

การศึกษาพารามิเตอร์ของกระบวนการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอนบนเครื่องกลึงซีเอ็นซี  
โดยการประยุกต์ใช้วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด

นายปิยะ ศิริธรรมปิติ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

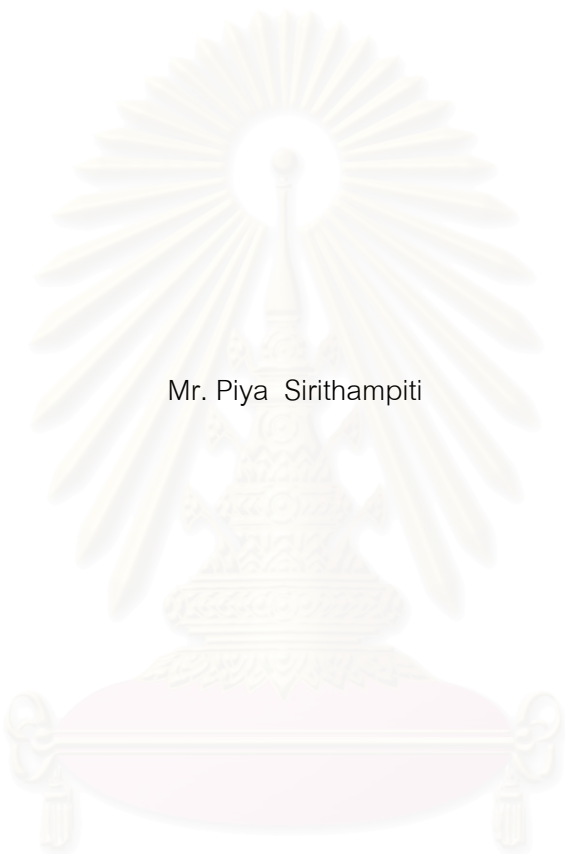
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE STUDY OF PARAMETERS OF TURNING PROCESS FOR CARBON STEEL ON CNC TURNING  
MACHINE BY UTILIZING THE MINIMUM QUANTITY LUBRICATION (MQL)



Mr. Piya Sirithampiti

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาพารามิเตอร์ของกระบวนการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอนบน  
เครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยการประยุกต์ใช้วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด

โดย

นายปิยะ ศิริธรรมปิติ

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

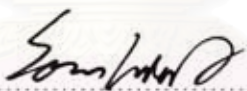
อาจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เภาประเสริฐวงศ์)

ปิยะ ศิริธรรมปิติ : การศึกษาพารามิเตอร์ของกระบวนการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอนบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยการประยุกต์ใช้วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด. (THE STUDY OF PARAMETERS OF TURNING PROCESS FOR CARBON STEEL ON CNC TURNING MACHINE BY UTILIZING THE MINIMUM QUANTITY LUBRICATION (MQL))

อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ, 111 หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาพารามิเตอร์ของกระบวนการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอนโดยการประยุกต์ใช้วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด (Minimum Quantity Lubrication; MQL) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นเงื่อนไขการตัดที่ให้ความหยาบผิวชิ้นงานต่ำ ความสึกหรอมัดตัดต่ำ และใช้แรงในการตัดต่ำ

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการทดลองแปรผันเงื่อนไขในการตัดดังนี้ อัตราป้อนตัด 0.15 และ 0.18 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วตัด 150, 250 และ 350 เมตร/นาที ความลึกตัด 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร โดยใช้วิธีการหล่อเย็นแบบแห้ง แบบเปียก และแบบสารหล่อเย็นน้อยที่สุดที่ความดันในการฉีดสารหล่อเย็น 3, 5, 7 บาร์ ซึ่งออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคเชิงแฟกทอเรียล ผลตอบที่สนใจ 5 ตัวคือ ความหยาบผิวชิ้นงาน ความสึกหรอมัดตัด แรงตัดแนวแกน แรงตัดแนวรัศมี และแรงตัดหลัก

ผลจากการทดลองพบว่าด้วยความเชื่อมั่นที่ 95% ความเร็วตัดมีผลต่อผลตอบทั้ง 5 ตัว อัตราป้อนตัดไม่มีผลต่อแรงตัดแนวรัศมี ความลึกตัดไม่มีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงานและแรงตัดแนวแกน โดยเงื่อนไขการตัดที่ให้ผลตอบทั้ง 5 ตัวดีที่สุดคือเงื่อนไขการตัดที่ อัตราป้อนตัด 0.15 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วตัด 250 เมตร/นาที ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ด้วยการตัดแบบแห้ง

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ  
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ  
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต..... *ปิยะ ศิริธรรมปิติ*  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *สมเกียรติ*

## 4770647321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: CUTTING CONDITION / ROUGHNESS / WEAR / CUTTING FORCE / MQL

PIYA SIRITHAMPITI: THE STUDY OF PARAMETERS OF TURNING PROCESS FOR CARBON STEEL ON CNC TURNING MACHINE BY UTILIZING THE MINIMUM QUANTITY LUBRICATION (MQL).

THESIS ADVISOR: SOMKIAT TANGJITSITCHAROEN, D.Eng., 111 pp.

This research studied parameters of turning process for carbon steel on CNC turning machine by utilizing the minimum quantity lubrication (MQL). The objectives were to find which factors effect on responses and to find the best cutting condition that provides low surface roughness, low tool wear and low cutting force.

Under the study, Cutting parameters are feed rate at 0.15 and 0.18 mm/rev, cutting speed at 150, 250 and 350 m/min, depth of cut at 0.5 and 1.0 mm. with cooling condition at dry cutting, wet cutting and MQL cutting at 3, 5, 7 bar. The Design of Experiment was carried out based on 5 responses; surface roughness, tool wear, feed cutting force, radial cutting force, main cutting force.

The result showed that, at 95% confidential level, 1) cutting speed affected all five response 2) feed rate did not affect radial cutting force 3) depth of cut did not affect surface roughness and feed cutting force. Cutting conditions that provide the best response is at feed rate 0.15 mm/rev cutting speed 250 m/min depth of cut 0.5 mm with dry cutting.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Industrial Engineering  
Field of Study Industrial Engineering  
Academic year 2007 .

Student's signature .....  
Advisor's signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีของ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับสนับสนุนทุนวิจัยโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา และ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เกาประเสริฐวงศ์ ที่ได้ตรวจสอบความสมบูรณ์และให้ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	7
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
3.1 การออกแบบการทดลอง.....	35
3.2 การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	35
3.3 ข้อจำกัดในการวิจัย.....	36
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	36
3.5 ขั้นตอนดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	37
3.6 ขั้นตอนการทำการทดลอง.....	38
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	41

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	44
4.1 ผลจากการทดลองและการวิเคราะห์.....	44
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	59
4.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ปัจจัยการตัดต่างๆกัน.....	87
4.4 การหาสภาวะการตัดที่เหมาะสม.....	100
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	102
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	102
5.2 อภิปรายผลการวิจัย.....	102
5.3 อุปสรรคในงานวิจัย.....	103
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	103
รายการอ้างอิง.....	104
ภาคผนวก.....	106
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	111

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 กระบวนการตัดแบ่งประเภทเป็นการตัดแบบหยาบและการตัดแบบละเอียด.....	9
ตารางที่ 2.2 รูปแบบการชำรุดของมิดตัดเป็นไปได้เนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้.....	14
ตารางที่ 2.3 กลไกที่ทำให้เกิดการสึกหรอบนมิดตัด.....	16
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการทดลอง.....	39
ตารางที่ 3.2 ตารางสรุปผลการทดลองของแต่ละเงื่อนไขการตัด.....	41
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองจากการตัดที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ตลอดปริมาตรเหล็กที่กลึง ครบ 2.0 ลบ.ม.....	45
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจากการตัดที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ณ ปริมาตรกลึง 1.5 ลบ.ม.....	57
ตารางที่ 4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างผลตอบและปัจจัยต่างๆ.....	86
ตารางที่ 4.4 คะแนนความสำคัญของแต่ละผลตอบ.....	100
ตารางที่ 4.5 การจัดลำดับของการทดลองเรียงตามลำดับ.....	101

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 สัดส่วนต้นทุนของสารหล่อเย็นกับต้นทุนในการผลิต.....	3
รูปที่ 1.2 ประโยชน์ของการตัดแบบแห้ง.....	4
รูปที่ 1.3 ระบบของ ปริมาณสารหล่อลื่นหล่อเย็นน้อยที่สุด.....	5
รูปที่ 1.4 ระบบไฮดรอลิกของกระบวนการตัด.....	5
รูปที่ 2.1 กระบวนการการตัดต่างๆที่เป็นพื้นฐานสำคัญ.....	7
รูปที่ 2.2 ปัจจัยต่างๆในการตัด.....	8
รูปที่ 2.3 แสดงการตัดโลหะแบบ Orthogonal Cutting และ Oblique Cutting.....	9
รูปที่ 2.4 แสดงภาพ 3 มิติของการตัดแบบ Orthogonal Cutting .....	10
รูปที่ 2.5 การเกิดเศษโลหะที่เกิดขึ้นจริงในการตัด.....	11
รูปที่ 2.6 ประเภทของเศษโลหะที่เกิดขึ้นแบ่งตามรูปร่าง .....	12
รูปที่ 2.7 บริเวณที่เกิดความร้อนขณะตัด.....	12
รูปที่ 2.8 สัดส่วนความร้อนที่เกิดขึ้นขณะตัด.....	13
รูปที่ 2.9 แสดงการสึกของมีดตัด ที่เป็นตำแหน่งสำคัญของการเกิดรอยสึก.....	14
รูปที่ 2.10 รอยสึกบนผิวคาย และรอยสึกบนผิวหลบ.....	15
รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรอยสึกบนผิวคายและเวลาที่ใช้ในการตัดที่ ความเร็วต่างๆกัน.....	17
รูปที่ 2.12 รูปทรงของมีดตัด.....	19
รูปที่ 2.13 การกำหนดสัญลักษณ์ของมีดตัด.....	20
รูปที่ 2.14 รายละเอียดของผิวชิ้นงาน.....	22
รูปที่ 2.15 สัดส่วนการใช้สารหล่อเย็นในประเทศสหรัฐอเมริกา.....	26
รูปที่ 2.16 การใช้สารหล่อเย็นแบบดั้งเดิม หรือการหล่อเย็นแบบเปียก.....	26
รูปที่ 2.17 การใช้ Cutting Fluids แบบ Mist application.....	27
รูปที่ 2.18 วิธี High-jet method.....	28
รูปที่ 2.19 ผลของแรงดันลำน้ำต่ออุณหภูมิระหว่างผิวสัมผัสมีดตัดกับเศษโลหะ.....	28
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ของค่า Ra กับ Rz.....	54
รูปที่ 4.2 กราฟอิทธิพลหลักของค่า Ra กับปัจจัยต่างๆ.....	55

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.3 Normal Probability Plot ของ Ra.....	60
รูปที่ 4.4 กราฟทดสอบความเป็นอิสระของ Ra.....	60
รูปที่ 4.5 กราฟระหว่าง Residual กับ อัตราข้อบกพร่อง แสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Ra.....	61
รูปที่ 4.6 กราฟระหว่าง Residual กับ ความเร็วตัดแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Ra.....	61
รูปที่ 4.7 กราฟระหว่าง Residual กับ ความลึกตัดแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Ra.....	62
รูปที่ 4.8 กราฟระหว่าง Residual กับ วิธีการหล่อเย็นแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Ra.....	62
รูปที่ 4.9 กราฟอิทธิพลหลักระหว่าง Ra กับ ปัจจัยต่างๆ.....	64
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ของค่า Vba กับ Vbm.....	65
รูปที่ 4.11 Normal Probability Plot ของ Vba.....	66
รูปที่ 4.12 กราฟทดสอบความเป็นอิสระของ Vba.....	66
รูปที่ 4.13 กราฟระหว่าง Residual กับ อัตราข้อบกพร่อง แสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Vba.....	67
รูปที่ 4.14 กราฟระหว่าง Residual กับ ความเร็วตัดแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Vba.....	67
รูปที่ 4.15 กราฟระหว่าง Residual กับ ความลึกตัดแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Vba.....	68
รูปที่ 4.16 กราฟระหว่าง Residual กับ วิธีการหล่อเย็นแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Vba.....	68
รูปที่ 4.17 กราฟอิทธิพลหลักระหว่าง Vba กับ ปัจจัยต่างๆ.....	70
รูปที่ 4.18 Normal Probability Plot ของ Fx.....	71
รูปที่ 4.19 กราฟทดสอบความเป็นอิสระของ Fx.....	72
รูปที่ 4.20 กราฟระหว่าง Residual กับ อัตราข้อบกพร่อง แสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Fx.....	72

