

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหยابผิวของชิ้นงาน AISI 1045 ที่
ผ่านกระบวนการกลึง



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62782
วัน,เดือน,ปี 22 ส.ค. 2549

b. 1183070x
จ.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A STUDY ON EFFECTS OF TURNING PARAMETERS
ON SURFACE ROUGHNESS OF AISI 1045**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2005**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน AISI 1045
ที่ผ่านกระบวนการกลึง

A STUDY ON EFFECTS OF TURNING PARAMETERS ON
SURFACE ROUGHNESS OF AISI 1045

นักศึกษา

นาย พุทธิพงษ์ ปิยะจันทร์ รหัสประจำตัว 46015723

นาย วีระบุษย์ เกษศิริรัตน์ รหัสประจำตัว 46015729

นาย สุรศักดิ์ ประทุมสุวรรณ รหัสประจำตัว 46015738

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท



(ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหายาผิวของชิ้นงาน AISI 1045 ที่ผ่านกระบวนการกลึง	
นักศึกษา	นาย พุทธิพงษ์ ปิยะจันทร์	รหัส 46015723
	นาย วีระบุษ เกษศรีรัตน์	รหัส 46015729
	นาย สุรศักดิ์ ประทุมสุวรรณ	รหัส 46015738
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ปีการศึกษา	2548	
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร. กรรณชัย กัลยาศิริ	

บทคัดย่อ

โครงการปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาหาอิทธิพลของความลึกหรือของมีดกลึงและปัจจัยในการกลึงที่ส่งผลต่อความหายาผิวของผิวชิ้นงาน AISI 1045 ที่ผ่านกระบวนการกลึง โดยอาศัยการวิเคราะห์ผลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม โดยตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อัตราการป้อนชิ้นงาน ความเร็วรอบ ความลึกของการตัด น้ำหล่อเย็นและการสึกหรอของมีดกลึง จากการศึกษาพบว่าที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหายาผิวของชิ้นงานคือ ความเร็วรอบ ความลึกของการตัดและการสึกหรอของมีดกลึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study on Effects of Turning Parameters on Surface Roughness of AISI 1045
Student	Mr. Puttipong Piyajun Mr. Veerayut Kedsrirat Mr. Surasak Pratumswan
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2005
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Kannachai Kanlayasiri

ABSTRACT

This project is aimed to investigate effects of turning variables and tool wear on Surface Roughness of AISI 1045. Investigated parameters in clued feed, spindle speed, depth of cut, coolant, and tool wear. Analysis of covariance was used to study influences of these parameters. Results showed that, at significance level of 0.05, spindle speed, depth of cut, and tool wear had significance effects on the Surface Roughness

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาอิทธิพลและปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวของจีนงาน AISI 1045 ที่ผ่านกระบวนการกลึง ฉบับนี้สำเร็จล่วงไปด้วยดีเพราะคำแนะนำและสนับสนุนของอาจารย์ทุกท่านและเพื่อนๆเป็นอย่างดีตลอดมาจนโครงการนี้สำเร็จสมบูรณ์ล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณ

ผศ.ดร. กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือทุกๆด้าน รวมถึงความเอาใจใส่ในการทำปริญญานิพนธ์เป็นอย่างดีและทุกๆสิ่งๆที่อาจารย์ได้มอบให้แก่กลุ่มผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาในการทำโครงการ

ขอบพระคุณ บิดา มารดา เป็นอย่างสูงที่สุดในการให้โอกาสในการศึกษาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาที่มอบให้แก่กลุ่มผู้วิจัยจนมีในวันนี้

ขอบพระคุณ อาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน ซึ่งได้มอบความรู้ คำแนะนำ คำถาม ความช่วยเหลือทุกๆด้านและทุกสิ่งทุกอย่างที่ผ่านมา ตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ขอขอบคุณเพื่อนๆเพื่อนๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือร่วมทุกข์ร่วมสุขและให้ความรู้ศึกษาแก่กลุ่มผู้วิจัย ที่มีให้ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบุคคลทุกท่านที่ได้กล่าวถึงในที่นี้และขอขอบคุณหนังสือทุกเล่มที่ใช้ในการศึกษา ข้อมูลในการค้นคว้าในการทำปริญญานิพนธ์และแหล่งความรู้ทุกแหล่งข้อมูลอันทรงคุณค่าสำหรับการทำโครงการนี้

นายพุทธพงษ์ ปิยะจันทร์
นายวิระยุทธ เกษศรีรัตน์
นายสุรศักดิ์ ประทุมสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์.....	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	1
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีด้านโลหะวิทยา.....	2
2.1.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า.....	2
2.1.2 ประเภทของการตัดจำแนกตามความเร็วผิว.....	2
2.1.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหยาบของพื้นผิวสำเร็จ.....	8
2.1.4 การสึกหรอของคมตัด.....	11
2.1.5 วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด.....	15
2.1.6 สารหล่อเย็น.....	16
2.1.7 ความสมบูรณ์ของผิวหน้า.....	18
2.1.8 ความสำคัญของความหยาบผิว.....	19
2.1.9 การเกิดสภาพของผิว.....	19
2.2 ทฤษฎีด้านปฏิบัติการกลึง.....	19
2.2.1 เครื่องกลึง.....	19
2.2.2 อัตราป้อนและความลึกในการตัด.....	20
2.2.3 ความเร็วตัด.....	21
2.2.4 มีดกลึง.....	22
2.3 ทฤษฎีทางสถิติที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูล.....	24
2.3.1 การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ.....	25
2.3.2 แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน	26
2.3.5 หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม.....	28
2.4 หลักการในการออกแบบการทดลอง.....	30
2.4.1 การทำซ้ำ.....	31
2.4.2 การทำแบบคู่.....	31
2.4.3 การบล็อก.....	32
2.4.4 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง	32
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานและการทดลอง	
3.1 การออกแบบการทดลองหลัก.....	34
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.2.1 เหล็กกล้าเพลากลม AISI 1045	34
3.2.2 เครื่องกลึง	34
3.2.3 มีดกลึง	34
3.2.4 เครื่องวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน.....	35
3.2.5 เครื่องวัดค่าการสึกหรอของมีดกลึง.....	35
3.3 การทดลองย่อย.....	36
3.3.1 ผลการทดลองย่อย	37
3.3.2 กราฟแสดงผลการทดลองย่อย.....	40
3.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลองย่อย.....	40
3.4 วิธีการหาจำนวนการทำซ้ำของการทดลองจริง.....	41
3.5 แผนการดำเนินการทดลองหลัก	45
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน	46
4.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	48
4.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน	49
4.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบข้อมูล.....	49
4.3 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิว.....	56
4.4 การทดสอบหาอิทธิพลของอัตราป้อน.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 ผลการทดสอบหาอิทธิพลของอัตราป้อน.....	58
4.6 สรุปผลการทดสอบหาอิทธิพลของอัตราป้อน.....	58
4.7 การศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องความลึกของการตัด.....	59
4.8 ผลของการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องความลึกของการตัด.....	59
4.9 สรุปผลของการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องความลึกของการตัด.....	59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	60
หนังสืออ้างอิง.....	62
ภาคผนวก ก.....	ผก
ภาคผนวก ข.....	ผข
ภาคผนวก ค.....	ผค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองย่อย.....	37
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าที่เก็บมาจากการวัดความหยาบผิวและการสึกพรอของมีดกลึง.....	38
ตารางที่ 3.3 แสดงความหยาบผิวที่เก็บมาจากการทดลองย่อย.....	41
ตารางที่ 3.4 แสดงความหยาบผิวที่เก็บมาจากการทดลองย่อยเฉพาะค่าพารามิเตอร์สูง.....	43
ตารางที่ 3.5 แสดงความหยาบผิวที่เก็บมาจากการทดลองย่อยเฉพาะค่าพารามิเตอร์กลาง.....	43
ตารางที่ 3.6 แสดงความหยาบผิวที่เก็บมาจากการทดลองย่อยเฉพาะค่าพารามิเตอร์ต่ำ.....	44
ตารางที่ 3.7 แสดงการแทนค่าหา $1-\beta$ ที่ $\alpha = 0.01$	45
ตารางที่ 3.8 แสดงการแทนค่าหา $1-\beta$ ที่ $\alpha = 0.05$	45
ตารางที่ 3.9 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการทดลองหลัก.....	45
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหยาบผิวและการสึกพรอมีดกลึงที่เก็บมาจากการทดลอง.....	47
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบหาอิทธิพลของอัตราป้อน.....	57
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบหาอิทธิพลของอัตราป้อน.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างพื้นผิว.....	5
รูปที่ 2.2 แสดงเส้นขอบของพื้นผิวและความขรุขระ.....	6
รูปที่ 2.3 เส้นขอบของพื้นผิวและความขรุขระ.....	6
รูปที่ 2.4 แสดงเศษวัสดุลากไปตามคมตัดหรือผิวกายเศษโลหะ.....	11
รูปที่ 2.5 แสดงการแพร่จากวัสดุเครื่องมือตัดไปยังวัสดุชิ้นงานหรือในทางกลับกัน.....	12
รูปที่ 2.6 แสดงการดึงเนื้อเม็ดออกไปตามน้ำหล่อเย็น.....	12
รูปที่ 2.7 แสดงการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการความเสียหาย.....	12
รูปที่ 2.8 แสดงเศษวัสดุมาพอกตัวที่คมตัด.....	13
รูปที่ 2.9 แสดงการสึกหรอที่เกิดบนคมตัดของชิ้นงาน.....	13
รูปที่ 2.10 แสดงการสึกหรอที่เกิดบนผิวกายเศษ โลหะตรงบริเวณด้านบนของมีดตัด.....	14
รูปที่ 2.11 แสดงการสึกหรอที่เกิดที่บริเวณคมตัดของชิ้นงาน.....	14
รูปที่ 2.12 แสดงการสึกหรอที่เกิดขึ้นที่บริเวณปลายคมตัด.....	14
รูปที่ 2.13 แสดงปัจจัยที่สำคัญทั้งหมดที่ใช้ในงานกลึงปอกด้วยมีดกลึงอินเสิร์ต.....	23
รูปที่ 2.14 รูปแบบจำลองของกระบวนการหรือระบบ.....	30
รูปที่ 2.15 แสดงอิทธิพลที่ไม่มีผลและอิทธิพลที่มีผลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์.....	31
รูปที่ 3.1 มีดกลึงที่ใช้ในการทดลอง.....	35
รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความหยาบผิว.....	35
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดค่าการสึกหรอของมีดกลึง.....	36
รูปที่ 3.4 แสดงรูปร่างชิ้นงานในการทดลอง.....	37
รูปที่ 3.5 แสดงวิธีการวัดความหยาบผิว.....	39
รูปที่ 3.6 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของมีดกลึงก่อนและหลังการกลึง.....	39
รูปที่ 3.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวกับการสึกหรอของมีดกลึง(ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น)..	40
รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวกับการสึกหรอของมีดกลึง(ใช้น้ำหล่อเย็น).....	40
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างรูปแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Stat Graphics plus 3.0.....	41
รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Stat Graphics plus 3.0.....	49
รูปที่ 4.2 กราฟการแจกแจงแบบปกติสำหรับค่าส่วนตกค้างของความหยาบผิว.....	50
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล.....	50
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าส่วนตกค้างกับความหยาบผิวของชิ้นงาน.....	51
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับระดับทุกๆระดับของค่าความเร็วรอบ.....	51
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับระดับทุกๆระดับของค่าอัตราป้อนชิ้นงาน.....	52
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับระดับทุกๆระดับของค่าความลึกมุมตัด.....	52
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับระดับทุกๆระดับของน้ำหล่อเย็น.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูสเซอร์เห็นเบาะแสหรือข้อผิดพลาดในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9 แสดงอันตรกิริยาระหว่างอัตราป้อนชิ้นงาน (Feed) กับความเร็วรอบ (Speed).....	54
รูปที่ 4.10 แสดงอันตรกิริยาระหว่างอัตราป้อนชิ้นงาน (Feed) กับน้ำหล่อเย็น (Coolant).....	54
รูปที่ 4.11 แสดงอันตรกิริยาระหว่างอัตราป้อนชิ้นงาน (Feed) กับความลึกกมุดตัด (Depth of cut).....	55
รูปที่ 4.12 แสดงอันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบ (Speed) กับความลึกกมุดตัด (Depth of cut).....	55
รูปที่ 4.13 แสดงอันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบ (Speed) กับน้ำหล่อเย็น (Coolant).....	56
รูปที่ 4.14 แสดงอันตรกิริยาระหว่างความลึกกมุดตัด (Depth of cut) กับน้ำหล่อเย็น (Coolant)	56
รูปที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Stat Graphics plus 3.0.....	58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ความหยาบของชิ้นงานเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของชิ้นงาน เช่น ในงานสวม ต้องการผิวที่มีความละเอียดสูงเพื่อลดการสึกหรอและความถี่ของชิ้นงานที่เกิดขึ้น ถ้าชิ้นงานมีความหยาบสูง โอกาสในการแตกหักของงานก็เกิดได้ง่าย และในการผลิตเครื่องมือวัดต่างๆต้องการความละเอียดสูงเพราะถ้าผิวหน้าสัมผัสในการวัดไม่มีความละเอียดงานที่วัดออกมาก็จะเกิดความผิดพลาดในเรื่องของขนาดได้ ทำให้ต้องสิ้นเปลืองวัสดุดิบ ส่งผลให้มีต้นทุนที่สูงขึ้น ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาค่าความหยาบของผิวชิ้นงานที่เกิดจากการกลึง ตัวแปรที่ศึกษา คือ อัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed) ความเร็วรอบ (Speed) ความลึกของการตัด (Depth of Cut) การสึกหรอของมีดกลึง และสารหล่อเย็น ซึ่งการทดลองนี้จะศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความหยาบผิว อันจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

1.1 วัตถุประสงค์

- 1.1.1 เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราป้อน ความลึกของการตัด ความเร็วตัด การสึกหรอของมีดกลึงและสารหล่อเย็นที่มีผลต่อความหยาบของผิวชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกลึง
- 1.1.2 เพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญที่ส่งผลต่อความหยาบของผิวชิ้นงาน
- 1.1.3 เพื่อเรียนรู้การประยุกต์ใช้วิชาสถิติมาแก้ไขปัญหาทางวิศวกรรม

1.2 ขอบเขตของโครงการ

- 1.2.1 การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเกี่ยวกับงานกลึงเท่านั้น
- 1.2.2 กลึงชิ้นงานด้วยมีดกลึงทั้งสเตนคาร์ไบด์ กับเหล็กกล้า AISI 1045
- 1.2.3 เก็บข้อมูลค่าของความหยาบผิวงานที่ได้จากเงื่อนไขการกลึงที่ต่างกันจากเครื่องทดสอบความหยาบ
- 1.2.4 วิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาปัจจัยในการกลึงที่ส่งผลต่อความหยาบของผิวชิ้นงาน

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ทราบความสัมพันธ์ของปัจจัยในงานกลึงที่ส่งผลต่อความหยาบของผิวชิ้นงาน
- 1.4.2 สามารถนำข้อมูลที่ได้ออกจากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการทำงานกลึงเพื่อให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
- 1.4.3 มีความเข้าใจในวิชาสถิติสำหรับงานวิศวกรรมและได้เรียนรู้สถิติขั้นสูงขึ้น
- 1.4.4 มีข้อมูลในการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปริมาณพันธ โดยจะแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ทฤษฎีด้านโลหะวิทยา ทฤษฎีงานกลึง ทฤษฎีทางสถิติที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูล และ หลักการออกแบบในการทดลอง

2.1 ทฤษฎีด้านโลหะวิทยา

2.1.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า

ปริมาณธาตุคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็กกล้า จะมีผลต่อคุณสมบัติในด้านความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อเหล็กมีปริมาณคาร์บอนสูงไม่เกิน 2 % และความแข็งแรงสูงสุดเมื่อเหล็กมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.83 % แต่เหล็กมีคาร์บอนมากกว่าหรือน้อยกว่า 0.83% จะทำให้ค่าความแข็งลดลง ส่วนคุณสมบัติ ด้านความเหนียวหรือความต้านทานแรงกระแทกเมื่อเหล็กมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นบางครั้งก็กล่าวได้ว่าเหล็กยังมีปริมาณคาร์บอนมากจะทำให้เหล็กมีความแข็งสูง แต่เปราะหักง่าย ทนแรงกระแทกต่ำ

คุณสมบัติของเหล็กกล้าไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของภาครูปแบบโครงสร้างผลึกและการกระจายตัวของผลึกด้วย ในที่นี้จะกล่าวถึงผลของรูปแบบโครงสร้างผลึกจะเห็นได้ว่าโครงสร้างเฟอร์ไรท์ ทำให้เหล็กอ่อน มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) และ เปอร์เซ็นต์การลดขนาด (% Reduction Area) ได้มาก ในเหล็กจะมีโครงสร้างเฟอร์ไรท์ได้ก็ต้องมีปริมาณคาร์บอนต่ำ โครงสร้างซีเมนไตท์ทำให้เหล็กมีความแข็งสูงแต่เปราะแตกหักง่าย มักเกิดในเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนสูง โครงสร้างเพิร์ลไรท์กับซีเมนไตท์รวมกันทำให้เหล็กทนแรงดึงสูงแต่ในเหล็กที่เรานำมาใช้งานส่วนมากจะไม่พบโครงสร้างใด เพียงโครงสร้างเดียว มักจะพบโครงสร้างผสมกันอาจจะมีเฟอร์ไรท์มากเพิร์ลไรท์น้อย หรือ เพิร์ลไรท์มาก และซีเมนไตท์น้อย เป็นต้น ก็จะทำให้เหล็กมีคุณสมบัติแตกต่างกัน

2.1.2 ประเภทของการตัดจำแนกตามความเรียบผิว

2.1.2.1 ความหยาบผิว

ความหยาบผิว (Surface Roughness) คือ ความหยาบผิวที่ได้จากชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการแปรรูป เช่น งานกลึง งานกัด งานไส เป็นต้น ผ่านการตรวจจะสังเกตได้ว่าชิ้นงานขรุขระเป็นลอนคลื่น ชิ้นที่ลอนคลื่นสูงแสดงว่าชิ้นงานดังกล่าวมีผิวหยาบส่วนที่ลอนคลื่นต่ำแสดงว่าผิวชิ้นนั้นเรียบ ความหยาบผิวมีผลต่อชิ้นการใช้งานมาก เมื่อการผลิตมีคุณภาพผิวชิ้นงานไม่ตรงกับสภาพที่แท้จริงขณะทำงาน จะทำให้อายุของการใช้งานของชิ้นงานสั้นลงหรือชิ้นงานบางชิ้นที่ผลิตขึ้นมาผิวที่ละเอียด แต่สภาพใช้งานจริงไม่จำเป็น เพราะจะทำให้เสียเวลาในการทำงานโดยเปล่าประโยชน์ หากนำเอาผิวของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการแปรรูป โดยชิ้นงานได้รับการแปรรูปจากงานกลึง งานกัด งานไส งานเจียรไน งานเลเซอร์ (Laser) เป็นต้น ผ่านการตรวจด้วยแว่นขยายจะพบว่าผิวของชิ้นงานขรุขระเป็นลอนคลื่น ชิ้นงานใดที่มีลอนคลื่นสูงแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานดังกล่าวมีผิวหยาบ ส่วนที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอนคลื่นต่ำแสดงว่าผิวชิ้นงานนั้นเรียบ จะทำให้อายุการใช้งานของชิ้นงานสั้นลง หรือชิ้นงานบางชิ้นที่ผลิตขึ้นมา มีผิวที่ละเอียด แต่สภาพใช้งานจริงไม่จำเป็น เพราะจะให้เสียเวลาในการทำงานโดยเปล่าประโยชน์

ในการตัดวัสดุไม่เพียงพอแต่จะต้องดูแลควบคุมให้แรงตัด แรงบิด กำลัง การสึกหรอ และอายุการใช้งานของใบมีดเป็นไปในสภาวะที่เหมาะสมแล้วในกรณี โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการผลิตชิ้นส่วนที่มีความแม่นยำสูง จะต้องเอาใจใส่เป็นพิเศษในเรื่องของค่าความขรุขระของพื้นผิวสำเร็จเพื่อให้ผิวที่ราบเรียบ แม่นยำ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของความขรุขระของพื้นผิวในการตัดวัสดุ

การตัดหยาบ (Rough Cutting) หมายถึง การตัดที่ต้องการให้งานเสร็จอย่างรวดเร็วแต่ไม่เน้นเรื่อง การทำให้ค่าความขรุขระต่ำ ไม่เน้นความแม่นยำหรือความละเอียดของพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงาน งานส่วนมากในการตัดโดยใช้ใบมีดตัดมักจะเป็นการตัดหยาบใช้ความเร็วในการตัดค่อนข้างสูง อัตราป้อนสูง และความลึกในการตัดสูง เป็นผลให้ใช้แรงตัดสูง ใช้กำลังในการตัดสูงและอาจจะ ต้องฉีดน้ำหล่อเย็นที่มีสมบัติของการหล่อลื่น หรือการลดแรงตัดได้ดี ทั้งนี้เพราะต้องการให้งาน เสร็จเร็วหลังจากงานตัดหยาบแล้วอาจจะต้องมีการตัดละเอียด หรือการเจียร ในอีกครั้งหนึ่ง

การตัดละเอียด (Fine Cutting) หมายถึง การตัดที่ต้องการให้ค่าความขรุขระเน้นความแม่นยำหรือความละเอียดของพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงาน ไม่เน้นให้งานเสร็จอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าเสร็จรวดเร็วก็เป็นการดี งานในลักษณะนี้เกิดขึ้นเป็นงานในขั้นตอนต่อเนื่องจากการตัดหยาบหรือเป็นการตัดครั้งสุดท้ายใช้ความเร็วในการตัดสูง หรือต่ำก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสม อัตราป้อนต่ำและความลึกในการตัดต่ำหรือปานกลาง แรงและกำลังที่ใช้ตัด มีค่าน้อยจนไม่ก่อให้เกิดปัญหามักจะต้องฉีดน้ำหล่อเย็นเพื่อขจัดฝอยออกจากบริเวณของการตัดอย่างรวดเร็วเพื่อลดความขรุขระของพื้นผิวสำเร็จ

การตัดปานกลาง (Medium Cutting) หมายถึงการตัดที่ประนีประนอมระหว่างการตัดหยาบและการตัดละเอียด คือ ต้องการให้งานเสร็จ โดยที่ต้องการให้พื้นผิวขรุขระด้วย ซึ่งอาจจะทำได้ในบางกรณีโดยการเลือกค่าความเร็วในการตัด อัตราป้อนและความลึกในการตัดที่เหมาะสม

2.1.2.2 ความขรุขระของพื้นผิว

รูปแบบโดยทั่วไปของผิว มีคำศัพท์ทางเทคนิคหลายคำเกี่ยวกับพื้นผิวที่ควรรู้จัก เช่น พื้นผิว (Surface) หมายถึงส่วนนอกสุดของแท่งวัตถุ (Body) ที่จะสัมผัสกับอากาศ หรือสัมผัสเกี่ยวข้องกับแท่งวัตถุอื่น พื้นผิวของวัตถุส่วนมากจะมีลักษณะเป็นเหมือนเกลียวคลื่นยาวผสมกับระลอกคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้น

- ความเป็นคลื่น (Waviness) หมายถึง เกลียวคลื่นที่มีช่วงคลื่นยาว ความเป็นคลื่นส่วนมากจะมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (Sine wave) จึงอาจจะแสดงได้โดยขนาด (Amplitude) ของคลื่น และโดยค่าความยาวคลื่น

- ความขรุขระ (Roughness) หมายถึง ระลอกคลื่นที่มีช่วงคลื่นสั้น ความขรุขระอาจจะแสดงได้โดยขนาด (Amplitude) ของคลื่น และโดยค่าความยาวคลื่น

- เส้นขอบ (Profile) หมายถึง เส้นแสดงพื้นที่ผิวเมื่อถูกตัดตามแนวขวาง

- รอยมลทิน (Flaw) หมายถึง รอยรอยที่เกิดขึ้นอย่างไม่มีการวางแผน มีจำนวนน้อย และจะไม่นำมาพิจารณาในการคำนวณ หรือในการวัดค่าความขรุขระ

ก่อนที่จะสามารถวัดค่าความเรียบออกมาได้จำเป็นที่จะต้องใช้คำจำกัดความของส่วนที่จะถูกวัดเสียก่อน ปกติแล้วความยาวคลื่น (Waviness) ถูกพิจารณาเป็นความคลาดเคลื่อนของรูปร่างอันเนื่องจากความไม่ถูกต้องทางเรขาคณิตของวิธีการผลิตผิวหน้า ส่วนความหยาบ (Roughness) อาจจะทำให้คำจำกัดความว่าเป็นความไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือความไม่ถูกต้องซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ของวิธีการผลิตผิวหน้าถ้ากระทำบนเครื่องจักรที่สมบูรณ์ทุกประการ

หนึ่งในปัญหาหลายๆอย่างของการวัดความเรียบผิวหน้าก็คือการแยกความเป็นคลื่นออกจากความหยาบ ถ้าเราจำกัดการตรวจสอบผิวหน้าที่ถูกตกแต่งมาเป็นแบบช่วงความยาวหนึ่ง ซึ่งไม่นับความยาวคลื่น(Wavelength) ที่ยาว ดังนั้นจะมีเฉพาะความหยาบเท่านั้นที่ถูกรวมเข้ามาความยาวคลื่นสูงสุดที่ถูกพิจารณาเราเรียกว่า ความยาวคลื่นตัดออก (Cut-off Wavelength) ซึ่งถูกกำหนดเป็นมาตรฐานในสหราชอาณาจักร โดย B.S.1134 ให้เท่ากับ 0.25 มม., 0.8 มม., และ 2.5 มม. การเลือกใช้ค่านี้จะขึ้นอยู่กับผิวหน้าที่จะทำการตรวจสอบ

2.1.2.3 การวัดค่าความขรุขระของพื้นผิว

หลักการการทำงานของเครื่องวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

การทำงานของเครื่องวัดค่าความหยาบผิวจะเป็นการทำงานร่วมกันของหัวทดสอบกับชุดขยายสัญญาณ และควบคุมที่จะแปลงผลการสัมผัสของปลายวัด ซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นลงตามลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้ารวม ที่มีคลื่นของความถี่สูงและค่าผสมกันอยู่ อันมีผลมาจากลักษณะ โครงสร้างรวมของพื้นผิวที่วัดได้ ซึ่งการประมวลผลของผิว ตามคุณสมบัติการวัดจำเป็นต้องแยกลักษณะสัญญาณความถี่สูงและต่ำนี้ออกจากกัน เนื่องจากแต่ละลักษณะเป็นค่าที่แทนคุณสมบัติที่ต่างกัน คือ

- ย่านความถี่สูงจะเป็นค่าคุณสมบัติของความหยาบผิว (Roughness)
- ย่านความถี่ต่ำจะเป็นค่าคุณสมบัติของความเป็นลอนคลื่น (Waviness)

วิธีการทำงานของเครื่องวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

โดยตัวที่เป็นหัวทดสอบวัดค่าความหยาบผิวคือ หัวทดสอบใช้วัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานโดยจะมีแท่งโลหะด้านในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดเล็กจะเชื่อมต่อกับหัวทดสอบคล้ายปากกาปากแหลมและแท่งโลหะด้านนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดใหญ่ โดยใช้หัวทดสอบลากสัมผัสกับผิวชิ้นงาน โดยชิ้นงานที่นำมาหาค่าความหยาบผิวนั้นต้องมีขนาดของร่องทดสอบที่สามารถให้หัวทดสอบเข้าไปสัมผัสวัดค่าได้ แต่ก่อนที่จะวัดค่าความหยาบผิวได้นั้นต้องมีการปรับค่า (Calibrate) การวัดค่าความหยาบผิวก่อนทุกครั้งทำการวัดค่าเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

2.1.2.4 แผ่นเทียบผิว

แผ่นเทียบผิว (Comparator Gages) เป็นเครื่องมือวัดความหยาบผิวงานที่สามารถใช้งานได้รวดเร็วก่อนที่จะศึกษาเรื่องแผ่นเทียบผิว จำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับสัญลักษณ์ความหยาบผิวตามมาตรฐานต่างๆ เสียก่อนจึงจะสามารถเข้าใจถึงลักษณะของผิวงาน ได้ถูกต้อง

แผ่นเทียบผิวเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบความหยาบความละเอียดของผิวงานที่ผ่านการ ตะไบ การกลึง การกัด การเจียรไน ซึ่งสามารถทำการตรวจสอบได้สะดวกรวดเร็ว

2.1.2.5 ลักษณะโครงสร้างแผ่นเทียบผิว

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

เอกสารถ่ายเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.6 การใช้แผ่นเทียบผิวตรวจสอบผิวงาน

การใช้แผ่นเทียบผิวตรวจสอบความหยาบผิวงาน ต้องเลือกแผ่นเทียบผิวให้ตรงกับผิวชิ้นงานที่จะตรวจสอบ เช่น แผ่นเทียบผิวงานกัด ใช้สำหรับเทียบความหยาบของผิวงาน วิธีการใช้แผ่นเทียบผิวมี 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1 การใช้สายตาตรวจสอบโดยอาศัยหลักการสะท้อนแสง

การใช้สายตาตรวจสอบโดยอาศัยหลักการสะท้อนแสง จากผิวงานเปรียบเทียบกับแผ่นเทียบผิว ผิวงานที่มีความเรียบมากจะสะท้อนแสงได้ดีกว่า แต่หากชิ้นงานมีขนาดใหญ่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายมาใกล้ที่มีแสงสว่างเพียงพอ จำเป็นต้องใช้โคมไฟส่องที่ผิวงานและแผ่นเทียบผิว และสังเกตการสะท้อนแสงจากผิวงานกับแผ่นเทียบผิวว่ามีขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงที่สุดในช่วงใด จากนั้นจึงอ่านค่าความหยาบผิวชิ้นงานออกมาเป็นตัวเลข หรือบอกเป็นสัญลักษณ์ที่กำหนดบนแผ่นเทียบผิว

วิธีที่ 2 การใช้ความรู้สึกสัมผัส

วิธีนี้ใช้ในกรณีที่บางครั้งเกิดความไม่เชื่อมั่นในสายตาตนเอง ไม่สามารถบอกค่าความหยาบผิวได้ถูกต้อง หรือผิวงานที่นำมาตรวจสอบไม่สะท้อนแสงหรือสะท้อนแสงน้อยมาก เช่น ผิวเหล็กหล่อ จำเป็นต้องอาศัยความรู้สึกสัมผัส โดยใช้นิ้วมือลูบเปรียบเทียบระหว่างผิวงานกับแผ่นเทียบผิวว่ามีความหยาบเท่ากันในช่วงใดของแผ่นเทียบผิวจากนั้นจึงอ่านค่าความหยาบผิว หรือกำหนดเป็นสัญลักษณ์ความหยาบผิวตามที่ปรากฏบนแผ่นเทียบผิว

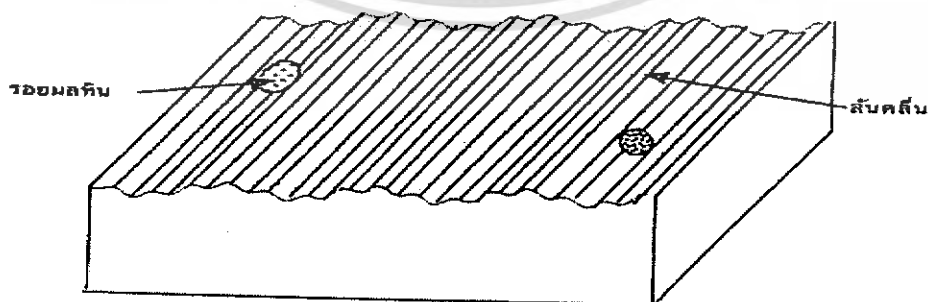
ข้อควรระวังและการดูแลรักษาแผ่นเทียบผิว

เลือกใช้แผ่นเทียบผิวให้ตรงกับชนิดของความหยาบผิวงานที่ต้องการเปรียบเทียบ

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

2.1.2.7 การวัดค่าความขรุขระของพื้นผิว

การวัดค่าความขรุขระของพื้นผิว โดยปกติแล้วจะใช้เครื่องมือที่มีลักษณะคล้ายเข็มลากอย่างช้าๆ ผ่านไปบนแกนนอน (แกน X) ของพื้นผิวที่จะวัดค่าความขรุขระ การเคลื่อนที่ของปลายเข็มในแนวตั้ง (Ya) จะจะเป็นไปตามลักษณะเส้นขอบของพื้นผิว (Surface Profile) ดังแสดงในรูปที่ 2.1

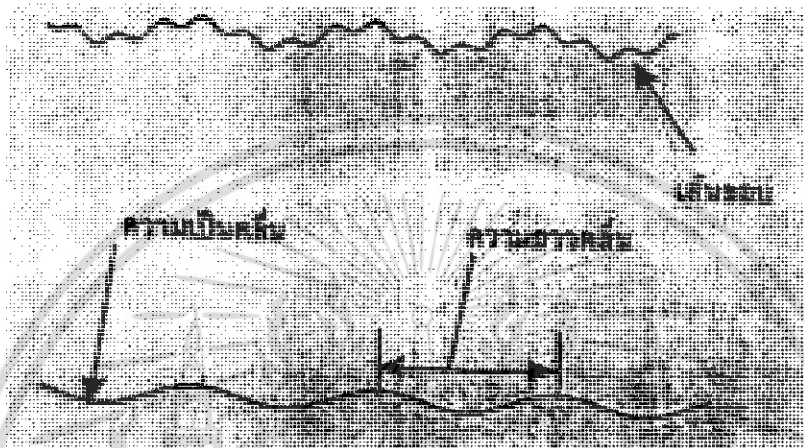


รูปที่ 2.1 ตัวอย่างพื้นผิว

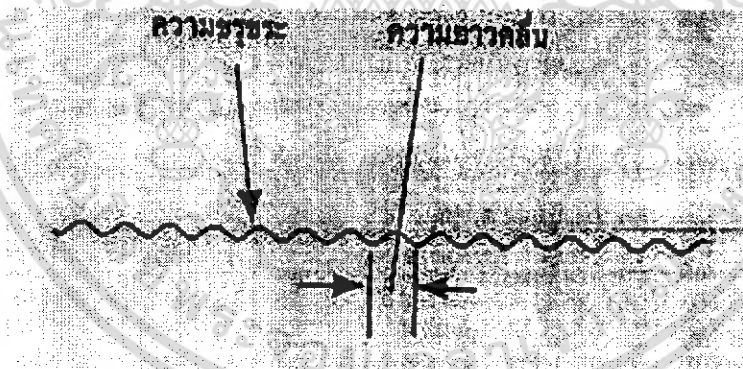
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะมีระบบบันทึกค่า X และ Y_a ไว้ในหน่วยความจำและระบบคำนวณค่าอิทธิพลของความ เป็นคลื่น (Waviness) ที่มีขนาด Y_w ในแนวดิ่ง จากนั้นวงจรคำนวณก็จะลบค่าของอิทธิพลของความ เป็นคลื่นออก ก็จะเหลือเฉพาะค่าในแนวดิ่งอันเนื่องมาจากความขรุขระ (Y) ซึ่งจะนำไปคำนวณหาค่าความขรุขระต่อไป นั่นคือ $Y = Y_a - Y_w$

