต่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ร่วมด้วย เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ทั้ง 3 ปัจจัยต่ออายุการใช้งาน พบว่าสอดคล้องกันเมื่อค่าปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อน ความลึกในการตัดเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้อายุการใช้งานมีดกลึงลดลง

5.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเรียบผิวชิ้นงานของมีดกลึงเก็บละเอียด

จากการศึกษาของงานวิจัยพงศธร จันทรสุขจำเริญ [12] ในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยมีดกลึงคาร์ไบด์และมีดกลึงเซอร์เม็ท พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเรียบผิวของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ คือ อัตราป้อนและอัตราป้อนกำลังสองสำหรับมีดกลึงคาร์ไบด์ และอัตราป้อน อัตราป้อนกำลังสอง ความลึกในการตัดกำลังสองสำหรับมีดกลึงเซอร์เม็ท ซึ่งไม่สอดคล้องกับกับผลการทดลองที่ได้ โดยอาจเกิดได้จากการออกแบบการทดลองที่แตกต่างกัน ทั้งชนิดเม็ดมีดและช่วงการทดลองของปัจจัย อีกทั้งอาจเกิดการรบกวนจากปัจจัยอื่นที่มีผลโดยตรงแต่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ร่วมด้วย เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ปัจจัยต่อค่าความเรียบผิว พบว่าสอดคล้องกันเมื่อค่าอัตราป้อนเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความเรียบผิวเพิ่มสูงขึ้นด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาในครั้งนี้เน้นศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัด พบว่าผลที่ได้ยังไม่มีความเสถียรของความแปรปรวนส่งผลโดยตรงต่อการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้สมการที่ได้มีค่า R-square สูงแต่ขาดความน่าเชื่อถือ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการออกแบบการทดลองที่ไม่เหมาะสม การทำการทดลองเพิ่ม (เพิ่มจำนวนการทำซ้ำ, ขยายระดับปัจจัยการทดลอง, เพิ่มปัจจัยในการศึกษา) จึงเป็นแนวทางในการนำไปสู่การวิเคราะห์ผลที่ถูกต้องและแม่นยำ

2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกลึงปกหยาบควรศึกษาปัจจัยเพิ่มเติม เช่น ทิศทางการกลึงชิ้นงาน การจับชิ้นงาน

3. เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการกึ่งควรรศึกษาเพิ่มเติม เช่น ความเรียบผิวหลังกึ่งปอกหยาบเพื่อลดขั้นตอนการกึ่งเก็บละเอียด ศึกษาค่าปัจจัยสูงสุดที่สามารถกึ่งได้ค่าความเรียบผิวเกรด N8 เนื่องจากบางงานไม่ต้องการความเรียบผิว



บรรณานุกรม

- [1] “Manufacturing Process II”. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2562. เข้าถึงได้จาก qu.edu.iq/eL/pluginfile.php/86160/mod_resource/content/1/Machining-1%20.pdf
- [2] Custompart.net. “Turning”. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2562. เข้าถึงได้จาก <https://www.custompartnet.com/wu/turning>
- [3] “Turning”. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2562. เข้าถึงได้จาก <https://en.wikipedia.org/wiki/Turning>
- [4] S.Venkatesh Kumar. [ออนไลน์]. “TOOLS CLASSIFICATION & DESIGN OF TOOLS”. เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2562. เข้าถึงได้จาก <https://www.slideshare.net/MrSVenkateshkumar/cutting-tools-technology>
- [5] AxisCNC. “Quick Turn Smart 100s”. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2562. เข้าถึงได้จาก <https://www.axiscncsales.com/quick-turn-smart-100-s/?lang=en>
- [6] “บทที่ 3 ลักษณะของพื้นผิว Surface Texture”. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 15 กันยายน 2562. เข้าถึงได้จาก <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/2103203%20Mech%20drawing/Ch3%20surface%20texture.pdf>
- [7] Olympus. “Surface Roughness Measurement-Parameters”. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 กันยายน 2562 . เข้าถึงได้จาก <https://www.olympus-ims.com/en/metrology/surface-roughness-measurement-portal/parameters/>
- [8] “Surface Roughness”. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 กันยายน 2562 . เข้าถึงได้จาก <http://roughsurface.blogspot.com/2015/10/ra-rms.html>
- [9] Manufacture Overhaul Rapid and Optimal Co., Ltd. “สัญลักษณ์ความหยาบละเอียดของผิวงาน”. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 กันยายน 2562 . เข้าถึงได้จาก <http://www.moro.co.th/>
- [10] Mitutoyo. “PORTABLE SURFACE ROUGHNESS TESTER SUFTEST SJ-201/301”. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 กันยายน 2562 . เข้าถึงได้จาก <https://www.gagesite.com/document/SJ201-301%201812.pdf>
- [11] กัลยาพร ศรีสุขใสและมิณฑรา เข้มทอง. (2558). “การศึกษากระบวนการตัดเฉือนโลหะสแตนเลส ASTM A565 เกรด 616HT”. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] พงศ์ธร จันทรสุขจำเริญ. (2559). “การศึกษาปัจจัยของกระบวนการกลึง CNC ที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 และความคุ้มค่าในการเลือกใช้เม็ดมีดกลึง”. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร





นำข้อมูลจำนวนชิ้นงานและเวลาที่ใช้ในการกลึงปอกหยาบมาคำนวณหาอายุการใช้งานของมีดกลึงปอกหยาบต่อคมตัด ดังตารางที่ ก1

$$\text{อายุการใช้งาน(นาท)} = (\text{จำนวนชิ้นงาน} \times \text{เวลาในการกลึงปอกหยาบ}) / 60$$