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.21 กราฟระหว่าง Residual กับ ความเร็วตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ $F_x$ .....	73
รูปที่ 4.22 กราฟระหว่าง Residual กับ ความลึกกัดตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ $F_x$ .....	73
รูปที่ 4.23 กราฟระหว่าง Residual กับ วิธีการหล่อเย็นแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ $F_x$ .....	74
รูปที่ 4.24 กราฟอิทธิพลหลักระหว่าง $F_x$ กับปัจจัยต่างๆ.....	75
รูปที่ 4.25 Normal Probability Plot ของ $F_y$ .....	76
รูปที่ 4.26 กราฟทดสอบความเป็นอิสระของ $F_y$ .....	77
รูปที่ 4.27 กราฟระหว่าง Residual กับ อัตราป้อนตัด แสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ $F_y$ .....	77
รูปที่ 4.28 กราฟระหว่าง Residual กับ ความเร็วตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ $F_y$ .....	78
รูปที่ 4.29 กราฟระหว่าง Residual กับ ความลึกกัดตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ $F_y$ .....	78
รูปที่ 4.30 กราฟระหว่าง Residual กับ วิธีการหล่อเย็นแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ $F_y$ .....	79
รูปที่ 4.31 กราฟอิทธิพลหลักของ $F_y$ .....	80
รูปที่ 4.32 Normal Probability Plot ของ $F_z$ .....	81
รูปที่ 4.33 กราฟทดสอบความเป็นอิสระของ $F_z$ .....	82
รูปที่ 4.34 กราฟระหว่าง Residual กับ อัตราป้อนตัด แสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ $F_z$ .....	82
รูปที่ 4.35 กราฟระหว่าง Residual กับ ความเร็วตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ $F_z$ .....	83
รูปที่ 4.36 กราฟระหว่าง Residual กับ ความลึกกัดตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ $F_z$ .....	83

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.37 กราฟระหว่าง Residual กับ วิธีการหล่อเย็นแสดงความสม่ำเสมอของความ แปรปรวนของ Fz.....	84
รูปที่ 4.38 กราฟอิทธิพลหลักของ Fz.....	85
รูปที่ 4.39 กราฟระหว่าง Ra กับ ปัจจัยต่างๆ ที่การตัดแบบ Dry.....	87
รูปที่ 4.40 กราฟระหว่าง Ra กับ ปัจจัยต่างๆ ที่ ความเร็วตัด 150 และ 250 เมตร/นาที ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร วิธีการหล่อเย็นแบบ MQL wet.....	88
รูปที่ 4.41 กราฟระหว่าง Vba กับ ปัจจัยต่างๆ ในมุมมองอัตราป้อนตัด.....	89
รูปที่ 4.42 กราฟระหว่าง Fx กับ ปัจจัยต่างๆ ในมุมมองอัตราป้อนตัด.....	89
รูปที่ 4.43 กราฟระหว่าง Fz กับ ปัจจัยต่างๆ ในมุมมองอัตราป้อนตัด.....	90
รูปที่ 4.44 ผลตอบ Ra กับ ปัจจัยต่างๆ ที่ อัตราป้อนตัด 0.15 และ 0.18 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร วิธีการหล่อเย็นแบบ Dry และ MQL.....	91
รูปที่ 4.45 ผลตอบ Ra กับ ปัจจัยต่างๆ ที่ อัตราป้อนตัด 0.15 และ 0.18 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร วิธีการหล่อเย็นแบบ Wet.....	92
รูปที่ 4.46 ผลตอบ Vba กับ ปัจจัยต่างๆ ตามความเร็วตัด.....	93
รูปที่ 4.47 ผลตอบ Fx กับ ปัจจัยต่างๆ ตามความเร็วตัด.....	94
รูปที่ 4.48 ผลตอบ Fy กับ ปัจจัยต่างๆ ตามความเร็วตัด.....	94
รูปที่ 4.49 ผลตอบ Fz กับ ปัจจัยต่างๆ ตามความเร็วตัด.....	95
รูปที่ 4.50 ผลตอบ Vba กับ ปัจจัยต่างๆ ตามความลึกตัด.....	95
รูปที่ 4.51 ผลตอบ Fy กับ ปัจจัยต่างๆ ตามความลึกตัด.....	96
รูปที่ 4.52 ผลตอบ Fz กับ ปัจจัยต่างๆ ตามความลึกตัด.....	97

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตของประเทศไทยกำลังพัฒนาอย่างรวดเร็ว มีโครงการของรัฐบาลต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย ไม่ว่าจะเป็นโครงการรถไฟใต้ดินและลอยฟ้า โครงการที่จะพัฒนาประเทศไทยให้เป็นศูนย์กลางการผลิตรถยนต์แห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้หรือ ดีทรอยด์แห่งเอเชีย เป็นต้น ซึ่งโครงการเหล่านี้จะผลักดันให้ประเทศไทยก้าวขึ้นจากประเทศกำลังพัฒนากลายเป็นประเทศที่พัฒนาอย่างเต็มตัว วัตถุดิบสำคัญที่ใช้เป็นรากฐานในการผลิตของอุตสาหกรรมในประเทศไทยคือ อุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก เหล็กที่ใช้ในงานโครงสร้างส่วนใหญ่จะเป็นเหล็กกล้า ที่มีคาร์บอนต่ำกว่า 2%

ประเทศไทยได้เริ่มมีการผลิตเครื่องยนต์ เนื่องจากการที่รัฐได้ดำเนินการผลักดันให้มีการผลิตชิ้นส่วนหลักภายในประเทศ โดยมีนโยบายต่างๆ ขึ้นมา สำหรับการผลิตเครื่องยนต์ของไทยนั้น รัฐได้มีนโยบายส่งเสริมกิจการประกอบเครื่องยนต์สำหรับรถยนต์ในปี พ.ศ. 2529 โดยมีเงื่อนไขในการส่งเสริมบังคับให้ต้องมีการใช้ชิ้นส่วนภายในประเทศถึงร้อยละ 70 ภายในปี 2539 โดยมีชิ้นส่วนบังคับ 5 ชิ้น คือ Connecting Rod, เพลาข้อเหวี่ยง (Crank Shaft), เสื้อสูบ (Cylinder Block), ฝาสูบ (Cylinder Head) และเพลาลูกเบี้ยว (Cam Shaft) กระบวนการทุบขึ้นรูปหรือหล่อจะมีค่าใช้จ่ายสูง และเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องมีเงินลงทุนสูง ในขณะที่จำนวนความต้องการชิ้นส่วนเหล่านี้ในประเทศไทยยังไม่มากพอที่จะสามารถทำให้เกิดการประหยัดจากขนาดได้ ดังนั้นในประเทศไทยจึงมีบริษัทที่ทำการผลิตเพียงไม่กี่บริษัท ซึ่งเป็นความร่วมมือของกลุ่มบริษัทรถยนต์ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มโตโยต้า กลุ่มอิชูซุ และกลุ่มนิสสัน โดยมีการแบ่งชิ้นส่วนกันผลิตและส่งให้กันและกัน โดยทุกบริษัทจะผลิต cam shaft เอง อิชูซุทำการผลิตชิ้นส่วน Connecting rod และเพลาข้อเหวี่ยง (Crank shaft) โตโยต้าผลิตเสื้อสูบ (Cylinder Block) และนิสสันผลิตฝาสูบ (Cylinder head) ในขณะที่ลูกสูบจะเป็นการนำเข้าชิ้นงานหล่อจากบริษัทแม่แล้วนำมาผลิตในประเทศ

วัสดุประเภทเหล็กกล้าคาร์บอนเป็นที่นิยมอย่างมากในการนำมาใช้ผลิตเป็นชิ้นส่วนในเครื่องจักรต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรถยนต์ กระบวนการกลึงเป็นกระบวนการตัดที่สำคัญ กระบวนการหนึ่ง ซึ่งใช้น้ำการตัดวัสดุต่างๆ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนเครื่องจักรที่มีรูปร่างและขนาดตามที่ต้องการ

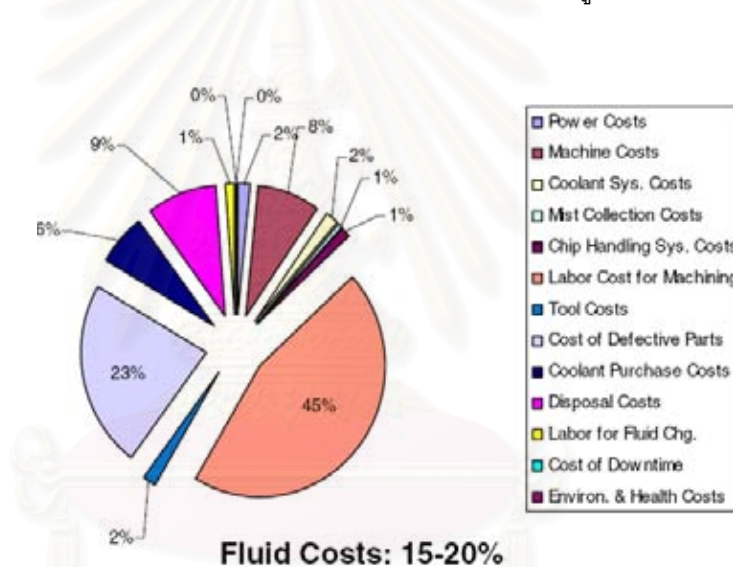
อุตสาหกรรมการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการตัดนั้น มีความพยายามอย่างมากในการผลิตชิ้นส่วนต่างๆให้ได้ทั้งผลิตภาพและคุณภาพที่สูง แต่เนื่องจากความต้องการในการกำจัดเนื้อโลหะที่รวดเร็วจะทำให้เกิดความร้อนสูงในระหว่างกระบวนการตัดโลหะ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้มีดตัดสึกหรอเร็วขึ้น ปัญหาการสึกหรอของมีดตัดเป็นปัญหาสำคัญในกระบวนการกลึง เพราะจะทำให้ความเรียบผิวของชิ้นงานไม่ได้ตามข้อกำหนดด้านขนาดและความเรียบผิว แต่การเปลี่ยนมีดตัดบ่อยนอกจากจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับมีดตัดเพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้เสียเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่ ปัญหาการสึกหรอของมีดตัดที่เร็วกว่ากำหนดจึงมีผลกระทบโดยตรงต่อผลิตภาพของกระบวนการตัด

โดยทั่วไปจะพบมีการใช้สารหล่อเย็นกันอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมยานยนต์ สารหล่อเย็นได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในกระบวนการตัด เพื่อลดความร้อนและการเสียดสีบริเวณการตัด อัตราการสึกหรอของมีดตัดลดลง อายุของมีดตัดนานขึ้น ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนมีดตัดลดลง ทำให้เพิ่มผลิตภาพและคุณภาพของชิ้นงานได้พร้อมๆกัน

ปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์และทางด้านสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดความพยายามในการลดปริมาณการใช้น้ำยาหล่อเย็น [2] แนวโน้มดังกล่าวจึงทำให้เกิดแนวความคิดในการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นที่น้อยที่สุด (Minimal Quantity Lubrication, MQL) ประโยชน์หลักๆที่เห็นได้จากแนวความคิดนี้คือสามารถลดต้นทุนในกระบวนการตัดและลดปริมาณการทิ้งสารหล่อเย็นได้ วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดนี้จะทำให้ปริมาณสารหล่อเย็นสามารถเข้าถึงบริเวณการตัดได้ลึกขึ้น จึงทำให้ถ่ายเทความร้อนจากมีดตัดไปยังสารหล่อเย็นได้ดีขึ้น อัตราการสึกหรอของมีดตัดจึงลดลง ทำให้เพิ่มผลิตภาพและคุณภาพของชิ้นงานสูงขึ้น

อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการใช้สารหล่อเย็นจะขึ้นกับปัจจัยหลายๆอย่าง เช่น ประเภทของกระบวนการตัด ชนิดของมีดตัด ประเภทของวัสดุ เจือปนไขในการตัด และวิธีในการประยุกต์ใช้น้ำยาหล่อเย็น การพัฒนาเทคโนโลยีในกระบวนการกลึงด้วยวิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด จึงได้ถูกนำไปทดสอบความสามารถในการตัดเหล็กกล้าคาร์บอนบนบนเงื่อนไขการตัดต่างๆเพื่อที่จะลดอัตราการสึกหรอของมีดตัด ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษากลึงเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S45C บนเครื่องกลึงซีเอ็นซี ด้วยวิธีการปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด โดยมีการตรวจวัดแรงที่ใช้ในการตัดด้วยไดนาโมมิเตอร์เพื่อติดตามความสามารถในการตัดเหล็กกล้าคาร์บอนในขณะตัดจริง