การคำนวณหาค่า Y จะทำโดยอัตโนมัติ ค่า X และ Y ที่บันทึกไว้ในขั้นนี้ เป็นแต่เพียงค่าของพื้นผิว จำลองที่เป็นผลมาจากความขรุขระ ยังไม่ใช่ค่าความขรุขระจะต้องนำไปคำนวณต่อไปอีก เพื่อหาค่าความขรุขระ



รูปที่ 2.2 แสดงเส้นขอบของพื้นผิวและความขรุขระ



รูปที่ 2.3 เส้นขอบของพื้นผิวและความขรุขระ

1. ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิต (Arithmetic Average , Ra)

ถ้าลากเส้นในแนวนอนผ่านกึ่งกลางของเส้นขอบรูปที่ตัดค่าความเป็นคลื่นออก จนเหลือแต่ความขรุขระ เส้นนี้เรียกว่าเส้นกึ่งกลาง (central line) โดยแบ่งพื้นที่ระหว่างเส้นขอบรูปกับเส้นกึ่งกลางเป็นสองส่วนเท่าๆกัน ค่า ในแนวดิ่งวัดจากเส้นกึ่งกลางจะเรียกว่าค่า Y และค่าความสูงเฉลี่ยทางเลขคณิต Ra จะนำมาใช้เป็นค่าความขรุขระ นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

หรือ ถ้าแบ่งระยะทาง l ออกเป็น n ส่วน โดยที่ n มีค่าสูงพอ จะพบว่า

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_j| \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิต R_a เป็นค่าที่นิยมใช้ระบุความขรุขระของพื้นผิวมาแต่ดั้งเดิมก่อนค่าอื่นๆ และเป็นที่ยอมรับกันดี และใช้กันมากจนกระทั่งปัจจุบัน แต่ต่อมาได้มีการนำเอาตัวแปรอื่นๆ มาใช้ระบุค่าความขรุขระเพิ่มเติมอีก เพื่อให้การพิจารณาค่าความขรุขระมีหลายมุมมองยิ่งขึ้น

2. ค่าเฉลี่ยรูทมีนสแควร์ (Root Mean Square Average, R_q หรือ R_{rms})

การคำนวณหาค่าความขรุขระตามวิธีรูทมีนสแควร์ เป็นความพยายามที่จะนำเอาหลักการทางสถิติมาใช้ในการวัดค่าความขรุขระ โดยใช้สูตรการคำนวณโดยอาศัยหลักการยกกำลังสองของ Y เพื่อหาค่า Y ที่มีค่าลบ กลายเป็นค่าบวกของ Y จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของ Y แล้วจึงถอดราก (root) ฐานสอง เพื่อให้หน่วยของการวัดเป็นหน่วยของการวัดเป็นหน่วยยกกำลังหนึ่ง ซึ่งเป็นหน่วยตามปกติที่คุ้นเคยกัน ค่าความขรุขระตามวิธีรูทมีนสแควร์ R_q หรือ R_{rms} หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n y^2} \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

3. ค่าระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด (Maximum Distance Between Peak to Valley, R_t)

R_t มีความหมายในการปฏิบัติงาน คือ เป็นค่าที่จะบอกได้ว่า ในการจะขจัดเนื้อผิวตัวอย่างนี้ จะต้องขจัดเนื้อผิวออกเป็นความลึกไม่น้อยกว่าค่า R_t จึงจะทำลายผิวเดิมได้หมด แต่เนื่องจากค่า R_t วัดได้ไม่แน่นอนเพราะเป็นค่าสูงสุดค่าเดียวซึ่งจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพื้นผิวที่วัด จึงนิยมวัดค่าเฉลี่ย R_z แทนค่า R_t โดยให้ R_z เป็นค่าเฉลี่ยของค่าความสูงของระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุด จากค่าสูงสุดที่วัดได้ 5 ค่าแรก

ถ้าค่า h_1, h_2, h_3, h_4 และ h_5 เป็นค่าความสูงระหว่างยอดสูงสุดกับก้นร่องต่ำสุดโดยเป็นค่าสูงสุด 5 ค่าแรก เท่าที่วัดได้จากความยาว l ที่วัดได้จากพื้นผิว ดังนั้น ค่า R_z คำนวณได้จาก

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 h_j = \frac{1}{5} [h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5] \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

ยังมีวิธีวัดค่าความขรุขระวิธีอื่นอีกหลายวิธี แต่ไม่เป็นที่นิยมมากนัก จึงจะไม่นำมาพิจารณา

รอยคมมีด (Feed Mark)

ตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบัน มีความเข้าใจกันว่า พื้นผิวสำเร็จในการตัดวัสดุ ก็คือพื้นผิวที่มีคมมีดฝาก รอยเอาไว้ และค่าความขรุขระก็จะคำนวณหาได้จากพื้นผิวที่มีคมมีดฝากรอยเอาไว้นั้น แต่เมื่อไม่นานมานี้ ได้มีความตระหนักว่าแนวคิดนี้อาจจะไม่ถูกต้อง แต่ยังมีอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ ที่อาจจะมีความสำคัญ และต้องนำเข้ามาพิจารณาด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ในความเข้าใจทั่วๆ ไป ยังมีความเชื่อกันว่า ความขรุขระของพื้นผิวมีสาเหตุสำคัญที่สุดมาจากการที่คมมีดฝากรอยเอาไว้บนชิ้นงานระหว่างการตัด

Amarego ได้เสนอลักษณะการฝากรอยของคมมีดในการกลึง ดังจะได้หยิบยกมาพิจารณาดังต่อไปนี้ เพื่อความสะดวก จะแบ่งการพิจารณาเป็นสองกรณี กรณีแรกเป็นกรณีของใบมีดปลายแหลมที่ไม่มีมิงมุมมีด และกรณีที่สองเป็นกรณีของใบมีดที่มีมิงมุมมีดและรัศมีของงมมุมมีดมีค่ามากกว่าศูนย์

2.1.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหยาบของพื้นผิวสำเร็จ

1. การเกาะของพื้นผิวสำเร็จ

Shaw อธิบายว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบของพื้นผิวสำเร็จในการตัดวัสดุที่สำคัญมี 2 ปัจจัยคือ รอยใบมีด และรอยเกาะเกาะ

รอยใบมีด (Feed Mark) เป็นปัจจัยดั้งเดิมที่ศึกษากันมานาน รอยใบมีดยังมีความสำคัญอยู่ ไม่อาจจะละเลยได้ แม้ว่าในหลายๆกรณี อิทธิพลของรอยใบมีดอาจจะถูกบดบังโดยอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ

รอยเกาะเกาะบนผิว (Surface Fracture) เป็นรอยที่เกิดขึ้นจากการที่บางส่วนของพื้นผิวเกิดรอยร้าวจนในที่สุดผิวหลุดออกไปเป็นก้อนๆ

ในระหว่างการตัด จะเกิดรอยร้าวตามเส้น โค้งรอยร้าวนี้จะมีรอยตรงกันหรือใกล้เคียงกับแนวของพื้นผิวของความเครียดเฉือนสูงสุด (Plane of Maximum Shear Strain) ในเนื้อชิ้นงานเริ่มมาจากคมมีดและโค้งขึ้นไปสู่พื้นผิวอิสระของงาน กันและในแนวสุดท้ายรอยร้าวจะแตกออกกลายเป็นร่องหรือหลุม ซึ่งจะปรากฏบนพื้นผิวสำเร็จ โดยพื้นผิวสำเร็จจะมีสองส่วนสลับกัน ส่วนหนึ่งเป็นผิวเรียบเป็นมันที่เกิดจากการฝากรอยของใบมีด อีกส่วนหนึ่งเป็นร่องหรือหลุมที่มีลักษณะเป็นร่องยาวและเกาะเกาะ ถ้าการเกาะเกาะมีน้อยก็จะเป็นหลุมเล็กๆ ถ้าการเกาะเกาะรุนแรงก็จะเป็นร่องยาวตลอดความกว้างของรอยตัด

เมื่อนำความขรุขระที่เกิดจากการแตกร้าวของผิวชิ้นงาน ตามที่แสดงโดย Shaw เข้ามาร่วมพิจารณา และตั้งข้อสมมุติว่า ความขรุขระจากสาเหตุต่างๆ สามารถนำมารวมกันได้เมื่อพิจารณาก็จะพบว่า

$$Ra = Ra1 + Ra2 + Ra3$$

เมื่อ	Ra	เป็นค่าความขรุขระที่วัดได้
	Ra1	เป็นค่าความขรุขระที่เกิดจากรอยใบมีด
	Ra2	เป็นค่าความขรุขระที่เกิดจากการเกาะเกาะของผิวชิ้นงาน
	Ra3	เป็นค่าความขรุขระที่เหลือที่เกิดจากปัจจัยอื่นๆนอกจากปัจจัยนี้

2. ความเร็ว อัตราป้อน และความลึกในการตัด

ความเร็วในการตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัด เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ควบคุมการตัดวัสดุ ในที่นี้จะหยิบยกมาพิจารณาเฉพาะการกลึง มีผู้ศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัด ในการกลึงชิ้นงานหลายชนิดซึ่ง Amarego ได้ ศึกษาเรื่องค่าความขรุขระที่วัดได้โดยใช้ใบมีดเหล็กกล้า ไฮสปีด กลึงชิ้นงานและอูมิเนียมอัลลอยด์ และได้พบแนวโน้มว่า ในช่วงความเร็วปกติในการกลึง 150 m/min ขึ้นไป เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วเพิ่มขึ้นค่าความขรุขระจะลดลงจนถึงค่าอิมิตัวแล้วจึงจะคงที่ ส่วนในช่วงความเร็วต่ำกว่าปกติ คือ ช่วงประมาณ 50-150 m/mm ค่าความขรุขระจะลดลงในอัตราเร่งกับการเพิ่มของความเร็ว

เมื่ออัตราป้อนเพิ่มขึ้นค่าความขรุขระจะเพิ่มขึ้นเสมอ การเพิ่มของความลึกในการตัดจะเพิ่มความขรุขระ ยกเว้นแต่เมื่อค่าของความลึกสูงมากแล้ว การเพิ่มของความลึกจะไม่เพิ่มความขรุขระ ส่วนการเพิ่มของรัศมีของงมกมีดจะลดความขรุขระ และ ค่าของมุมมีด เช่น มุมเฉย และมุมเฉียงร่วมกัน อาจจะทำให้ความขรุขระเปลี่ยนแปลงได้ถึง 4 เท่า ในช่วงความเร็วปกติ คือสูงกว่า 150 m/min ขึ้นไป ความเร็วและความลึกในการตัดจะไม่ มีผลต่อความขรุขระ การเพิ่มของอัตราป้อนจะเพิ่มความขรุขระ และการเพิ่มของรัศมีมีดจะลดความขรุขระ อิทธิพลของมุมเฉยและมุมเฉียงของใบมีดจะลดลงเล็กน้อย Ammego กล่าวว่า ค่าความขรุขระที่วัด ได้จริง ไม่เพียง จะถูกกำหนดโดยรอยใบมีดเท่านั้น แต่ยังจะถูกกำหนดเพิ่มเติม โดยตัวแปรอื่นอีกมาก เช่น จากการทำใบมีดสึก หรือ คือ เมื่อใบมีดสึกหกรวมมากขึ้น ความขรุขระจะเพิ่มขึ้น และถ้าเกิดการสั่นสะเทือนที่ชิ้นงานหรือใบมีด ความขรุขระก็จะเพิ่มขึ้นไปอีก

ในกรณีของการกลึงชิ้นงานเหล็กกล้า อิทธิพลของความเร็วในการตัดมีความซับซ้อน เช่น Ammego ได้ แสดงแนวโน้มของความขรุขระของพื้นผิวที่วัดได้กับความเร็วในการตัด ในการใช้ใบมีดเหล็กกล้าไฮสปีด กลึง ชิ้นงานเหล็กกล้า ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มหรือลดของค่าความขรุขระจะขึ้นอย่างมากกับลักษณะของผอมที่เกิดขึ้นว่า เป็นผอมชนิดใด คือ อาจจะเป็นผอมชนิดต่อเนื่อง ผอมชนิดต่อเนื่อง และมีเศษวัสดุติดมาเป็นกระจุก หรือผอม ชนิดต่อเนื่องแบบปกติที่ไม่มีเศษติดมาด้วย ส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระกับความเร็วมีลักษณะ เป็นกราฟคล้ายภูเขา และความขรุขระจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น และเมื่อความเร็วสูงค่าความ ขรุขระจะคงตัว และไม่ลดลงอีก

3. ใบมีดตัด

ใบมีดตัดที่ใช้ในการทดสอบความเรียบผิว คือ คาร์ไบด์ (Carbide, C) คาร์ไบด์ เป็นสารประกอบ ระหว่างโลหะและคาร์บอน บางครั้งเรียกคาร์ไบด์ว่า โลหะแข็ง (Hard Metal) คาร์ไบด์ใช้สัญลักษณ์ทางการผลิต ว่า C ซึ่งบังเอิญอาจจะซ้ำกับสัญลักษณ์ทางเคมีของ คาร์บอน มีลักษณะเป็นผงหรือเกล็ดเล็กๆ คล้ายเม็ดทราย ละเอียด มีความแข็งสูง ในปี พ.ศ. 2466 มีผู้พบวิธีทำให้คาร์บอนเป็นก้อน โดยเอาผง Tungsten และผงโคบอลต์ ผสมกันอัดขึ้นรูป แล้วเผาให้ร้อนจนหลอมเป็นก้อน หลังจากนั้นก็มีผู้นำเอาคาร์ไบด์อื่นๆ เช่น Ti-C, Ta-C, Cr-C มา เป็นสารเจือ เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้คาร์ไบด์รวมตัวกันเป็นผลึกขนาดใหญ่ เพราะผลึกขนาดใหญ่จะแตกง่ายใน ปัจจุบันนี้ยังมีการนำเอาวัสดุที่มีความแข็งสูงเช่น เพชรหลายผลึก (Polycrystalline Diamond, PVD) เป็นต้น มา เคลือบบางๆ บนพื้นผิวใบมีด เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอและลดแรงเสียดทาน

องค์ประกอบของใบมีดคาร์ไบด์ วัสดุใบมีดคาร์ไบด์มีองค์ประกอบ 4 ส่วน

1. ทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide, WC) มีความแข็งแรงสูงแต่ค่อนข้างเปราะและเมื่อมีอุณหภูมิสูง ผงทังสเตนคาร์ไบด์มักจะจับตัวกัน เกิดเป็นผลึกขนาดใหญ่ที่เปราะและแตกหักง่าย ซึ่งเป็นปัญหาที่ได้พยายาม แก้ไขกันต่อมา

2. คาร์ไบด์อื่นๆ เช่น คาร์ไบด์ของ Co, Ti, Ta, Zr, Cr, Nb (หรือ Nb) มีหน้าที่คอยป้องกันไม่ให้ผลึกของ WC รวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น

3. วัสดุยึด (Bond Materials) เป็นโลหะ โดยมากก็คือ โคบอลต์ และอาจมีนิเกิล โมลิบดีนัมและ ไทเทเนียม ผสมลงไปด้วย ทำหน้าที่ยึดเม็ดคาร์ไบด์ให้รวมกันเป็นก้อน

4. วัสดุเคลือบผิว (Coating materials) ในปัจจุบันนี้ บางครั้งก็มีการนำเอาวัสดุที่มีความแข็งสูง เช่น เพชรคาร์ไบด์ มาเคลือบผิว โดยใช้วิธีเคลือบด้วยไอศพลูญอากาศ ผิวที่แข็งช่วยให้ใบมีดสึกหรือช้าลง ผิวเคลือบอาจจะมียุทธศาสตร์ได้

2.1.4 การสึกหรอของคมตัด

การสึกหรอโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ลักษณะคือ Flank Wear และ Crater Wear อายุการใช้งานของมีดขึ้นอยู่กับอัตราการสึกหรอทางด้านข้างและผิวหน้าคายเศษโลหะ ด้านข้างของมีดถึงและเคลื่อนเข้าหาคมตัด ขณะเดียวกันความขรุขระของคมตัดค่อยๆเพิ่มขึ้นจะ ไปทำให้ความเรียบที่ผิวของชิ้นงานเสียไป ถ้าบริเวณที่เสียดสีระหว่างมีดถึงกับชิ้นงานเพิ่มขึ้น จะทำให้อุณหภูมิที่โซนตัดเพิ่มและแรงตัดเพิ่มตาม

Crater wear จะเกิดบริเวณผิวหน้าคายเศษโลหะซึ่งเกิดจากเศษโลหะ ถ้าเราใช้เวลาตัดเพิ่มขึ้นขนาดของ Crater wear จะสึกลงไปเรื่อยๆ ซึ่งทำให้ความแข็งแรงของคมตัดลดลงและเกิดการแตกร้าวในที่สุด Flank wear ในช่วงความเร็วตัดดังกล่าวเศษโลหะที่เชื่อมติดหน้ามีดจะป้องกันผิวหน้าคายเศษโลหะ ไม่ให้เกิดการสึกกร่อน และขณะเดียวกันการเคลื่อนตัวของอนุภาคของเศษโลหะที่เชื่อมติดหน้ามีดนั้นเป็นสาเหตุก่อให้เกิดอัตราของ Flank wear สูงขึ้น เนื่องจากความแข็งของเศษโลหะที่เชื่อมติดหน้ามีด กลไกต่างๆที่ทำให้เกิดการสึกหรอเนื่องจากการขัดสี (Abrasive Wear) การเปลี่ยนรูปร่างอย่างฉับพลัน ปฏิกริยาการแพร่และการสึกหรอเนื่องจาก Oxidation เป็นส่วนหนึ่งของการสึกหรอทั้งหมดที่เกิดขึ้น กลไกการสึกหรอเหล่านี้เกิดปฏิกริยาทางเคมี และฟิสิกส์ที่แตกต่างกัน อุณหภูมิ การตัด แรงตัด คุณสมบัติของชิ้นงานและวัสดุที่ใช้ทำมีด นั้นมีอิทธิพลต่อกลไกการสึกหรอ เพื่อลดการสึกหรอของวัสดุในการทำมีด ได้แก่ การเคลือบผิวด้วยฟอสเฟต, Sulphiding, Molybdenumdisulphide treatment, Blue streaming, Chromizing, Nitriding และ Electrohardening ผิวที่อบชุบเหล่านี้ทำให้สมรรถนะในการ ไถสและความต้านทานในการสึกหรอดีขึ้น

การคงสภาพของเศษโลหะที่เชื่อมติดหน้ามีด เกิดขึ้นเฉพาะแรงที่เป็นความเค้นอัดเท่านั้น เศษโลหะเชื่อมติดหน้ามีดเกิดขึ้นในทิศทางของความเค้นเฉือนหลัก ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นของเศษ โลหะที่เชื่อมติดหน้ามีดมีสาเหตุมาจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและ Precipitation ซึ่งมีความแข็งแรงเป็น 4 เท่าของค่าความแข็งแรงของวัสดุชิ้นงาน

ชิ้นส่วนของเศษ โลหะที่เชื่อมติดหน้ามีด จะหลุดออกไปกับเศษโลหะและส่วนนี้จะไปอัดอยู่ในช่องว่างระหว่างผิวที่ถูกตัดกับคมมีด ขณะที่เศษโลหะที่เชื่อมติดหน้ามีดป้องกันผิวหน้าคายเศษโลหะ ไม่ให้เกิดการสึกหรอ แต่การหลุดของชิ้นส่วนของเศษ โลหะที่เชื่อมติดหน้ามีดจะเป็นที่ทำให้เกิด Flank Wear ขนาดใหญ่ขึ้น

การใช้สารหล่อเย็นกับกระบวนการตัดพบว่า การใช้สารหล่อเย็นมีผลทำให้เกิด Flank Wear ลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อใช้สารหล่อเย็นความเสียหายของมีดจะเกิดที่ความเร็วตัดสูงๆ อิทธิพลอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการสึกหรอของมีด เนื่องจากเกิดปฏิกริยา Oxidation ของคาร์ไบด์ขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วย ทั้งสแตน โมโนคาร์ไบด์ การสึกหรอเช่นนี้พบได้บริเวณของเขตสัมผัส

อิทธิพลของออกซิเจนมีผลโดยตรงต่อคมมีด โดยจะรวมตัวกับธาตุบางตัวของมีดคาร์ไบด์เป็น Complex Oxide ซึ่งประกอบไปด้วย Tungsten Oxide, Cobalt Oxide และ Iron Oxide การเกิด Oxidation ของคาร์ไบด์ เป็นสาเหตุที่ทำให้คมตัดมีความอ่อนแอลง และจำกัดอายุการใช้งานของมีด แม้ว่ายังไม่ถึง Critical Crater Wear ก็ตาม แต่การแก้ไขของการเกิดการสึกหรอแบบนี้ทำได้โดยใช้มีดคาร์ไบด์ซึ่งมี ไททานิยมคาร์ไบด์ผสมอยู่ก็จะสามารถป้องกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคู่ที่การเกิดความร้อนและอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อสมรรถนะในการตัด อุณหภูมิที่สูงของฝอยซึ่งเป็นอันตรายต่อช่างที่คุมเครื่อง และอาจก่อให้เกิดอึดอัดก็ได้ ส่วนอุณหภูมิที่สูงบนผิวงานมีผลทำให้เกิดการคลายเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน และก่อให้เกิด Thermal Stress ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า Recrystallization Temperature และหากมีการฉีกรสหล่อเย็นลงไปยังผิวงาน ก็จะทำให้เกิดการจับของชิ้นงานส่งผลให้ผิวของชิ้นงานแข็งขึ้นกว่าปกติ และทำให้มีคสึกหรือเร็ว ในการตัดวัสดุเพื่อให้การวางแผนการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพผู้วางแผนจำเป็นต้องรู้ว่าคมมีดที่จะนำมาใช้งานนั้นจะมีอายุการใช้งานได้อย่างมากเท่าไร เช่น ใช้ตัดชิ้นงานได้กี่นาที หรือใช้ตัดชิ้นงานได้ที่ขึ้น ก่อนที่จะหมดสภาพการใช้งาน โดยการแตกหัก กะเทาะร้าว หรือสึกหรือที่เกินขนาดที่ยอมรับได้ เพื่อที่จะได้วางแผนในการเปลี่ยนมีดหรือคมมีด

อายุการใช้งานของคมมีดนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่นลักษณะการหาคออายุ ความง่ายในการตัดวัสดุชิ้นงาน และตัวแปรที่เกี่ยวกับสถานะการตัด เช่น ความเร็วในการตัด อัตราป้อน ความลึกในการตัด ชนิดของสารหล่อเย็น และอัตราการฉีกรสหล่อเย็น เมื่อผู้วางแผนการผลิตสามารถคำนวณได้ว่าอายุการใช้งานอายุการใช้งานของคมมีดเหลืออยู่เท่าไร ก็จะสามารถวางแผนให้มีการเปลี่ยนคมมีดก่อนที่คมมีดจะเกิดการแตกหักจริงๆ ทั้งนี้เพื่อป้องกันอุบัติเหตุหรือป้องกันความเสียหายจากการที่คมมีดแตกหัก เนื่องจากอายุการใช้งานของคมมีดมีความเกี่ยวข้องเป็นอย่างมากกับความง่ายในการตัดวัสดุชิ้นงาน ดังนั้นมักจะพิจารณาควบคู่กันไป

การสึกหรือของคมมีด

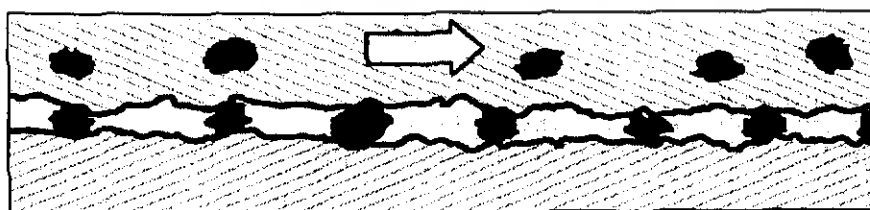
การสึกหรือของคมมีดกับเวลาที่ใช้ในการตัด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคือ

- ช่วงแรก เป็นการสึกหรืออย่างรวดเร็วของใบมีดตัดที่มีปลายมีดที่สมบูรณ์ คือลักษณะของปลายแหลม ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกหักง่าย เรียกว่า “Initial Wear”
- ช่วงที่สอง อัตราการสึกหรือจะคงที่เมื่อเทียบกับเวลาซึ่งจะแปรผันตามเวลาเรียกว่า “Steady Wear”
- ช่วงที่สาม เป็นการสึกหรือที่รวดเร็วมากเมื่อเราใช้งานนานขึ้นเนื่องจากความร้อนและการสึกหรือมีมากขึ้นสูงสุด เรียกว่า “Rapid Wear”

สาเหตุของการสึกหรือของมีดถึง

บริเวณคมมีด และผิวคายเศษโลหะเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง สึกกรเสียตัวอย่างรุนแรงซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญ ในการสึกหรือของเครื่องมือตัด ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

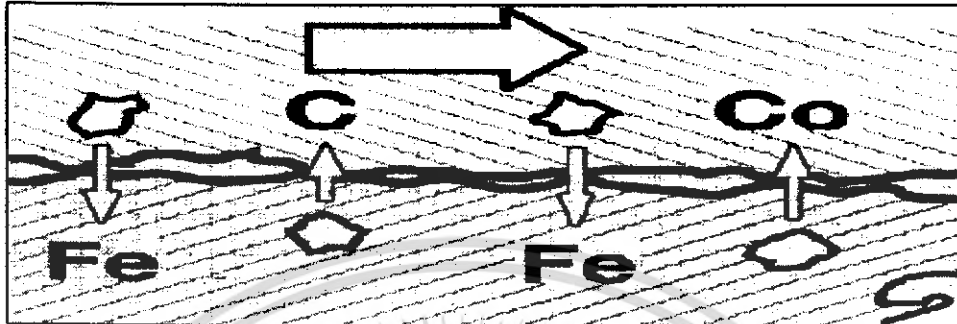
1. การเสียดสี (Abrasion Wear) จากอนุภาคที่มีความแข็ง เช่นทรายที่ติดมากับชิ้นงานที่ได้จากการหล่อขึ้นส่วนของวัสดุชิ้นงานที่เกิดการพอกตัวที่ผิวคมมีด (Build up Edge) วัสดุพวกนี้จะถูกเศษวัสดุลากไปตามคมมีดหรือผิวคายเศษโลหะ ในกรณีเช่นนี้จะเห็นว่าวัสดุเครื่องมือตัดที่สามารถรักษาความแข็งไว้ที่อุณหภูมิสูงจะสามารถต้านทานการสึกหรือจากวิธีนี้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.4 แสดงเศษวัสดุลากไปตามคมมีดหรือผิวคายเศษโลหะ

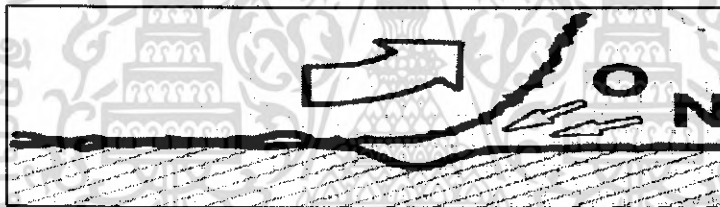
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การแพร่ของอะตอม (Diffusion Wear) จากวัสดุเครื่องมือตัดเข้าสู่วัสดุชิ้นงานหรือเศษวัสดุ ในบริเวณผิวสัมผัสซึ่งมีอุณหภูมิสูง จะเกิดการแลกเปลี่ยนอะตอมข้ามผิวสัมผัสที่เรียกว่าการแพร่ ซึ่งเป็นได้ทั้งการแพร่จากวัสดุเครื่องมือตัดไปยังวัสดุชิ้นงานหรือในทางกลับกัน ซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรงของเครื่องมือตัดลดลง เนื่องจาก Alloy element ลดปริมาณลง จึงทำให้เกิดการสึกหรอได้ง่าย



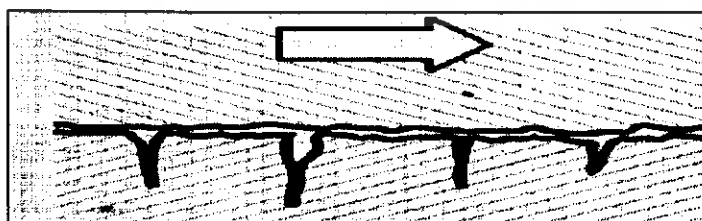
รูปที่ 2.5 แสดงการแพร่จากวัสดุเครื่องมือตัดไปยังวัสดุชิ้นงานหรือในทางกลับกัน

3. Oxidation Wear เมื่อมีการใช้สารหล่อเย็นจะเกิดการดึงเนื้อวัสดุออกไปตามน้ำหล่อเย็น



รูปที่ 2.6 แสดงการดึงเนื้อวัสดุออกไปตามน้ำหล่อเย็น

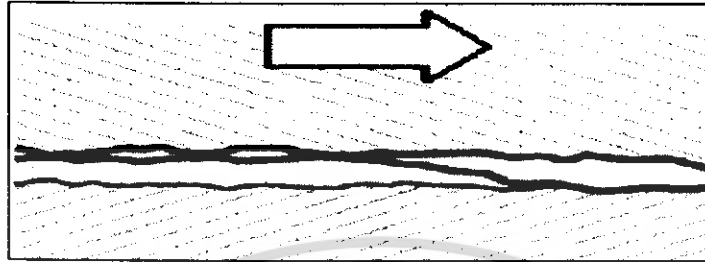
4. การสึกหรอจากความเสียหาย (Fatigue Wear) ความแข็งแรงของวัสดุจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้เค้นครากลดลงจากค่าของอุณหภูมิห้องแม้ว่าเศษวัสดุจะมีความเค้นครากต่ำกว่ามีดตัดก็ตาม แต่มันจะเกิด Work hardening ในขณะที่มันเคลื่อนที่ผ่านผิวคายเศษโลหะ ซึ่งเมื่อประกอบกับความเค้นเฉือนที่เกิดจากความเสียหายจึงมากพอที่จะทำให้การครากโดยการเฉือนขึ้นกับผิวคายเศษโลหะ ซึ่งก็จะทำให้เกิดการสึกหรอเกิดขึ้น ดังนั้นหากอุณหภูมิของการตัดเพิ่มขึ้นก็มักจะมีผลให้เกิดการสึกหรอในกรณีนี้มากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 2.7 แสดงการสึกหรอเกิดขึ้นจากความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การพอกตัวที่คมตัด (Adhesion Wear) การที่มีเศษวัสดุมาพอกตัวที่คมตัด เป็นอีกสาเหตุที่สำคัญ เนื่องจากเมื่อเศษวัสดุเหล่านี้หลุดออกมาจะมีส่วนของวัสดุเครื่องมือตัดในบริเวณผิวสัมผัสหลุดตามออกมาด้วย ซึ่งเศษวัสดุพอกตัวนี้มีความแข็งแรงสูงจึงทำให้เกิดการสึกหรอตามข้อ 1 อีกด้วย



รูปที่ 2.8 แสดงเศษวัสดุมาพอกตัวที่คมตัด

ชนิดของการเกิดการสึกหรอบนคมตัด

1. Flank Wear เป็นการสึกหรอที่เกิดบนคมตัดของชิ้นงานมีผลต่อการตัดเฉือนมาก เนื่องจากถ้าเกิดขึ้นมีขนาดใหญ่แล้วจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมากขณะทำการตัดทำให้การเฉือนเป็นไปค่อนข้างยาก โดยสาเหตุอาจเกิดจากการที่ใช้ความเร็วตัดในการตัดชิ้นงานที่สูง และความสามารถในการทนแรงเสียดสีของมีดตัดต่ำ ซึ่งสามารถทำการแก้ไขได้โดยการลดความเร็วตัด เลือกเกรดของมีดตัดที่ทนต่อแรงเสียดสีได้ดี หรืออาจได้โดยการเคลือบผิวมีดตัดด้วย อลูมิเนียมออกไซด์



รูปที่ 2.9 แสดงการสึกหรอที่เกิดบนคมตัดของชิ้นงาน

2. Crater Wear เป็นการสึกหรอที่เกิดบนผิวคาบเศษโลหะตรงบริเวณด้านบนของมีดตัดมีลักษณะเป็นหลุมลึกลงไปในตัวมีดตัด มีผลให้การคาบเศษโลหะเกิดการเสียดสีมากซึ่งเป็นสาเหตุมาจากการเกิดความร้อนสูงที่บริเวณตัดชิ้นงานและอาจเกิดจากการที่ขอบของชิ้นงานมีความแข็งแรงต่ำทำให้เกิดการแตกหักของปลายคมตัด วิธีการป้องกันสามารถทำได้โดยการเลือกมีดตัดเกรดที่มีอลูมิเนียมออกไซด์เคลือบที่ผิวของคมมีดตัดและเลือกใช้ความเร็วตัดที่ต่ำเพื่อลดความร้อนที่เกิดเนื่องจากการตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



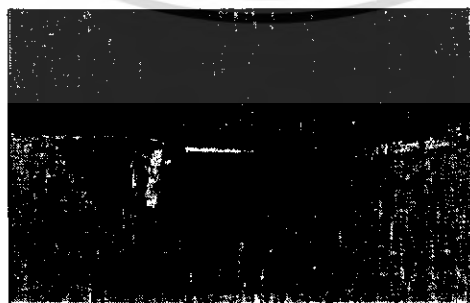
รูปที่ 2.10 แสดงการสึกหรอที่เกิดบนผิวคายเศษ โลหะทรงบริเวณด้านบนของมีดตัด

3. Plastic Deformation เป็นการสึกหรอที่เกิดที่บริเวณคมตัดของชิ้นงาน โดยเกิดการเปลี่ยนรูปที่คมตัดของมีดตัด ซึ่งเกิดการโค้งงอ ทำให้คมตัดไม่คม ซึ่งเกิดจากการที่ชิ้นงานที่อุณหภูมิการตัดสูงและมีแรงอัดสูงที่ปลายของคมมีดตัดสูงด้วย วิธีการป้องกันสามารถทำได้โดยการเลือกใช้มีดตัดที่มีเกรดที่ทนต่อการเกิด Plastic deformation และเกรดที่มีความแข็งแรงสูง และอีกทางหนึ่งก็คือการลดความเร็วตัดและลดอัตราป้อน



รูปที่ 2.11 แสดงการสึกหรอที่เกิดที่บริเวณคมตัดของชิ้นงาน

4. Notch Wear เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นที่บริเวณปลายคมตัดจะมีผลทำให้ชิ้นงานมีขนาดโตขึ้นได้ และมีผลทำให้ผิวของชิ้นงานไม่เรียบ และยังส่งผลให้คมตัดเกิดการแตกหักได้ วิธีการป้องกันสามารถทำได้โดยการลดความเร็วตัดและเลือกเกรดของมีดตัดที่มีลูมิเนียมออกไซด์เคลือบที่ผิว เพื่อให้ผิวของมีดตัดสามารถทนการเสียดสีได้สูงขึ้น