ตารางที่ ก1 อายุการใช้งานมีดกลึงปอกหยาบต่อคมตัด (นาท)

ความเร็วตัด (เมตร/นาท)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)	อายุการใช้งานมีดกลึงปอกหยาบต่อคมตัด (นาท)
95	0.15	1.0	$\frac{18 \times 221}{60} = 66.30$
95	0.15	1.4	$\frac{18 \times 161}{60} = 48.30$
95	0.15	1.8	$\frac{2 \times 129}{60} = 4.30$
95	0.25	1.0	$\frac{23 \times 185}{60} = 70.92$
95	0.25	1.4	$\frac{20 \times 135}{60} = 45.00$
95	0.25	1.8	$\frac{2 \times 108}{60} = 3.60$
95	0.35	1.0	$\frac{27 \times 160}{60} = 72.00$
95	0.35	1.4	$\frac{22 \times 116}{60} = 42.53$
95	0.35	1.8	$\frac{1 \times 93}{60} = 1.55$
115	0.15	1.0	$\frac{21 \times 184}{60} = 64.40$
115	0.15	1.4	$\frac{17 \times 134}{60} = 37.97$
115	0.15	1.8	$\frac{2 \times 107}{60} = 3.57$
115	0.25	1.0	$\frac{19 \times 154}{60} = 48.77$

ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)	อายุการใช้งานมีดกลึงปกหยาบต่อคมตัด (นาที)
115	0.25	1.4	$\frac{15 \times 112}{60} = 28.00$
115	0.25	1.8	$\frac{1 \times 90}{60} = 1.50$
115	0.35	1.0	$\frac{16 \times 133}{60} = 35.47$
115	0.35	1.4	$\frac{12 \times 97}{60} = 19.40$
115	0.35	1.8	$\frac{3 \times 77}{60} = 3.85$
135	0.15	1.0	$\frac{17 \times 159}{60} = 45.05$
135	0.15	1.4	$\frac{14 \times 116}{60} = 27.07$
135	0.15	1.8	$\frac{9 \times 93}{60} = 13.95$
135	0.25	1.0	$\frac{8 \times 133}{60} = 17.73$
135	0.25	1.4	$\frac{6 \times 97}{60} = 9.70$
135	0.25	1.8	$\frac{1 \times 78}{60} = 1.30$
135	0.35	1.0	$\frac{7 \times 115}{60} = 13.42$
135	0.35	1.4	$\frac{4 \times 84}{60} = 5.60$
135	0.35	1.8	$\frac{1 \times 67}{60} = 1.12$



ภาคผนวก ข

เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนและตรวจสอบเม็ตมิต

จากการทดลองทำการสู่มจับเวลาการเปลี่ยนเม็ดมีและหยุดเครื่องเพื่อการตรวจสอบเม็ดมีดหลังการเปลี่ยนจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ ก2

ตารางที่ ก2 เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนและตรวจสอบเม็ดมีด (นาที)

ขั้นตอนการทำงาน	ครั้งที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
การเปลี่ยนเม็ดมีด (นาที)	5.25	5.19	5.21	5.22	5.17	5.29	5.17	5.19	5.00	5.28
การตรวจสอบหลังเปลี่ยนเม็ดมีด (นาที)	3.15	3.09	3.17	3.12	3.10	3.10	3.08	3.16	3.14	3.12
เวลารวม (นาที)	8.40	8.28	8.32	8.34	8.27	8.39	8.25	8.35	8.14	8.40

เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเปลี่ยนและตรวจสอบเม็ด

$$= \frac{8.40+8.28+8.32+8.34+8.27+8.39+8.25+8.35+8.14+8.40}{10}$$

$$= 8.32 \text{ นาที}$$



ภาคผนวก ค
ค่าใช้จ่ายในการกลึงปกหยาบ

ตารางที่ ค1 ค่าแรงงาน (บาท/ชิ้น)

ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)								
	0.15			0.25			0.35		
	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)								
	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8
95	2.629	1.915	1.535	2.201	1.606	1.285	1.904	1.380	1.106
115	2.189	1.594	1.273	1.832	1.332	1.071	1.582	1.154	0.916
135	1.892	1.3804	1.106	1.582	1.154	0.928	1.368	0.999	0.797

ตารางที่ ค2 ค่าเม็ดมีด (บาท/ชิ้น)

ความเร็วตัด (เมตร/ นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)								
	0.15			0.25			0.35		
	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)								
	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8
95	2.962	2.962	26.665	2.318	2.666	26.665	1.975	2.424	53.330
115	2.539	3.137	26.665	2.806	3.555	53.330	3.333	4.444	17.776
135	3.137	3.809	5.925	6.666	8.888	53.330	7.618	13.332	53.330

ตารางที่ ค3 ค่าไสหุ้ย (บาท/ชิ้น)

ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)								
	0.15			0.25			0.35		
	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)								
	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8
95	7.005	5.103	4.089	5.864	4.279	3.423	5.072	3.677	2.948
115	5.832	4.247	3.391	4.881	3.550	2.853	4.216	3.074	2.440
135	5.040	3.677	2.948	4.216	3.074	2.472	3.645	2.662	2.123

ตารางที่ ค4 ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนและตรวจสอบเม็ดมิด (บาท/ชิ้น)

ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)								
	0.15			0.25			0.35		
	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)								
	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8	1.0	1.4	1.8
95	1.198	1.198	10.782	0.937	1.078	10.782	0.798	0.980	21.565
115	1.026	1.268	10.782	1.135	1.437	21.565	1.347	1.797	7.188
135	1.268	1.540	2.396	2.695	3.594	21.565	3.080	5.391	21.565