สภาวะปัจจุบันซึ่งมีการตระหนักถึงสิ่งแวดล้อมและความกดดันในเรื่องต้นทุนการประกอบกรนำป้สูการพิจารณาถึงเรื่องการหล่อลื่นและหล่อเย็นแบบดั้งเดิม ในกระบวนการตัด (Machining Process) โดยทั่วไปจะพบว่าต้นทุนเกี่ยวกับน้ำยาหล่อเย็น (Cutting Fluid) จะมีค่าประมาณ 7-17% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชิ้นงานที่ต้องการผลิต โครงสร้างการผลิต ทำเลที่ตั้ง รูปที่ 3 จำแนกให้เห็นถึงต้นทุนต่างๆในการผลิต ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับน้ำยาหล่อเย็นคิดเป็น 15-20% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด การใช้เทคโนโลยีการตัดแบบแห้งหรือการตัดแบบปริมาณสารหล่อเย็นน้อยสุด (Minimum Quantity Lubrication, MQL) แทนแบบดั้งเดิม (Conventional or Flooding Application) จะช่วยให้ลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้วิธีดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ยังช่วยสร้างสภาพแวดล้อมการทำงานที่เป็นมิตรและเสริมสร้างภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กรอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 1.1



ที่มา: Michigan Technological University [3]

รูปที่ 1.1 สัดส่วนต้นทุนของสารหล่อเย็นกับต้นทุนในการผลิต

การวิเคราะห์และทำความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกของกระบวนการตัดเป็นประเด็นที่สำคัญในการพัฒนาการตัดแบบแห้งให้เหมาะสมทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์และอาชีวอนามัย การรับเอาเทคโนโลยีในการตัดแบบใหม่นี้มา จำเป็นจะต้องพิจารณาถึงเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องควบคู่กันไปด้วย หน้าที่หลักของน้ำยาหล่อเย็นคือการลดแรงเสียดทานในขณะตัด ทำให้ลดความร้อนและถ่ายเทความร้อนจากมีดตัด หน้าที่รองก็คือช่วยเป่าเศษโลหะให้หลุดออกจากมีดตัดและ

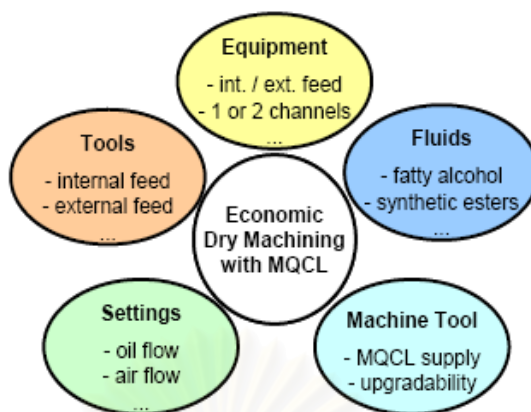


ชิ้นงาน และช่วยให้การกระจายตัวของอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดทั้งชิ้นงาน ซึ่งจะช่วยให้คุณภาพของชิ้นงานที่ผ่านการตัดได้ตามข้อกำหนดที่ต้องการ



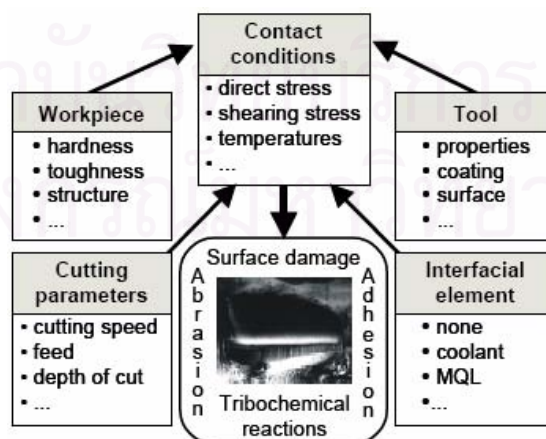
รูปที่ 1.2 ประโยชน์ของการตัดแบบแห้ง [2]

ในกระบวนการตัดหลายประเภทพบว่า ปริมาณสารหล่อลื่นหล่อเย็นน้อยที่สุด (Minimum Quantity Lubrication, MQL) เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการตัดแบบแห้ง การที่จะนำวิธีดังกล่าวไปใช้ในการตัดจริงได้ ผู้รับเทคโนโลยีนี้ไปใช้จะต้องมีความเข้าใจในเรื่องระบบปริมาณสารหล่อลื่นหล่อเย็นน้อยที่สุด (MQL) อันได้แก่ 1) เทคโนโลยีการฉีดสารหล่อลื่นหล่อเย็น 2) ชนิดของ MQL 3) การกำหนดปัจจัยในการตัดต่างๆ เครื่องมือตัด และเครื่องจักร การพิจารณาองค์ประกอบต่างๆในระบบ MQL อย่างถี่ถ้วนจะทำให้สามารถบรรลุผลลัพธ์ที่ต้องการได้ อย่างเหมาะสมทั้งด้านเทคโนโลยีและด้านเศรษฐศาสตร์



รูปที่ 1.3 ระบบของปริมาณสารหล่อลื่นหล่อเย็นน้อยที่สุด (MQL) [2]

ไตรโบโลยีเป็นวิธีการหาข้อมูลต่างๆ ค่าต่างๆที่จะนำมาช่วยในการลดการสึกหรอเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานด้วยการลดแรงเสียดทาน เนื่องจากการเสียดสีและการสึกหรอของมีดตัดจะเป็นตัวจำกัดสมรรถนะของกระบวนการตัด ดังนั้นถ้าเข้าใจกลไกของไตรโบโลยีได้ ก็จะสามารถประสบความสำเร็จในการปรับปรุงกระบวนการตัดได้ ความซับซ้อนของกระบวนการตัดทำให้การวิเคราะห์ความเสียดทานและกลไกการสึกหรอของมีดตัดเป็นเรื่องยาก ดังนั้นความรู้เรื่องไตรโบโลยีจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เข้าใจกระบวนการตัดได้มากขึ้น ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของมีดตัดและชิ้นงาน จะทำให้มีดตัดสึกหรอและชิ้นงานไม่ได้คุณภาพ เกิดรอยขีดข่วนและรอยแตกได้ ดังนั้นการศึกษาถึงองค์ประกอบของระบบไตรโบโลยีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ MQL รูปที่ 10 แสดงถึงระบบของไตรโบโลยี



รูปที่ 1.4 ระบบไตรโบโลยีของกระบวนการตัด [2]

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาและพัฒนาการตัดให้ดีขึ้นโดยการประยุกต์ใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด
- 2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขการตัดจากการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นด้วยวิธี MQL ที่มีผลต่ออัตราการสึกหรอของมีดตัด ความเรียบผิวชิ้นงาน และแรงตัดที่เกิดขึ้น

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) พารามิเตอร์ของกระบวนการกลึงคือ ความเร็วในการตัด อัตราป้อนตัดความลึกตัด และวิธีการหล่อเย็น
- 2) ตัวชี้วัดผลลัพธ์วัดจาก ความเรียบผิวชิ้นงาน และความสึกหรอของมีดตัด และแรงตัด

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) พัฒนาความสามารถในการตัดเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยวิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด
- 2) เพิ่มผลผลิตของกระบวนการตัด ลดต้นทุนมีดตัด ลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร
- 3) ลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการใช้สารหล่อเย็น ไม่ว่าจะเป็นการขนส่ง การบำบัดน้ำเสีย การควบคุมอากาศ
- 4) ลดปริมาณสารหล่อเย็นปนเปื้อนในอากาศสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีในการทำงาน

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1) ค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและสำรวจงานวิจัยต่างๆ
- 2) ติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในกระบวนการตัด ซึ่งแสดงในภาคผนวก ก.
- 3) ทำการทดลองและเก็บข้อมูล
- 4) ตรวจสอบความเรียบผิวของชิ้นงานและการสึกหรอของมีดตัด
- 5) วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง
- 6) สรุปผลที่ได้จากงานวิจัยและข้อเสนอแนะ
- 7) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

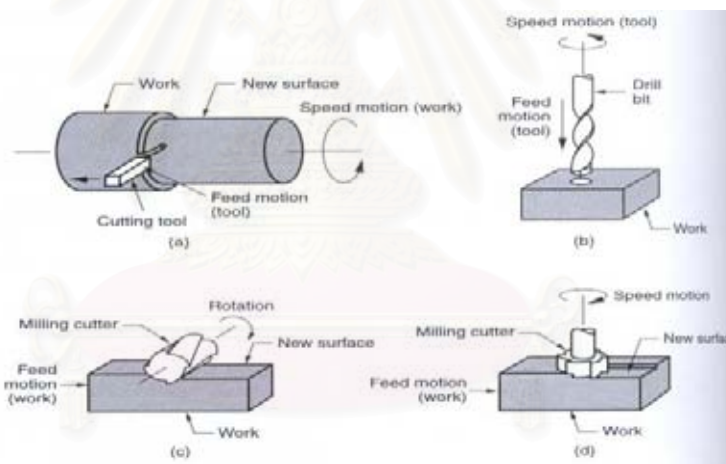
## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แนวคิดและทฤษฎี

##### 2.1.1 กระบวนการตัด (Machining Process) [5]

กระบวนการตัดหมายถึงการกำจัดเนื้อวัสดุออก การกำจัดเศษโลหะออก การใช้เครื่องมือตัดเพื่อกำจัดส่วนเกินของเนื้อวัสดุเพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานตามที่ต้องการ กระบวนการตัดเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญทั้งเชิงพาณิชย์และเทคโนโลยีเนื่องจากมีข้อดีคือ 1) ใช้ได้กับวัสดุหลายประเภท 2) สร้างชิ้นงานขนาดและรูปร่างต่างๆได้ 3) มีความแม่นยำสูง 4) ผิวชิ้นงานสุดท้ายมีคุณภาพดี แต่มีข้อเสียคือ 1) มีเศษวัสดุที่ต้อ่งทิ้งเยอะ 2) ใช้เวลาในการตัดนาน รูปที่ 2.1 แสดงถึงกระบวนการตัดที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ 3 อย่างคือ การกลึง การเจาะ และการกัด



รูปที่ 2.1 กระบวนการการตัดต่างๆที่เป็นพื้นฐานสำคัญ [5]

##### 2.1.2 เงื่อนไขการตัด (Cutting Condition) [5]

การกลึงเป็นกระบวนการตัดที่ใช้มีดตัดคมเดียวในการกำจัดวัสดุที่ไม่ต้องการออกจากผิวชิ้นงานซึ่งมีรูปร่างทรงกระบอก หมุนในแนวแกนของชิ้นงาน มีดตัดจะถูกป้อนในทิศทางขนานแกนหมุนชิ้นงาน ความเร็วรอบในการกลึงจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วตัดตั้งสมการที่ 2-1

$$N = v / \pi D_0 \quad (2-1)$$

โดยที่  $N$  (Rotational Speed) = ความเร็วรอบในการหมุน (รอบ/นาที)

$v$  (Cutting Speed) = ความเร็วตัด (เมตร/นาที หรือ ฟุต/นาที)

$D_0$  (Diameter of workpeice) = เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน (เมตร หรือ ฟุต)

การกลึงชิ้นงานจะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานลดลงจาก  $D_0$  เหลือ  $D_f$  เส้นผ่านศูนย์กลางที่ลดลงแสดงถึงความลึกในการตัด (depth of cut,  $d$ ) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2-2

$$D_0 - D_f = 2d \quad (2-2)$$

ส่วนอัตราการป้อนมีดสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นอัตราเร็วเชิงเส้นในหน่วย มิลลิเมตร/นาที หรือ นิ้ว/นาที ได้ดังสมการที่ 2-3