รูปที่ 2.12 แสดงการสึกหรอที่เกิดขึ้นที่บริเวณปลายคมตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของวัสดุใบมีดในการตัดวัสดุ เครื่องมือตัดต้องมีความแข็งแรงสูงกว่าวัสดุชิ้นงาน จึงทำให้เกิดการตัดได้ แต่ความแข็งแรงเพียงอย่างเดียวยังไม่พอที่จะพิจารณาว่าวัสดุเครื่องมือตัดนั้นมีคุณสมบัติดีกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีปัจจัยอีกหลายอย่างในขบวนการตัดเช่นความไม่สม่ำเสมอของแรงตัด ความร้อน รวมถึงราคาของวัสดุนั้นด้วย คุณสมบัติที่ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้ชนิดของวัสดุเครื่องมือตัดมีดังนี้

1. มีความแข็งแรงสูงกว่าความแข็งของวัสดุชิ้นงาน
2. มีความแข็งแรงสูง ควรมีความต้านทานแรงดึงสูง มีความต้านทานแรงกดสูงด้วย
3. รักษาหรือคงความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง
4. ทนทานต่อการสึกหรอ
5. มีความเหนียวดี สามารถทนต่อแรงกระแทกที่อาจเกิดขึ้นได้
6. ถัดคมตัดได้ง่าย
7. ไม่เปราะ หรือแตกร้าวได้ง่ายเมื่อถูกแรงกระแทก
8. ไม่ไวต่อการประลัยโดยการล้า
9. ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี
10. ขึ้นรูปง่าย
11. เมื่อเปรียบเทียบราคากับผลงานที่ได้ควรมีราคาถูก
12. หาซื้อได้ง่าย

อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะหาวัสดุที่มีคุณสมบัติครบถ้วนตามที่ได้กล่าวมาทุกประการ เช่น วัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมักจะเปราะ ไม่เหมาะในการตัดหยาบ และวัสดุที่ทนทานต่อการสึกหรอ จำเป็นที่จะต้องมีส่วนผสมของธาตุอื่นๆ (Alloy) และต้องมีการอบชุบที่ลึกลงทำให้มีราคาที่แพงขึ้น

2.1.5 วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด

วัสดุที่นำมาทำ Cutting tools ควร ที่จะความแข็งแรง ความเหนียว และความต้านทานการสึกหรอที่อุณหภูมิสูง วัสดุเครื่องมือตัดต่างๆ ไปต้องมีคุณสมบัติแปรตามวัสดุที่นำมาตัด วัสดุที่นำมาใช้ทำเครื่องมือตัดแบ่งได้ดังนี้

Tool steel Plain Carbon Steel มีคาร์บอนอยู่ 0.90-1.30% เมื่อชุบแข็งและ Temper มีความแข็งดี ความเหนียวปานกลาง และสามารถทำให้คมตัดแหลมได้ นำมาใช้เป็น Cutting Tools ตัดโลหะ

High Speed Steel พวกนี้เป็น High-Alloy Ateel มีความสามารถทนต่ออุณหภูมิขณะที่ตัดโลหะได้ 1,100°F คิดว่า Tool steel แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ Molybdenum และ Tungsten ชนิดแรกมี Mo สูงถึง 9% นอกนั้นก็ยังมี Alloying element tungsten และคาร์บอน 1.30% ชนิดที่ 2 Tungsten เรียกว่า 18-4-1 Type มี W 18% , Cr 4% , V 1% นอกจากนั้นมี Mo 8% วัสดุชนิดนี้ใช้กันกว้างขวาง เช่น ทำดอกสว่าน มีดกัด และมีดกสิ่ง เป็นต้น ใช้กับการตัดโลหะอัตราการผลิตสูง

Cast alloy ใช้กับ Cutting tool ที่ต้องการ Hardness สูง และทนต่อการสึกหรอได้ดี ใช้ตัดเหล็กเหนียว มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ ส่วนผสม 1-3% C , 10-20%W, 20-30%Cr และใช้ Cobalt เป็นตัวยึด วัสดุนี้ใช้ความเร็วตัดสูงกว่า HSS แต่เปราะกว่า ใช้ทำ Cutting Tool ประเภท Hard Facing , Die, Gauge, Cutter และ Cam

Cemented carbides วัสดุเหล่านี้ทำมาจาก Tungsten, Titanium หรือ Tantalum ใช้วิธี Powder metallurgy โดยมี Cobalt เป็นตัวยึด จะมี Carbide ของ Vanadium, Columbium, Chromium, Zirconium หรือ Molybdenum เต็มลงไปด้วย วิธีการทำโดยการนำเอาผงทั้งหมดมาอัดด้วยแรงอัด 30 ตัน / ตารางนิ้ว แล้วเผาที่อุณหภูมิ 2500-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2900 °F เวลา 1 ชั่วโมง คุณสมบัติของวัสดุนี้มีความแข็ง 70 RC แต่เปราะ Toughness ไม่ดี แรงดึงต่ำ แต่มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง

Ceramics เป็นวัสดุที่ใช้ Al_2O_3 ทำให้เป็นผงแล้วอัดเป็นชั้นๆด้วยแรงอัด 20-28 ตัน / ตารางนิ้ว อบที่อุณหภูมิ 1800 °F มีความเร็วตัดสูงกว่า Tungsten carbide 2-3 เท่า ไม่ต้องใช้สารหล่อเย็นก็ได้ อายุการใช้งานทนกว่า HSS และ WC ใช้ตัดโลหะที่ใช้เครื่องประเภทอัด โนมัต มีราคาแพง

Diamond เป็นวัสดุที่แข็ง ทำมาจากเพชร แต่เป็นเพชรที่ไม่มีคุณค่าในทางการนำไปเป็นเครื่องประดับ หรือเรียกว่า เพชรเทียม ประโยชน์ในการตัดโลหะ เช่น การคว้าน ต้องการความเที่ยงตรง ผิวเรียบ สามารถทดแทนงานกลึงได้เร็วกว่า HSS ประโยชน์ด้านอื่น ใช้ตกแต่งผิวเจียรนัย

2.1.6 สารหล่อเย็น

สารหล่อเย็นที่นำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมมีหลายชนิดด้วยกัน ที่จะกล่าวถึงในที่นี้จะเป็นชนิดที่นิยมใช้เท่านั้นคือ

1. Soluble Oils (Emulsion Soluble Oils)

เป็นน้ำมันหล่อเย็นประเภทหนึ่ง เมื่อนำมาผสมน้ำแล้วจะมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น Soluble Oils มีประโยชน์มาก ใช้ในวงการอุตสาหกรรมในงานที่เกี่ยวข้องกับการตัดเฉือนมาก ช่วยคายเศษโลหะ (Chip Bearing pressure) สะดวก ไม่ทำให้เครื่องมือเสียหายหรือสึกหรอเร็ว ส่วนมากจะใช้กับงานโลหะประเภทเหล็ก ยกเว้นเหล็กหล่อ ประการสำคัญคือหาง่ายและราคาถูก ส่วนมากน้ำมันหล่อเย็น Soluble Oils จะผสมน้ำยากันสนิมเข้าไปด้วยเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของผิวงาน เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ช่วยต่างๆ เมื่อนำเอามาผสมกับน้ำ ข้อดีของ Soluble Oils คือสามารถละลายรวมตัวกับน้ำได้ดีและยังคงคุณสมบัติเดิม ซึ่งต่างกับน้ำมันทั่วไป Soluble Oils บางครั้งจะเรียกกันว่าน้ำมันสนุ เพราะเมื่อผสมกับน้ำแล้วจะมีสีค่อนข้างขาว ขนาดของการผสมนั้นถ้าจางเกินไปจะทำให้เกิดการกัดกร่อนง่ายโดยทั่วไปจะผสมกันในอัตรา Soluble Oils 1 ส่วน ต่อ น้ำ 40 ส่วน โดยการค่อยๆเติมน้ำมันลงไปใต้น้ำที่เตรียมไว้

ข้อดีของ Soluble Oils คือ

1. ระบายความร้อนได้ดี
2. นิยมใช้มากที่สุด รู้จักมานาน
3. ราคาถูกเพราะใช้น้ำเป็นหลัก
4. ไม่ติดไฟ
5. ไม่มีกลิ่นเหม็น
6. ไม่เป็นพิษ แต่อาจจะทำให้ผิวหนังระคายเคืองได้
7. ใช้ได้กับงานทั่วไป ยกเว้นงานตัดยากเป็นพิเศษ หรืองานที่ทำปฏิกิริยากับน้ำหรือน้ำมัน เช่น ทองเหลือง

ข้อเสียของ Soluble Oils คือ

1. ไม่ช่วยในการหล่อลื่น มีคุณสมบัติการหล่อลื่นน้อยมาก
2. เกิดคราบบนผิวชิ้นงานบางชนิด
3. อาจถูกทำลายโดยแบคทีเรีย และ ราได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Mineral Oils

เป็นน้ำมันที่ได้จากการสกัดน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งประกอบด้วย Paraffin oils, Mineral Oils, และ Kerosene ซึ่งเป็นส่วนผสมของ Base stock สำหรับงาน Light machining operation และพวก Free machining steel เช่นพวก Ni, Cr และโลหะทั้งหลาย จะใช้น้ำมันชนิดนี้เป็นตัวระบายความร้อน แต่มีข้อจำกัดซึ่งต้องระวังอย่างยิ่งคือ จะเป็นสารไวไฟจุดติดไฟง่าย การใช้จึงต้องระวังเป็นพิเศษ

ข้อดีของ Mineral Oils คือ

1. หล่อลื่นให้ฝอยไหลได้ดี แต่ที่อุณหภูมิไม่สูงนัก
2. ป้องกันฝอยติดกับคมมีดได้ดี

ข้อเสียของ Mineral Oils คือ

1. ทดแรงตัดไม่ดี
2. จะติดไฟถ้าใช้ในอุณหภูมิเกินจุดวาบไฟ

3. Base Oil

เป็นน้ำมันที่ได้มาจากการผสมของน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ ผสมรวมกับ Lighter oil ส่วนมากใช้ในการหล่อ ระบายความร้อนของการกายเศษตัด

4. Miner lard Oil

เป็นน้ำมันที่เกิดจากการผสมของ Mineral Oils กับ Lard Oil เข้าด้วยกัน ทำให้มีคุณภาพในการหล่อลื่นดีขึ้น และ ราคาถูกลง อัตราส่วนของการผสมขึ้นอยู่กับการใช้งานในกรณีที่ทำกรเดือนทีละมากๆ จะผสม Lard Oil ประมาณ 10-40%

หน้าที่ของ Cutting Fluid

1. ช่วยระบายความร้อนในการตัด
2. ทำการหล่อลื่นตรงจุดที่ Chip สัมผัสกับ Tool face
3. ป้องกันการเกิดสนิมของผิวชิ้นงานสำเร็จ

นอกจากคุณสมบัติของการหล่อลื่นและหล่อเย็นแล้ว Cutting Fluid ควรมีคุณสมบัติเพิ่มเติมดังนี้

1. มีความทนทานต่อความร้อน และการตากทิ้งไว้เป็นเวลานานๆ เป็นเหตุให้ Oil เกิดการสลายตัวหรือ Oxides จนกลายเป็น Fatty acid อิสระซึ่งจะเป็นผลเสียต่องานและ Machine tool เมื่อสภาวะเหล่านี้เกิดขึ้นจะเป็นอุปสรรคต่อระบบหล่อเย็น
2. เมื่อใช้ Cutting Fluid ทาบริเวณที่มีความร้อนที่เกิดจากการตัดจะต้องไม่สลายตัวเป็นควันได้ง่าย ซึ่งสามารถลดปัญหานี้ได้โดยใช้น้ำมันที่มีจุดติดไฟสูง (ไม่ควรต่ำกว่า 350 °F)
3. Cutting Fluid ไม่ควรทำให้น้ำมันที่หล่อลื่นบนเครื่องจักรสกปรก
4. ไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะใด Cutting Fluid ต้องไม่เป็นอันตรายต่อผิวหนัง บาดแผลของผู้ใช้หรือคนรอบข้าง

เกณฑ์กำหนดอายุการใช้งานของมีด

มีศัพท์อยู่ 2 คำที่คล้ายกัน แต่ไม่ใช่คำๆเดียวกัน คืออายุใบมีด และอายุคมมีด ในกรณีที่ใบมีดเป็นชนิดที่สึกหรอหรือแตกหักแล้วลับใหม่ได้ เช่น ใบมีดเหล็กกล้าไฮสปีด จะนับอายุการใช้งานเริ่มต้นที่ศูนย์ เมื่อเริ่มการใช้งานหลังจากลับคมมีดแต่ละครั้ง ส่วนใบมีดอินเสิร์ท ที่เมื่อสึกหรอหรือแตกหักแล้วต้องเปลี่ยนทิ้งไปเลย และในกรณีที่คมมีดหลายคมในใบมีดเดียวกัน ต้องเปลี่ยนไปใช้คมตัดอื่นๆที่เหลืออยู่ อายุการใช้งานของมีดก็คือ อายุรวมของคมมีดแต่อย่างทุกคมนับจากการเริ่มต้นใช้งาน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง 62782 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยวัดอายุของมิด

1. เวลาในการตัดจริงจนคมมิดหมดสภาพการใช้งาน
2. เวลาทั้งหมดในการตัดจริงจนใบมิดหมดสภาพการใช้งาน
3. ความยาวของชิ้นงานที่ถูกตัดออก ไปตั้งแต่เริ่มตัดจนคมมิดหมดอายุ
4. ปริมาณของชิ้นงานที่ถูกตัดออก ไปตั้งแต่เริ่มตัดจนคมมิดหมดอายุ
5. จำนวนชิ้นส่วนที่ผลิต ได้ก่อนที่คมมิดจะหมดอายุ

เกณฑ์ตัดสินว่าคมมิดตัดหมดอายุ

หลักการ ใหญ่การตัดสินว่าคมมิดหมดอายุแล้ว คือการที่คมมิด ไม่สามารถตัดชิ้นงาน ให้เป็นชิ้นส่วนที่มีคุณภาพตามความต้องการ ได้ ซึ่งอาจจะหมายความว่าโดยหนึ่งดังต่อไปนี้

1. คมมิดแตกหักโดยสิ้นเชิง ใช้งานต่อไปไม่ได้
2. คมมิดเกิดการแตกร้าว หรือกะเทาะ
3. คมมิดสึกหรอมาก หมดสภาพการใช้งาน หรือใกล้จะแตกหักแล้ว
4. รอยแถบสีที่ผิวด้านหลังของมิดหรือผิวหลบของคมมิดเกินกว่าค่าที่ยอมรับ ได้
5. รอยลึกของของหลุมที่สึกหรือความกว้างของหลุมเกินกว่าค่าที่ยอมรับ ได้
6. ปริมาตร หรือ น้ำหนักรอยสึกมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับ ได้
7. ชิ้นส่วนที่ผลิตออกมา ขนาดผิด ไปกว่าค่าที่กำหนดเกินกว่าค่าที่ยอมรับ ได้

2.1.7 ความสมบูรณ์ของผิวหน้า

ขอบนอกสุดของวัตถุใดๆที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมจะเรียกว่าผิวหน้าและเมื่อทำการเปลี่ยนรูปผิวหน้า โดยใช้คมตัดที่มีประสิทธิภาพผิวหน้าที่เกิดขึ้น ใหม่คือผิวสำเร็จ ผิวหน้านี้ถ้าทำการขยายขึ้นแล้วตรวจสอบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับภูเขาที่ขรุขระมากมายในสภาพเช่นเดียวกับที่พบในองค์ประกอบขนาดของรอยต่างๆที่เกิดจากการกรัดของเครื่องมือตัด

ความสำคัญของผิวสำเร็จ ในเทคโนโลยีของปัจจุบันมีอิทธิพลต่อผู้บริโภครและวิศวกร โดยในกระบวนการ โดยในกระบวนการผลิตใดๆ ถ้าผลิตภัณฑ์ข้อมสูงขึ้นไปตามสภาพของผิวสำเร็จส่วนทางด้านวิศวกรรม นั้นพบว่าความล้า ความแข็ง ความแม่นยำของขนาดมิติและการถ่ายเทความร้อนนั้นจะตกอยู่ใต้อิทธิพลของผิวสำเร็จทั้งสิ้น

ความหยาบของผิวสำเร็จอาจวัด ได้โดยเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ และการมองเห็น โดยนอกจากวิธีการทั้งสองนี้แล้วอุปกรณ์วัดความหยาบยังสามารถทำได้ด้วยหลักการทางแสงซึ่งใช้แสงตัดวิ่งเข้าหาผิวหน้า โดยปราศจากการสัมผัสหรือขูดขีดที่ต้องเกิดขึ้น

2.1.8 ความสำคัญของความหยาบผิว

ความสำคัญของความหยาบผิวมีส่วนสำคัญต่อคุณภาพสูงสุดและความน่าเชื่อถือสูงสุดของผลิตภัณฑ์ เมื่อนำไปใช้งานผลของความเรียบของผิวงานสำเร็จมีส่วนสำคัญโดยค่าความเรียบผิว (Surface Roughness) จะมีผล หรือสามารถวิเคราะห์หาผลของกรรมวิธีการผลิต เช่น การควบคุมสภาพแวดล้อม ผลของประสิทธิภาพการทำงาน มองผ่านชิ้นงานที่เข้าสู่หรือที่ผ่านการผลิตเสร็จสิ้น ความเหมาะสมของขบวนการผลิต ที่จะทำให้สภาพแวดล้อมการผลิตเหมาะสมต่องาน ซึ่ง ขนาดจริงแท้จริงของชิ้นงาน หลังจากชิ้นงานผ่านการใช้งานไป ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาหนึ่งค่าความเรียบผิวที่เหมาะสมและค่าคุณสมบัติของผิว (Surface Parameter) และวิธีการผลิตที่ถูกต้อง จะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง หรือไม่สูงเกินไป จากการผลิตแบบขั้นตอนการผลิตที่เหมาะสมถูกต้อง เนื่องจากการมีความเข้าใจอย่างถูกต้องต่อรูปทรงแบบต่างๆของคุณสมบัติของผิวและวิธีการวัดผิว/วิเคราะห์จะทำให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกกำหนดค่าและวิธีการวัดความหยาบที่เหมาะสม ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ แต่จะทำให้เกิดขบวนการผลิตที่เหมาะสมและต้นทุนการผลิตที่ถูกต้อง

การพัฒนาของเทคโนโลยีสมัยใหม่ไม่ได้ต้องการเฉพาะการควบคุมปรับปรุงความละเอียดเพียงตรงเท่านั้น แต่ต้องการปรับปรุงความหยาบ, ละเอียดของผิวหน้าบนชิ้นส่วนที่ถูกใช้ทั้งที่ทำงานและไม่ทำงาน มีปฏิภานการฐานอยู่ 3 ประการ ซึ่งเป็นตัวที่ทำหน้าที่ควบคุมความหยาบ, ละเอียดของผิวของผิวมีความสำคัญซึ่งก็คือ อายุการล้า คุณสมบัติการทนทานและการสึกหรอ

1. อายุการล้าตัว (Fatigue Life) ถ้าชิ้นส่วนชิ้นหนึ่งเป็นส่วนที่ได้รับความเครียดย้อนกลับซ้ำๆ กัน มันก็จะเกิดการล้าตัวขึ้นและอายุของมันก็จะสั้นกว่าชิ้นงานที่ได้รับน้ำหนักคงที่เท่ากัน จำนวนของความเครียดย้อนกลับที่มันสามารถต้านทานต่อความเครียดที่ให้ไปจะถูกรู้จักว่า อายุการล้าตัว การแตกหักที่เกิดจากการล้าตัวจะพบเห็นอยู่เสมอว่าเริ่มต้นที่มุมที่แหลมคมก่อนที่ซึ่งเกิดความเครียดรวมขึ้น ดังเช่น ตรงส่วนของผิวหน้าที่ไม่เรียบแม้ว่าจะเป็ผิวหน้าที่ไม่ได้ทำงานก็ตาม
2. คุณสมบัติการทนทาน (Bearing Properties) ผิวหน้าที่ดีเลิศทุกประการ เช่น ไม่มีสิ่งบกพร่องใดๆ เลย และมีความเรียบอย่างดีมากไม่ได้มีการทนทานที่ดี ในความเป็นจริงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขาดต่อการบำรุงรักษาแผ่นบางๆ ของการหล่อลื่น ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการหล่อลื่น ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการสัมผัสกันระหว่างโลหะกับโลหะ
3. การสึกหรอ (Wear) กฎที่รู้จักกันดีของทางฟิสิกส์ก็คือความเสียดทาน (Friction) ไม่ได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัส อย่างไรก็ตามอัตราการสึกหรอจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ในการสัมผัส เมื่อพื้นที่มากขึ้นน้ำหนักน้อยต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นอัตราการสึกหรอก็น้อยด้วย

2.1.9 การเกิดสภาพของผิว

ภายใต้ขบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร เช่น กลึง กัด ไส บริเวณผิวงานสำเร็จที่มองเห็นและสัมผัสได้นั้นจะเป็นแหล่งที่รวมและสามารถบ่งบอกผลจากแหล่งกำเนิดหลายอย่างปะปนกันอยู่ โดยจะทราบได้โดยทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผิว (Surface Analysis)

ความหยาบผิว (Surface Roughness) จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุดิบถูกกระทำด้วยเครื่องจักร (Machining) โดยจะเกิดรอยทางเดินของเครื่องมือตัด (Tool) บริเวณเนื้อชิ้นงาน หากได้มีการขยายบริเวณพื้นผิวขึ้นมาจะพบรอยหยาบที่เกิดจากทางเดินของเครื่องมือกำจัดเนื้อวัสดุซึ่งบ่งบอกส่วนประกอบความหยาบผิว (Roughness component) โดยปัจจัยที่ทำให้เกิด ความหยาบผิว (Surface Roughness) ได้แก่ ความลึกในการตัด (Depth of Cut) และค่าความเร็วรอบ (Speed) และค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed) ของเครื่องมือกำจัดเนื้อวัสดุและการสึกหรอของเครื่องมือตัด

2.2 ทฤษฎีด้านปฏิบัติงานกลึง

2.2.1 เครื่องกลึง

เครื่องกลึงเป็นเครื่องกลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีความสำคัญมากในงานอุตสาหกรรม เครื่องกลึงเป็นเครื่องมือกลที่ใช้กลึงงานรูปทรงกระบอก โดยการจับและหมุนงานด้วยหัวจับที่ติดอยู่กับแท่นหัวเครื่อง จากนั้นการป้อนเครื่องมือตัดที่ติดอยู่กับแท่นจับเครื่องมือตัดเคลื่อนเข้ามาหาชิ้นงานตามแนวรัศมี จนได้ความลึกที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมแล้วจึงเลื่อนเครื่องมือตัดไปตามยาวของชิ้นงาน ชิ้นงานที่ไม่ต้องการจะถูกตัดออกในรูปของเศษโลหะ เหลือเฉพาะส่วนที่ต้องการไว้ตามแบบรูปร่าง และขนาดที่ต้องการ

งานกลึง คือ การตัดโลหะโดยให้ชิ้นงาน (Work piece) หมุนรอบตัวเอง โดยมีคดลึงเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงานการกลึงมีสองลักษณะใหญ่คือ

- การกลึงปาดหน้า คือ การตัดโลหะโดยให้คดลึงเคลื่อนที่ตามแนวขวาง (Across the work)
- การกลึงปอก คือ การตัดโลหะโดยให้คดลึงเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานไปตามแนวนานกับแนวแกนของ

ชิ้นงาน

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการของการกลึงปอกคือ

1. อัตราป้อน (Feed)
2. ความเร็วตัด (Cutting Speed)
3. ความลึกของการตัด (Depth of Cut)
4. มีคดลึง (Cutting Tool)
5. ชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Work piece)

2.2.2 อัตราป้อนและความลึกของการตัด

อัตราป้อน (Feed) หมายถึง ระยะทางการเคลื่อนป้อนของมีดไปตามความยาวของชิ้นงาน ในแต่ละรอบของการหมุนของเพลลาของเครื่องหรือการป้อนตัด อาจพิจารณาจากความหนาของเศษตัด (Chips) การป้อนตัด 0.5 มม. หมายถึง มีคดลึงเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 0.5 มม. ตามความยาวของชิ้นงานขณะที่ชิ้นงานหมุน 1 รอบ

การกลึงหยาบ ใช้อัตราป้อนที่สูง มีคดลึงชิ้นงาน ได้ปริมาณเศษมากผิวงานออกมาไม่เรียบ

การกลึงละเอียด อัตราป้อนที่น้อย ทำให้ผิวงานเรียบ ส่วนมากจะใช้กลึงในขั้นสุดท้ายจะได้ผิวเรียบและขนาดถูกต้องในทางปฏิบัติที่ดีที่สุด

การเลือกใช้ความลึกของการตัดปานกลางขณะทำการป้อนตัดหนักๆและใช้ความเร็วตัดให้ถูกต้อง เมื่อกลึงงานหยาบ ถ้าต้องการให้กลึงงานผิวเรียบในขั้นสุดท้ายให้เพิ่มความเร็วตัดมากขึ้น การป้อนกินลึกลดลงพร้อมกับให้อัตราการป้อนตัดละเอียดให้สัมพันธ์กัน ในกรณีที่ใช้ความลึกในการตัดมาก และอัตราการป้อนตัดน้อยๆจะคิดว่าการใช้ความลึกในการตัดเท่ากับอัตราป้อนตัด ถึงแม้ว่าอัตราการไหลของเศษโลหะจะเท่ากัน

ผลกระทบของอัตราป้อนและความลึกของการตัด

อัตราป้อนและความลึกของการตัดมีผลต่อแรงตัดเฉือนและอุณหภูมิในการทำงาน โดยจะเกิดแรงกระทำกับมีคดลึงและเกิดอุณหภูมิในการตัดเฉือนสูงถ้าใช้อัตราป้อนตัดและความลึกของการตัดสูงๆ นอกจากนี้ยังส่งผลให้มีคดลึงเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว ซึ่งถ้าต้องการให้อายุการใช้งานของมีคดลึงสูงขึ้น ก็จะต้องเลือกใช้ความเร็วตัดต่ำๆ การเพิ่มอัตราการป้อนจะส่งผลให้ต้องลดค่าความเร็วตัด มากกว่าการเพิ่มความลึกของการตัด (เพื่ออายุการใช้งานของมีคดลึงที่) นั่นคือการเพิ่มอัตราการป้อนจะทำให้มีคดลึงสึกหรอได้มากกว่า การเพิ่มความลึกของการตัด ซึ่งในการพิจารณาจะต้องพิจารณาถึงแรงที่กระทำบนมีคดลึง ต่อความยาวสันคมตัด สำหรับในกรณีนี้เมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัด ความยาวสันคมตัดที่รับแรงกระทำก็ยังคงเท่าเดิม แต่ความหนาของเศษตัดจะเพิ่มขึ้น

ความลึกในการตัด (Depth of cut)

ความลึกในการตัด (Depth of Cut) หมายถึง ระยะทางที่เรाप้อนมีดให้ลึกเข้าไปในเนื้องาน ในแต่ละเที่ยวในการกลึงหยาบก็จะทำการป้อนลึกมากกว่าการกลึงละเอียดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความลึกในการตัดทำให้เศษโลหะไหลออกมา ทุกครั้งที่ทำการกลึงหยาบในการตั้งความลึกในการตัด และอัตราการป้อนตัด จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับได้ของมีดตัด และเครื่องที่จะทนได้หลักเกณฑ์การพิจารณาเลือกใช้ความลึกในการตัดสำหรับงานปกติทั่วไปควรพิจารณาดังนี้

1. ขนาดความโตของชิ้นงานก่อนทำการตัดเฉือน (โตกว่าขนาดงานสำเร็จ) ควรจะโตกว่าประมาณ 3.18 มม.

2. ถ้าคำนวณความเร็วรอบอยู่ในช่วงกลางของค่าสองค่า ให้เลือกใช้ความเร็วรอบในขั้นต่ำ ถ้าหากสภาพของเครื่อง มีดกลึง และชิ้นงานเหมาะสม อาจจะเลือกใช้ความเร็วรอบในขั้นสูงได้ แต่ถ้าความเร็วรอบที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าในช่วงสูง ให้เลือกความเร็วรอบในช่วงสูงได้

3. ความลึกในการกลึงหยาบควรป้อนลึกและหยาบมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เหลือไว้ประมาณ 0.76 มม. สำหรับขนาดความโตของชิ้นงาน ก่อนจะกลึงผิวสุดท้าย

4. การกลึงเหล็กหล่อ หรือ โลหะอื่นๆซึ่งผิวรอบๆชิ้นงานจะเป็นสะเก็ดความลึกในการกลึงครั้งแรก การป้อนมีดกินลึกจะต้องให้คมตัดของมีดกลึงตัดให้ลึกพอ ที่จะให้ส่วนผิวเปลือกแข็งหลุดออกไปให้หมด เพราะผิวเปลือกแข็งนี้จะทำให้มีดสึกหรือเร็ว

อัตราป้อน (Feed) หมายถึงระยะทางที่มีดกลึงเคลื่อนที่ไปตามความยาวของชิ้นงานเมื่องานหมุน ไปหนึ่งรอบ

การป้อนลึกในการตัดและอัตราการป้อนจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วตัด เพราะมีดกลึงจะมีความสามารถในการตัดงานให้หลุดออกจากชิ้นงาน เป็นจำนวนหนึ่งนาที อาจจะเป็นลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที หรือ ลูกบาศก์นิ้วต่อนาที ตามแต่ชนิด รูปร่างและการลับมุมต่างๆ ของมีดกลึง ดังนั้นถ้าเราเพิ่มอย่างหนึ่งอย่างใดในสามอย่างนี้ เราก็จะต้องลดอย่างใดอย่างหนึ่งที่เหลือ หรือทั้งสองอย่างที่เหลือลง เพื่อให้ปริมาณการตัดโลหะในหนึ่งนาที มีจำนวนเท่ากับ ที่มีดกลึงสามารถจะกลึงได้ในหนึ่งนาที

2.2.3 ความเร็วตัด

ในขณะที่กำลังกลึงงาน ความเร็วที่เกิดจากผิวงานหมุนผ่านคมมีดนั้น เราเรียกว่า ความเร็วตัด ซึ่งจะมีหน่วยเป็น ฟุตต่อนาที ในระบบอังกฤษ หรือเป็น เมตรต่อนาทีในระบบเมตริก การใช้ความเร็วตัดต่ำๆ อาจทำให้เกิดความร้อนน้อย มีดกลึงจะทนทานดี แต่เสียเวลามาก และผิวงาน ไม่เรียบเท่าที่ควร เนื่องจาก ผิวงานที่ถูกตัดออกมีเวลาที่จะตั้งผิวงานที่เหลืออยู่ให้ยืดออก เกิดเป็นขุยขึ้น การใช้ความเร็วตัดที่สูงเกินไป จะเกิดความร้อนมา มีดอาจจะเสียเร็วกว่าที่ควร จะเป็น ผิวงานก็จะ ไม่เรียบ และเสียเวลาแก้ไขอีกด้วย ความเร็วตัดที่เหมาะสมนั้น จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 2 อย่างคือ ชนิดของวัสดุที่เป็นชิ้นงาน และชนิดของวัสดุที่เป็นมีดกลึง ว่าจะมีความแข็งแรงทนทานมากน้อยเพียงใด ได้มีผู้ทำการทดลอง ใช้มีดกลึงแต่ละชนิด ทำการกลึงวัสดุแต่ละอย่าง ด้านความเร็วตัดที่ต่างกัน เพื่อหาความเร็วตัดที่เหมาะสม คือความเร็วที่เร็วที่สุด และได้ผลงานที่ดีที่สุดแล้วบันทึกไว้เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้นำไปใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติ แต่ยังคงต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่นๆ อีกบ้าง เช่น สภาพของเครื่องกลึง การหล่อเย็น ความมั่นคงในการจัดชิ้นงาน ความเร็วตัดที่เหมาะสมดังกล่าว จะหาได้จากหนังสือตำราช่างกล โรงงานทุกเล่มอาจจะแตกต่างกันไปบ้าง เพราะคุณสมบัติของมีดกลึงไม่เท่ากัน สภาพเครื่องไม่เหมือนกันทีเดียว และการตัดสินใจความเร็วเท่าใดเหมาะสม อาจจะ ไม่เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตาม ความเร็วตัดของแต่ละเล่ม จะไปทำนองเดียวกัน และใกล้เคียงกัน หลักเกณฑ์การเลือกใช้ความเร็วตัดมีดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด (Cutting Tools) ที่ทำมาจากเหล็กความเร็วสูง (High Speed Steel) สามารถใช้ความเร็วตัดเป็น 2 เท่า ของความเร็วตัดของมีดที่ทำมาจากวัสดุเหล็กคาร์บอน ส่วนวัสดุคมตัดที่มีส่วนผสมพิเศษออกไปสามารถใช้ความเร็วตัดได้สูงกว่าเหล็กความเร็วสูง

2. ชนิดของวัสดุ (Material) ที่จะนำมาทำการตัดเฉือน โดยทั่วไปวัสดุงานที่แข็งมากจะใช้ความเร็วตัดช้ากว่าวัสดุที่อ่อนกว่า

3. รูปร่างของคมตัด (Form of Cutting Tool) มีผลต่อการทำงานมาก เช่น มีดตัดงานขนาดจะใช้ความเร็วรอบต่ำกว่ามีดกลึงปอกผิว

4. ความลึกในการตัด (Depth of Cut) ถ้าป้อนตัดลึกจะใช้ความเร็วรอบน้อยกว่าป้อนตื้น

5. อัตราป้อน (Rate of Feed) ในการป้อนตัดงานหยาบ เช่น อัตราป้อน 3 มม. ความเร็วที่ใช้ในการตัดจะต่ำกว่าการป้อนตัดขั้นสุดท้าย เช่น อัตราป้อนตัด 0.13 มม. เป็นต้น จะใช้ความเร็วรอบได้สูง

6. การระบายความร้อน (Cutting Lubricant) ความเร็วตัดของวัสดุบางชนิดอาจเพิ่มให้สูงขึ้นได้เมื่อมีการระบายความร้อนที่ถูกต้อง ซึ่งสารระบายความร้อนนี้จะช่วยรักษาอุณหภูมิของคมตัดไม่ให้ร้อนสูงเกินไปขณะทำงาน

7. การจับงานให้มั่นคงแข็งแรง (Rigidity of The Work) ในกรณีงานที่ถูกจับด้วยหัวจับ โผล่ออกมาสั้นๆ จะใช้ความเร็วได้สูงกว่างานที่ถูกจับโผล่ออกมายาวๆ

8. ความสามารถของสภาพเครื่อง เครื่องที่แข็งแรงมีกำลังสูง สามารถใช้ความเร็วตัดได้สูง อย่างไรก็ตามอย่าใช้สูงจนคมตัดไหม้

กฎทั่วไปในการใช้ความเร็วตัด และอัตราป้อน

- ถ้าอัตราป้อน (มม./รอบ) เพิ่ม ความเร็วรอบ (รอบ/นาที) ต้องลดลงเมื่อความลึกของการตัดคงที่
- ถ้าความเร็วรอบเพิ่ม อัตราป้อนต้องลดลง เมื่อความลึกของการตัดคงที่
- ถ้าความลึกในการตัดเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบต้องลดลงเมื่ออัตราป้อนคงที่

ผลกระทบของความเร็วตัดที่มีต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง (Effect of Cutting Speed)

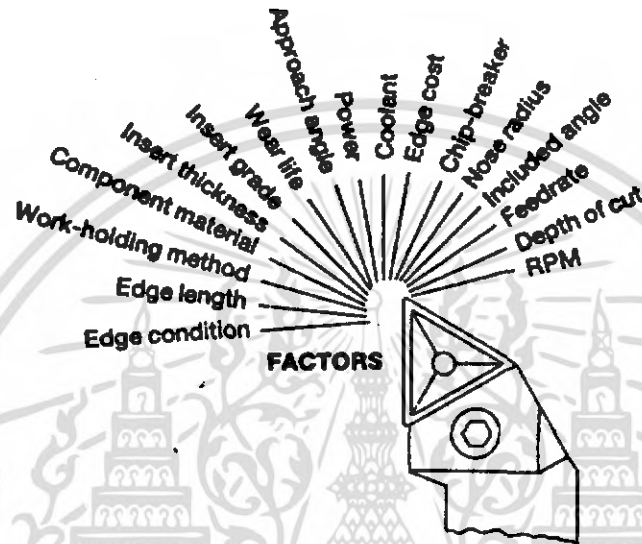
ในการตัดเฉือนชิ้นงาน ถ้าใช้ความเร็วตัดที่ไม่เหมาะสมกับสภาพเงื่อนไขของงานซึ่งได้แก่ วัสดุงาน วัสดุมีด ขนาดของชิ้นงาน ฯลฯ ก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานเพิ่มขึ้นได้ เช่นถ้าใช้ความเร็วตัดสูงเกินไปก็จะทำให้มีดกลึงสึกหรอได้เร็วกว่าปกติ นั่นก็คืออายุการใช้งานของมีดกลึงสั้นลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่จะต้องลับมีดบ่อยๆ ทำให้เสียเวลาในการทำงาน คือเสียเวลาในการลับมีด และเสียเวลาในการติดตั้งมีดใหม่อีกด้วย ซึ่งเป็นการลดความสามารถ และจำนวนผลิตชิ้นงาน เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการทำงานโดยใช่เหตุ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดและอายุการใช้งานของมีดกลึงนั้น สามารถอธิบายได้ดังนี้ ขณะที่ใช้ความเร็วตัดต่ำๆ การสึกหรอของมีดจะเป็นไปอย่างช้าๆ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิจากการเสียดสี ระหว่างมีดกลึงกับชิ้นงานจะมีค่าต่ำ แต่ถ้าใช้ความเร็วตัดสูงขึ้นความร้อนระหว่างผิวมีดกลึงกับชิ้นงาน และเศษตัดจะเกิดมากขึ้น ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการสึกหรอที่บริเวณผิวของมีดกลึงกับชิ้นงานที่เสียดสีกัน ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของมีดกลึงสั้นลง

2.2.4 มีดกลึง

คือเครื่องมือที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานให้เป็นรูปร่างต่างๆ ในกระบวนการกลึง มีดกลึงเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญมากสุด ในการปฏิบัติงานกับเครื่องกลึง เพราะมันจะเป็นตัวที่จะไปตัดเนื้อของชิ้นงานออก ชิ้นงานที่เอ็กได้จากเครื่องกลึง จะเรียบถูกต้อง ประหยัดเวลา และแรงงานเพียงใด ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของมีดกลึง การคำนวณว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของมีดกลึงขึ้นอยู่กับ วัสดุที่ใช้ทำมีดกลึงว่า มีความแข็ง ทนความร้อน ทนต่อการเสียดสี ไม่สึกหรอ ง่าย ไม่เปราะ ทนต่อแรงกระแทกกระเทือนได้ดี มีรูปร่างลักษณะที่เหมาะสมกับงานที่จะกลึง มีการลับมุมต่างๆ ที่เหมาะสมกับวัสดุชิ้นงานแต่ละชนิด เพื่อให้ความคม และความทนทาน อย่างเต็มที่ มีดกลึงที่ไม่เหมาะสม จะต้องเสียเวลาในการกลึงงาน งานไม่เรียบร้อยถอดออกมาตีบป่อๆ มีฉะนั้นจะกลึงงานไม่เข้า เกิดการเสียดสี หรือคั่น ชิ้นงานให้โค้งเกิดการคดงอ งัดหักได้ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจะต้อง เลือกวัสดุที่เหมาะสม และลับให้มีรูปร่าง มีมุมต่างๆ ให้เหมาะสมกับร่างของชิ้นงานและชนิดของวัสดุที่จะถูกกลึงด้วย



รูปที่ 2.13 แสดงปัจจัยที่สำคัญทั้งหมดที่ใช้ในงานกลึงปอกด้วยมีดกลึงอินเสิร์ท

ในการกลึงด้วยมีดอินเสิร์ทที่จะต้องประกอบด้วยปัจจัยหลัก 5 ปัจจัย ที่จะทำให้เกิดกระบวนการในการกลึงปอก คือ อัตราป้อน (Feed Rate), ความเร็วตัด (Cutting Speed), ระยะป้อนลึก (Depth of Cut), มีดกลึง (Cutting Tool) และชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Work piece) นอกจากนี้แล้วในการกลึงปอกด้วยมีดกลึงอินเสิร์ทยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกที่สำคัญซึ่งควรนำมาพิจารณา ปัจจัยที่สำคัญทั้งหมดที่ใช้ในงานกลึงปอกด้วยมีดกลึงอินเสิร์ทที่แสดงในรูปที่ 2.15 มีดังต่อไปนี้

- เงื่อนไขของคมตัด (Edge Condition)
- ความยาวของคมตัด (Edge Length)
- วิธีการจับยึดชิ้นงาน (Work Holding Method)
- ส่วนประกอบของวัสดุ (Component Material)
- ความหนาของมีดมีด (Insert Thickness)
- เกรดของมีดมีด (Insert Grade)
- อายุของการสึกหรอ (Wear Lift)
- มุมตัด (Approach Angle)
- กำลัง (Power)
- น้ำหล่อเย็น (Coolant)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต้นทุนของคมตัด (Edge Cost)
- การหักเศษ (Chip Breaker)
- รัศมีปลายมีด (Nose Radius)
- มุมประกอบของใบมีดกึ่ง (Included Angle)
- อัตราป้อน (Feed)
- ระยะป้อนลึก (Depth of Cut)
- ความเร็วรอบ (RPM)

การคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องกลึง

ความเร็วตัดที่ได้จากตาราง มีหน่วยเป็นระยะทางใน 1 นาที คือ เป็นฟุตต่อนาที หรือเมตรต่อนาที ผู้ปฏิบัติงานจะต้องนำค่าความเร็วตัด มาคำนวณรวมกับความโตของงานที่จะกลึง เพื่อหาความเร็วรอบของเครื่องกลึง

ในขณะที่มีดกลึงกำลังตัดงาน ความเร็วตัดที่เกิดขึ้นจะเท่ากับเส้นรอบวงของชิ้นงานคูณความเร็วรอบของชิ้นงานหรือความเร็วรอบของเครื่องกลึง เช่น เส้นรอบวงของงานยาว 1 ฟุต งานจะหมุนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที จากความจริงนี้ สามารถนำมาเป็นสูตรสำเร็จ เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องกลึงระบบเมตริก

ในการคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องกลึงในระบบเมตริก

ความเร็วตัด (C.S.) = เส้นรอบวง (πD) x จำนวนรอบต่อนาที (rpm.)

$$C.S. = \pi D \times \text{rpm.}$$

สมการที่ 2.5

$$\text{rpm.} = \frac{C.S.}{\pi D}$$

แต่เนื่องจากในระบบเมตริก ความเร็วตัดมีหน่วยเป็น เมตรต่อนาที ส่วนความโตของงานวัดเป็น มิลลิเมตร จึงต้องทำให้เป็นหน่วย มิลลิเมตรต่อนาที

$$\text{rpm.} = \frac{1000 \times C.S.}{\pi D}$$

rpm. = ความเร็วรอบของเครื่องกลึง

C.S. = ความเร็วตัดที่มีหน่วยเป็น (เมตร ต่อ นาที)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน

π = 3.14 (ค่าประมาณ)

2.3 ทฤษฎีทางสถิติที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูล

การใช้หลักทางสถิติในการทดลอง

การใช้หลักทางสถิติในการทดลองนั้นผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจในประเด็นต่างๆดังต่อไปนี้

1. ผู้ทำการทดลอง ต้องมีความรู้เกี่ยวกับงานในสาขาที่จะทำการทดลอง โดยใช้วิธีการทางสถิติในการพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้น

2. ผู้ทำการทดลอง ควรเลือกการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ที่ง่ายและไม่ซับซ้อน

3. ผู้ทำการทดลองควรเข้าใจความแตกต่างระหว่างนัยสำคัญในทางปฏิบัติและนัยสำคัญทางสถิติ

เพราะว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดลองซึ่งเรียกว่าความแตกต่างทางด้านสถิตินั้นไม่สามารถประกันได้ว่ามีความแตกต่างมากเพียงพอที่จะใช้ในทางปฏิบัติและจะต้องคำนึงถึงต้นทุนว่าคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผู้ทำการทดลองควรทำการทดลองซ้ำๆ หลายครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าผลที่ได้ถูกต้อง

2.3.1 การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ

ความหมายของสมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐาน คือ ความเชื่อมั่นของบุคคลใดบุคคลหนึ่งหรือของกลุ่มบุคคลใดๆ หรืออาจกล่าวได้ว่า สมมติฐานเป็นสิ่งที่บุคคลหรือองค์กรคาดว่าจะเกิดขึ้น ความเชื่อหรือสิ่งที่คาดนั้นอาจเป็นจริงหรือไม่ก็ได้

ชนิดของสมมติฐาน

สมมติฐานแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

1. สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) หรือใช้สัญลักษณ์ H_0

2. สมมติฐานอื่นๆ (Alternative Hypothesis) ใช้สัญลักษณ์ H_1

สมมติฐานหลักที่ตั้งขึ้น เพื่อทดสอบว่าจะยอมรับหรือไม่ว่าเป็นจริง การปฏิเสธไม่ยอมรับสมมติฐานหลักก็คือการยอมรับสมมติฐานอื่นๆ ว่าเป็นจริง

ประเภทของสมมติฐาน สมมติฐานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. สมมติฐานเดี่ยว (Simple Hypothesis) คือ สมมติฐานประเภทที่กำหนดค่าเฉพาะของพารามิเตอร์เจาะจงลงไปว่ามีค่าเท่ากับเท่าใด

2. สมมติฐานรวม (Composite Hypothesis) คือ สมมติฐานประเภทที่มีค่าพารามิเตอร์หลายค่า

ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน

ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

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

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

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

การตั้งสมมติฐาน ในการออกแบบการทดลอง

การตั้งสมมติฐานในการออกแบบการทดลอง สามารถแบ่งเป็น 3 กรณี ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบการทดลองแบบผลกระทบกระทบคงที่ (Fixed Effect Model) จะทำการตรวจสอบว่า ปัจจัยต่างๆ มีผลกระทบต่อกระบวนการหรือไม่ สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังต่อไปนี้

H_0 : ปัจจัยไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการ

H_1 : ปัจจัยมีผลกระทบต่อกระบวนการ

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสัญลักษณ์ μ เมื่อ μ ค่าเฉลี่ยของปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_r$ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งคู่ (i,j)}$$

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสัญลักษณ์ τ เมื่อ τ คือค่าเฉลี่ยของปัจจัย

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_r = 0$$

$$H_1: \tau_i \neq 0; \text{ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งค่าหนึ่ง}$$

2. การออกแบบการทดลองแบบผลกระทบบแบบสุ่ม (Random Effects Model) จะทำการตรวจสอบว่าความแปรปรวน (σ^2_τ) จะมีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่ เพราะไม่สามารถหาค่าของอิทธิพล (Effect) ของระดับของปัจจัยที่เกิดขึ้นมาแน่นอน สามารถตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

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

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

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

2.3.2 แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล เป็นการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระบบ ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้นๆ จึงเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้ในการศึกษาถึงผลของปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไปตัวอย่างเช่น กรณี 3 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย 2 ระดับ ปัจจัย B ประกอบด้วย 2 ระดับและปัจจัย C ประกอบด้วย 2 ระดับในการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จะได้ผลการออกมาเท่ากับ 2^3 และเมื่อทำซ้ำ 3 ครั้งจะได้การทดลองทั้งหมด คือ $2 \times 2 \times 2 \times 3 = 24$ การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล จึงกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ ซึ่งกันและกัน

2.3.3 หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นเป็นวิธีทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 3 ประชากรขึ้นไป ซึ่งจะให้ผลดีและถูกต้องกว่าการจำค่าเฉลี่ยที่ต้องการเปรียบเทียบทีละคู่ โดยใช้ Z - test หรือ t - test เพราะถ้าทำการเปรียบเทียบทีละคู่จะทำให้โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เพิ่มขึ้นเมื่อมีการทดสอบหลายๆครั้งแทนที่จะทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพียงครั้งเดียว การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้สถิติ F ในการทดสอบ ซึ่งสถิติ F เป็นตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มว่าเท่ากันหรือแตกต่างกัน โดยที่หลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวนก็คือ การพิจารณาความแปรปรวนระหว่างกลุ่มกับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ถ้าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่าเท่ากับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ก็จะส่งผลว่าค่าเฉลี่ยแต่ละประชากรไม่แตกต่างกัน แต่ถ้ามีความแตกต่างกันนั้นคือ ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มจะมีค่ามากกว่าค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มก็จะส่งผลว่าค่าเฉลี่ยของประชากรแตกต่างกัน ซึ่งค่าเฉลี่ยของแต่ละประชากรแตกต่างกันมากเท่าไรก็ยิ่งส่งผลให้ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่ามากกว่าค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มเท่านั้น หรือก็คือทำให้สถิติ F ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มยิ่งมีค่ามากขึ้น สถิติ F ที่หาได้จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะคำนวณ ได้จากค่า Mean Square ซึ่งก็คือ ค่า Sum of Square หารด้วยค่า Degree of freedom ของตัวมันเอง โดยการคำนวณจากการใช้ค่า Mean Square ระหว่างกลุ่มหารด้วย Mean Square ภายในกลุ่ม หรือก็คือการเปรียบเทียบความแปรปรวนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากร 2 กลุ่ม นั่นเอง นอกจากนี้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ก็คือการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) กับข้อมูลตัวแปรอิสระ

$$Y_{ij} = \mu + x_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad \text{สมการที่ 2.6}$$

โดยที่ข้อมูลของตัวแปรตามนั้นจะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ข้อมูลจากมาตรวัดและแบบอัตราส่วน ในขณะที่ข้อมูลจากตัวแปรอิสระจะเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยสมการทางสถิติที่แสดงถึงความสัมพันธ์ ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์ถดถอย จะคล้ายกัน แต่ความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะต่างกับการวิเคราะห์ถดถอยตรงที่การวิเคราะห์ถดถอยจะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad \text{สมการที่ 2.7}$$

ดังนั้นการที่จะเลือกวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิเคราะห์ถดถอย หรือการวิเคราะห์ความแปรปรวนก็ จะขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพหรือข้อมูลเชิงปริมาณถ้าเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพแล้วก็มักจะสมการ วิเคราะห์ความแปรปรวน

จาก ความผันแปรทั้งหมด = ความผันแปรเนื่องจากปัจจัย + ความผันแปรโดยธรรมชาติของข้อมูลหรือ เขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้เป็น

$$SS_T = SS_{Tr} + SS_E \quad \text{สมการที่ 2.8}$$

โดยที่ SS_T คือ ผลบวกกำลังสองทั้งหมด

SS_{Tr} คือ ผลบวกกำลังสองเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัย

SS_E คือ ผลบวกกำลังสองเนื่องจากความผิดพลาดแบบสุ่ม

การวัดความผันแปรของข้อมูลในการทดลองนั้นจะใช้ตัวประมาณค่าของความแปรปรวน (Variance) ที่ ดีที่สุดคือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง (Mean Square: MS) โดยที่ค่า MS สามารถคำนวณได้จาก

$$MS = SS/DF \quad \text{สมการที่ 2.9}$$

เมื่อ

SS คือ ผลบวกกำลังสอง (Sum of Square)

DF คือ ชั้นของความอิสระ

สถิติทดสอบ (Test Statistic) ที่นำมาเปรียบเทียบค่าความผันแปรคือ

$$F = MS_{Tr} / MS_E \quad \text{สมการที่ 2.10}$$

เมื่อ

MS_{Tr} คือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองของปัจจัย

MS_E คือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดแบบสุ่ม

เปรียบเทียบค่าสถิติสำหรับทดสอบ F กับค่า F_{α, v_1, v_2}

ถ้า $F \geq F_{\alpha, v_1, v_2}$ ปฏิเสธ H_0

ถ้า $F < F_{\alpha, v_1, v_2}$ ยอมรับ H_0

เมื่อ

α คือ ระดับนัยสำคัญ (Level of Significance)

v_1 คือ ชั้นของความอิสระของปัจจัย

v_2 คือ ชั้นของความอิสระของความผิดพลาดแบบสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.1 รูปแบบเชิงเส้นทางสถิติ

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นจำเป็นต้องสร้างรูปแบบเชิงเส้นทางสถิติ (Linear Statistical Model) ขึ้นด้วย ซึ่งรูปแบบเชิงเส้นทางสถิติจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแผนการออกแบบการทดลอง จะแสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มี 3 ปัจจัย รูปแบบเชิงเส้นคือ

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijkl} \quad \text{สมการที่ 2.11}$$

โดยที่

$$i = 1, 2, 3, \dots, a \text{ (ระดับของปัจจัย A)}$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, b \text{ (ระดับของปัจจัย B)}$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, c \text{ (ระดับของปัจจัย C)}$$

$$l = 1, 2, 3, \dots, n \text{ (จำนวนซ้ำ)}$$

และ

y_{ijkl} คือ ค่าตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตาม

μ คือ ค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นค่าคงที่

τ_i คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย A

β_j คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย B

γ_k คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย C

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

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

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

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

ϵ_{ijkl} คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของความผิดพลาดแบบสุ่ม

ลักษณะของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ความแปรปรวน

1. ข้อมูลจากการสำรวจ

ข้อมูลประเภทนี้อาจเป็นข้อมูลปฐมภูมิหรือข้อมูลทุติยภูมิก็ได้ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลทางด้านสังคมศาสตร์ ข้อมูลประเภทนี้ผู้เก็บรวบรวมจะกำหนดหรือควบคุมตัวแปรอิสระให้เป็นไปตามความต้องการได้ยาก ดังนั้นผลสรุปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากข้อมูลประเภทนี้จึงควรระมัดระวังให้ดี เพราะอาจได้ผลสรุปที่มีความน่าเชื่อถือได้น้อยก็ได้

2. ข้อมูลจากการทดลอง

ข้อมูลประเภทนี้เก็บรวบรวมได้จากการทำการทดลอง ซึ่งผู้ทดลองสามารถกำหนดตัวแปรอิสระและควบคุมการทดลองได้เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ดังนั้นผลสรุปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากข้อมูลประเภทนี้จึงมีความน่าเชื่อถือได้มากกว่าผลสรุปจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

2.3.4 หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม

ในการวิจัยเชิงทดลองซึ่งเป็นการวิจัยที่มีการจัดกระทำตัวแปรอิสระให้กับกลุ่มตัวอย่างนั้น จำเป็นต้องควบคุมตัวแปรอื่นๆที่ทำให้ผลการวิจัยคลาดเคลื่อนได้ วิธีการควบคุมตัวแปรดังกล่าวมี 2 วิธี คือ ควบคุมทางตรง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และควบคุมโดยอ้อม หรือควบคุมโดยวิธีการทางสถิติ การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ควบคุมตัวแปรดังกล่าว ตัวแปรที่ถูกควบคุมเรียกว่าตัวแปรร่วม ตัวแปรร่วมนี้จะมีหนึ่งตัว สองตัวหรือมากกว่าสองตัวก็ได้ ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมนั้นผู้วิจัยจะต้องวัดค่าของตัวแปร 2 ชนิด หนึ่งเป็นตัวแปรร่วม อีกชนิดหนึ่งคือตัวแปรตามหรือตัวแปรที่เป็นเกณฑ์หรือเรียกว่าตัว Variate ผู้วิจัยจะต้องพยายามพิจารณาว่ามีตัวแปรร่วมกี่ตัว อะไรบ้าง แล้วเลือกควบคุมตัวแปรร่วมหนึ่งตัวหรือมากกว่าหนึ่งตัวก็ได้ที่มีผลกระทบต่อผลการวิจัยมากที่สุด

การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนผสมกับการถดถอยในแนวเส้นตรง การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากตัวแปรตาม แต่การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมเป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้ว กล่าวคือ เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้ปรับร่วมกันระหว่างค่าที่วัดได้จากตัวแปรตามกับตัวแปรร่วมเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้ตัดผลอันเกิดจากความไม่เท่าเทียมกันในตอนเริ่มต้นก่อนทำการทดลองออกถ้าผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมพบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติจะต้องนำค่าเฉลี่ยที่ปรับแล้วไปทำการเปรียบเทียบพหุคูณ

2.3.4.1 รูปแบบเชิงเส้นทางสถิติ

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมนั้นจำเป็นต้องสร้างรูปแบบเชิงเส้นทางสถิติ (Linear Statistical Model) ขึ้นด้วย ซึ่งรูปแบบเชิงเส้นทางสถิติจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแผนการออกแบบการทดลอง จะแสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมกรณีที่มี 3 ปัจจัย รูปแบบเชิงเส้นคือ

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j(x_{ijk} - \bar{x}) + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijkl} \quad \text{สมการที่ 2.12}$$

โดยที่

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

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

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

$l = 1, 2, 3, \dots, n$ (จำนวนซ้ำ)

y_{ijkl} คือ ค่าตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตาม

μ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดซึ่งเป็นค่าคงที่

τ_i คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย A

β_j คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย B

$(x_{ijk} - \bar{x})$ คือ ค่าเบี่ยงเบนของตัวแปรปรวนร่วมที่ ijk จากค่าเฉลี่ยทั้งหมดของตัวแปรปรวนร่วม

γ_k คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย C

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

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

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

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

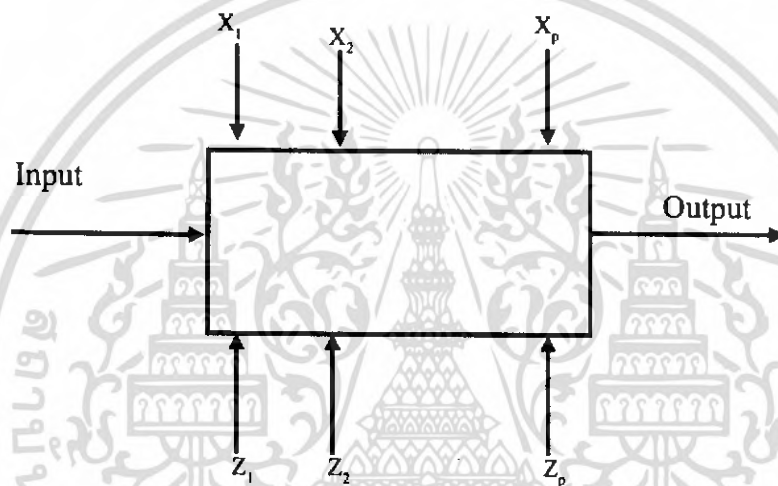
ϵ_{ijkl} คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของความผิดพลาดแบบสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 หลักการในการออกแบบการทดลอง

การทดลองถูกสร้างขึ้นด้วยผู้ทดลอง ซึ่งมาจากหลายสาขาอาชีพที่ต้องการคำตอบจากกระบวนการหรือระบบที่ผู้ทดลองมีความสนใจ การทดลองในที่นี้อาจหมายถึงการทดสอบหรือชุดของการทดสอบที่คาดหมายว่าเมื่อเปลี่ยนตัวแปรป้อนเข้าของกระบวนการหรือระบบ จะเป็นผลให้ตัวแปรตอบสนองมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ในงานทางด้านวิศวกรรมการทดลองมีบทบาทอย่างมากในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ การพัฒนากรรมวิธีการผลิตของกระบวนการและการปรับปรุงกระบวนการผลิต บางกรณีอาจต้องการพัฒนากระบวนการที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจากแหล่งภายนอกกระบวนการจะมีผลกระทบไม่มากต่อกระบวนการ

ตามปกติแล้วการทดลองถูกนำมาใช้เพื่อการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ (Process or System) ซึ่งทั้งกระบวนการและระบบสามารถที่จะแทนด้วยแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 รูปแบบจำลองของกระบวนการหรือระบบ

เราอาจจะมองได้ว่าภาพของกระบวนการเป็นการรวมกันของเครื่องจักร วิธีการ คน และทรัพยากรอื่นๆ และเมื่อมีสิ่งป้อนเข้ามา (Input) ต่อกับกระบวนการ กระบวนการจะถูกเปลี่ยนรูปออกมาได้เป็นผลลัพธ์ (Output) ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวอาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่ง

จากรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่ากระบวนการหรือระบบยังประกอบด้วยปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ X_1, X_2, \dots, X_p และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือ Z_1, Z_2, \dots, Z_p

ปัจจัยในการผลิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

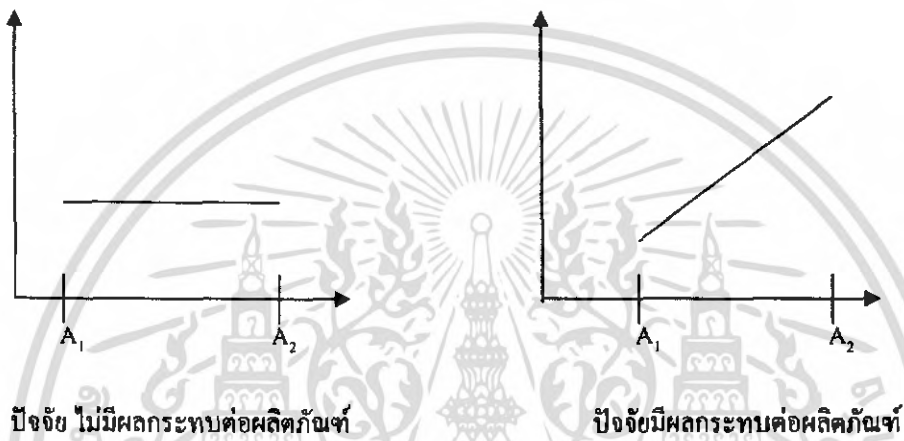
1. ปัจจัยที่ควบคุมได้

ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factor) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ ซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองเพราะโดยส่วนใหญ่ผู้ทำการทดลองต้องการกำหนดค่าต่างๆ ที่คิดว่ามีผลต่อคำตอบสนองที่เราสนใจ

2. ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีที่ไม่ทันสมัยหรือต้นทุนในการควบคุมสูงมาก ผู้ทดลองควรกำจัดปัจจัยลักษณะนี้เพื่อให้เปลี่ยนเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ จึงจะเป็นประโยชน์ต่อการทดลอง

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ให้ได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อปัจจัยได้หรือไม่ ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วทำการทดลองจากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง ตัวอย่างเช่น ให้ y เป็นค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน A เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งจะสรุปผลเมื่อได้กราฟ แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงอิทธิพลที่ไม่มีผลและอิทธิพลที่มีผลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์

การออกแบบการทดลองเป็นกระบวนการวางแผนของการทดลองซึ่งเป็นข้อมูลในการทดลองนั้นจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ จนได้ข้อมูลสรุปของวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ หลักการทางสถิติถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อทำความเข้าใจในข้อมูลและหาผลสรุปออกมานั้นเอง หลักในการออกแบบการทดลองมีดังนี้

2.4.1 การทำซ้ำ

การทำซ้ำ (Replication) คือ การทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูลเพื่อที่จะกำจัดผลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ออกไป การทำซ้ำมีความสำคัญ 2 ประการ เพื่อประมาณค่าความผิดพลาดของการทดลอง และเพื่อประมาณค่าเฉลี่ยนั้นให้มีความมั่นใจมากขึ้น

2.4.2 การทำแบบสุ่ม

การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือการให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวให้เท่ากันเพื่อกระจายผลของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ให้กับข้อมูลทุกระดับในการทดลองให้เท่ากันการทำแบบสุ่มสามารถแบ่งออกได้ 3 วิธีดังนี้

1. การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)

2. การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Block)

2.4.3 การบล็อก

การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ทำให้การทดลองนั้นมีความเที่ยงตรงมากขึ้น การบล็อกส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับวัสดุที่ใช้ในการทดลองนั้นไม่มีความสม่ำเสมอจึงจำเป็นต้องแยกเอาผลของวัสดุที่แตกต่างกันออกไปจะสนใจผลการทดลองที่เกิดขึ้นแต่ละบล็อกเท่านั้น

2.4.4 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

การใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเป็นสิ่งที่จำเป็น ผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจวิธีในการเก็บข้อมูลตลอดการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มา

2.4.4.1 การนิยามปัญหา

การนิยามปัญหา คือการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไรและต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิตซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเชื่อมโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2.4.4.2 การเลือกปัจจัยที่มีผลและระดับของปัจจัย

การเลือกปัจจัยที่มีผลและระดับของปัจจัย คือ การใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และแต่ละปัจจัยนั้นควรมีช่วยในการทดลองอย่างไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลองสุดท้ายเป็นการระบุที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed levels), แบบสุ่ม (Random levels) หรือแบบผสม (Mixed levels)

1. แบบกำหนด (Fixed Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดได้แน่นอน
2. แบบสุ่ม (Random Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน
3. แบบผสม (Mixed Levels) หมายถึงการผสมผสานของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้และแบบสุ่ม

2.4.4.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง

ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลองต้องมีความมั่นใจว่าเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการที่ทำการศึกษา ค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่จะใช้วัดเป็นตัวแปรตอบสนอง โดยทั่วไปจะเก็บข้อมูลของตัวแปรตอบสนองเพียงค่าเดียว แต่ก็มีบางการทดลองที่ทำการวัดค่าตัวแปรตอบสนองหลายค่า การวัดค่าจะต้องมีความแม่นยำทั้งความถูกต้องของเครื่องมือวัดด้วย

2.4.4.4 การเลือกแบบทดลอง

การเลือกแบบทดลอง จะต้องพิจารณาถึงขนาดของข้อมูลหรือจำนวนที่ใช้ในการทำซ้ำ ความเหมาะสมของลำดับที่ใช้ในการทดลอง ข้อจำกัดในการสุ่ม และการบล็อก ที่จำเป็นทั้งนี้ต้องนำความเกี่ยวข้องกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.5 การดำเนินการทดลอง

เมื่อทำการทดลอง คือทำการตรวจสอบการทดลองอย่างระมัดระวังว่ามีการดำเนินการตามที่วางไว้ข้อควรระวังในการทดลองคือความถูกต้องของกระบวนการเครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลองเพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดเพราะความผิดพลาดในขั้นตอนนี้มักจะทำให้การทดลองนั้นล้มเหลวได้

2.4.4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลักการทางสถิติถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลจากการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลจากการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลอาจใช้ซอฟต์แวร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วย ซึ่งปัจจุบันมีซอฟต์แวร์อยู่หลายประเภทที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง การตรวจสอบความเที่ยงพอของโมเดล เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เพื่อความเชื่อมั่นของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลอง จึงจำไว้ว่าวิธีทางสถิติไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลได้อย่างแน่นอนแต่เป็นเครื่องมือช่วยในแนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่น โดยระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผลการทดลองแต่อย่างไรก็ตามการใช้หลักทางสถิติช่วยให้การตัดสินใจเป็นนามธรรมมากยิ่งขึ้น

2.4.4.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เมื่อข้อมูลถูกวิเคราะห์จะต้องสรุปผลจากการวิเคราะห์ซึ่งอาจจะแสดงในรูปแบบของกราฟ ตาราง แผนภูมิตลอดจนให้ข้อเสนอแนะจากการทดลองเพื่อสรุปผลและควรที่จะมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการทดลองอีกครั้ง

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานและการทดลอง

ในขั้นตอนการดำเนินงานนี้จะแบ่งออกเป็น ส่วนสำคัญหลักๆ ประกอบด้วย การออกแบบการทดลอง การทดลองย่อย วิเคราะห์ผลการทดลองย่อยและการทดลองหลัก

3.1 การออกแบบการทดลองหลัก

ในการออกแบบการทดลองนี้ ในขั้นต้นทำการพิจารณาจากความสำเร็จที่พึงประสงค์ในการกลึง คือ ความเร็วรอบ อัตราการป้อน ระยะป้อนลึก สารหล่อเย็น และ การสึกหรอของมีดกลึง มีผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกลึง โดยใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียล แบบสุ่มสมบูรณ์เนื่องจากหน่วยทดลองมีความสม่ำเสมอ และการทดลองแบบโควาริแอนซ์ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์หรีเกรซชันเข้าไว้ด้วยกันเพื่อที่จะขจัดอิทธิพลอื่นๆที่เข้ามาพัวพันออกไปเสียจากอิทธิพลของทริตเมนต์

กำหนดให้การทดลองมี 5 ปัจจัยดังนี้

1. ความเร็วรอบ มี 2 ระดับ คือ 680, 1300 รอบ/นาที
2. อัตราการป้อน มี 2 ระดับ คือ 0.044, 0.061 มิลลิเมตร/รอบ
3. ความลึกในการตัด มี 2 ระดับ คือ 0.5, 1.5 มิลลิเมตร
4. น้ำหล่อเย็น มี 2 ระดับ คือ ใช้และไม่ใช้
5. การสึกหรอของมีดกลึง (ไม่สามารถควบคุมได้)

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เหล็กกล้าเพลากลม AISI 1045

เหล็กกล้าเพลากลม AISI 1045 หรือเหล็กหัวแดง เหล็กเกรดนี้จัดเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ซึ่งเป็นเหล็กกล้าที่นิยมใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น เพลาหรือสลักเกลียว ซึ่งมีคุณสมบัติคือ ทนขึ้นรูปได้ดี และสามารถชุบได้แข็ง โดยมักใช้ในวงการอุตสาหกรรม และหาซื้อได้ง่าย โดยเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร

3.2.2 เครื่องกลึง

เครื่องกลึงที่ใช้ในการศึกษาเป็นแบบ Manual ยี่ห้อ LIANG DIA รุ่น LD 1540A ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถใช้อัตราป้อนแบบ อัตโนมติได้

3.2.3 มีดกลึง

มีดกลึง เป็นสิ่งสำคัญในการตัดเฉือนโลหะ ได้เลือกใช้มีดกลึงชนิด Insert ซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนคมตัดได้ ซึ่งมีข้อดีคือ มีรูปแบบ รูปทรงที่แน่นอนจึงไม่ต้องทำการลับความคมของมีดกลึง โดยจะใช้ยี่ห้อ

MITSUBICHI CARBIDE รุ่น TNMG160404R-2G NX55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 มีดกึ่งที่ใช้ในการทดลอง

3.2.4 เครื่องวัดค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน

เครื่องวัดค่าความหนาแน่นของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง โดยใช้วัดค่าความหนาแน่นของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ และเป็นเครื่องที่สามารถวัดค่าความหนาแน่นได้ละเอียดถึง 1 ไมครอน เป็นเครื่องยี่ห้อ Precision Devine INC, Milan, Michigan 48160 Model Pdd-400-bo Ser.5086