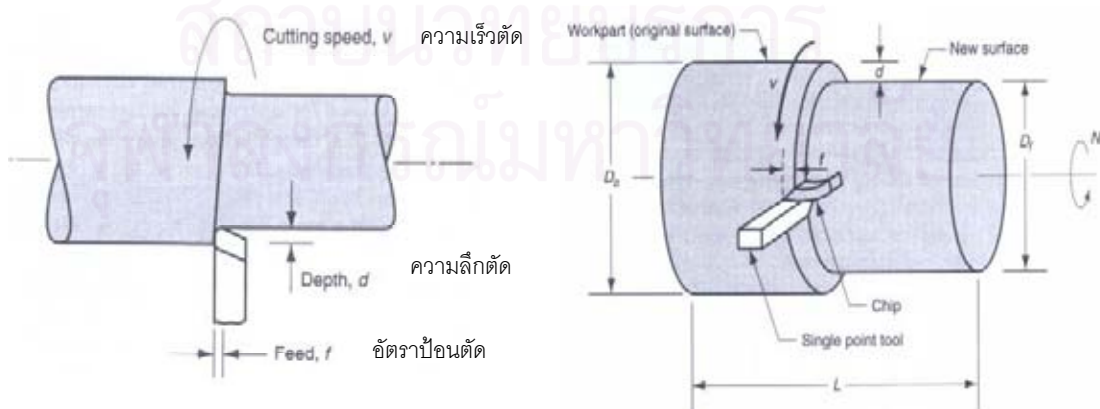
$$f_r = N \times f \quad (2-3)$$

โดยที่  $f_r$  (feed rate) = อัตราป้อนตัดมีดเชิงเส้น มิลลิเมตร/นาที หรือ นิ้วต่อนาที

$f$  (feed) = อัตราการป้อนมีด มิลลิเมตร/รอบ หรือ นิ้วต่อรอบ

อัตราการกำจัดวัสดุ (Material Removal Rate, MRR) บ่งบอกถึงปริมาณของวัสดุชิ้นงานที่ถูกกลึงออกไปต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น ลบ.มม./นาที หรือ ลบ.นิ้ว/นาที จะคำนวณได้จากสมการที่ 2-4

$$MRR = v \times f \times d \quad (2-4)$$



รูปที่ 2.2 ปัจจัยต่างๆในการตัด [5]

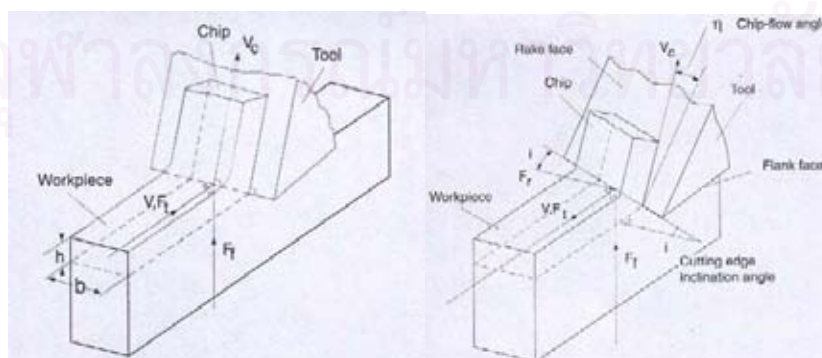
นอกจากการแบ่งกระบวนการตัดพื้นฐานเป็น 3 แบบตามที่ได้กล่าวมาแล้ว กระบวนการตัดยังสามารถแบ่งประเภทตามได้วัตถุประสงค์และปัจจัยในการตัดโดยแบ่งเป็นตัดแบบหยาบและตัดแบบละเอียด

ตารางที่ 2.1 กระบวนการตัดแบ่งประเภทเป็นการตัดแบบหยาบและการตัดแบบละเอียด

ประเภทการตัดตามวัตถุประสงค์	ความเร็วในการป้อน	ความลึกในการตัด	ความเร็วในการตัด
การตัดแบบหยาบ	สูง (0.4-1.25 mm/rev) (0.015-0.050 in./rev)	สูง (2.5-20 mm) (0.100-0.750 in)	ต่ำ
การตัดแบบละเอียด	ต่ำ (0.125-0.40 mm/rev) (0.005-0.015 in./rev)	ต่ำ (0.75-2.0 mm) (0.030-0.075 in)	สูง

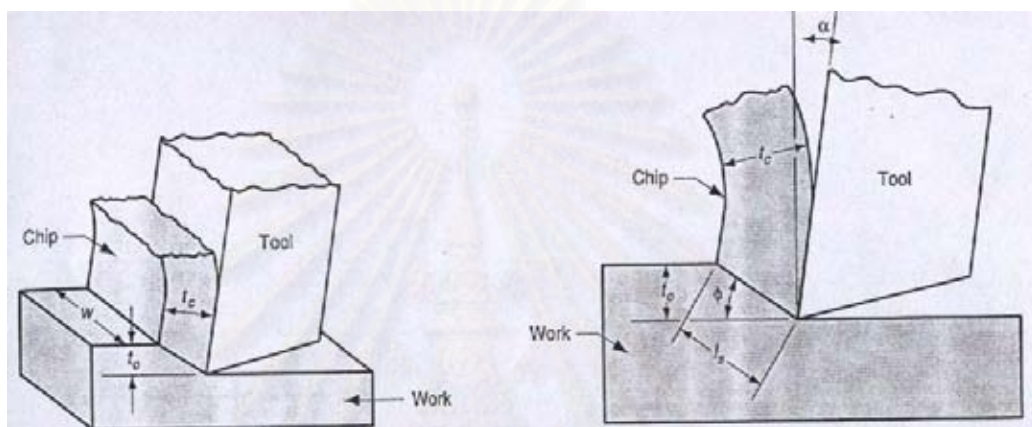
### 2.1.3 ทฤษฎีการเกิดเศษโลหะในการตัดโลหะ (Theory of Chip Formation) [5], [7]

ถึงแม้ว่าในความเป็นจริงกระบวนการตัดโลหะจะเป็นรูปแบบออบบลิค (Oblique Cutting) ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งซับซ้อนต่อการวิเคราะห์ แต่ว่าเราก็สามารถใช้รูปแบบการตัดแบบอโธโกนอล (Orthogonal Cutting) ในการวิเคราะห์ได้ ซึ่งจะทำให้วิเคราะห์ได้ง่ายขึ้นมาก ถ้าคมตัดของมีดตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่การป้อนจะทำให้สามารถลดการวิเคราะห์จาก 3 มิติมาเป็นสองมิติได้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการตัดโลหะแบบ Orthogonal Cutting และ Oblique Cutting [5]

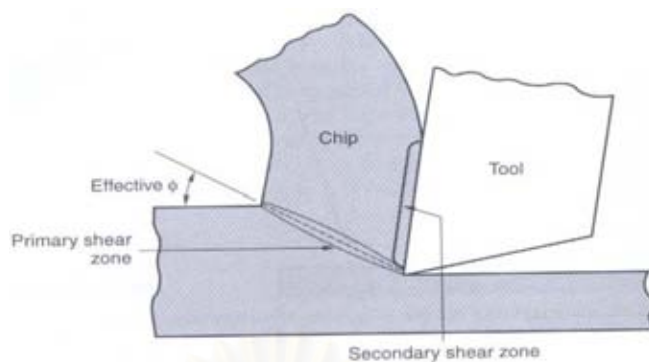
โดยนิยามแล้ว รูปแบบการตัดออร์ทอโกนอล จะหมายถึงการใช้คมตัดของมีดตัดเฉือนตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของมีดตัด มีดตัดจะเฉือนเข้าไปในวัสดุชิ้นงานและทำให้เกิดเศษโลหะตามระนาบเฉือน (Shear Plane) และทำมุมกับระนาบของผิวชิ้นงานเป็นมุมเฉือน (Shear angle) บริเวณระนาบเฉือนจะเป็นบริเวณที่พลังงานเชิงกลส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการตัด และทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก



รูปที่ 2.4 แสดงภาพ 3 มิติของการตัดแบบ Orthogonal Cutting ซึ่งมองลดมิติเหลือ 2 มิติ [5]

สำหรับรูปแบบการตัดแบบ ออโทโกนอล รูปร่างของมีดตัดสามารถแสดงได้ด้วยมุม 2 มุม คือ มุมคาย (Rake angle) และ มุมหลบ (Clearance angle) มุมคายจะเป็นตัวกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของเศษกลึงโลหะ ส่วนมุมหลบจะเป็นมุมระหว่างผิวหลบ (flank face) กับผิวชิ้นงานที่ผ่านการกลึงแล้ว รูปแบบของเศษโลหะที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับความหนาของเศษโลหะ ( $t_0$ ) ในขณะที่เศษกลึงโลหะกำลังก่อตัวตามระนาบเฉือน ความหนาของเศษโลหะจะลดลงเป็น  $t_c$  อัตราส่วนระหว่าง  $t_0$  กับ  $t_c$  เรียกว่า Chip thickness ratio หรือ Chip ratio อัตราส่วนนี้จะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ

ในการเกิดเศษโลหะจริงในการตัดจะแตกต่างจากการตัดแบบออร์ทอโกนอล เพราะว่าการเคลื่อนที่ของเศษโลหะจะไม่ได้เกิดบนระนาบเท่านั้น แต่จะเกิดเป็นบริเวณ (Zone) รูปแบบการเกิดเศษโลหะที่เกิดขึ้นจริงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเกิดเศษโลหะที่เกิดขึ้นจริงในการตัด [5]

นอกจากการเฉือนที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุแล้ว ยังมีการเฉือนที่เกิดขึ้นบริเวณอื่นอีกด้วย เป็นบริเวณการเฉือนระหว่างผิวคาย (Rake face) และเศษกลึงโลหะ ในรูปที่ 2.5 ได้แสดงให้เห็นถึงบริเวณเฉือนที่เกิดขึ้นในระหว่างการตัด ซึ่งเรียกว่า บริเวณการเฉือนลำดับที่ 1 (Primary shear zone) และ บริเวณการเฉือนลำดับที่ 2 (Secondary shear zone)

ลักษณะของเศษโลหะที่เกิดขึ้นนี้ จะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการตัด สภาพการในการตัดต่างๆ รูปแบบการเกิดของเศษโลหะสามารถแยกได้เป็น 3 แบบคือ

- 1) เศษโลหะเกิดการแตกเป็นชิ้นเล็ก เกิดกับวัสดุที่เปราะและแตกง่าย ความเร็วในการตัดต่ำ ความร้อนที่เกิดต่ำ ผิวชิ้นงานไม่ดี อายุเครื่องมือตัดนาน
- 2) เศษโลหะยาว ม้วนเป็นเส้น เกิดกับวัสดุเหนียว มุมคายน้อย ความเร็วในการตัดสูงกว่าแบบแรก ผิวชิ้นงานที่ได้เรียบ ใช้แรงตัดต่ำ
- 3) เศษโลหะเกิดการหลอมติดกับมีดตัดหรือชิ้นงาน เกิดกับวัสดุเหนียว มุมคายน้อย ความเร็วในการตัดต่ำ ผิวชิ้นงานที่ได้ไม่เรียบ ใช้แรงตัดสูง

นอกจากนี้เศษโลหะที่เกิดอาจแบ่งได้ตามรูปร่างของเศษโลหะที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 2.6

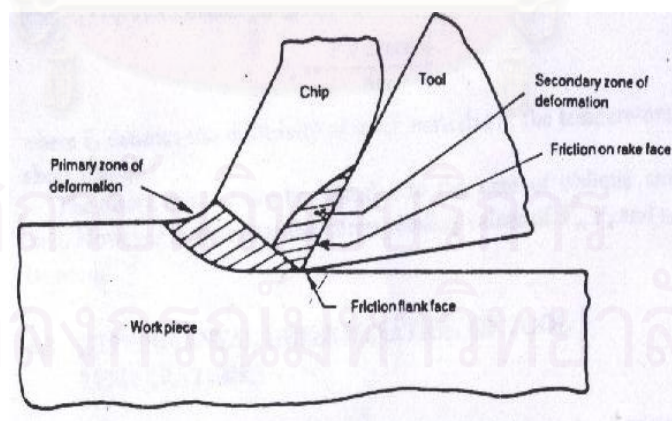


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ribbon chips	tangled chips	corkscrew chips	helical chips	long tubular chips	short tubular chips	spiral tubular chips	spiral chips	long comma chips	short comma chips
				good					
				acceptable					
unfavourable									