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความหนาแน่น

3.2.5 เครื่องวัดค่าการสึกหรอของมีดกึ่ง

เครื่องวัดค่าการสึกหรอของมีดกึ่ง ที่ใช้ในการทดลอง โดยใช้วัดค่าการสึกหรอของมีดกึ่ง ที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือนกับชิ้นงานมาแล้ว เป็นเครื่องที่อยู่ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดค่าการสึกหรอของมีดกลึง

3.3 การทดลองย่อย

หาแนวความคิดที่เกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการกลึง โดยปัจจัยแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1. ปัจจัยที่ควบคุมได้

ในการออกแบบการทดลองเราต้องการปัจจัยที่สามารถควบคุมได้มาใช้ในการทดลองเพื่อป้องกันการผิดพลาดของผลการทดลอง โดยปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed), ค่าความเร็วรอบ (Speed), ความลึกของการตัด (Depth of Cut), เครื่องมือตัด (Tool), น้ำหล่อเย็น และขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง เป็นต้น ในการทดลองนี้ได้กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา 4 ปัจจัย คือ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (Feed), ค่าความเร็วรอบ (Speed), ความลึกของการตัด (Depth of Cut) และน้ำหล่อเย็น โดยทั้ง 4 ปัจจัยนี้สามารถปรับเปลี่ยนระดับตามที่ได้กำหนดไว้ได้อย่างแน่นอน

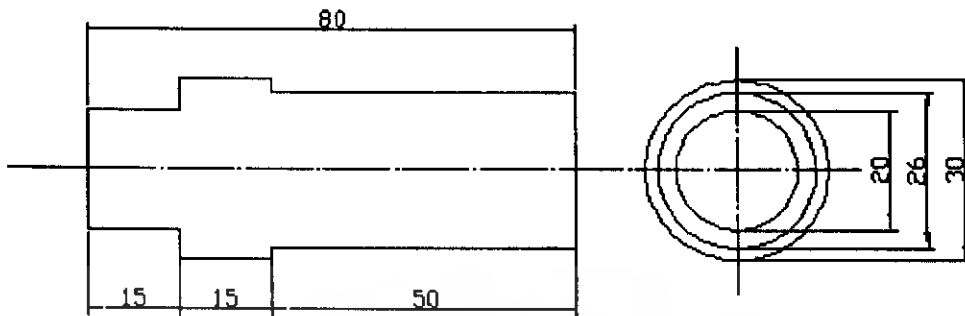
2. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้เป็นปัจจัยที่ไม่อยากให้เกิดขึ้นในการทดลอง เพราะเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง ทำให้ผลของการทดลองผิดพลาดไปและสร้างความไม่น่าเชื่อถือให้กับรูปแบบ (Model) ของการทดลอง โดยปัจจัยเหล่านั้น ได้แก่ อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด (Tool Life), ความผิดพลาดของเครื่องจักร และความผิดพลาดจากผู้ทำการทดลอง

ในงานวิจัยของปริญญาโทนี้มีปัจจัยที่พิจารณาอยู่ 4 ปัจจัยที่สามารถควบคุมค่าได้ คือ ค่าอัตราการป้อนชิ้นงาน (มิลลิเมตร/รอบ) ความเร็วรอบ (รอบ/นาที) ความลึกของการตัด (มิลลิเมตร) น้ำหล่อเย็น และอีก 1 ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมค่าได้คือ การสึกหรอของมีดกลึง และในการทดลองจะทำการทดลองย่อยขึ้นมาเพื่อพิจารณาว่าการสึกหรอของมีดกลึง มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานทดลองหรือไม่ ก่อนที่จะนำปัจจัยการสึกหรอของมีดกลึง มาร่วมพิจารณาในการออกแบบการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบชิ้นงานทดลอง ใ้คั้งนี้ (วัสดุที่ใช้ เหล็ก AISI 1045)



รูปที่ 3.4 แสดงรูปร่างชิ้นงานในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองย่อย

พารามิเตอร์	ค่าต่ำ	ค่ากลาง	ค่าสูง
อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	0.044	0.051	0.061
ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	680	900	1300
ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)	0.5	1	1.5
น้ำหล่อเย็น	ใช้/ไม่ใช้	ใช้/ไม่ใช้	ใช้/ไม่ใช้

โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดที่ 1 ใช้ค่าพารามิเตอร์ต่ำทั้งหมด ชุดที่ 2 ใช้ค่าพารามิเตอร์กลางทั้งหมด และชุดที่ 3 ใช้ค่าพารามิเตอร์สูงทั้งหมด ทำการทดลองชุดละ 5 ชิ้น เมื่อทำการกลึงเสร็จแล้วก็นำชิ้นงานไปวัดค่าความหยาบ การเก็บค่าความหยาบผิวจะทำโดยการวัด 5 ครั้งต่อชิ้น และจะทำการวัด 5 จุดด้วยการสุ่มโดยนำเครื่องวัดความหยาบผิวไปวางบนจิ๊กจับเครื่องเพื่อให้การวัดทุกครั้งเหมือนกันตลอดเพื่อลดค่าผิดพลาด แล้วนำค่าที่ได้มาหารเฉลี่ยจะได้ค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน ส่วนการสึกหรอของมิดก็จะเป็นการวัดจุดที่สึกหรอมากที่สุด จะทำการวัด 3 ครั้งต่อชิ้นแล้วนำค่าที่ได้มาหารเฉลี่ยจะได้ค่าความสึกหรอของมิดกลึง จากนั้นนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟหาความสัมพันธ์กันระหว่างความหยาบผิวชิ้นงานกับการสึกหรอของมิดกลึง

3.3.1 ผลการทดลองย่อย

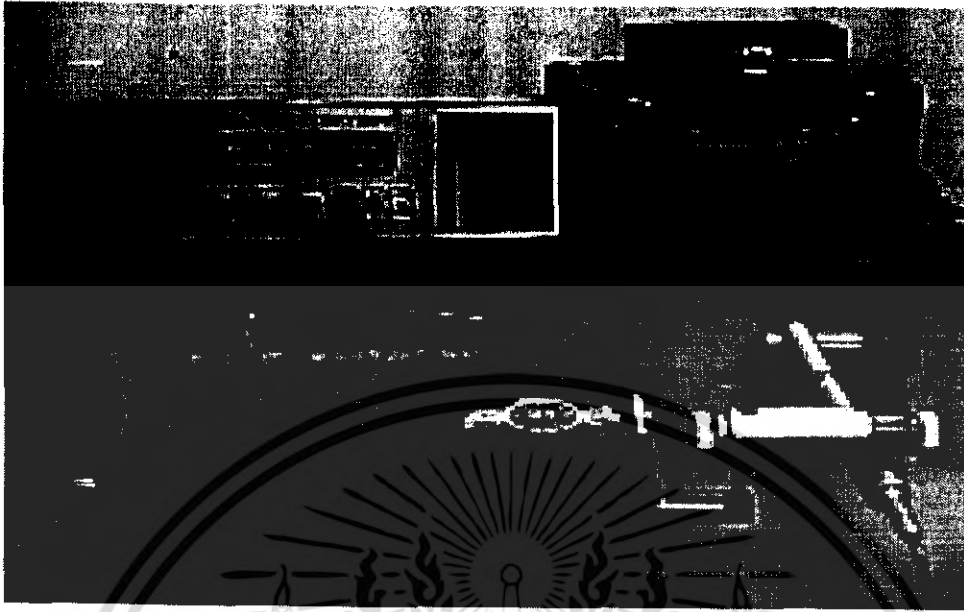
การเก็บผลการทดลองย่อยจะทำเมื่อกลึงชิ้นงานทดลองทุกๆ 1 ชิ้น จะเก็บผลการสึกหรอของมิดหลังจากการกลึงทุกครั้งและจะทำการวัดความหยาบผิว 5 ครั้งในหนึ่งชิ้นงานแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยได้ผลการทดลองย่อยออกมาในตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

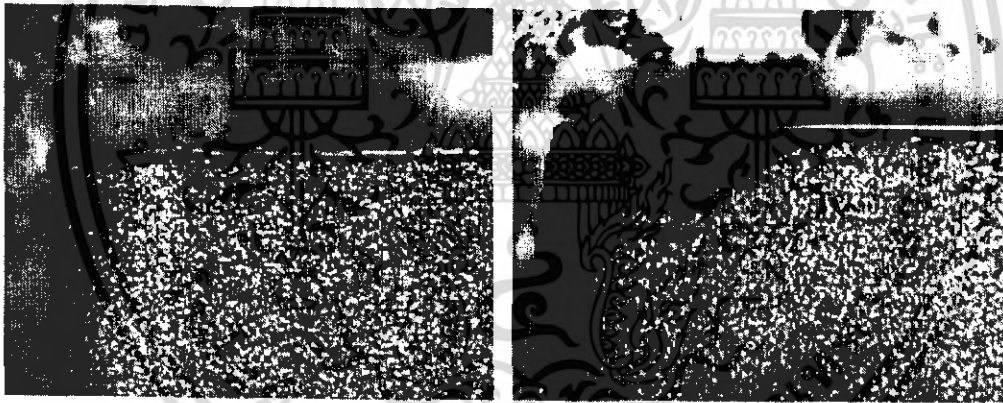
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าที่เก็บมาจากการวัดความขยาบผิวและการสึกหรอของมิดคิ่ง

ชิ้นงาน	ความขยาบผิว (ไมครอน)					ค่าเฉลี่ย (ไมครอน)	น้ำหล่อเย็น	ค่าเฉลี่ยการ สึกหรอของ มิดคิ่ง (ไมครอน)	STDEV
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5				
1	1.71	1.65	1.53	1.59	1.45	1.586	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	0.000	0.101
2	6.64	6.66	6.45	6.72	6.58	6.610	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	75.603	0.102
3	2.28	2.11	2.22	2.39	2.34	2.268	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	103.240	0.109
4	2.60	2.39	2.42	2.57	2.52	2.500	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	113.003	0.092
5	6.90	7.14	7.11	7.05	6.98	7.036	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	146.330	0.098
6	1.96	1.89	1.96	2.01	1.90	1.944	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	163.440	0.049
7	2.12	2.19	1.96	2.12	2.29	2.136	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	183.750	0.121
8	2.72	2.68	2.78	2.82	2.63	2.726	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	218.690	0.076
9	7.21	7.19	7.34	7.37	7.29	7.280	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	256.900	0.079
10	7.31	7.42	7.46	7.51	7.39	7.418	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	270.731	0.075
11	2.31	2.38	2.43	2.41	2.48	2.402	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	278.840	0.063
12	2.89	2.93	3.02	3.06	2.98	2.976	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	287.804	0.068
13	2.48	2.56	2.61	2.59	2.52	2.552	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	314.631	0.053
14	3.12	3.09	3.21	3.19	3.26	3.174	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	375.609	0.069
15	7.79	7.64	7.59	7.68	7.71	7.682	ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น	385.365	0.075
16	7.84	7.89	7.68	7.92	7.75	7.816	ใช้น้ำหล่อเย็น	0.000	0.100
17	1.77	1.68	1.79	1.72	1.65	1.722	ใช้น้ำหล่อเย็น	103.240	0.059
18	1.52	1.42	1.48	1.56	1.54	1.504	ใช้น้ำหล่อเย็น	140.640	0.055
19	1.69	1.62	1.56	1.73	1.59	1.638	ใช้น้ำหล่อเย็น	173.170	0.070
20	8.13	8.26	8.19	8.29	8.21	8.216	ใช้น้ำหล่อเย็น	221.380	0.062
21	1.98	2.12	1.99	2.21	2.08	2.076	ใช้น้ำหล่อเย็น	219.510	0.096
22	8.56	8.51	8.49	8.53	8.59	8.536	ใช้น้ำหล่อเย็น	247.960	0.040
23	1.84	1.89	1.95	2.04	1.92	1.928	ใช้น้ำหล่อเย็น	257.710	0.075
24	2.37	2.24	2.32	2.38	2.29	2.320	ใช้น้ำหล่อเย็น	286.990	0.058
25	2.52	2.49	2.58	2.42	2.63	2.528	ใช้น้ำหล่อเย็น	319.510	0.081
26	2.09	2.15	2.23	2.19	2.17	2.166	ใช้น้ำหล่อเย็น	326.820	0.052
27	8.72	8.88	8.79	8.91	8.76	8.812	ใช้น้ำหล่อเย็น	329.260	0.080
28	2.28	2.35	2.29	2.42	2.31	2.330	ใช้น้ำหล่อเย็น	334.146	0.057
29	2.68	2.74	2.79	2.70	2.82	2.746	ใช้น้ำหล่อเย็น	336.585	0.059
30	8.93	9.02	8.95	9.09	9.11	9.020	ใช้น้ำหล่อเย็น	358.536	0.081

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงวิถีการไหลของน้ำในนาข้าว



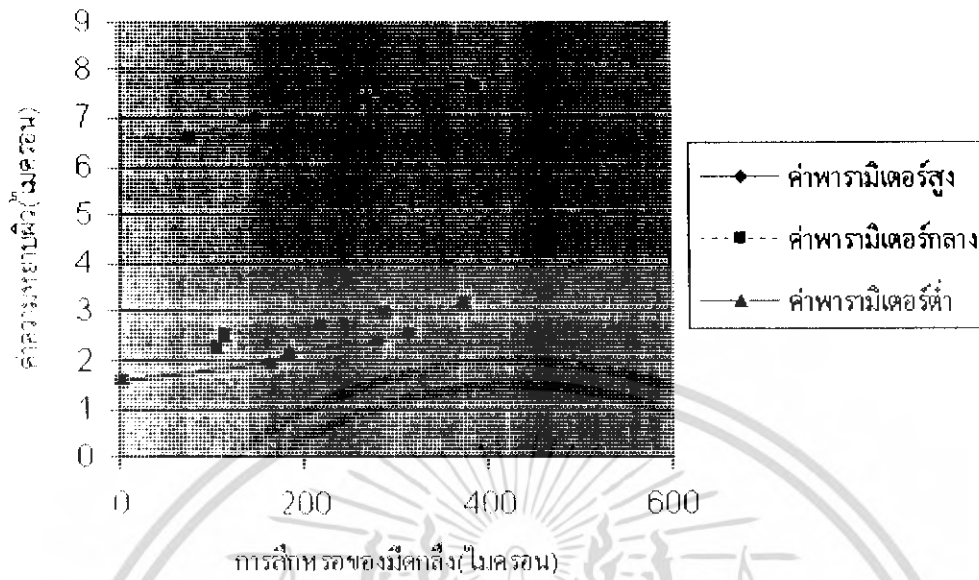
ก่อน

หลัง

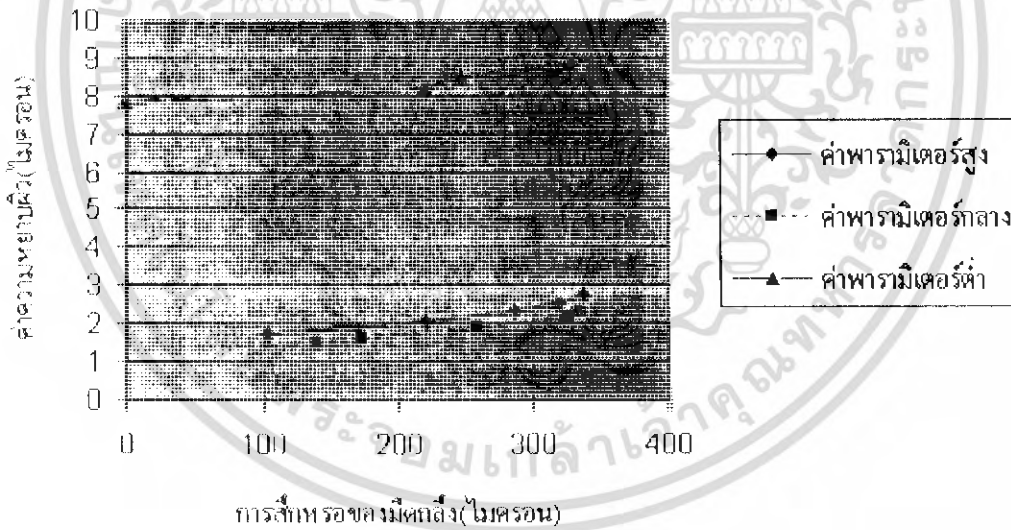
รูปที่ 3.6 แสดงการไหลของน้ำในนาข้าวของหมู่บ้านก่อนและหลังการก่อสร้างเขื่อน 4 ไร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 กราฟแสดงผลการทดลองย่อย



รูปที่ 3.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของจำนวนการสีห่อของมีดสิ่ง (ไมโครน) ต่อจำนวนเมล็ดต่อห่อ



รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของจำนวนการสีห่อของมีดสิ่ง (ไมโครน) ต่อจำนวนเมล็ดต่อห่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลองย่อย

โดยทำการประมวลผลและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Stat Graphics plus 3.0 ด้วยวิธี Simple Regression โดยสมมติว่าเป็นสมการเชิงเส้นตรง (Linear model) ที่มีรูปแบบสมการว่า $Y = a + bX$ ได้ผลออกมาดังนี้

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	1.54646	0.0619935	24.9456	0.0001
Wear	0.00306984	0.000284613	10.786	0.0017

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0.567814	1	0.567814	116.34	0.0017
Residual	0.0146422	3	0.00488072		
Total (Corr.)	0.582456	4			

R-squared = 97.4861 percent

รูปที่ 3.9 รูปแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Stat Graphics plus 3.0 ของค่าพารามิเตอร์สูง (ใช้น้ำหล่อเย็น)

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Stat Graphics plus 3.0 ด้วยวิธี Simple Regression พบว่า ค่าความถี่หรือของมีดกลึงกับค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง $Y_i = a + bX_i$ นั่นคือ ถ้าค่าการสึกหรือของมีดกลึง (w) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความหยาบผิว (R_a) ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย เพราะฉะนั้นในการทดลองหลักจะต้องทำการวิเคราะห์แบบ ANCOVA เพราะ มีค่าความถี่หรือของมีดกลึงเข้ามาเกี่ยวข้องที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ในการทดลองหลักด้วย ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้จึงต้องใช้การวิเคราะห์แบบ ANCOVA ซึ่งสามารถขจัดปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ออกไปได้ ส่วนผลการทดลองของชุดอื่นอยู่ในภาคผนวก ก

3.4 วิธีการหาจำนวนการทำซ้ำของการทดลองจริง

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความหยาบผิวของทั้ง 3 พารามิเตอร์ รวมทั้งหาค่าของการทำการทดลองย่อยแล้วหาค่าเฉลี่ยของการทดลองย่อยทั้งหมดได้ผลออกมาคือ ค่าเฉลี่ย ($\bar{\mu}$) = 4.12 ไมครอนและค่า STDEV (σ) = 2.70

ตารางที่ 3.3 แสดงความหยาบผิวที่เก็บมาจากการทดลองย่อย

ชั้นงาน	ความหยาบผิว (ไมครอน)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
1	1.71	1.65	1.53	1.59	1.45
2	1.96	1.89	1.96	2.01	1.90
3	2.12	2.19	1.96	2.12	2.29
4	2.31	2.38	2.43	2.41	2.48
5	2.48	2.56	2.61	2.59	2.52
6	2.28	2.11	2.22	2.39	2.34
7	2.60	2.39	2.42	2.57	2.52
8	2.72	2.68	2.78	2.82	2.63
9	2.89	2.93	3.02	3.06	2.98
10	3.12	3.09	3.21	3.19	3.26
11	6.64	6.66	6.45	6.72	6.58
12	6.90	7.14	7.11	7.05	6.98
13	7.21	7.19	7.34	7.37	7.29
14	7.31	7.42	7.46	7.51	7.39
15	7.79	7.64	7.59	7.68	7.71
16	1.77	1.68	1.79	1.72	1.65
17	1.98	2.12	1.99	2.21	2.08
18	2.37	2.24	2.32	2.38	2.29
19	2.52	2.49	2.58	2.42	2.63
20	2.68	2.74	2.79	2.70	2.82
21	1.52	1.42	1.48	1.56	1.54
22	1.69	1.62	1.56	1.73	1.59
23	1.84	1.89	1.95	2.04	1.92
24	2.09	2.15	2.23	2.19	2.17
25	2.28	2.35	2.29	2.42	2.31
26	7.84	7.89	7.68	7.92	7.75
27	8.13	8.26	8.19	8.29	8.21
28	8.56	8.51	8.49	8.53	8.59
29	8.72	8.88	8.79	8.91	8.76
30	8.93	9.02	8.95	9.09	9.11
30	8.93	9.02	8.95	9.09	9.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเวลาสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้ดูแลเห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหยาบของพารามิเตอร์สูง

ตารางที่ 3.4 แสดงความหยาบผิวที่เก็บมาจากการทดลองย่อยเฉพาะค่าพารามิเตอร์สูง

ชั้นงาน	ความหยาบผิว (ไมครอน)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
1	1.71	1.65	1.53	1.59	1.45
2	1.96	1.89	1.96	2.01	1.90
3	2.12	2.19	1.96	2.12	2.29
4	2.31	2.38	2.43	2.41	2.48
5	2.48	2.56	2.61	2.59	2.52
6	1.77	1.68	1.79	1.72	1.65
7	1.98	2.12	1.99	2.21	2.08
8	2.37	2.24	2.32	2.38	2.29
9	2.52	2.49	2.58	2.42	2.63
10	2.68	2.74	2.79	2.70	2.82

ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์สูง (μ_1) = 2.20 ไมครอน

ความหยาบของพารามิเตอร์กลาง

ตารางที่ 3.5 แสดงความหยาบผิวที่เก็บมาจากการทดลองย่อยเฉพาะค่าพารามิเตอร์กลาง

ชั้นงาน	ความหยาบผิว (ไมครอน)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
1	2.28	2.11	2.22	2.39	2.34
2	2.60	2.39	2.42	2.57	2.52
3	2.72	2.68	2.78	2.82	2.63
4	2.89	2.93	3.02	3.06	2.98
5	3.12	3.09	3.21	3.19	3.26
6	1.52	1.42	1.48	1.56	1.54
7	1.69	1.62	1.56	1.73	1.59
8	1.84	1.89	1.95	2.04	1.92
9	2.09	2.15	2.23	2.19	2.17
10	2.28	2.35	2.29	2.42	2.31

ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์กลาง (μ_2) = 2.32 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหยาบของพารามิเตอร์ต่ำ

ตารางที่ 3.6 แสดงความหยาบผิวที่เก็บมาจากการทดลองย่อยเฉพาะค่าพารามิเตอร์ต่ำ

ชิ้นงาน	ความหยาบผิว (ไมครอน)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
1	6.64	6.66	6.45	6.72	6.58
2	6.90	7.14	7.11	7.05	6.98
3	7.21	7.19	7.34	7.37	7.29
4	7.31	7.42	7.46	7.51	7.39
5	7.79	7.64	7.59	7.68	7.71
6	7.84	7.89	7.68	7.92	7.75
7	8.13	8.26	8.19	8.29	8.21
8	8.56	8.51	8.49	8.53	8.59
9	8.72	8.88	8.79	8.91	8.76
10	8.93	9.02	8.95	9.09	9.11

ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่ำ (μ_3) = 7.84 ไมครอน

เพราะฉะนั้น จากค่าตารางด้านบนจะได้

$$\mu_1 = 2.20 \text{ ไมครอน} , \mu_2 = 2.32 \text{ ไมครอน} , \mu_3 = 7.84 \text{ ไมครอน} , \bar{\mu} = 4.12 \text{ ไมครอน} , \sigma = 2.70$$

$$\text{หา } \tau_1 = \mu_1 - \bar{\mu} = 2.20 - 4.12 = -1.92$$

$$\tau_2 = \mu_2 - \bar{\mu} = 2.32 - 4.12 = -1.80$$

$$\tau_3 = \mu_3 - \bar{\mu} = 7.84 - 4.12 = 3.72$$

นำค่าที่ได้ไปแทนในสูตร

$$\phi^2 = C \frac{n \sum_{i=1}^3 \tau_i^2}{a\sigma^2}$$

$$\text{หา } \sum_{i=1}^3 \tau_i^2 = 20.76 , \sigma = 2.70 , a=3 , P \geq 0.90 , C=3$$

$$\text{แทนค่า } \phi^2 = 3 \frac{n(20.76)}{3(2.70)^2} = 2.84 n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $\alpha = 0.01$ แทนค่า n ลงไปจะได้

ตารางที่ 3.7 แสดงการแทนค่าหา $1-\beta$ ที่ $\alpha = 0.01$

n	ϕ^2	ϕ	$a(n-1)$	β	$1-\beta$
3	8.52	2.91	6	0.30	0.70
4	11.36	3.37	9	0.06	0.94

ที่ $\alpha = 0.05$ แทนค่า n ลงไปจะได้

ตารางที่ 3.8 แสดงการแทนค่าหา $1-\beta$ ที่ $\alpha = 0.05$

n	ϕ^2	ϕ	$a(n-1)$	β	$1-\beta$
3	8.52	2.91	6	0.05	0.95

สรุปในการทดลองนี้ ได้เลือกระดับความเชื่อมั่นที่ 95% เพราะฉะนั้นในการทดลองหลักจะใช้ที่ $\alpha = 0.05$ ก็จะได้จำนวนซ้ำเท่ากับ 3 ซ้ำ

3.4 แผนการดำเนินการทดลองหลัก

ในการทดลองหลักได้ออกแบบการทดลองโดยทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^4 ทริทเมนต์ จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล เพราะฉะนั้นจำนวนทริทเมนต์ทั้งหมดเท่ากับ $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$ ทริทเมนต์ และจะทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ตามที่ได้จากการคำนวณจำนวนของการทำซ้ำ ดังนั้นการทดลองจะทำการทดลองทั้งสิ้น $16 \times 3 = 48$ ทริทเมนต์

ตารางที่ 3.9 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการทดลองหลัก

พารามิเตอร์	ค่าต่ำ	ค่าสูง
อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	0.044	0.061
ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	680	1300
ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)	0.5	1.5
น้ำหล่อเย็น	ใช่/ไม่ใช่	ใช่/ไม่ใช่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการดำเนินการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ ทำโดยกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 4 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 3.7 เพื่อทำการศึกษาความหยาบผิวของชิ้นงานที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยกระบวนการกลึง โดยทำการทดลองตามวิธีการทดลองที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3

การทดลองด้วยกระบวนการกลึงทำเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานตามที่ออกแบบไว้ โดยจะทำการทดลองทั้งหมด 48 ทริทเมนต์ ซึ่งขั้นตอนหลักในการทดลองนี้ คือ ขั้นตอนในการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน

การทดลองในขั้นตอนนี้จะทำการกำหนดค่าของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองไว้ในตารางที่ 3.7 แล้วทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล 2^4 ทริทเมนต์ แล้วทำซ้ำในแต่ละทริทเมนต์อีกทริทเมนต์ละ 3 ครั้ง ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมดจะเท่ากับ $3 \times 2^4 = 48$ ทริทเมนต์ แล้วจึงทำการทดลองในแต่ละทริทเมนต์ และทำการวัดความหยาบผิวและการสึกหรอของมีดกลึงแล้วบันทึกผลได้ออกมาดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหยาบผิวและการสึกหรอมัดคั่งที่เก็บมาจากการทดลอง

ลำดับการทดลอง	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความลึกของการตัด (มิลลิเมตร)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	น้ำหล่อเย็น (ใช่/ไม่ใช่)	ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (ไมครอน)	ค่าเฉลี่ยการสึกหรอมัดคั่ง (ไมครอน)
1	1300	0.5	0.061	ใช่	2.56	0
2	1300	1.5	0.044	ใช่	3.24	0
3	680	0.5	0.061	ใช่	3.42	43.07
4	1300	0.5	0.044	ไม่ใช่	3.44	46.34
5	680	1.5	0.044	ไม่ใช่	2.52	80.48
6	1300	0.5	0.044	ใช่	2.90	107.31
7	680	0.5	0.061	ไม่ใช่	4.98	112.07
8	680	1.5	0.061	ใช่	4.88	117.19
9	1300	0.5	0.044	ใช่	5.98	117.32
10	1300	0.5	0.061	ใช่	3.32	119.51
11	680	1.5	0.061	ไม่ใช่	6.69	131.70
12	1300	0.5	0.044	ไม่ใช่	4.23	141.46
13	680	1.5	0.061	ใช่	4.54	143.90
14	680	0.5	0.044	ไม่ใช่	4.33	197.56
15	1300	1.5	0.044	ใช่	3.59	219.51
16	1300	1.5	0.061	ไม่ใช่	6.39	236.58
17	680	0.5	0.044	ใช่	3.18	239.02
18	680	0.5	0.061	ใช่	3.88	263.41
19	1300	0.5	0.061	ไม่ใช่	3.28	270.73
20	1300	1.5	0.044	ไม่ใช่	2.95	275.62
21	680	1.5	0.044	ใช่	2.27	304.67
22	680	1.5	0.061	ไม่ใช่	2.26	326.82
23	680	0.5	0.044	ใช่	6.79	329.26
24	1300	1.5	0.061	ใช่	4.62	343.91
25	680	1.5	0.044	ใช่	5.52	0
26	1300	1.5	0.044	ไม่ใช่	4.56	39.02
27	680	0.5	0.044	ใช่	2.02	80.48
28	680	0.5	0.061	ใช่	3.12	90.24
29	1300	0.5	0.044	ไม่ใช่	3.93	239.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการทดลอง	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความถี่ของตัด (มิลลิเมตร)	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	น้ำหล่อเย็น (ใช่/ไม่ใช่)	ค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (ไมครอน)	ค่าเฉลี่ยการสึกหรอมิลคิลิ่ง (ไมครอน)
30	680	0.5	0.061	ไม่ใช่	3.46	278.05
31	680	1.5	0.044	ไม่ใช่	2.75	282.92
32	1300	1.5	0.044	ใช่	1.92	295.12
33	680	0.5	0.061	ไม่ใช่	2.35	321.95
34	680	1.5	0.044	ไม่ใช่	1.93	363.41
35	1300	1.5	0.061	ใช่	1.44	400.00
36	1300	0.5	0.061	ไม่ใช่	5.32	409.75
37	680	0.5	0.044	ไม่ใช่	2.23	421.95
38	1300	1.5	0.061	ไม่ใช่	2.89	424.39
39	680	1.5	0.061	ใช่	4.98	470.73
40	1300	0.5	0.044	ใช่	1.48	482.92
41	1300	1.5	0.061	ใช่	5.61	0
42	680	0.5	0.044	ไม่ใช่	6.71	48.78
43	1300	1.5	0.044	ไม่ใช่	1.98	80.48
44	1300	0.5	0.061	ใช่	3.82	104.87
45	680	1.5	0.061	ไม่ใช่	3.84	124.39
46	1300	0.5	0.061	ไม่ใช่	7.12	141.46
47	680	1.5	0.044	ใช่	5.09	143.46
48	1300	1.5	0.061	ไม่ใช่	2.18	148.80

4.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการเก็บค่าความหยาบผิวและการสึกหรอของมิลคิลิ่ง จะใช้โปรแกรม Stat Graphics plus 3.0 เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยจะใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 (ในการทดลองนี้กำหนดให้ $\alpha = 0.05$) ได้แก่ ปัจจัยหลักคือ ความเร็วรอบ (Speed) และความลึกของการตัด (Depth of cut) ส่วนปัจจัยร่วมคือ ระหว่าง ความเร็วรอบ (Speed) กับอัตราป้อน (Feed), ความเร็วรอบ (Speed) กับ ความลึกของการตัด (Depth of cut) และ ความเร็วรอบ (Speed) กับความลึกของการตัด (Depth of cut) กับน้ำหล่อเย็น (Coolant) จึงสรุปได้ว่าทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมมีผลต่อความหยาบผิว ซึ่งก่อนจะนำผลการวิเคราะห์ไปใช้งานต้องตรวจสอบค่าความถูกต้องของรูปแบบข้อมูลซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Stat Graphics plus 3.0

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
COVARIATES					
Wear	6.16945	1	6.16945	6.43	0.0163
MAIN EFFECTS					
A: Speed	28.1887	1	28.1887	29.40	0.0000
B: Feed	0.219875	1	0.219875	0.23	0.6353
C: Depth of Cut	9.25169	1	9.25169	9.65	0.0040
D: Coolant	1.29422	1	1.29422	1.35	0.2539
INTERACTIONS					
AB	5.02514	1	5.02514	5.24	0.0288
AC	3.97827	1	3.97827	4.15	0.0500
AD	1.34553	1	1.34553	1.40	0.2449
BC	0.0292186	1	0.0292186	0.03	0.8625
BD	1.8665	1	1.8665	1.95	0.1725
CD	2.82008	1	2.82008	2.94	0.0960
ABC	0.0890387	1	0.0890387	0.09	0.7625
ABD	2.76721	1	2.76721	2.89	0.0990
ACD	10.2097	1	10.2097	10.65	0.0026
BCD	1.64656	1	1.64656	1.72	0.1994
RESIDUAL	30.6803	32	0.958759		
TOTAL (CORRECTED)	109.365	47			

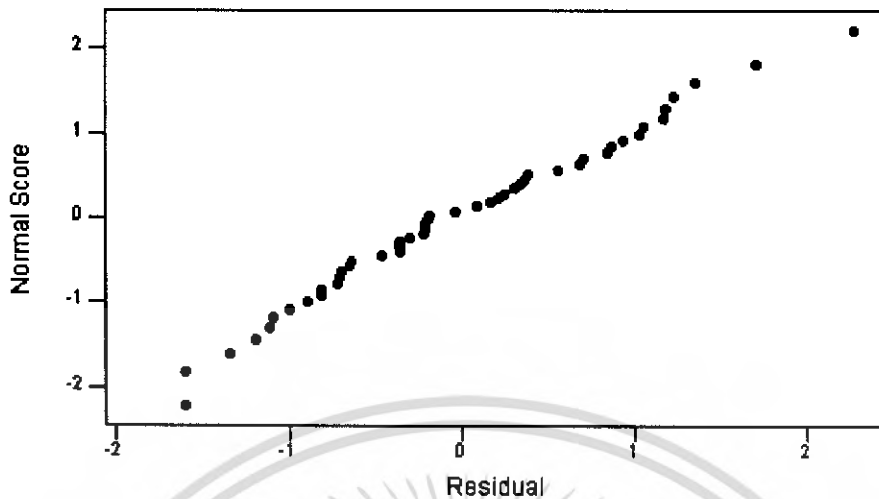
4.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking) เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือและเป็นไปตามหลักทางสถิติหรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบมีอยู่ 3 ประเภท คือ

4.2.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ

โดยการ ใช้ค่าส่วนตกค้าง (Residual) พล็อตลงบนกราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Paper: NOPP) หากลักษณะของกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือเกือบจะเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลนั้นมีการกระจายตัวแบบปกติ ซึ่งในรูปที่ 4.2 เป็นรูปกราฟการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) สำหรับค่าส่วนตกค้างกับความหยาบผิวจะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟเกือบจะเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้มีลักษณะของการกระจายตัวแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

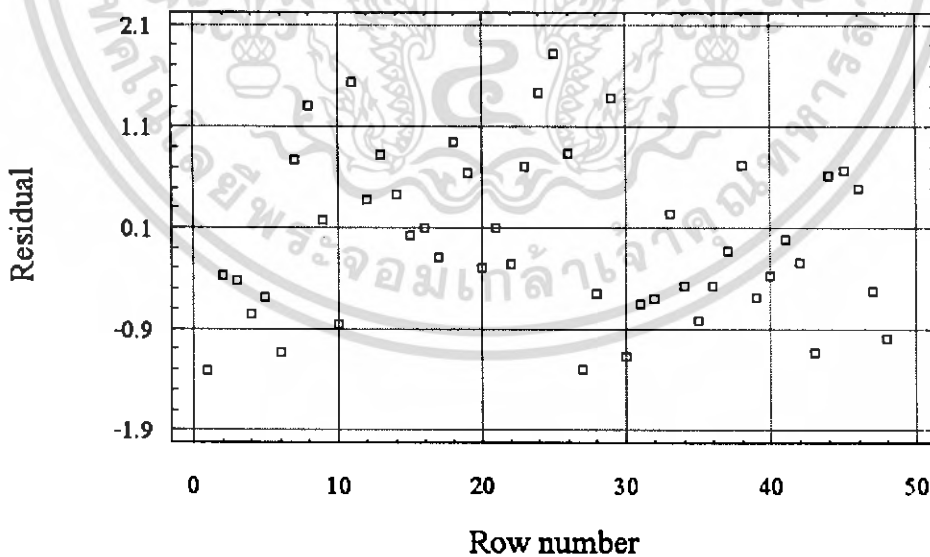


รูปที่ 4.2 กราฟการแจกแจงแบบปกติสำหรับค่าส่วนตกค้างของความหยาบผิว

4.2.2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

เป็นการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างโดยใช้ค่าส่วนตกค้างและลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล มาทำการพล็อตกราฟ ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง (x) และลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลอยู่บนแกน (y) ดังรูปที่

4.3 เป็นรูปที่แสดงค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งลักษณะของกราฟจะเห็นได้ว่ากราฟมีการกระจายตัวที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบหรือแสดงแนวโน้มใดๆ

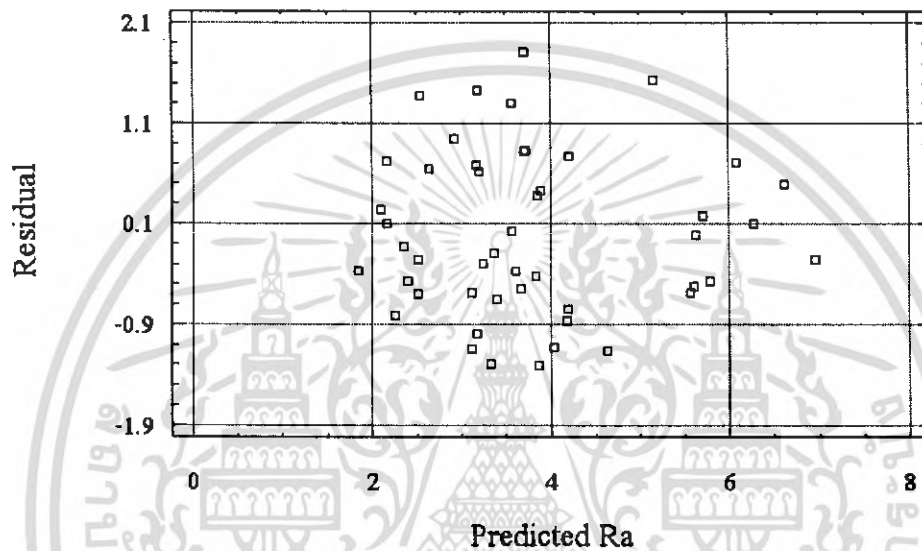


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 การตรวจสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของข้อมูล โดยการใช้ข้อมูลค่าส่วนตกค้างและค่าที่ ถูกฟิต (Fitted Value) ในที่นี้คือค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมาทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ ถูกฟิต ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง (x) และค่าที่ถูกฟิตอยู่บนแกนแนวนอน (y) แสดงดังรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า กราฟนั้นไม่แสดงแนวโน้มหรือรูปแบบใดๆ ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติและมีอิสระต่อกัน สรุปได้ว่าข้อมูลที่ เก็บผลเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในงานกลึงและความหยาบผิวของชิ้นงานมีคุณภาพพอที่จะนำไปใช้ ในการวิเคราะห์ต่อไปได้

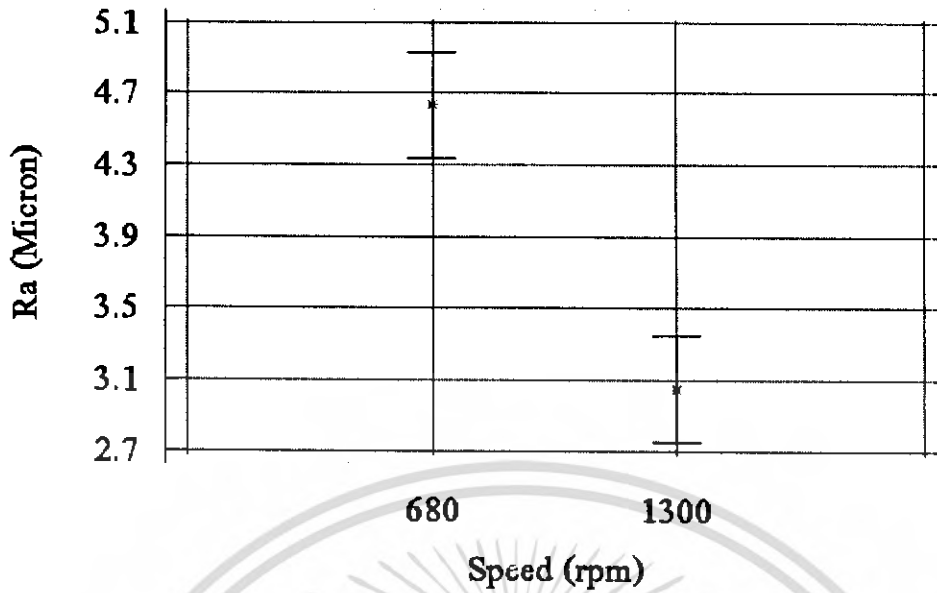


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าส่วนตกค้างกับความหยาบผิวของชิ้นงาน

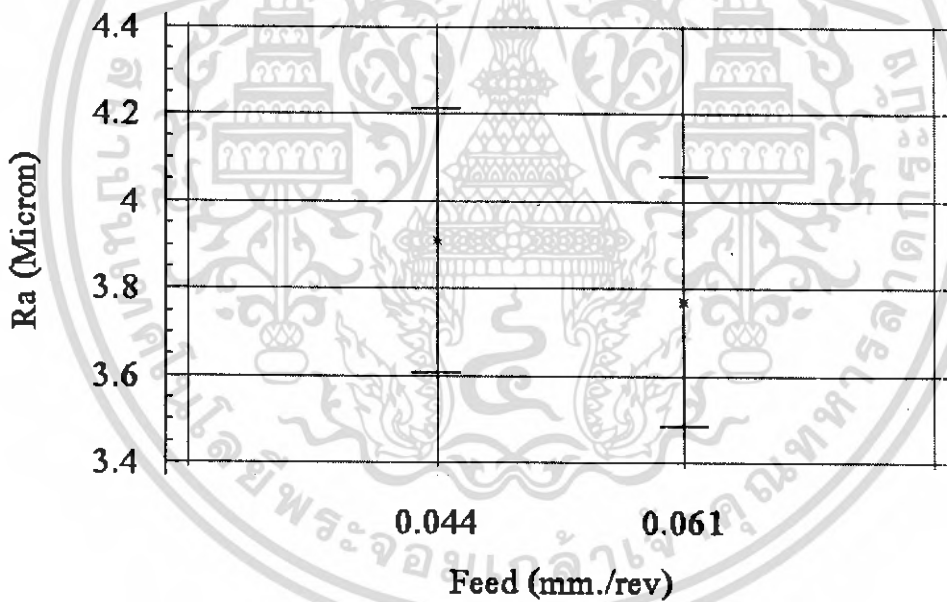
เมื่อพิจารณาจากรูปดังกล่าวข้างต้นแล้ว จะพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติมีความเป็นอิสระซึ่ง กันและกันและมีความสม่ำเสมอของความแปรปรวน จึงสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์จากข้อมูลนี้มีความน่าเชื่อถือได้ กล่าวคือ ค่าอัตราป้อนชิ้นงาน (Feed), ความเร็วรอบ (Speed), ความลึกมุมตัด (Depth of cut) และน้ำหล่อเย็น (Coolant) มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน

จากนั้นจึงพิจารณาจากรูปที่ 4.5 คือ ความเร็วรอบซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความหยาบผิว จะเห็น ได้ว่าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบ ความหยาบผิวจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจนและรูปที่ 4.7 คือ ความลึกของการตัดซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความหยาบผิว เมื่อทำการปรับเปลี่ยนความลึกของการตัด ความ หยาบผิวจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเช่นกัน ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้เป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความหยาบผิว

จากนั้นจึงพิจารณาจากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 รูป เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ ความหยาบผิวจะมีค่าใกล้เคียงกัน หรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก จึงสรุปว่า ทั้ง 2 ค่านี้เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ ส่งผลต่อความหยาบผิว

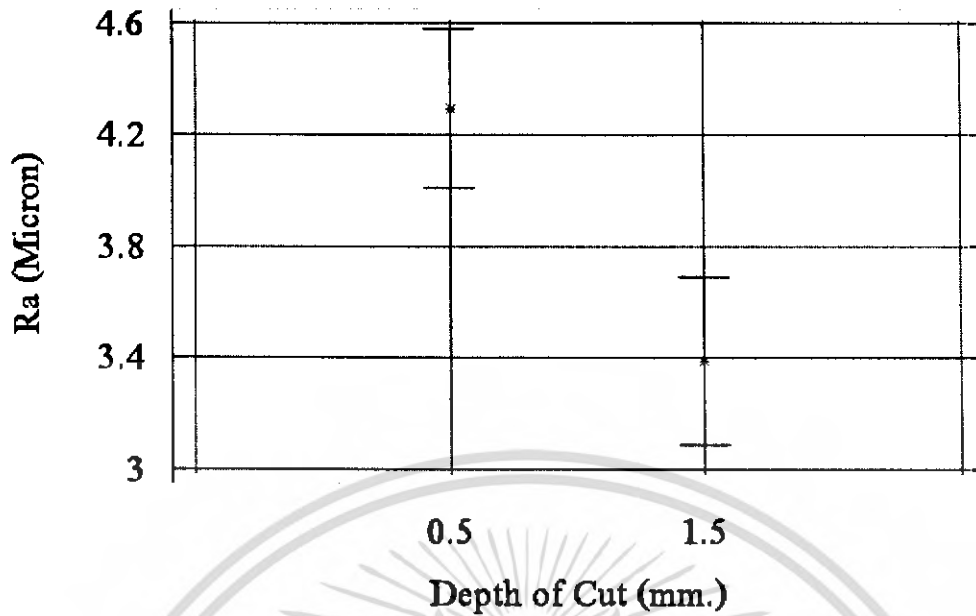


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงส่วนตค้ำกับระดับต่างๆระดับของค่าความเร็วรอบ

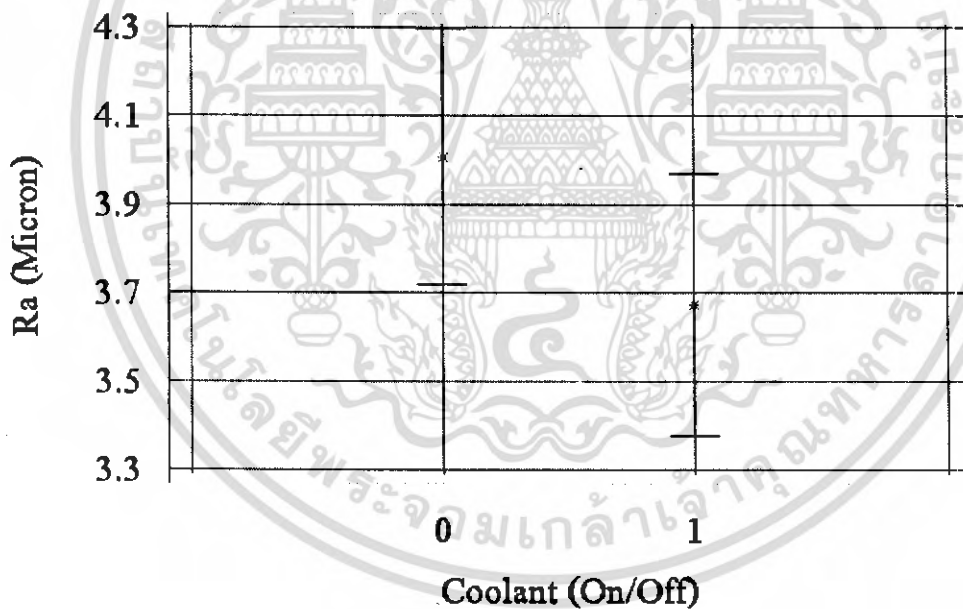


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงส่วนตค้ำกับระดับต่างๆระดับของค่าอัตราป้อนชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

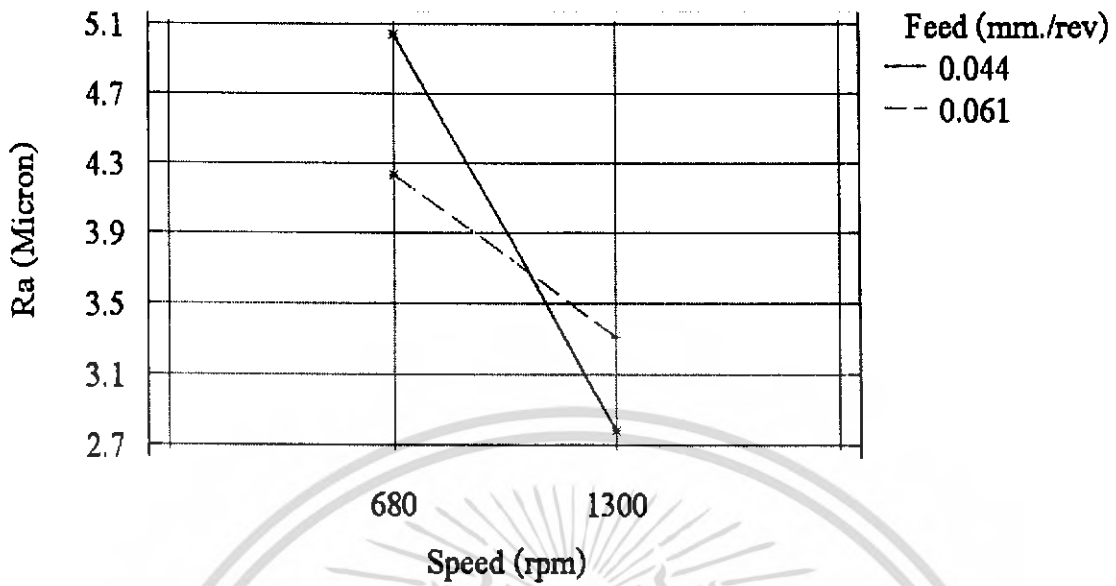


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงส่วนตกต่างกับระดับทุกๆระดับของค่าความลึกของการตัด

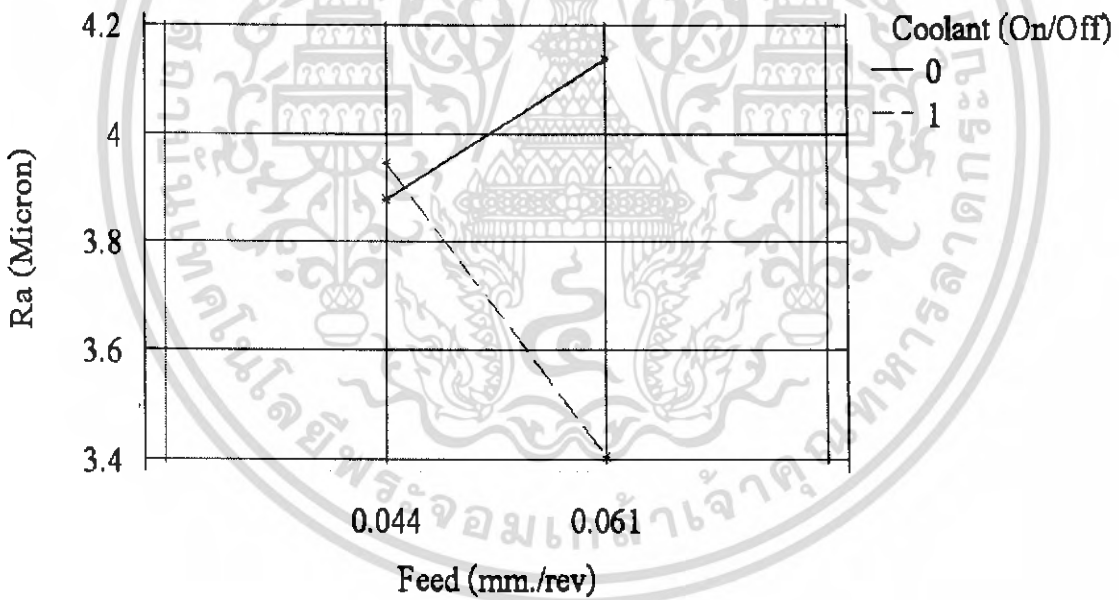


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงส่วนตกต่างกับระดับทุกๆระดับของน้ำหล่อเย็น

จากผลการทดลองจะเห็นว่าปัจจัยต่างๆมีความสัมพันธ์กัน คือ ระดับของปัจจัยหลักกับค่าเฉลี่ยของความหยาบผิว ซึ่งรูปที่ 4.9 แสดงอันตรกิริยาระหว่างอัตราป้อนชิ้นงาน (Feed) กับความเร็วรอบ (Speed) รูปที่ 4.10 แสดงอันตรกิริยาระหว่างอัตราป้อนชิ้นงาน (Feed) กับน้ำหล่อเย็น (Coolant) รูปที่ 4.11 แสดงอันตรกิริยาระหว่างอัตราป้อนชิ้นงาน (Feed) กับความลึกมุมตัด (Depth of cut) รูปที่ 4.12 แสดงอันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบ (Speed) กับความลึกมุมตัด (Depth of cut) รูปที่ 4.13 แสดงอันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบ (Speed) กับน้ำหล่อเย็น (Coolant) รูปที่ 4.14 แสดงอันตรกิริยาระหว่างความลึกมุมตัด (Depth of cut) กับน้ำหล่อเย็น (Coolant) เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นเอกสารประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาการคำนวณด้านการคำนวณทางวิศวกรรมเครื่องกล โดยไม่หวังกำไร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

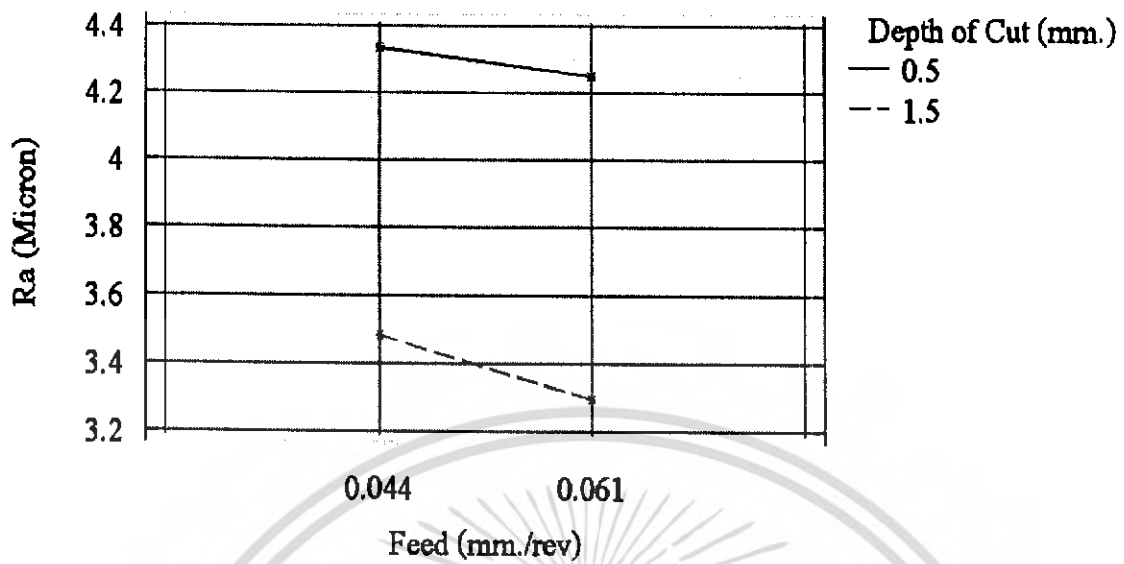


รูปที่ 4.9 แสดงอันตรกิริยาระหว่างอัตราป้อนชิ้นงาน (Feed) กับความเร็วรอบ (Speed)

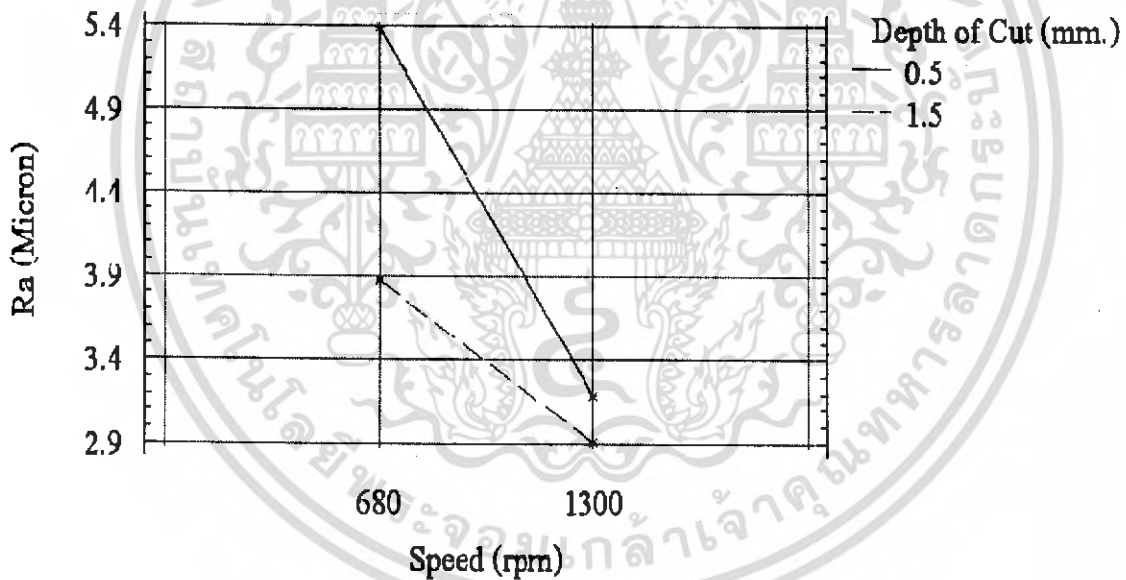


รูปที่ 4.10 แสดงอันตรกิริยาระหว่างอัตราป้อนชิ้นงาน (Feed) กับน้ำหล่อเย็น (Coolant)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

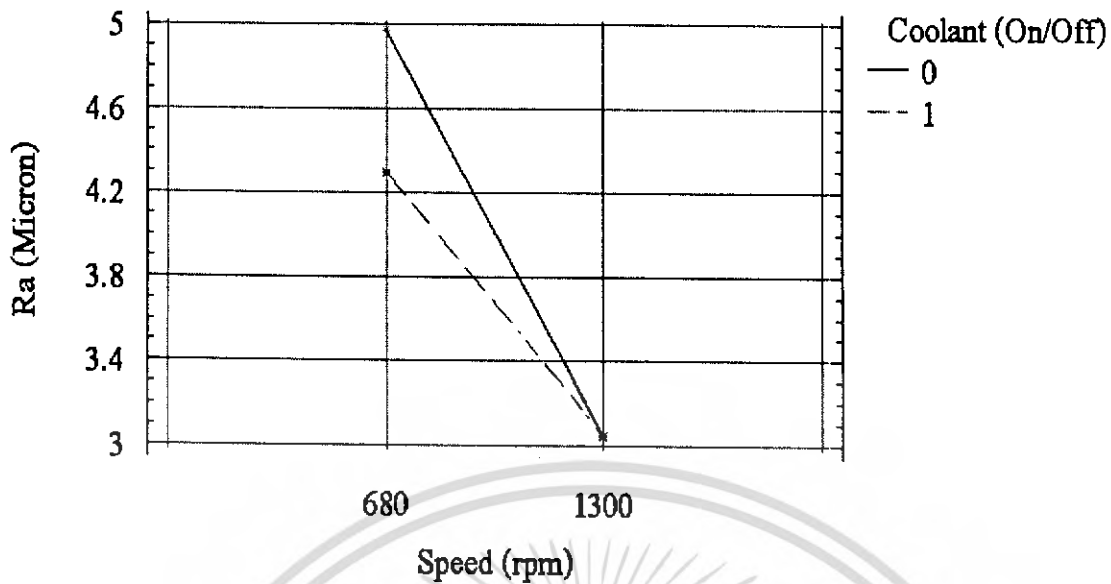


รูปที่ 4.11 แสดงอันตรกิริยาระหว่างอัตราป้อนชิ้นงาน (Feed) กับความลึกของการตัด (Depth of cut)

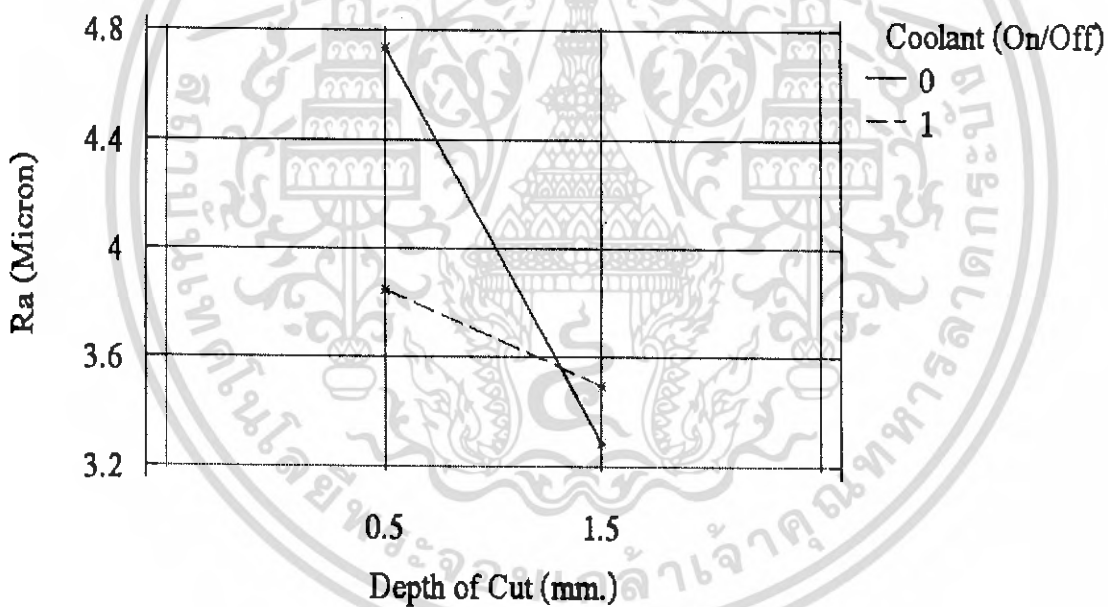


รูปที่ 4.12 แสดงอันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบ (Speed) กับความลึกของการตัด (Depth of cut)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงอันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบ (Speed) กับน้ำหล่อเย็น (Coolant)



รูปที่ 4.14 แสดงอันตรกิริยาระหว่างความลึกของการตัด (Depth of cut) กับน้ำหล่อเย็น (Coolant)

4.3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิว

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังรูปที่ 4.1 พบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05) ได้แก่ ปัจจัยหลักคือ ความเร็วรอบ (Speed) และความลึกมุมตัด (Depth of cut) ส่วนปัจจัยร่วมคือ ระหว่างความเร็วรอบ (Speed) กับอัตราป้อน (Feed), ความเร็วรอบ (Speed) กับความลึกมุมตัด (Depth of cut) และความเร็วรอบ (Speed) กับความลึกมุมตัด (Depth of cut) กับน้ำหล่อเย็น (Coolant) จึงสรุปได้ว่าทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมมีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน นั่นคือเมื่อปรับเปลี่ยนค่าความเร็วรอบ (Speed) และความลึกของการตัด (Depth of cut) จะส่งผลให้ความหยาบนั้นเกิดความเปลี่ยนแปลงมากกว่าตัวอื่นๆอย่างชัดเจนใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบหาอิทธิพลของอัตราป้อน (Feed)

จากผลการทดลองที่ได้อัตราป้อน (Feed) ไม่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน ซึ่งผลการทดลองที่ได้ นั้นขัดกับทฤษฎีที่มีสมการว่า

$$\text{สมการทางทฤษฎี} \quad R_a = \left[\frac{0.032 f^2}{8r} \right] \times 1000$$

เมื่อ f คือ อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ) และ r คือ รัศมีคมตัดของมีดกลึง

จากตารางที่ 4.2 ได้ออกแบบการทดลองโดยจะใช้ความเร็วรอบ 900 รอบ/นาที, ความลึกของการตัด 1 มิลลิเมตร และไม่ใช้น้ำหล่อเย็น โดยจะกำหนดให้ทั้ง 3 ค่านี้คงที่ แล้วทำการทดลองโดยเปลี่ยนเฉพาะค่าอัตราป้อน เพียงอย่างเดียว เพื่อจะดูความหยาบผิวที่ออกมาว่ามีเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบหาอิทธิพลของอัตราป้อน

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	900
ความลึกของการตัด (มิลลิเมตร)	1
น้ำหล่อเย็น	ไม่ใช้
อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	0.044 / 0.051 / 0.061

จากการศึกษาเพิ่มเติม โดยการทดลองกำหนดให้ค่าความเร็วรอบ ความลึกของการตัด คงที่ แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าอัตราป้อนเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของความหยาบผิว พบว่า อัตราป้อนที่ใช้ในการทดลองนั้นไม่มีผลต่อความหยาบผิว สาเหตุอาจเนื่องมาจากค่าที่ใช้มีความใกล้เคียงกัน จึงไม่แสดงความแตกต่างออกมาได้อย่างชัดเจน

4.5 ผลการทดสอบหาอิทธิพลของอัตราป้อน (Feed)

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบหาอิทธิพลของอัตราป้อน

ลำดับ การ ทดลอง	พารามิเตอร์				ความหยาบผิว (ไมครอน)			ค่าเฉลี่ยของ ความหยาบ ผิว (ไมครอน)
	อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความลึก ของการตัด (มิลลิเมตร)	น้ำหล่อ เย็น	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
1	0.044	900	1	ไม่ใช่	2.23	2.4	2.42	2.35
2	0.061	900	1	ไม่ใช่	2.3	2.42	2.09	2.27
3	0.044	900	1	ไม่ใช่	2.29	2.45	2.48	2.41
4	0.051	900	1	ไม่ใช่	2.33	2.39	2.54	2.42
5	0.051	900	1	ไม่ใช่	2.38	2.28	2.46	2.37
6	0.061	900	1	ไม่ใช่	2.35	2.38	2.43	2.39

ANOVA Table for Roughness by Feed

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.00463333	2	0.00231667	0.68	0.5715
Within groups	0.01025	3	0.00341667		
Total (Corr.)	0.0148833	5			

รูปที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Stat Graphics plus 3.0

4.6 สรุปผลการทดสอบหาอิทธิพลของอัตราป้อน (Feed)

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Stat Graphics plus 3.0 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 (ในการทดลองนี้กำหนดให้ $\alpha = 0.05$) จึงสามารถอธิบายผลได้ว่า อัตราป้อนไม่ส่งผลต่อความหยาบผิว ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นมาจากการใช้ช่วงของอัตราป้อนนั้นใกล้เคียงกัน จึงทำให้ผลที่ออกมาไม่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่าอัตราป้อนนั้นไม่ใช่ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความหยาบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องความลึกของการตัด (Depth of cut)

จากผลการทดลองที่ได้ว่า เมื่อความลึกของการตัดเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหยาบผิวนั้นละเอียดขึ้น ซึ่งขัดกับความรู้ที่ได้เรียนมาว่า เมื่อต้องการเก็บผิวให้มีความละเอียดจะต้องใช้ความลึกของการตัดน้อยๆ จึงได้ทำการค้นคว้าเพิ่มเติมในเรื่องนี้

4.8 ผลของการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องความลึกของการตัด (Depth of cut)

จากการศึกษาของ Sahin และ Motorcu (2004) ความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิว (Ra) กับตัวแปรต่างๆ ในการกลึงมีดังนี้

$$Ra = 0.381 - 0.0464x_1 + 0.1927x_2 - 0.0249x_3$$

เมื่อ Ra คือ ความหยาบผิว, x_1 คือ ความเร็วรอบ (รอบ/นาที), x_2 คือ อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ), x_3 คือ ความลึกของการตัด (มิลลิเมตร) จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวที่ได้ออกมาสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sahin และ Motorcu (2004) ซึ่งสามารถอธิบายจากสมการได้ว่าเมื่อความลึกของการตัดมากขึ้น จะทำให้ความหยาบผิวนั้นน้อยลง

จากผลงานวิจัยของ Dabnun และคณะ (2005) พบว่าเมื่ออัตราป้อนเพิ่มขึ้นความหยาบผิวนั้นจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่สามารถทำให้ความหยาบผิวลดลงได้เมื่อทำการเพิ่ม ความเร็วรอบและความลึกของการตัด ตามสมการ

$$Ra = 0.7472 - 0.020989457x_1 + 0.692664x_2 + 0.078498x_3$$

เมื่อ Ra คือ ความหยาบผิว, x_1 คือ ความเร็วรอบ (รอบ/นาที), x_2 คือ อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ), x_3 คือ ความลึกของการตัด (มิลลิเมตร) จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวที่ได้ออกมาขัดแย้งกับผลการศึกษาของ Dabnun และคณะ (2005) ซึ่งอธิบายไว้ว่าเมื่อความลึกของการตัดมากขึ้น จะทำให้ความหยาบผิวนั้นมากขึ้น

4.9 สรุปผลของการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องความลึกของการตัด (Depth of cut)

เนื่องจากผลการทดลองที่ได้นั้นสอดคล้องกับทฤษฎีของ Sahin และ Motorcu (2004) ที่อธิบายได้ว่าเมื่อความลึกของการตัดมากขึ้นความหยาบผิวจะน้อยลง แต่ก็ขัดกับทฤษฎีของ Dabnun และคณะ (2005) ที่อธิบายได้ว่าเมื่อความลึกของการตัดมากขึ้นความหยาบผิวจะมากขึ้น ในขณะที่จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าความลึกของการตัดนั้นจะต้องใช้มากหรือน้อย ถึงจะได้ผิวที่ละเอียดกว่ากัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปของการทดลองของโครงการในครั้งนี้ และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่นำหัวข้อนี้ไปศึกษาต่อในอนาคตหรือนำข้อมูลไปใช้อ้างอิงต่อไป