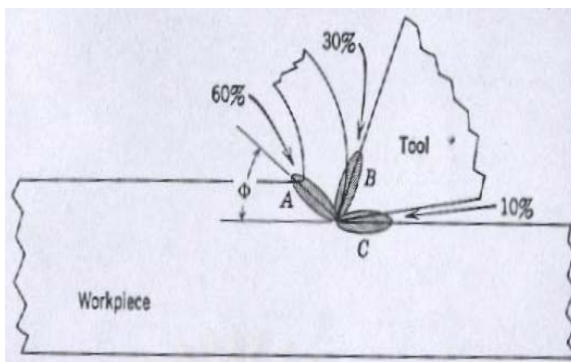
รูปที่ 2.6 ประเภทของเศษโลหะที่เกิดขึ้นแบ่งตามรูปร่าง [7]

#### 2.1.4 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการตัด (Cutting Temperature) [4], [7]

กระบวนการตัดโลหะจะทำให้บริเวณการตัดที่ 1 และ 2 เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) ดังรูปที่ 2.5 ผลกระทบจากการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกจะทำให้เกิดความร้อน บริเวณการตัดที่ 2 เป็นการเสียดสีของเศษโลหะบนผิวคายของมีดตัด ส่วนบริเวณการตัดที่ 3 คือการเสียดสีระหว่างชิ้นงานกับผิวหอบ แหล่งที่มาของการเกิดความร้อนทั้งสี่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.7 และ 2.8



รูปที่ 2.7 บริเวณที่เกิดความร้อนขณะตัด [4]



รูปที่ 2.8 สัดส่วนความร้อนที่เกิดขึ้นขณะตัด [7]

จากพลังงานที่ใช้ไปทั้งหมดในการกระบวนการตัดโลหะพบว่า 60% จะถูกใช้ในการเปลี่ยนรูปบริเวณ การตัดลำดับที่ 1 และการตัดลำดับที่ 2 อีก 30% จะเสียพลังงานไปในรูปแรงเสียดทานที่เกิดบนผิวคาย อีก 10% จะเสียไปในรูปแรงเสียดทานที่เกิดบนผิวหลบ

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ชัดว่าความร้อนที่มากที่สุดจะเกิดกับเศษโลหะและเป็นส่วนที่ร้อนที่สุดของโลหะในกระบวนการตัดอีกด้วย ความร้อนบางส่วนจากเศษโลหะจะถ่ายเทไปยังชิ้นงาน และมีตัด ผ่านหน้าสัมผัสระหว่างมีดตัดกับเศษโลหะ (Tool-chip interface)

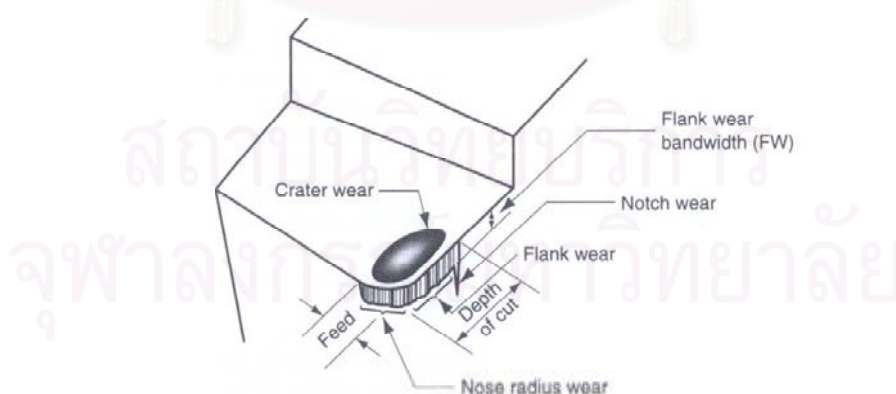
### 2.1.5 การสึกหรอของมีดตัด (Tool wear) [5]

ในการตัดชิ้นงาน มีดตัดจะต้องทนต่อแรงและอุณหภูมิที่สูงในระหว่างการตัด ถ้าแรงตัดมากเกินไป จะทำให้มีดตัดแตกหักได้ ถ้าอุณหภูมิในการตัดสูงเกินไป ก็จะทำให้มีดตัดอ่อนและเสื่อมได้เร็ว เทคโนโลยีด้านมีดตัดจะให้ความสำคัญกับประเด็นหลัก 2 ประการคือ เรื่องวัสดุที่ใช้ทำมีดตัดและรูปร่างของมีดตัด ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะทำให้อายุของมีดตัดนาน ความเสียหายของมีดตัดเกิดขึ้นได้ด้วยสาเหตุหลักๆ 3 อย่างดังตารางที่ 2.2

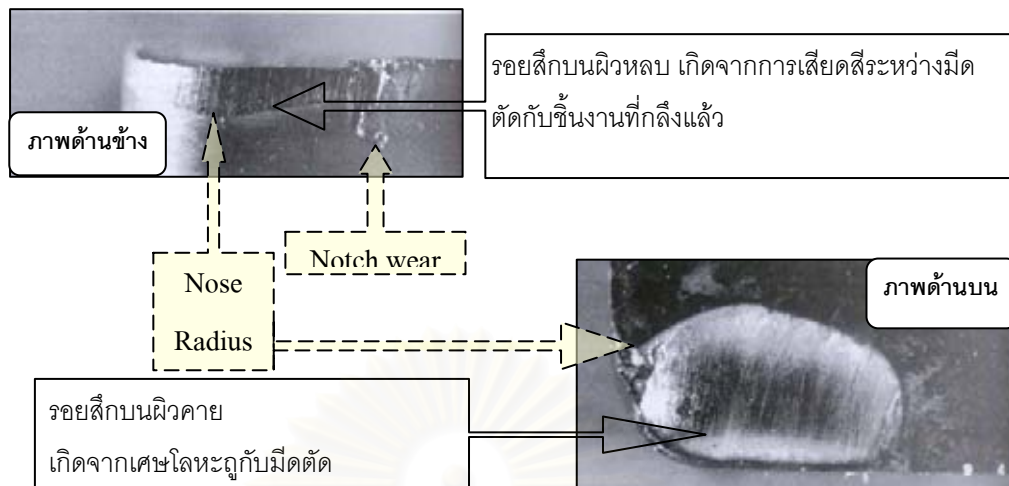
ตารางที่ 2.2 รูปแบบการชำรุดของมีดตัดเป็นไปได้เนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้ [5]

รูปแบบการเสียหาย	สาเหตุ	ผล
1. Fracture failure	แรงตัดเกิดมากเกินไป	เครื่องมือตัดแตกทันที
2. Temperature failure	อุณหภูมิในการตัดสูง	เครื่องมือตัดจะอ่อนและเสียรูป จนทำให้ความคมของมีดลดลง
3. Gradual wear	เกิดการสึกของคมตัด	เนื้อมีดจะหายไปบางส่วน ทำให้ประสิทธิภาพในการตัดลดลง เกิดการสึกอย่างรวดเร็ว สุดท้ายแล้วลักษณะการเสียหายก็จะคล้ายกับความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิ

การสึกหรอของมีดตัดแบบค่อยเป็นค่อยไป (Gradual wear) จะทำให้เกิดการสึกหรอที่ 2 จุดหลักๆคือ เกิดขึ้นที่ด้านบนของผิวคายและด้านผิวหลบ ซึ่งเรียกว่า crater wear และ flank wear ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2.9 แสดงการสึกของมีดตัด ที่เป็นตำแหน่งสำคัญของการเกิดรอยสึก [5]



รูปที่ 2.10 รอยสึกบนผิวดาย (Crater wear) และรอยสึกบนผิวหอบ (Flank wear) [5]

บริเวณผิวหอบที่เกิดจากการเสียดสีของมีดตัดกับผิวชิ้นงานดิบ ซึ่งมีความแข็งของเนื้อชิ้นงานมากกว่าด้านใน จะทำให้เกิดรอยสึกที่เห็นได้ชัด เราเรียกว่ารอยสึกบาก (notch wear) ส่วนบริเวณของผิวหอบซึ่งเกิดบริเวณ nose radius เราเรียกว่า nose radius wear ซึ่งจะเห็นได้ในรูปที่ 2.10

กลไกต่างๆที่ทำให้เกิดการสึกหรอบริเวณผิวสัมผัสระหว่างมีดตัดกับเศษกลิ้งโลหะ และบริเวณผิวสัมผัสระหว่างมีดตัดกับผิวชิ้นงานในระหว่างการตัด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 กลไกที่ทำให้เกิดการสึกหรอบนมีดตัด [5]

กลไก	สาเหตุ	ผล
Abrasion	อนุภาคที่แข็งของชิ้นงานจะทำให้บางส่วนเครื่องมือตัดค่อยๆหลุดติดออกมา	ทำให้เกิดรอยสึกบนผิวหยาบและรอยสึกบนผิวคาย
Adhesion	โลหะสองอย่างถูกทำให้ติดกันภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่สูง	เกิดรอยสึกบริเวณผิวคาย
Diffusion	เกิดการแลกเปลี่ยนอะตอมกันระหว่างผิวหน้าของวัสดุ 2 ชนิด อะตอมของมีดตัดจะหายไป ความแข็งแรงลดลง ทำให้ง่ายต่อการเกิดกลไก abrasion และ adhesion	ทำให้เกิดบนผิวคาย
Chemical reaction	ความเร็วตัดสูงและอุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันจะทำให้เครื่องมือตัดอ่อนลง	เกิดรอยสึกบริเวณผิวคาย
Plastic deformation	เกิดอุณหภูมิที่สูงบริเวณคมตัด คมตัดจะเริ่มเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ทำให้ง่ายต่อการเกิดกลไก abrasion	ทำให้เกิดรอยสึกบนผิวหยาบ

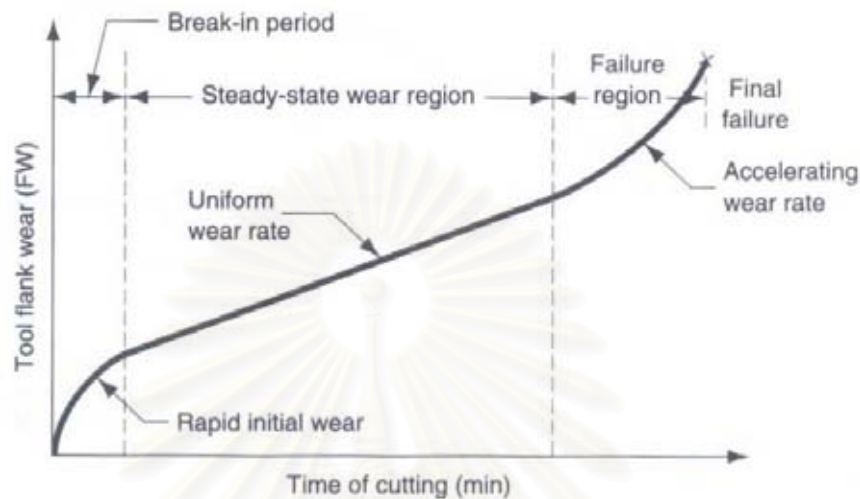
กลไกการสึกหรอทั้ง 5 แบบจะเกิดได้เร็วยิ่งขึ้นในสภาวะที่ใช้ความเร็วในการตัดสูงๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลไกของ Diffusion และ Chemical reaction จะยิ่งเกิดง่ายที่อุณหภูมิสูง

### 2.1.6 อายุของเครื่องมือตัด (Tool Life) [5]

ในขณะที่กำลังทำการตัด กลไกการสึกหรอต่างๆบนมีดตัดจะมีอัตราที่เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอของมีดตัดกับระยะเวลาในการตัดแสดงได้ดังรูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ในรูปจะแสดงถึงรอยสึกบนผิวหยาบ (flank wear) แต่สำหรับรอยสึกบนผิวคาย (crater wear) ก็เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกัน ช่วงของการสึกหรอสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ 2.11

ในการกระบวนกรตัดจะพบว่าการใช้เครื่องมือตัดไปเรื่อยๆจนกระทั่งเสียหายแล้ว ค่อยมาลับให้คมใหม่ไม่เป็นเรื่องที่สมควรทำ เพราะว่าถ้ามีดแตกแล้ว การลับมีดตัดให้คมเหมือนเดิมจะทำให้ยากกว่าปกติและคุณภาพของชิ้นงานจะก็ออกมาไม่ดีด้วย ดังนั้นจึงได้ ใช้

เกณฑ์ในการตัดสินใจในการเปลี่ยนมีดตัดคือใช้ค่าของรอยสึกบนผิวหอบ เช่นถ้าค่ารอยสึกบนผิวหอบเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรก็จะทำการเปลี่ยนมีดตัด



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรอยสึกบนผิวคายและเวลาที่ใช้ในการตัดที่ความเร็วต่างๆกัน [5]

เกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับเลือกอายุของเครื่องมือตัดมีดังนี้

- 1) เวลาที่เครื่องมือตัดชำรุด
- 2) ดูรอยสึกบนผิวหอบ (flank wear) ด้วยตา
- 3) ลองเดินเครื่องมือ ทดสอบดูความผิดปกติ
- 4) มีเสียงเกิดขึ้นในขณะที่มีการเปลี่ยนปัจจัยการตัด
- 5) เศษโลหะมีลักษณะคล้ายริบบิ้น, ขดไปมาจนยากต่อการนำไปทิ้ง
- 6) ผิวชิ้นงานมีคุณภาพต่ำลง
- 7) ใช้กำลังในการตัดเพิ่มขึ้น
- 8) นับจากจำนวนชิ้นงานที่ทำได้
- 9) นับจากเวลาที่ใช้ในการตัดทั้งหมด

### 2.1.7 วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด (Cutting Material) [7]

มีดตัดในอุดมคติจะต้องมีความแข็งแรงสูง รับแรงกระแทกได้ดี ทนต่อปฏิกิริยาเคมี แต่ในความเป็นจริงแล้วคุณสมบัติดังกล่าวไม่สามารถพบได้ในมีดตัดชนิดเดียว

1) เหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสมปานกลาง (Carbon and medium-alloy steels) เหล็กกล้าคาร์บอนเป็นวัสดุที่เก่าแก่ที่สุดและใช้มากในงานเจาะ ตีแป มีดตัดที่ทำจากเหล็กกล้าผสมปานกลางจะมีอายุมีดตัดจะนานกว่า ถึงแม้ว่าวัสดุนี้จะมีราคาถูกแล้วกลับให้คมได้ง่าย แต่ด้วยความแข็งแรงและการทนต่อการสึกหรอต่ำสำหรับการตัดที่ความเร็วสูง มีดตัดชนิดนี้จึงใช้กับงานตัดที่ความเร็วรอบต่ำ

2) เหล็กกล้ารอบสูง (High-speed steels) ใช้มากในงานตัดความเร็วรอบสูง ทนต่อการสึกหรอ และราคาไม่แพงมากเมื่อเทียบกับคุณสมบัติของมีดตัด เนื่องจากวัสดุประเภทนี้ทนต่อแรงกระแทกและการแตกหัก ดังนั้นจึงมักใช้ในงานตัดที่มีการสั่นสะเทือนได้ดี

3) โคบอลต์หล่อผสม (Cast-cobalt alloys) มีความแข็งแรงสูง (58-64 HRC) ทนต่อการสึกหรอได้ดี มีความแข็งแรงสูงแม้ว่าอุณหภูมิใช้งานจะสูงตาม วัสดุนี้ทนแรงกระแทกได้น้อย จึงไม่เหมาะจะใช้กับงานตัดรอบสูง ส่วนใหญ่ใช้กับงานตัดหยาบ

4) คาร์ไบด์ (Cemented or Sintered carbide) มีความแข็งแรงสูงทุกๆอุณหภูมิ โมดูลัสความยืดหยุ่นและนำความร้อนสูง แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ ทั้งสแตนคาร์ไบด์และไทเทเนียมคาร์ไบด์ การผสมโคบอลต์จะช่วยให้รับแรงกระแทกได้ดี แต่จะลดความแข็งแรงและการทนต่อการสึกหรอ สามารถเพิ่มความแข็งแรงและการทนต่อการสึกหรอได้ด้วยการผสมคาร์ไบด์ของไทเทเนียมและแทนทาลัม วัสดุประเภทนี้เหมาะกับการตัดที่ความเร็วรอบต่ำ เพราะไม่เหมาะต่อการสั่น มีดตัดชนิดนี้ใช้กับการตัดแบบแห้งได้

5) โคตต์ ทูล (Coated tools) ใช้กับงานตัดรอบสูง เพื่อลดเวลาในการทำงาน อายุมีดตัดนานกว่ามีดตัดที่ไม่ได้เคลือบสารถึง 10 เท่า วัสดุที่ใช้เคลือบมักจะเป็นพวกไทเทเนียมไนไตรด์ ไทเทเนียมคาร์ไบด์ และเซรามิก ความหนาชั้นเคลือบประมาณ 5-10 ไมครอน

6) เซรามิก (Ceramics) ทำจากอลูมิเนียมออกไซด์ที่มีความละเอียดและความบริสุทธิ์สูง วัสดุนี้ทนต่อการขีดสีได้สูง ทนความร้อนได้ดี ลดการติดของเศษโลหะบนชิ้นงานได้ ผิวชิ้นงานหลังตัดมีความเรียบสูง แต่ข้อเสียที่สำคัญคือมีดตัดชนิดนี้ไม่ทนต่อการกระแทก

7) คิวบิกโบรอนไนไตรด์ (Cubic boron nitride) เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงมากที่สุด ทนต่อการสึกหรอและมีคมตัดที่แข็งแรง แต่เปราะ จึงไม่เหมาะต่องานที่มีการสั่นสะเทือนเหมาะต่อการตัดเหล็กที่มีความแข็งแรงสูง

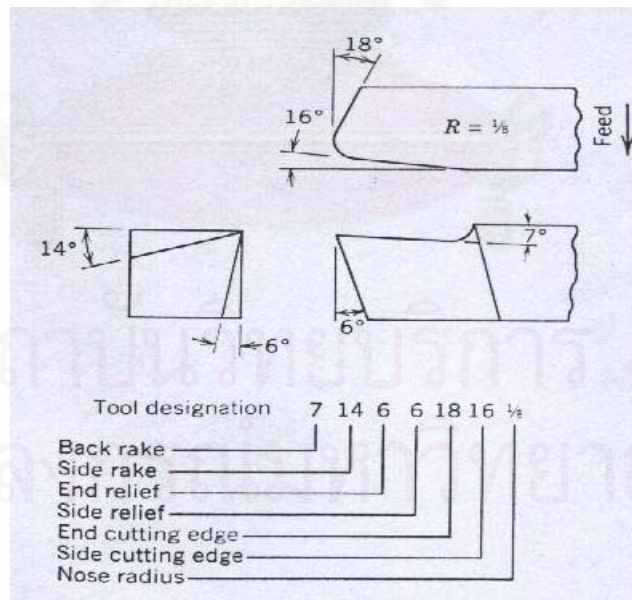
8) ไดมอนด์ (Diamond) ทนต่อการสึกหรอได้ดี ลับคมได้ง่ายใช้กับงานที่ต้องการความละเอียดสูง

### 21.8 รูปทรงของเครื่องมือตัด (Tool Geometry) [5], [7]

รูปทรงของเครื่องมือตัด ซึ่งมีการกำหนดสัญลักษณ์และความสำคัญดังนี้

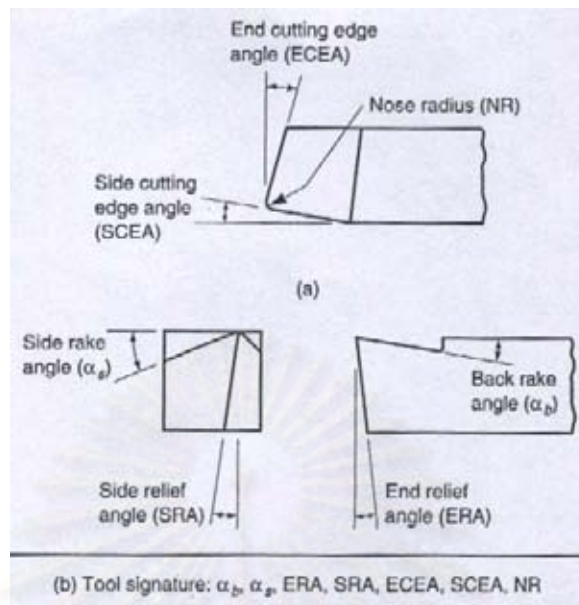
- 1) End cutting edge angle เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างมีดตัดกับชิ้นงาน
- 2) Side cutting edge angle ลดแรงกระแทกขณะมีดเข้าไปยังชิ้นงาน
- 3) Side relief angle เป็นระยะห่างระหว่างเครื่องมือตัดกับชิ้นงานที่ตัดแล้ว
- 4) End relief angle เป็นระยะห่างระหว่างเครื่องมือตัดกับชิ้นงานที่ตัดแล้ว
- 5) Side rake angle บังคับทิศทางไหลของเศษโลหะ
- 6) Back rake angle บังคับทิศทางไหลของเศษโลหะ
- 7) Nose radius (NR) ทำให้เกิดรอยบากบนชิ้นงาน

รูปทรงและการกำหนดสัญลักษณ์ดูได้จากรูปที่ 2.12 และ 2.13



รูปที่ 2.12 รูปทรงของมีดตัด [5]





รูปที่ 2.13 การกำหนดสัญลักษณ์ของมีดตัด [7]

### 2.1.9 ความสามารถในการตัด (Machinability)

ความสามารถในการกลึงของวัสดุ สามารถนิยามได้ด้วยปัจจัย 3 อย่างคือ

- 1) ความเรียบผิวสุดท้าย และความสมบูรณ์ของชิ้นงาน
- 2) อายุของมีดตัด
- 3) แรงและกำลังที่ใช้ในการตัด

ความสามารถในการตัดที่ดีบ่งบอกได้ด้วยปัจจัยดังกล่าว สำหรับการควบคุมเศษโลหะ ถ้าเศษโลหะไม่เกิดการแตกหัก เกิดเศษโลหะที่มันยาว ก็จะทำให้เกี่ยวพันกับชิ้นงาน กระบวนการตัดเป็นเรื่องที่ซับซ้อน ดังนั้นจึงทำให้ยากที่จะหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณในการ กำหนดความสามารถในการตัดของแต่ละวัสดุได้ โดยทั่วไปแล้ว มักจะใช้อายุของมีดตัดและความเรียบผิวเป็นดัชนีที่บอกถึงความสามารถในการตัด

### 2.1.10. ความเรียบผิว (Surface Finish) [4]

ลักษณะของความเรียบผิว (Surface finish) จะแสดงในรูปของคุณสมบัติของผิวชิ้นงานที่จะกล่าวดังต่อไปนี้

1) ความขรุขระ (Roughness): จะประกอบไปด้วยช่องว่างขนาดเล็กและละเอียดที่ติดกันหลายๆช่อง สาเหตุหลักเกิดจากรอยที่เหลือไว้จากการทำตําหนิด้วย cutting tool ความสูงเฉลี่ยหรือความลึกเฉลี่ยถูกวัดโดยกำหนดช่วงความยาวหนึ่งเรียกว่า “cutoff length” หรือ “roughness sampling length”

2) รอยคลื่น (Waviness): ประกอบไปด้วยรอยขรุขระบนชิ้นงานซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า roughness sampling length (ประมาณ 1 ไมครอน) สาเหตุเกิดจากการสั่นหรือมีรอยตําหนิบนชิ้นงานหรือ มีดตัดที่เกิดจากรับภาระในการตัดมากและอุณหภูมิในการตัด

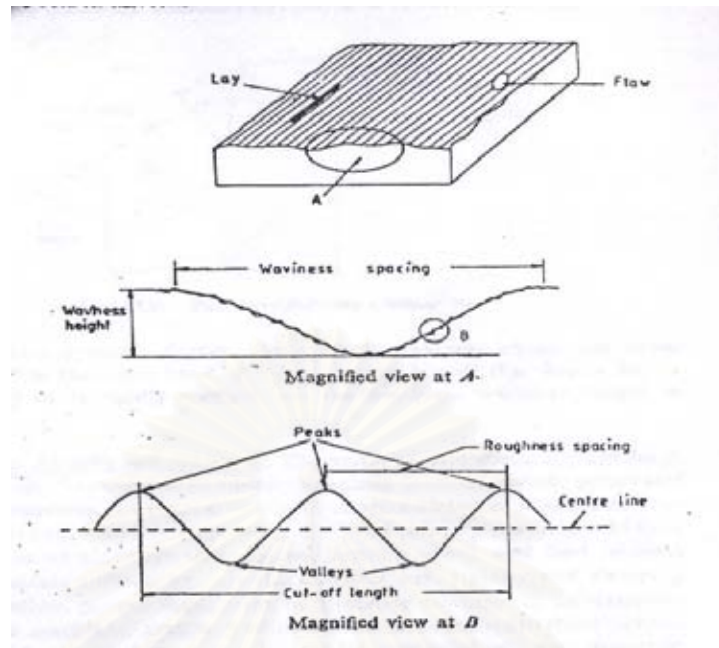
3) รอยตําหนิยาว (Lay): เป็นรอยตําหนิที่เป็นทิศทางยาว มักจะขึ้นกับทิศทางของชิ้นงานและมีดตัด รวมทั้งการเคลื่อนที่ระหว่างชิ้นงานและ tool