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาและทำการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยในการกลึงที่มีผลต่อความหยาบผิวเหล็กกล้า AISI 1045 ครั้งนี้ เป็นการศึกษาเพื่อทดสอบสมมติฐานว่าปัจจัยในการกลึง คือ ความเร็วรอบ, อัตราป้อน, ระยะป้อนลึก, สารหล่อเย็น และการสึกหรอของมีดกลึง มีผลต่อความหยาบผิวหรือไม่

สำหรับการศึกษาค้างนี้ ได้เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีต่างๆ ในงานกลึง พบว่าปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการกลึงขึ้นได้นั้น ได้แก่ อัตราป้อน (Feed), ความเร็วตัด (Cutting Speed), ความลึกของการตัด (Depth of Cut), มีดกลึง (Cutting Tool) และชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Work piece) ซึ่งปัจจัยทั้ง 5 ตัวนี้เราสามารถควบคุมได้ จากนั้นจึงเริ่มทำการทดลองย่อยเพื่อหาความสัมพันธ์ของการสึกหรอของมีดกลึงว่าจะส่งผลต่อความหยาบผิวชิ้นงานหรือไม่ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ออกมา คือ การสึกหรอของมีดกลึงมีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงานกลึง จึงต้องเพิ่มการสึกหรอของมีดกลึงเข้าไปอยู่ในปัจจัยในการกลึงด้วยแต่จะเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้

หลังจากทำการทดลองย่อยแล้ว จึงเริ่มทำการทดลองหลักเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวมากที่สุด ซึ่งจากการทดลองหลัก ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวอย่างชัดเจน คือ ความเร็วรอบ (Speed) และความลึกของการตัด (Depth of cut) ส่วนปัจจัยร่วมคือ ระหว่าง ความเร็วรอบ (Speed) กับอัตราป้อน (Feed), ความเร็วรอบ (Speed) กับความลึกของการตัด (Depth of cut) และ ความเร็วรอบ (Speed) กับความลึกของการตัด (Depth of cut) กับน้ำหล่อเย็น (Coolant) นั้นจะส่งผลต่อความหยาบผิวมากกว่าตัวอื่นอย่างชัดเจน (P-Value น้อยกว่า 0.05)

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาปัจจัยในการกลึงที่มีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงาน AISI 1045 พบว่าการทำงานเป็นไปตามขั้นตอนและตรงตามสมมติฐานตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ แต่ในการศึกษานี้ยังมีจุดบกพร่องในการทำงานอีกบางประการดังนี้

1. อัตราป้อนชิ้นงาน (Feed) ที่ใช้ในการทดลองได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ไว้ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในช่วงของการกลึงละเอียดและค่านั้นใกล้เคียงกันมากเกินไป จึงอาจจะเป็นผลทำให้ผลการทดลองที่ได้ออกมาอัตราป้อนนั้นส่งผลต่อความหยาบผิวน้อยกว่าตัวอื่น ทั้งๆที่ตามทฤษฎีแล้วอัตราป้อนจะต้องเป็นตัวที่ส่งผลต่อความหยาบผิวมากที่สุด จึงควรที่จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ให้ห่างกันมากขึ้น

2. เครื่องทดสอบความหยาบผิวที่ใช้ มีความสามารถในการวัดความหยาบผิวที่ไม่แน่นอน ไม่สามารถเปลี่ยนหัวเข็มที่ใช้วัดได้ เพราะหัวเข็มที่ใช้อาจไม่เหมาะสมกับประเภทของงานที่เราทดลอง จึงทำให้เกิดผิดพลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในการศึกษาครั้งนี้ทำการทดลองกับเหล็กเพียงชนิดเดียวคือ เหล็กกล้า AISI 1045 คังนั้นเพื่อให้แน่ใจว่ากระบวนการกลึงมีผลกระทบต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน จึงควรทำการศึกษาและทดลองเพิ่มเติมกับเหล็กกล้าและโลหะชนิดอื่นด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

นริศ ศรีเมฆ และคณะ. 2450. โลหะวิทยา พิมพ์ครั้งที่ 1

ไพโรจน์ สุขสุวรรณ. 2527. เอกสารประกอบการสอนปฏิบัติงานกลึง

พรศักดิ์ อรรถวานิช. 2536. วัสดุศาสตร์ พิมพ์ครั้งที่ 1

ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม พิมพ์ครั้งที่ 1

สายชล สันตมบูรณ์ทอง. 2545. สถิติเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 3

สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์. 2542. การวางแผนการทดลอง

Douglas C. Montgomery, 5th Edition Design and Analysis of Experiments

Sahin and Motorcu . 2004. Surface roughness model for machining mild steel

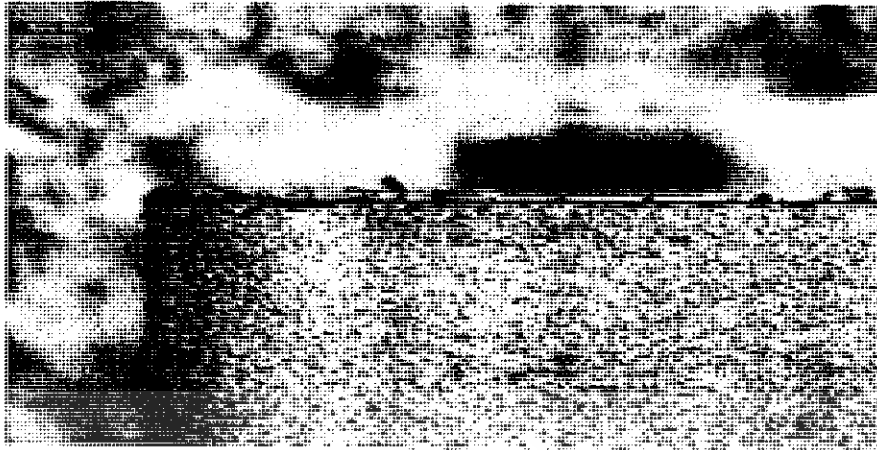
Dabnun et al. 2005. Surface roughness prediction model by design of experiments for turning machinable glass-ceramic



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



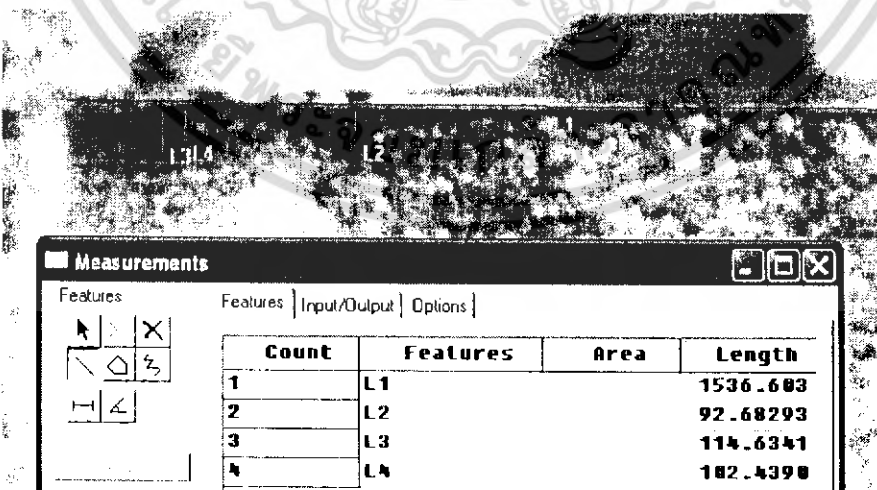
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 1 แสดงการสีกรหรือของมีดกถึงที่กำล้งชย 4 เท่า

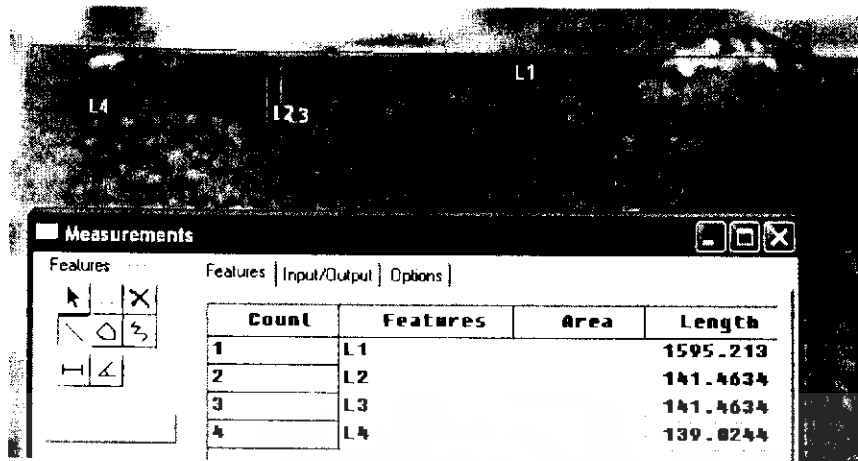


รูปที่ ผข 2 แสดงการสีกรหรือของมีดกถึงที่กำล้งชย 4 เท่า

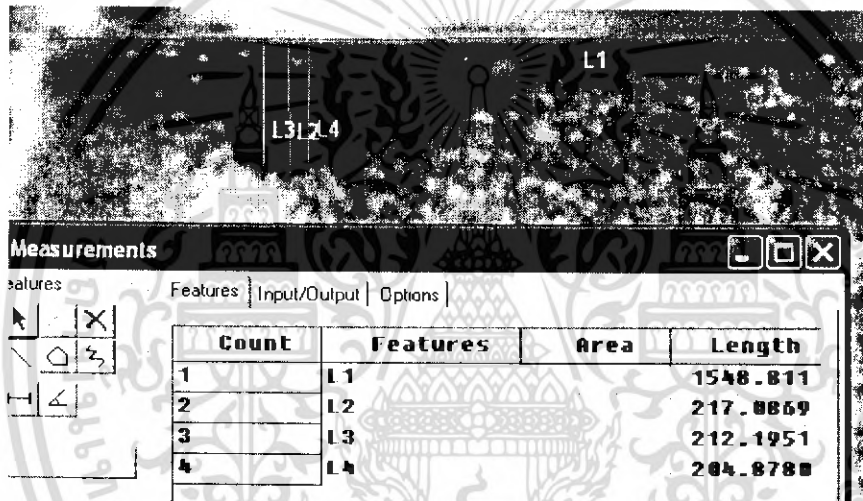


รูปที่ ผข 3 แสดงการสีกรหรือของมีดกถึงที่กำล้งชย 4 เท่า

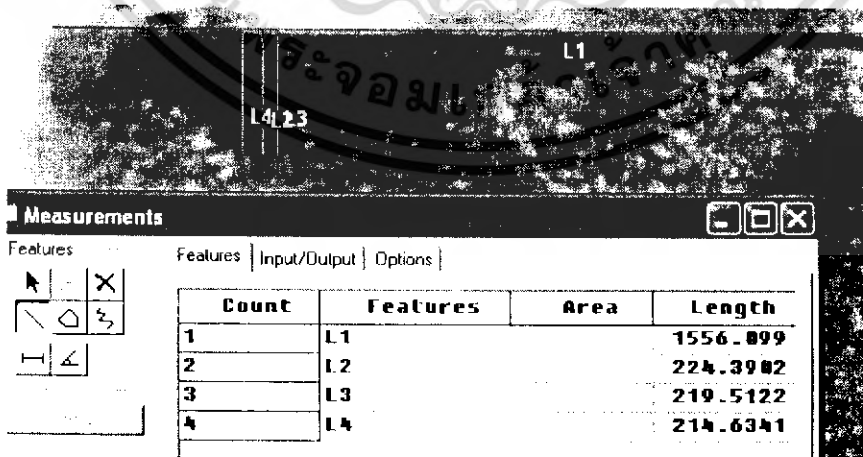
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 4 แสดงการสักหรือของมิดคิ่งที่กำลั้งขย 4 เท่า

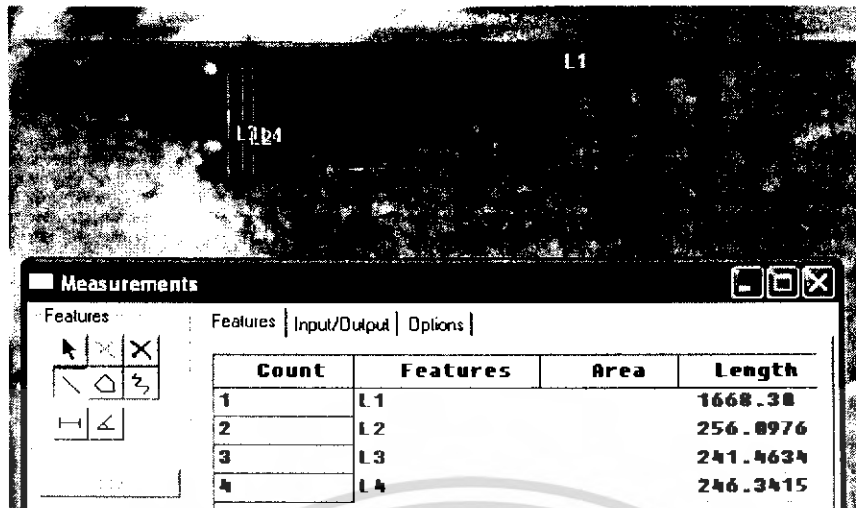


รูปที่ ผข 5 แสดงการสักหรือของมิดคิ่งที่กำลั้งขย 4 เท่า

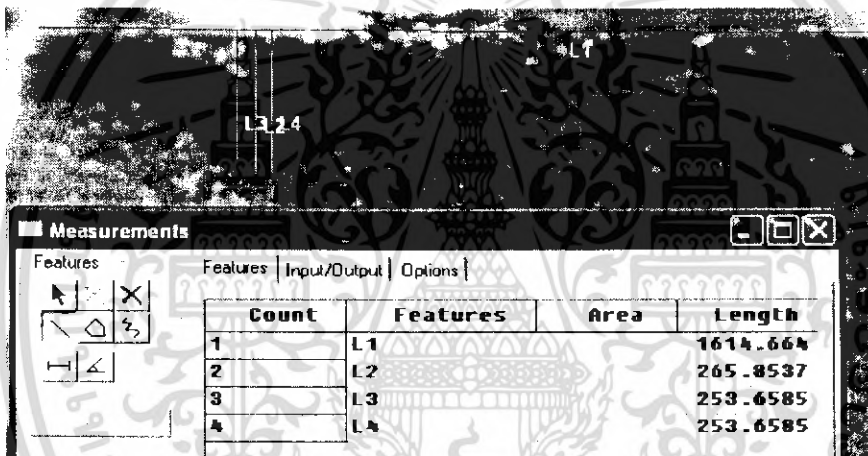


รูปที่ ผข 6 แสดงการสักหรือของมิดคิ่งที่กำลั้งขย 4 เท่า

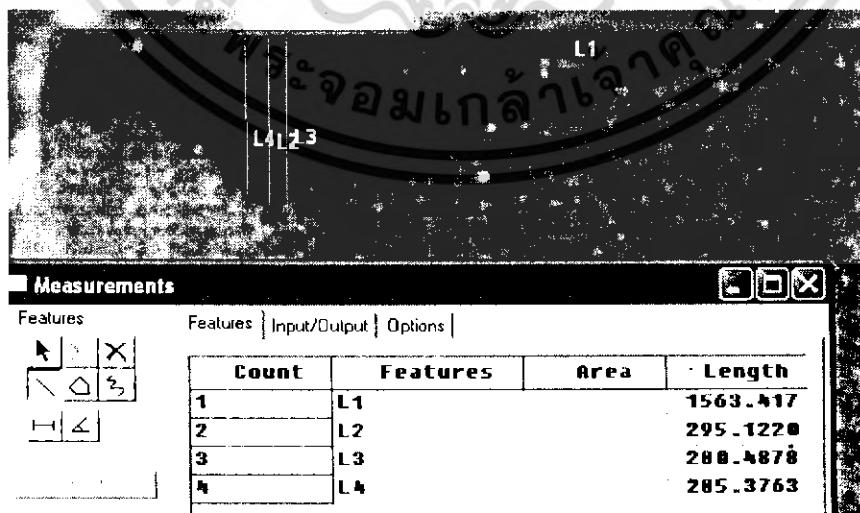
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 7 แสดงการสีกหรือของมิดคิ่งที่กำล้งขย 4 เท้า

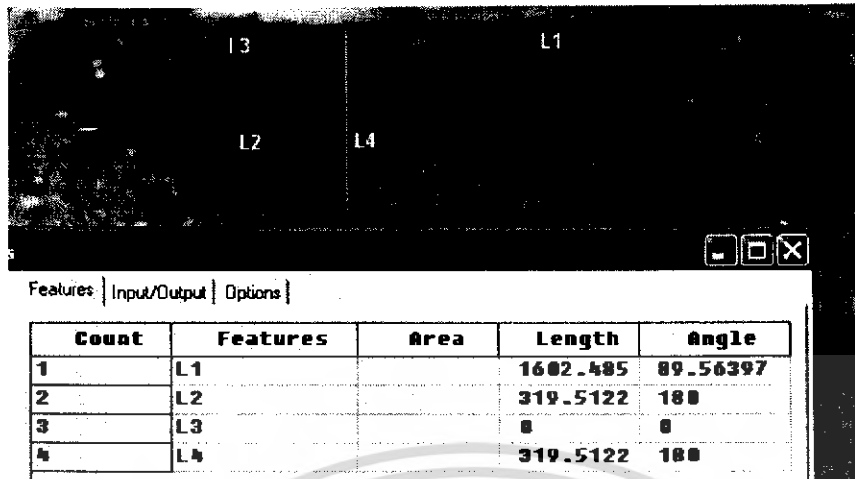


รูปที่ ผข 8 แสดงการสีกหรือของมิดคิ่งที่กำล้งขย 4 เท้า

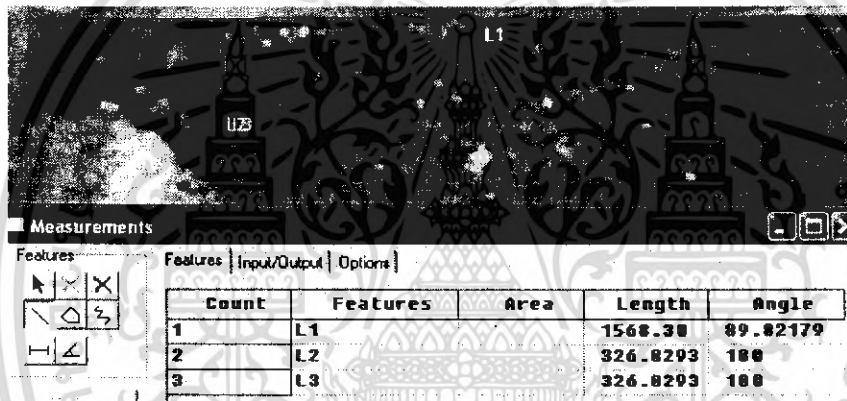


รูปที่ ผข 9 แสดงการสีกหรือของมิดคิ่งที่กำล้งขย 4 เท้า

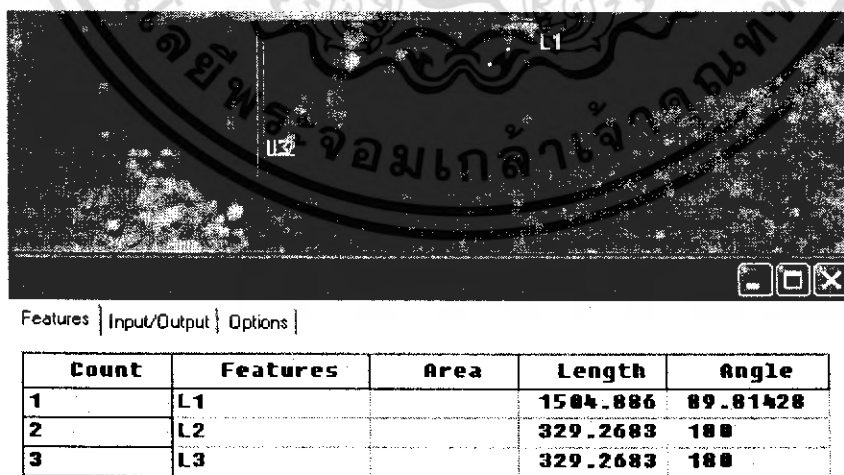
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 10 แสดงการสีกหรือของมีคคสังที่กำล้งขยย 4 เท้า

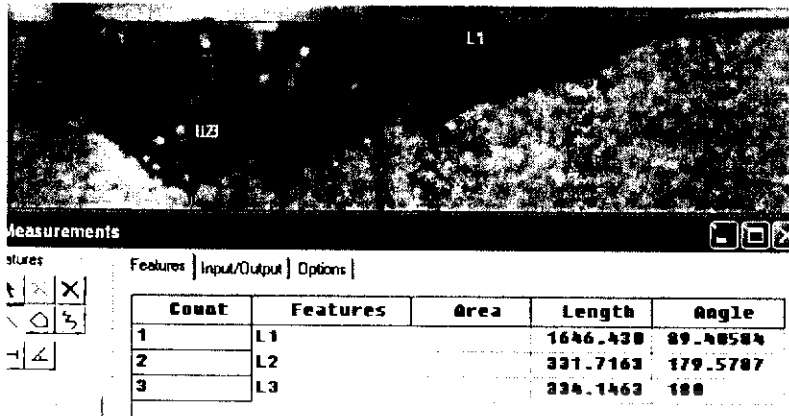


รูปที่ ผข 11 แสดงการสีกหรือของมีคคสังที่กำล้งขยย 4 เท้า

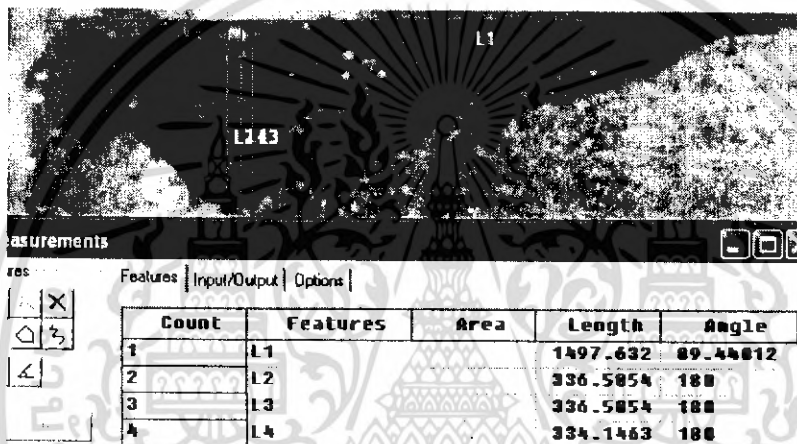


รูปที่ ผข 12 แสดงการสีกหรือของมีคคสังที่กำล้งขยย 4 เท้า

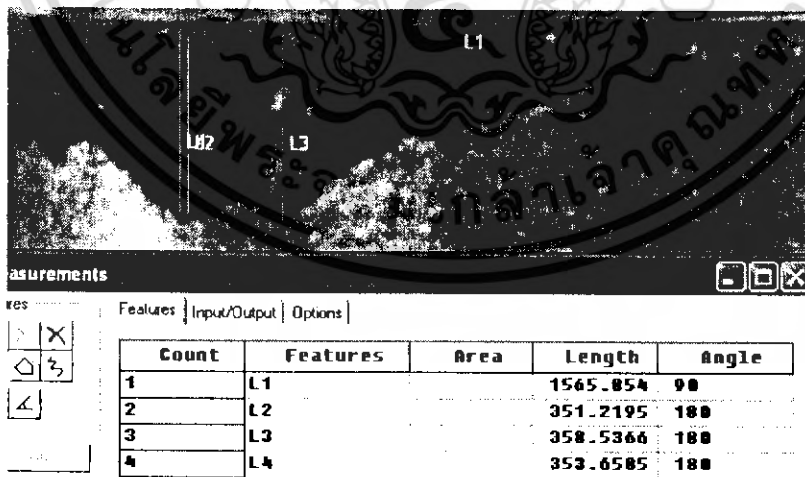
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 13 แสดงการสกัดหระของมิดคถึงที่กำล้งขย 4 เท่า

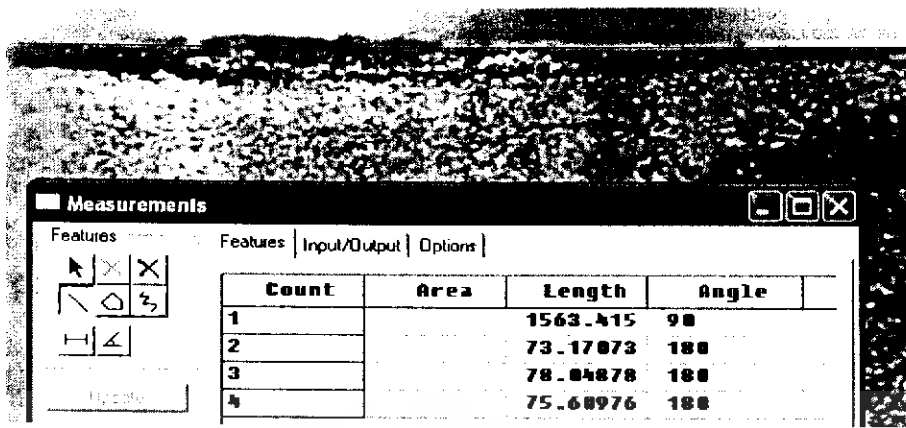


รูปที่ ผข 14 แสดงการสกัดหระของมิดคถึงที่กำล้งขย 4 เท่า

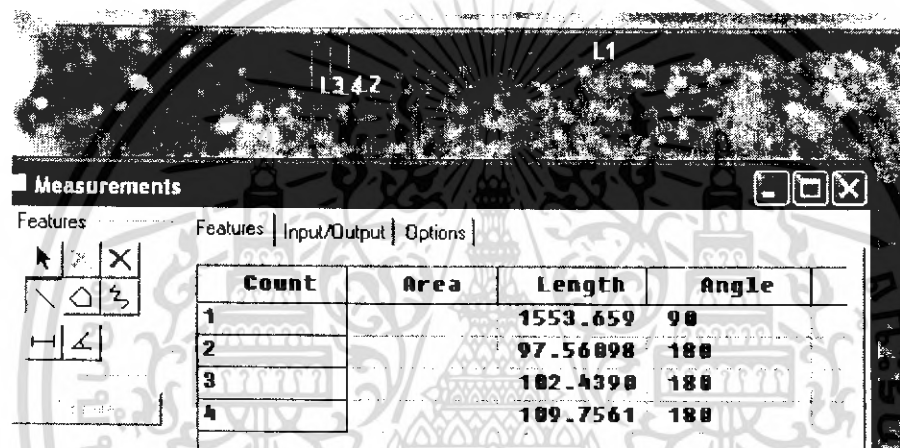


รูปที่ ผข 15 แสดงการสกัดหระของมิดคถึงที่กำล้งขย 4 เท่า

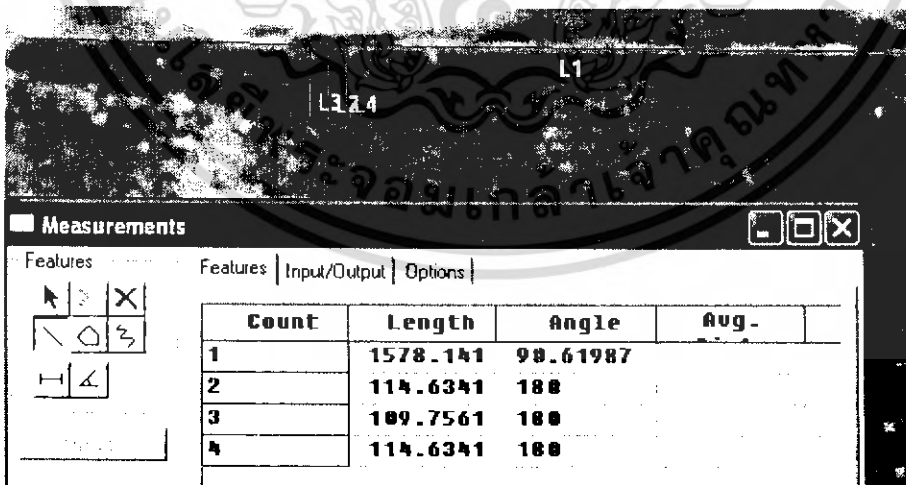
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 16 แสดงการสี่กรของมีคคสิ่งทีกำลังขยาย 4 เท่า

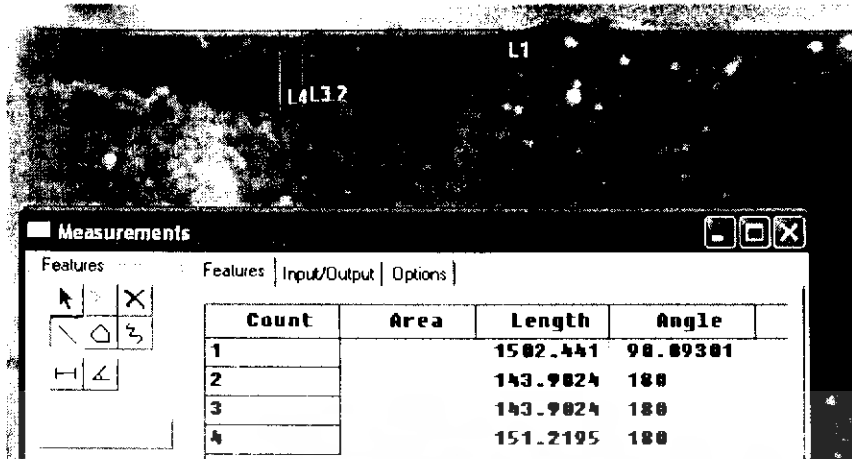


รูปที่ ผข 17 แสดงการสี่กรของมีคคสิ่งทีกำลังขยาย 4 เท่า

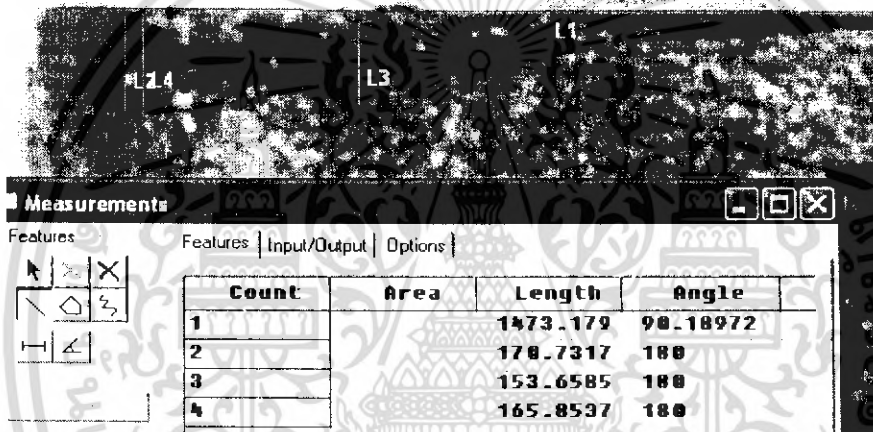


รูปที่ ผข 18 แสดงการสี่กรของมีคคสิ่งทีกำลังขยาย 4 เท่า

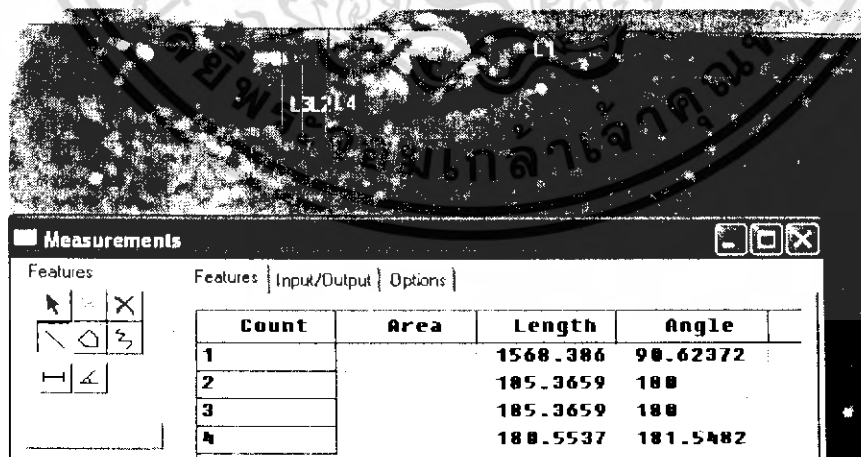
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 19 แสดงการสีกหระของมีคคสังที่กำล้งขย 4 เทำ

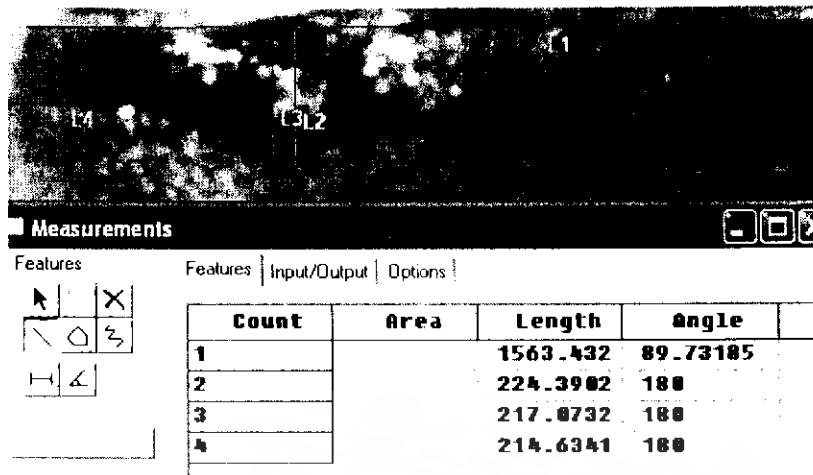


รูปที่ ผข 20 แสดงการสีกหระของมีคคสังที่กำล้งขย 4 เทำ

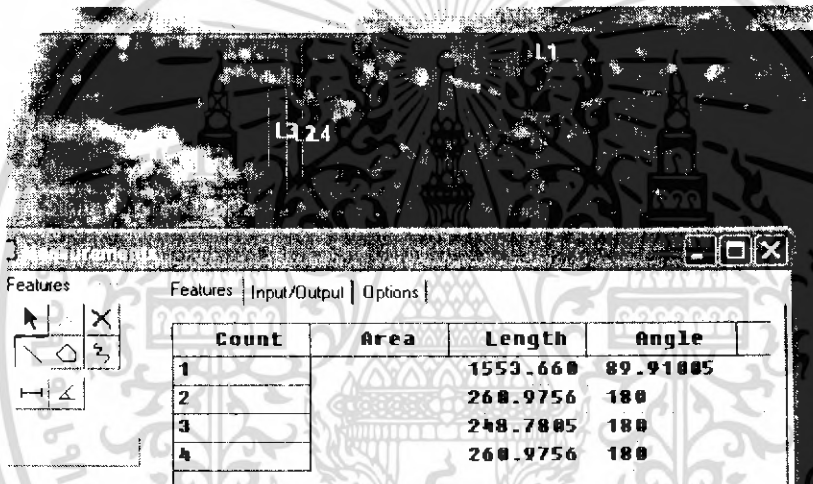


รูปที่ ผข 21 แสดงการสีกหระของมีคคสังที่กำล้งขย 4 เทำ

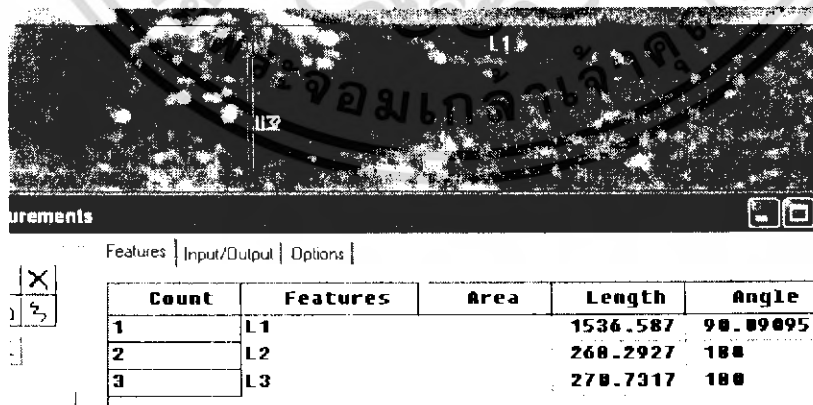
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 22 แสดงการเลือกหรือของมีดกลึงที่กำลังขยาย 4 เท่า