4) รอยตําหนิสุ่ม (Surface Flaw): เป็นรอยตําหนิที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม สาเหตุเกิดมาจากรอยตําหนิที่มีมาแต่แรกแล้ว เช่นรอยร้าว ฟองอากาศ

5) ความเรียบผิว (Surface finish) มีความสำคัญต่อการสวมประกอบและการจัดวางของชิ้นงาน การสวมประกอบและการจัดวางต่างๆจะเกิดขึ้นได้ก็ต้องอาศัยการทาสีหรือทำตําหนิเข้าช่วย บางทีก็ใช้เป็นลักษณะกาซหรือของไหลไหลผ่าน บางทีก็ใช้สายตาดูโดยอาศัยความมั่นใจของชิ้นงาน บางทีก็ใช้แสงที่มีคุณสมบัติการสะท้อนได้สูง

ความเรียบผิวมีผลมาจากพารามิเตอร์ในการตัดหลายอย่างซึ่งรวมถึงรูปทรงของมีดตัด รูปทรงของชิ้นงาน ความแข็งแรงของเครื่องจักร วัสดุของชิ้นงาน ปัจจัยในการตัด และวัสดุที่ใช้ทำมีดตัด

โดยทั่วไปแล้วขรุขระควรจะมีค่าน้อย (หรือมีความเรียบผิวชิ้นงานดี) เมื่อมีรอยตําหนิเนื่องจากภาระในการตัดและการสั่นสะเทือนมีค่าน้อย มีดตัดไม่แหลมมาก มีดตัดและชิ้นงานมีฐานที่มั่นคง วัสดุของชิ้นงานดี ไม่มีรอยตําหนิ รอยร้าว ฟองอากาศ มาจากก่อนหน้านี้ การตัดได้ศูนย์ ขอบตัดของมีดตัดไม่มีการแตกหัก การเกิดทำให้เกิดเศษโลหะหลอมติดมีด ผลจากพารามิเตอร์ต่างๆนี้ดังนี้ 1) รูปทรงของมีดตัด 2) มุมหลบ 3) คมตัดข้าง 4) คมตัดท้าย



รูปที่ 2.14 รายละเอียดของผิวชิ้นงาน [4]

### 2.1.11 สารหล่อเย็น (Cutting Fluids) [5]

จุดประสงค์ของการตัดคือการตัดได้ชิ้นงานที่มีขนาดถูกต้องและความเรียบผิวสุดท้ายที่ดี น้ำยาหล่อเย็นนอกจากจะช่วยในเรื่องดังกล่าวแล้ว ยังช่วยในเรื่องของความประหยัดอีกด้วย น้ำยาหล่อเย็น เป็นได้ทั้งของเหลวและก๊าซ น้ำยาหล่อเย็นจะช่วยขจัดปัญหาหลักๆสองประการ คือ ปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการตัดและแรงเสียดทานที่เกิดระหว่างผิวสัมผัสของมีดตัดกับ เศษโลหะและมีดตัดกับชิ้นงาน นอกจากน้ำยาหล่อเย็น จะช่วยกำจัดความร้อนและแรงเสียดทาน แล้ว น้ำยาหล่อเย็นยังช่วยขจัดเศษโลหะที่เกิดระหว่างการตัด ช่วยลดอุณหภูมิของชิ้นงานขณะตัด ช่วยลดแรงและกำลังในการตัด ช่วยเพิ่มคุณภาพของชิ้นงานให้มีความเรียบและขนาดได้ตามต้องการ ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้น้ำยาหล่อเย็น สามารถสรุปได้เป็นข้อๆดังนี้

- 1) เพิ่มอายุของมีดตัด เนื่องจากผลของการหล่อเย็นและหล่อเย็น
- 2) เพิ่มความเรียบผิวของชิ้นงาน
- 3) กำจัดเศษโลหะออกไปได้ง่ายขึ้น
- 4) ลดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานเนื่องจากผลของการหล่อเย็น
- 5) ลดแรงที่ใช้ในการตัด (cutting forces) และยังลดการบิดเบี้ยวเนื่องจากอุณหภูมิ

นอกจากจะมีผลประโยชน์มากมายตามที่ได้กล่าวไปแล้ว น้ำยาหล่อเย็นบางชนิดจะทำให้เกิดผลเสียและอันตรายต่อพนักงานที่อยู่หน้างานเนื่องจาก

- 1) การใช้ น้ำยาหล่อเย็นจะทำให้เกิดไอรระเหยซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของพนักงาน และยังทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ทำลายสิ่งแวดล้อมและบรรยากาศในการทำงาน น้ำยาหล่อเย็นบางชนิดทำให้พนักงานเกิดอาการแพ้ได้ถ้าไปสัมผัสโดน
- 2) น้ำยาหล่อเย็นอาจทำร้ายผิวของชิ้นงานได้โดยผลจาก ปฏิกิริยาทางเคมีและเกิดคราบน้ำ นอกจากนี้ อาจส่งผลกระทบต่อบริเวณรอบข้างรวมทั้งเครื่องจักรที่ใช้อีกด้วย
- 3) น้ำยาหล่อเย็นบางประเภทเป็นสารจำพวกไวไฟ
- 4) ถ้า น้ำยาหล่อเย็นปะปนอยู่ในบรรยากาศ อาจทำให้เกิดการทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาเคมีหรือเปรอะเปื้อนและทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่างๆเช่น เครื่องสูบน้ำและระบบหมุนเวียนได้

เพื่อที่จะให้เกิดผลประโยชน์โดยปราศจากผลเสียตามที่ได้กล่าวมานั้น จำเป็นที่จะต้องมีการเลือก น้ำยาหล่อเย็น ให้ถูกต้องและเหมาะสม คุณสมบัติที่พึงปรารถนาของ cutting fluid สรุปได้ดังนี้

- 1) เป็นสารหล่อเย็นที่ดี
- 2) มีความสามารถในการดูดซับความร้อนเอาไว้ได้สูง
- 3) ไม่ทำให้เกิดควันพิษในขณะที่ใช้โดนความร้อน
- 4) มีความเสถียรสูง
- 5) จุดวาบไฟสูง
- 6) ไม่ทำให้ผิวชิ้นงานเสียหาย

#### 2.1.12 ประเภทของสารหล่อลื่นหล่อเย็น [3], [4], [5]

สามารถแบ่งประเภทได้ตามหน้าที่การทำงานหรือสารเคมีที่ใช้ เกณฑ์การแบ่งประเภทในแต่ละแบบสามารถสรุปดังนี้

- 1) แบ่งประเภทตามหน้าที่การทำงาน
  - ก) สารหล่อเย็น (Coolants) มีคุณสมบัติดังนี้
    - ลดความร้อนที่เกิดระหว่างเครื่องมือตัดและชิ้นงาน
    - เพิ่มอายุของเครื่องมือตัด

- เพิ่มความสามารถในการลดอุณหภูมิ
- ความร้อนจำเพาะและการนำความร้อนเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุด
- มีน้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญของน้ำยาหล่อเย็นประเภทนี้
- มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อใช้ที่ความเร็วตัดสูงๆ
- ใช้มากกับการกลึงและการกัด

ข) สารหล่อลื่น (Lubricants) มีคุณสมบัติดังนี้

- มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบหลัก
- ใช้ลดแรงเสียดทานระหว่างเครื่องมือตัดกับเศษโลหะและผิวชิ้นงาน
- ใช้ความดันสูง
- มีส่วนประกอบของซัลเฟอร์ คลอรีน และฟอสฟอรัส เพื่อสร้างชั้นน้ำมัน
- มีประสิทธิภาพมากเมื่อใช้ที่ความเร็วตัดต่ำๆ
- ใช้ส่วนมากกับการเจาะและตีปาเกลียว (Tapping)

2) แบ่งประเภทตามสารเคมีที่ใช้ทำ

ก) สารจำพวกน้ำมัน (Cutting oils or insoluble Oils)

น้ำยาหล่อเย็นประเภทนี้จะไม่มีส่วนประกอบของน้ำอยู่เลย ใช้เป็นสารหล่อเย็น ทำให้ผิวชิ้นงานสุดท้ายเรียบ และป้องกันสนิม น้ำมันประเภทนี้จะได้มาจากการกลั่นน้ำมันแร่ ส่วนใหญ่จะมีการใส่น้ำมันสัตว์ น้ำมันพืช ผสมลงไปเพื่อทำให้เหลวขึ้นและเพิ่มคุณสมบัติในการหล่อลื่น น้ำยาหล่อเย็นประเภทนี้จะใช้กับงานตัดปานกลางถึงหนัก มีความต้องการสารเติมแต่ง (additives) น้อยกว่าในกรณีของอิมัลชัน (Emulsion) น้ำยาหล่อเย็นประเภทนี้แบ่งย่อยได้ ออกเป็น 3 ชนิดคือ น้ำมันแร่ (Mineral oils), น้ำมันไขมัน (Fatty oils) และส่วนผสมของสารทั้ง 2 น้ำมันเหล่านี้จะให้คุณสมบัติในการหล่อเย็นดีแต่มีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนได้ต่ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำมัน 3 ชนิดนี้จะมีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับน้ำยาหล่อเย็นแบบอื่นๆ ดังนั้นน้ำมันเหล่านี้จึงเหมาะสำหรับการตัดที่ความเร็วต่ำๆ

ข) สารจำพวกอิมัลชัน (Emulsified oils or soluble Oils)

สารจำพวกนี้เป็นพวกน้ำมันแร่ (mineral oils) ไขมันผสม (fat mixture) และพวกอิมัลชันที่เติมลงไป在水里 น้ำมันจะถูกจับอยู่ในรูปของหยดเล็กๆในน้ำ(หรือที่เรียกว่า

คอลลอยด์) มีลักษณะสีขาวแบบน้ำนม เนื่องจากองค์ประกอบหลักเป็นสารจำพวกน้ำจึงทำให้น้ำยาหล่อเย็นนี้เป็นสารหล่อเย็นที่ดี ใช้เพื่อหล่อเย็นและหล่อเย็น น้ำยาหล่อเย็นประเภทนี้จะช่วยป้องกันการหลอมติดของเศษโลหะกับมีดตัดและผิวชิ้นงาน และลดการสึกหรอจากการเสียดสีที่อุณหภูมิสูงได้ ป้องกันการบิดเบี้ยวของชิ้นงานที่เกิดจากความร้อนที่ตกค้างในชิ้นงานหลังการตัด ส่วนผสมที่ใช้ทำ น้ำยาหล่อเย็น มีแตกต่างกันไปตามแต่ความต้องการในการระบายความร้อนหรือการหล่อเย็น ถ้าต้องการให้มีการระบายความร้อนได้สูงขึ้น ก็ควรจะผสมน้ำมันในอัตราส่วนน้อยๆ ถ้าต้องการให้มีการหล่อเย็นที่ดีขึ้น ก็ควรจะผสมพวกน้ำมันในอัตราส่วนที่มากขึ้น อัตราส่วนที่ใช้ในการผสมมีได้ตั้งแต่ 1:5 ถึง 1:100 (น้ำมันต่อน้ำ)

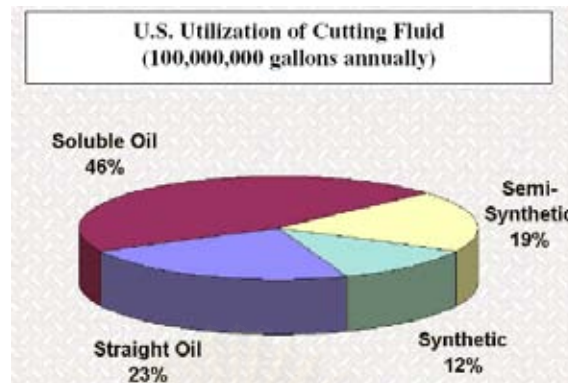
ค) สารจำพวกกึ่งสังเคราะห์ (Semi-chemical fluids or Semi-Synthetic Metalworking Fluids)