รูปที่ ผข 23 แสดงการเลือกหรือของมีดกลึงที่กำลังขยาย 4 เท่า

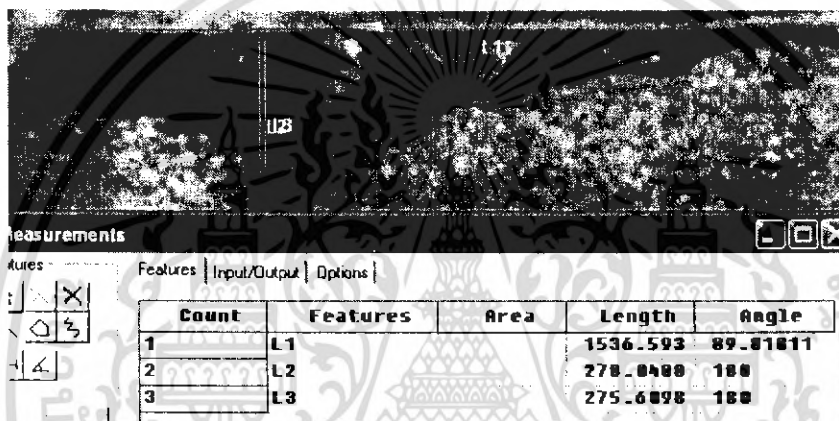


รูปที่ ผข 24 แสดงการเลือกหรือของมีดกลึงที่กำลังขยาย 4 เท่า

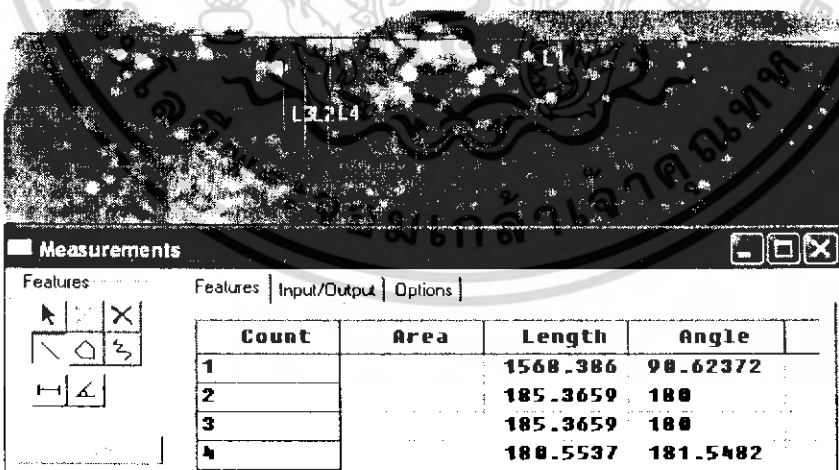
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผช 25 แสดงการสกัดหรือของมีคดลิ่งที่กำลังขยาย 4 เท่า

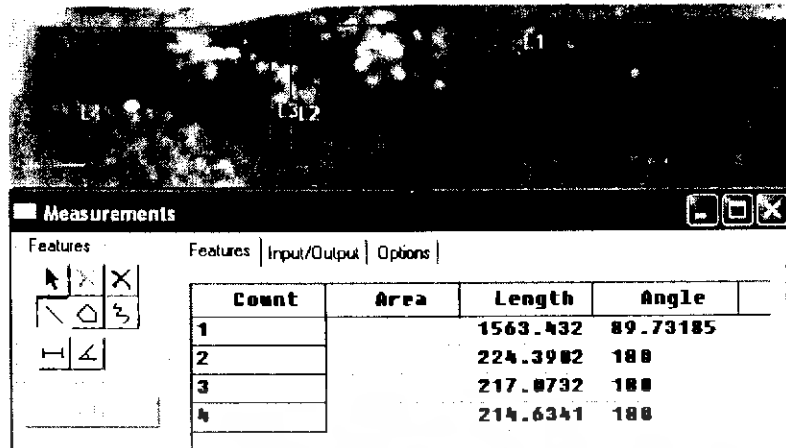


รูปที่ ผช 26 แสดงการสกัดหรือของมีคดลิ่งที่กำลังขยาย 4 เท่า

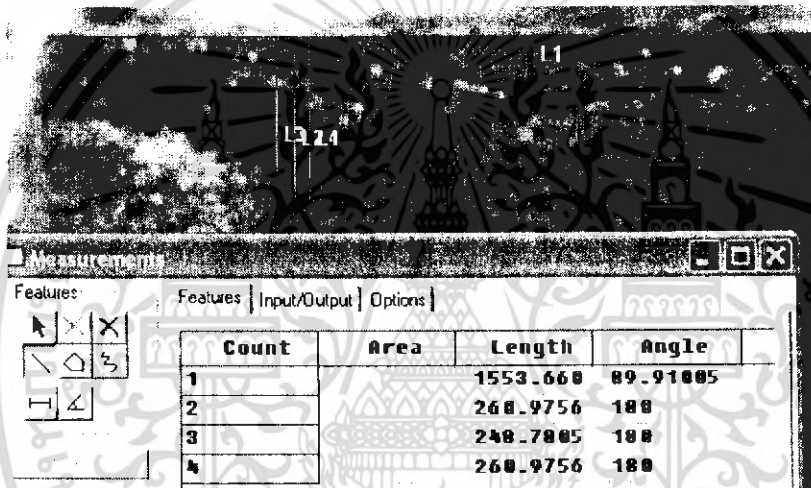


รูปที่ ผช 27 แสดงการสกัดหรือของมีคดลิ่งที่กำลังขยาย 4 เท่า

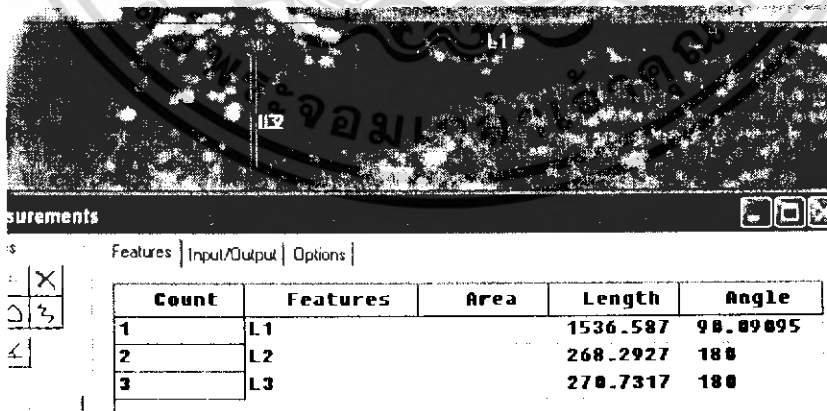
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 28 แสดงการตีกรอของมีดกลิ้งที่กำลังขยาย 4 เท่า

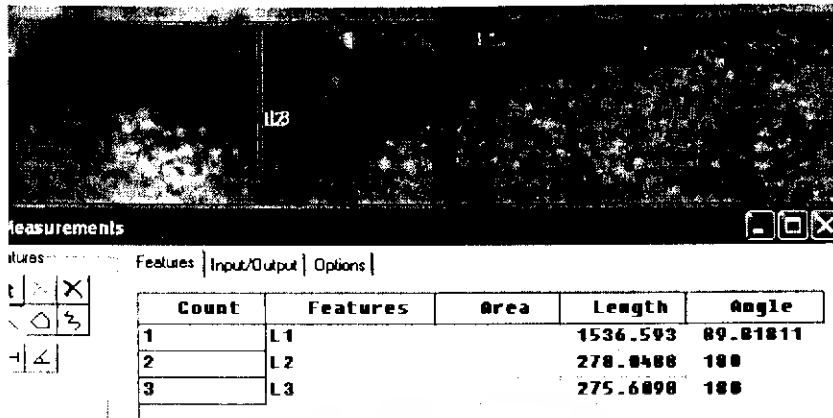


รูปที่ ผข 29 แสดงการตีกรอของมีดกลิ้งที่กำลังขยาย 4 เท่า

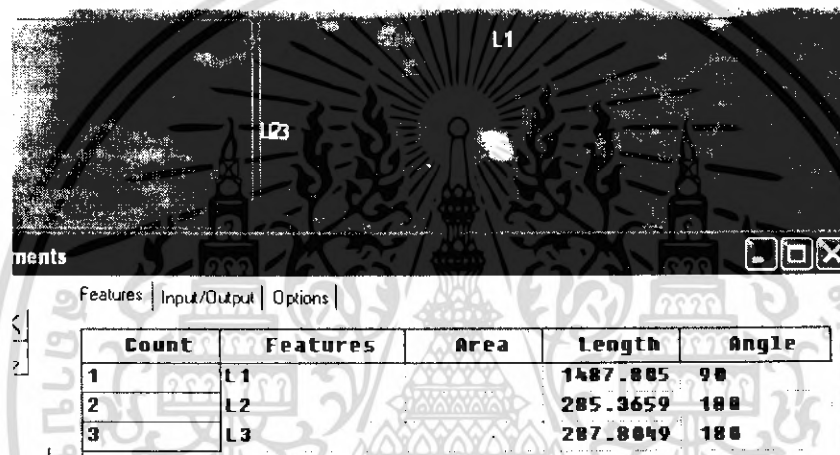


รูปที่ ผข 30 แสดงการตีกรอของมีดกลิ้งที่กำลังขยาย 4 เท่า

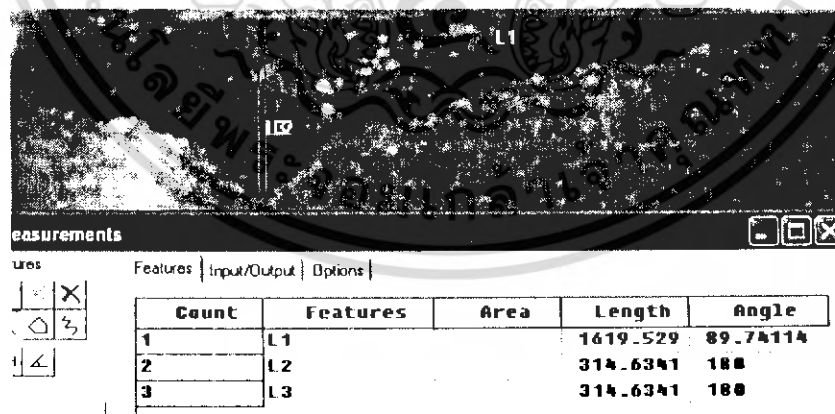
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 31 แสดงการสีกรของมิดคสิ่งทีกำลังขยาย 4 เท่า

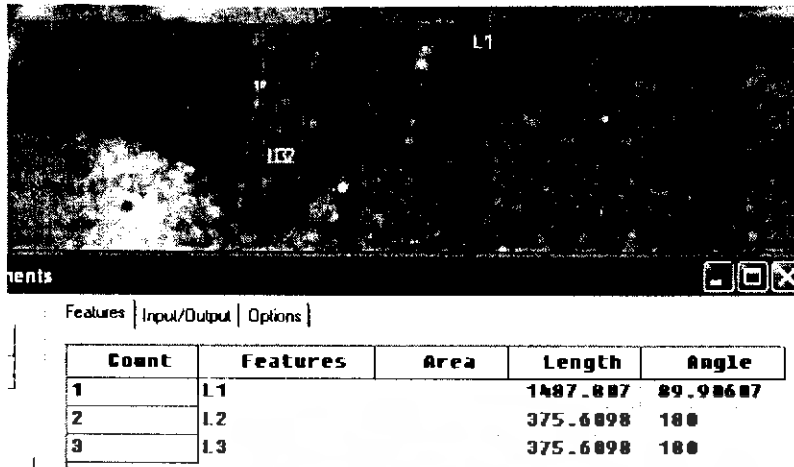


รูปที่ ผข 32 แสดงการสีกรของมิดคสิ่งทีกำลังขยาย 4 เท่า

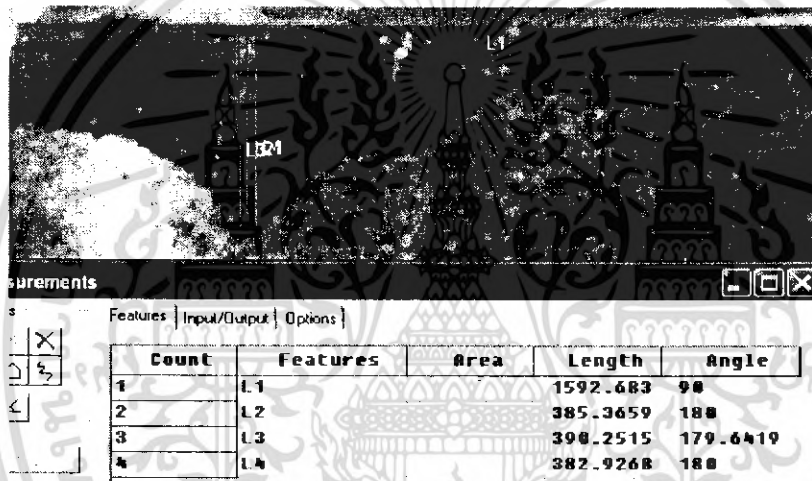


รูปที่ ผข 33 แสดงการสีกรของมิดคสิ่งทีกำลังขยาย 4 เท่า

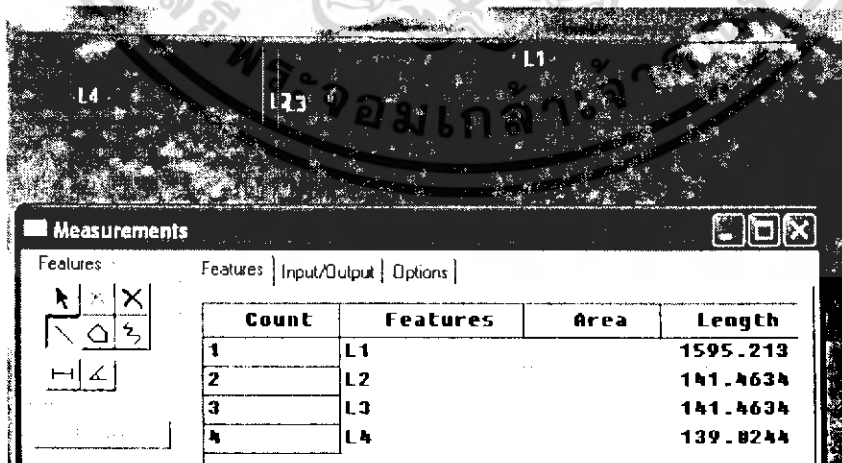
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 34 แสดงการสีกหรือของมีคกสิ่งทีกำลึงขย 4 เท้า

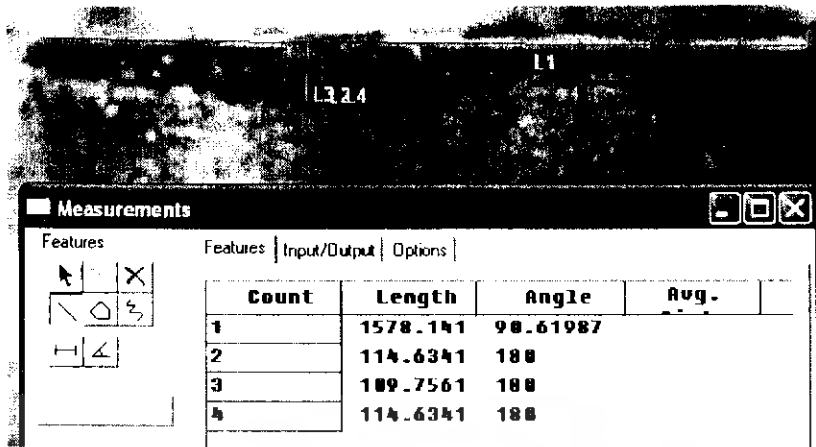


รูปที่ ผข 35 แสดงการสีกหรือของมีคกสิ่งทีกำลึงขย 4 เท้า

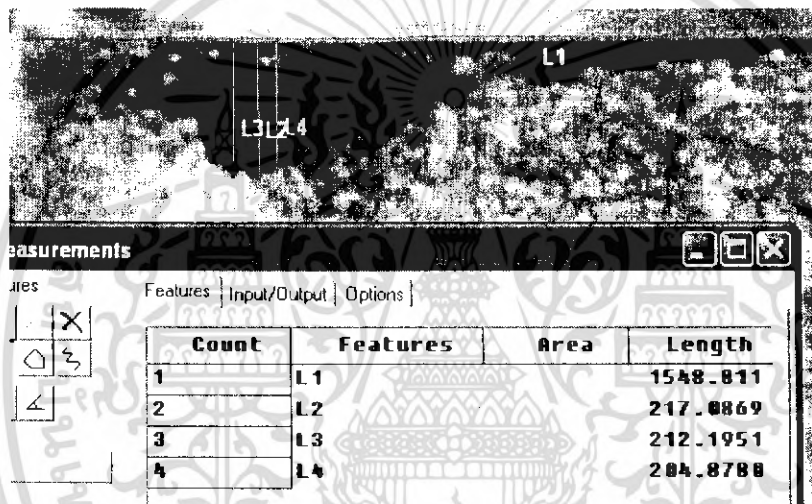


รูปที่ ผข 36 แสดงการสีกหรือของมีคกสิ่งทีกำลึงขย 4 เท้า

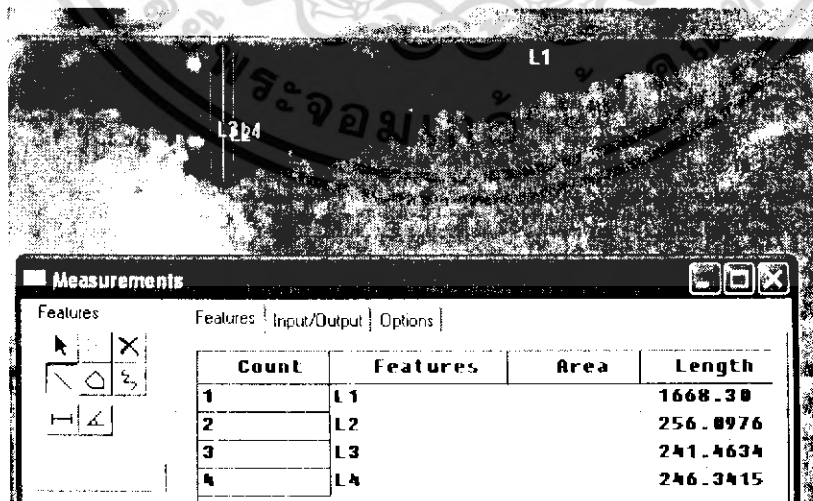
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 37 แสดงการสี่กรหของมีคกสิ่งทีกำลังขย 4 เเท

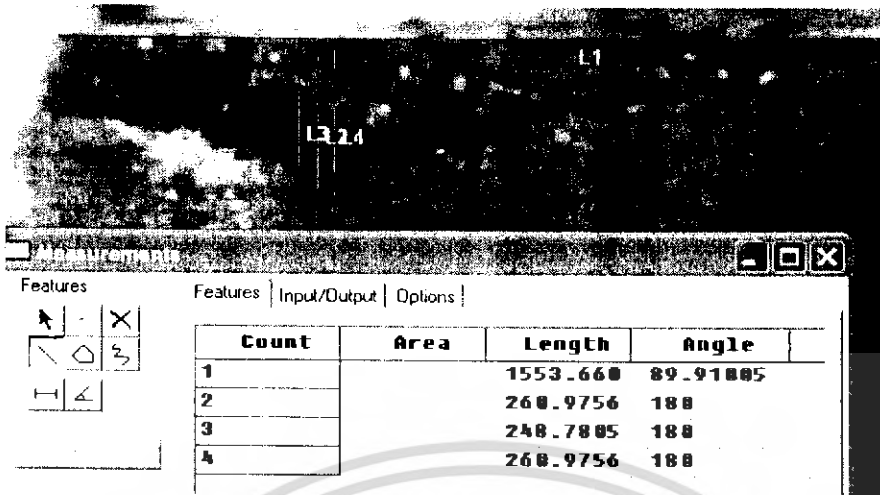


รูปที่ ผข 38 แสดงการสี่กรหของมีคกสิ่งทีกำลังขย 4 เเท



รูปที่ ผข 39 แสดงการสี่กรหของมีคกสิ่งทีกำลังขย 4 เเท

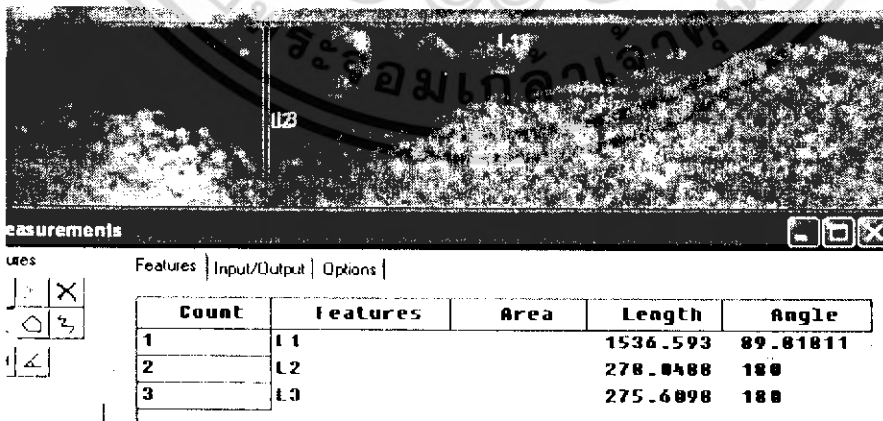
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 40 แสดงการตีกรอของมิดคิ่งที่กำลังขยาย 4 เท่า

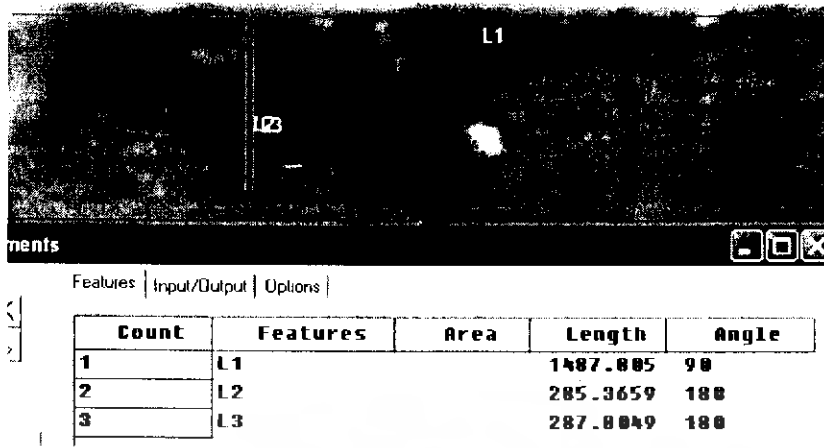


รูปที่ ผข 41 แสดงการตีกรอของมิดคิ่งที่กำลังขยาย 4 เท่า

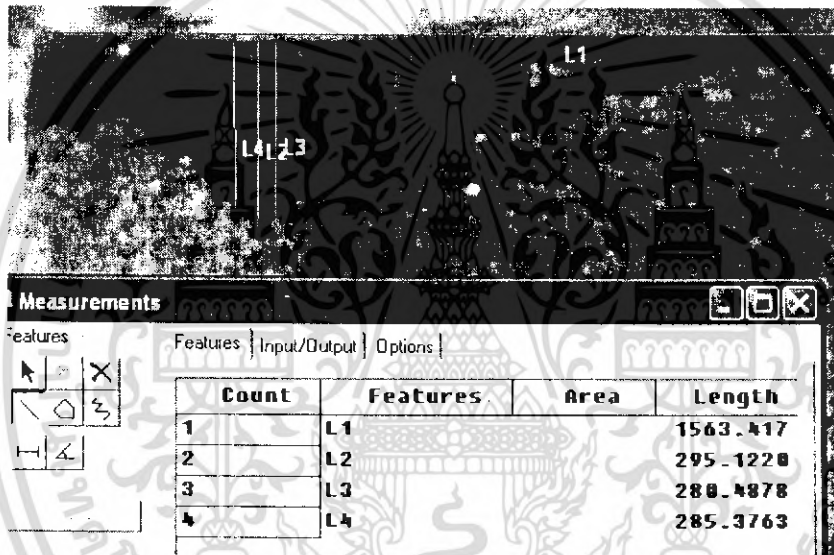


รูปที่ ผข 42 แสดงการตีกรอของมิดคิ่งที่กำลังขยาย 4 เท่า

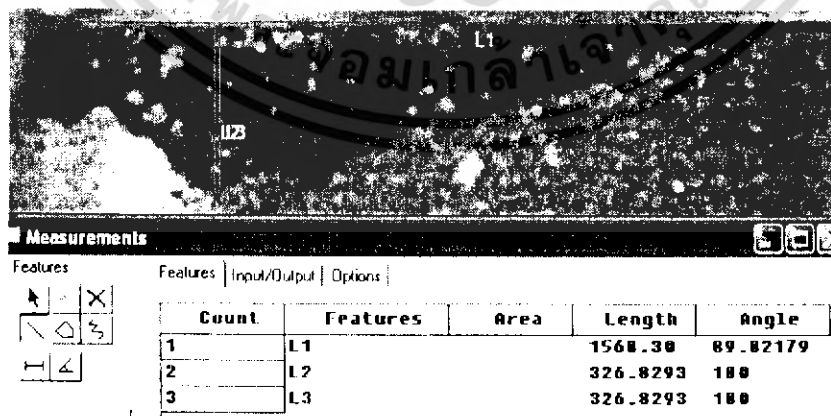
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 43 แสดงการสีกหรือของมีดกลึงที่กำลังขยาย 4 เท่า

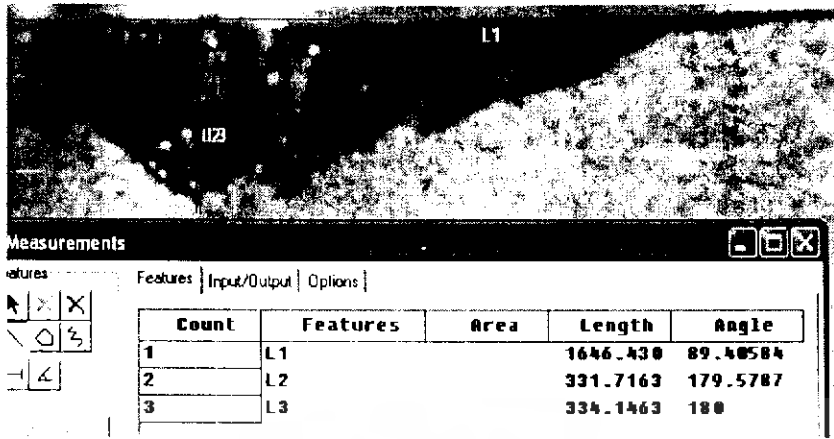


รูปที่ ผข 44 แสดงการสีกหรือของมีดกลึงที่กำลังขยาย 4 เท่า

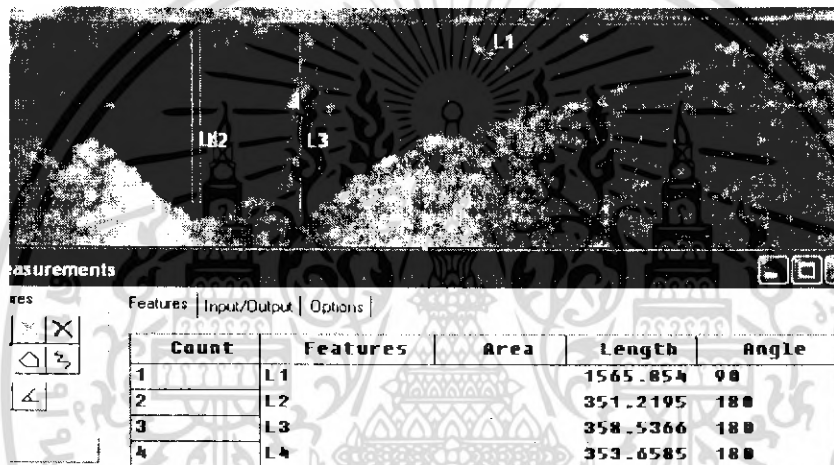


รูปที่ ผข 45 แสดงการสีกหรือของมีดกลึงที่กำลังขยาย 4 เท่า

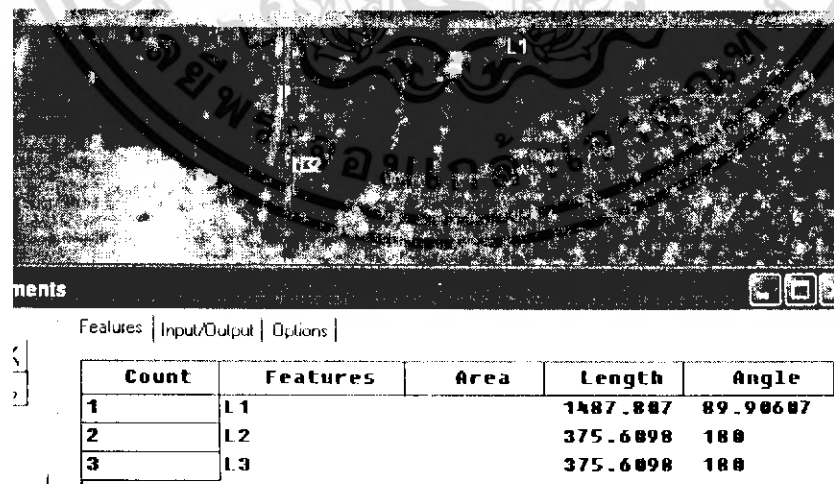
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผข 46 แสดงการ สักหรือของมีคตลิ่งที่กำล้งขย 4 เท้า



รูปที่ ผข 47 แสดงการ สักหรือของมีคตลิ่งที่กำล้งขย 4 เท้า



รูปที่ ผข 48 แสดงการ สักหรือของมีคตลิ่งที่กำล้งขย 4 เท้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผค 1 แสดงคุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045

ส่วนผสมทางเคมี	C	Si	Mn	Pmax	Smax
	0.43 – 0.5	0.15 – 0.3	0.6 – 0.9	0.04	0.05
เกรดเหล็กที่ใกล้เคียง	DIN	JIS	SS14	ASTM	AFNOR
	1.1191	S45C	1672	A29, A510	XC42

คุณลักษณะ เหล็กเกรดนี้จัดเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางใช้เมื่อต้องการความแข็งแรงและความแข็งในสภาพหลังการรีดสูง มีความสามารถชุบแข็งรูปได้ดีมาก ชุบแข็งโดยใช้เปลวไฟและวิธีอินดักชั่นได้ดี แต่ไม่เหมาะกับการเค็มคาร์บอนหรือทำไนตรายิ่ง ความสามารถในการเชื่อมไม่ดี
การใช้งาน ใช้ทำเฟือง เพลา สลักเกลียว และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ

ตารางที่ ผค 2 จุดวิกฤติของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045

จุดวิกฤติ	Ac1	Ac3	Ar3	Ar1
	725 (1340)	780 (1435)	750 (1385)	680 (1260)

ตารางที่ ผค 3 คุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว				อุณหภูมิอบชุบและชุบแข็งรูป		
อุณหภูมิ		ค่าสัมประสิทธิ์		กรรมวิธี	กรรมวิธี	
°C	°F	µm/m.k	µin/in. °F		8 C	8 F
0 – 100	32 – 212	11.5	6.4	ชุบแข็งรูป	1245	2275
0 – 500	32 – 930	14	7.8	อบอ่อน	790 – 870	1450-1600
25 – 100	75 – 212	11.2	6.2	อบคืนตัว	830 – 915	1525-1675
25 – 500	75 – 930	14	7.8	อบอบสเทนไนท์	800 – 845	1475-1550
25 – 600	75 – 1110	14.4	8			
25 – 700	75 - 1290	14.06	8.2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผศ 4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045

สภาพงาน	ขนาดงานกลม		ความต้านแรงดึง		จุดจํานน		ความยืด ตัว	ความ แข็ง
	mm	in	MPa	ksi	MPa	ksi		
รีดร้อน	19 – 32	0.75 – 1.25	565	82	310	45	16	163
รีดเย็น	19 – 32	0.75 – 1.25	625	91	530	77	12	179
รีดเย็น,อบอ่อน	19 – 32	0.75 – 1.25	585	85	505	73	12	170
กลึง,เจียร,ขัดผิว	19 – 32	0.75 – 1.25	675	98	405	59	24	212
ดึงเย็น	16 – 32	0.63 – 0.88	655	95	585	85	12	187
	22 – 32	0.88 – 1.25	620	90	550	80	11	179
	32 – 50	1.25 – 2	585	85	515	75	10	170
	50 – 75	2 ถึง 3	515	75	485	70	10	163
ดึงเย็น อบอุณหภูมิต่ำ	16 – 22	0.63 – 0.88	690	100	620	90	12	197
	22 – 32	0.88 – 1.25	655	95	585	85	11	187
	32 – 50	1.25 – 2	620	90	550	80	10	179
ดึงเย็น อบอุณหภูมิสูง	16 – 22	0.63 – 0.88	655	95	515	75	15	187
	22 – 32	0.88 – 1.25	620	90	515	75	15	179
	32 – 50	1.25 – 2	585	85	485	70	15	170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SHIJIAZHUANG IRON AND STEEL HOLDINGS LTD.

COMMODITY: HOT ROLLED STEEL ROUND BAR No. 189321
STEELGRADE: SC45 SURFACE QUALITY: QUALIFIED
SIZE: Ø30 mm DELIVERY CONDITION: HOT ROLLED
WEIGHT: 54.553 MT STANDARD: JIS G4051
NO.OF BUNDLE: 20

HEAT	CHEMICAL COMPOSITION (%)										
	MECHANICS					HARDNESS			MACROSTRUCTURE		
5204169	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu			
	0.46	0.24	0.71	0.009	0.010	0.10	0.010	0.01			
	σ_s MPa	σ_b MPa	δ_5 %	X %	HARDNESS			G.P.	C.P.	I.P.	
	<355	<600	<16.0	<40.0	[0]			(0.0/0.0)	(1.5/1.0)	(0.0/0.0)	

NOTE: σ_b = TENSILE STRENGTH, σ_s = YIELD STRENGTH

G.P. = GENERAL POROSITY, C.P. = CENTRAL POROSITY, I.P. = INGOT PATTERN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้