น้ำยาหล่อเย็นประเภทนี้จะมีส่วนผสมของน้ำมัน 5-30% ผสมด้วยการเติมสารเติมแต่งอื่นๆ เช่น ไนไตรด์ เอไมน์ เพื่อช่วยลดการกัดกร่อนของมีดตัดและชิ้นงาน นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของ น้ำมันแร่ (Mineral oils) ได้โดยการเพิ่มสารเติมแต่งซึ่งเป็นสารประกอบจำพวกซัลเฟอร์ (Sulfur) และ คลอรีน (chlorine) การเติมสารจำพวกซัลเฟอร์จะช่วยลดโอกาสที่เศษโลหะจะหลอมละลายติดบนผิวคายของมีดตัด นอกจากนี้ สารเติมแต่งยังช่วยเพิ่มความเสถียรและป้องกันสนิม ในบางครั้งอาจมีการเติมสารจำพวกยาฆ่าแมลงลงไปเพื่อป้องกันการเติบโตของสารอินทรีย์ สารจำพวกไขมันก็ใช้เติมลงไปเพื่อเพิ่มการหล่อลื่น น้ำมันจำพวกนี้ใช้สำหรับงานเบาและงานหนักที่ความเร็วในการตัดต่ำถึงปานกลาง

ง) สารสังเคราะห์ (Chemical fluids Synthetic Metalworking Fluids)

Cutting Fluids ประเภทนี้เป็นสารสังเคราะห์ ไม่มีส่วนผสมของน้ำมันเลย ที่เห็นได้มากจะเป็นพวกสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติทั้งหล่อเย็นและหล่อเย็น นอกจากนี้ยังลดการเกิดละออง ลดการออกซิเดชัน ป้องกันสนิม ส่วนใหญ่แล้วจะมีคุณสมบัติในการลดความร้อนได้ดีแต่หล่อเย็นได้แย่ สารเคมีจำพวกนี้จะมีความเสถียรสูง ใช้ได้ดีกับงานตัดหนัก

สัดส่วนการใช้ น้ำยาหล่อเย็นทั้ง 4 ประเภท แสดงในรูปที่ 2.15



ที่มา: Michigan Technological University

รูปที่ 2.15 สัดส่วนการใช้ Cutting Fluids ในประเทศสหรัฐอเมริกา [3]

### 2.1.13 การนำน้ำยาหล่อเย็นไปใช้งาน [4]

วิธีในการประยุกต์ใช้น้ำยาหล่อเย็นเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ถ้าจะนึกถึงผลประโยชน์ของการใช้และการลดประมาณของเสียอย่างเต็มที่ เครื่องจักรส่วนใหญ่แล้วจะประกอบไปด้วยเครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งบนถังที่บรรจุน้ำยาหล่อเย็นทางออกหรือด้านจ่ายของเครื่องสูบน้ำจะมีหัวฉีดติดตั้งอยู่ โดยผ่านท่อที่ยืดหยุ่นสามารถปรับได้ หัวฉีดสามารถปรับให้เกิดลำของน้ำยาหล่อเย็น เพื่อที่จะฉีดไปบริเวณการตัด (Cutting zone)

1) การหล่อเย็นแบบเปียก (Flooding application or flood cooling) ใช้อัตราการไหลตั้งแต่ 10 ลิตรต่อนาที (l/min) สำหรับมีดคมตัดเดี่ยว ถึง 225 ลิตรต่อนาที (l/min) ต่อมคมตัดสำหรับมีดหลายคมตัด เช่นในการกัด ดังรูปที่ 2.16

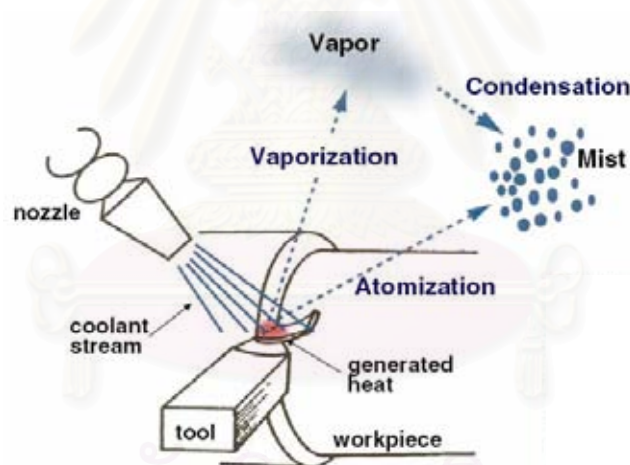
□



ที่มา: Michigan Technological University [3]

รูปที่ 2.16 การใช้สารหล่อเย็นแบบดั้งเดิม หรือการหล่อเย็นแบบเปียก [3]

2) การหล่อเย็นแบบละออง (Mist application or mist cooling) น้ำยาหล่อเย็นจะถูกจ่ายโดยหัวฉีดที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะ น้ำยาหล่อเย็นที่ใช้จะมีน้ำเป็นส่วนผสมหลัก ขนาดของละอองน้ำขนาดเล็กๆที่ละเอียด ตั้งแต่ 5 ถึง 25 ไมครอน ( $\mu\text{m}$ ) ละอองนี้จะถูกฉีดเข้าไปด้วยความเร็วสูงตรงบริเวณการตัด (cutting zone) โดยอาศัยอากาศที่มีความดันสูงเป็นตัวขับเคลื่อน ถึงแม้การหล่อเย็นแบบละอองจะต้องการระบบการระบายอากาศที่ดีและมีความสามารถในการหล่อเย็นที่จำกัด วิธีนี้มีข้อได้เปรียบว่าวิธีการหล่อเย็นแบบเปียก (flood application) เพราะช่วงที่เกิดละออง อุณหภูมิของน้ำยาหล่อเย็นจะลดลงเนื่องจากการขยายตัว ซึ่งจะทำให้เกิดการดูดซับเอาความร้อนมากได้มากขึ้น เนื่องจากวิธีนี้จะฉีดน้ำยาหล่อเย็นเข้าไปโดยตรงด้วยความเร็วสูงจึงทำให้มีผลการหล่อเย็นที่ดีกว่า วิธีนี้มีจุดเด่นตรงที่สามารถฉีดไปยังบริเวณที่เข้าถึงได้ยากและยังทำให้สามารถเห็นชิ้นงานขณะการตัดได้ชัดเจน ในกระบวนการตัดโลหะโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ใช้มีดตัดคาร์ไบด์ในการตัด จะพบว่า วิธี flood application อาจทำให้มีดตัดเกิดรอยแตกร้าวได้ ในกรณีนี้ วิธี mist application จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการยืดอายุของมีดตัด



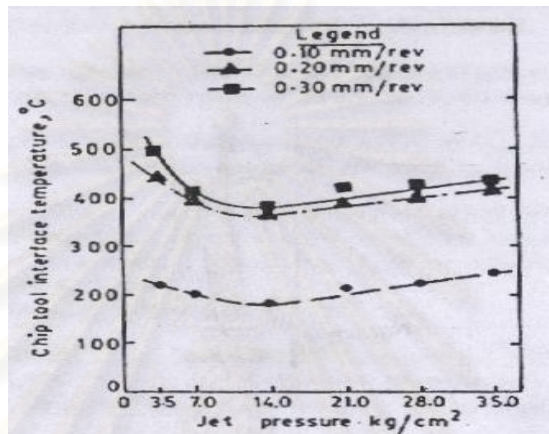
ที่มา: Michigan Technological University

รูปที่ 2.17 การใช้ Cutting Fluids แบบ Mist application

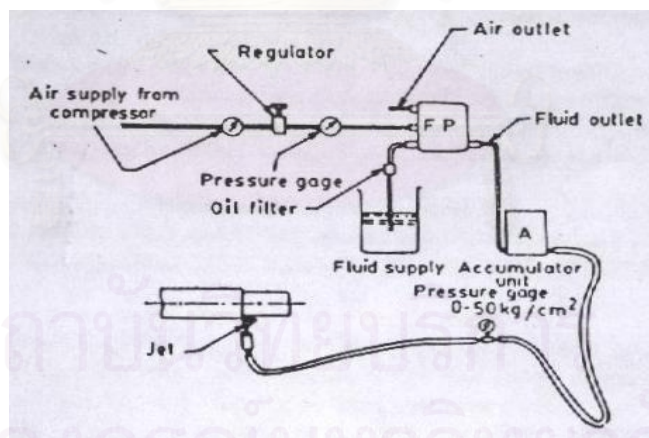
3) วิธีลำน้ำความดันสูง (High-jet method) เป็นวิธีล่าสุดที่ใช้กันและถือได้ว่ามีข้อได้เปรียบกว่าระบบเดิม วิธีนี้แรกที่ถูกเสนอโดย Pigott และ Colwell และต่อมาก็กลายมาเป็นหัวข้อสำคัญให้กับนักวิจัยหลายๆคนที่สนใจ วิธีนี้จะอาศัยลำขนาดเล็กที่มีความเร็วสูงฉีดไปยังผิวหลังของมีดตัด ของเหลวที่ใช้เป็นได้ทั้งสารจำพวกน้ำและน้ำมัน (water-based and oil-based)



รูปที่ 2.18 แสดงผลของวิธีนี้บนผิวสัมผัสที่มีความร้อนสูงโดยใช้น้ำมันแร่เข้มข้น (Straight mineral oils) จากรูปจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดอยู่ที่ความดันลำน้ำประมาณ 14 กก./ตร.ซม. ( $\text{kg/cm}^2$ ) แนวโน้มในกรณีที่ใช้น้ำยาหล่อเย็นที่มีส่วนผสมหลักเป็นน้ำก็จะคล้ายๆกันกับกรณีการใช้น้ำมันแร่เข้มข้น นักวิจัยหลายๆท่านได้ให้ข้อสังเกตว่าการเพิ่มแรงดันในการฉีดของการหล่อเย็นลำน้ำความดันสูง (High-jet method) ไม่ได้มีผลประโยชน์เกิดมากขึ้นเท่าไรนัก



รูปที่ 2.18 วิธี High-jet method [4]



รูปที่ 2.19 ผลของแรงดันลำน้ำต่ออุณหภูมิระหว่างผิวสัมผัสมีดตัดกับเศษโลหะ [4]

#### 2.1.14 การเลือกใช้น้ำยาหล่อเย็น [4]

การเลือกน้ำยาหล่อเย็นที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเฉพาะอย่างเป็นเรื่องที่ยาก อย่างไรก็ตามก็ยังมีหลักในการเลือกที่เข้ากัน สิ่งหนึ่งที่ต้องทราบในการเลือกก็คือเราต้องรู้คุณภาพของงานที่

ต้องการกับค่าใช้จ่ายต่ำสุดในงานนั้นๆ น้ำยาหล่อเย็นที่มีราคาต่ำที่สุดอาจจะไม่ทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดการผลิตต่ำสุดก็ได้ ดังนั้นจะเป็นที่จะต้องทราบรายละเอียดของการตัดกับวัสดุที่ใช้ในการตัด และ น้ำยาหล่อเย็นต่างๆที่จะเลือกใช้ ในที่นี้จะเสนอแนวทางในการเลือกดังนี้

- 1) น้ำมันความดันสูง (Oils with extreme pressure) ใช้กับการตัดที่ความเร็วต่ำ
- 2) อิมัลชัน (Emulsion or Water based cutting fluid) ใช้กับการตัดที่ความเร็วปานกลางถึงสูง

หลักเกณฑ์ที่ใช้มีมาจากการคิดที่ว่า การตัดที่ความเร็วต่ำๆ การระบายความร้อนจะต่ำ แต่ควรจะมีการหล่อเย็นที่ดี ส่วนการตัดที่ความเร็วสูงๆควรจะมีการระบายความร้อนที่ดีขึ้น ต่อไปนี้จะเป็นคำแนะนำการใช้ น้ำยาหล่อเย็นกับชิ้นงานวัสดุต่างๆ

#### 2.1.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) คือเทคนิคที่ใช้ในการจัดสรรความแปรผัน (Variance) ที่เกิดขึ้นในข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆตามแหล่งที่คาดว่าทำให้เกิดความแปรผัน (Montgomery, 1991)

ความแปรผันที่เกิดขึ้นในข้อมูลอาจเขียนเป็นสมการได้เป็น ความแปรผันทั้งหมด = ความแปรผันเนื่องจากปัจจัย + ความแปรผันโดยธรรมชาติของข้อมูล สมการดังกล่าวได้จากข้อคิดที่ว่า ความแตกต่างกันของข้อมูลนั้นไม่น่าจะมาจากสาเหตุของความแปรผันโดยธรรมชาติหรือที่เรียกว่า ความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random Error) ของข้อมูลแต่เพียงอย่างเดียวแต่น่าจะมาจากปัจจัย (Factor) หนึ่งปัจจัยใดหรือหลายปัจจัยที่ทำให้เกิดความแปรผัน ดังนั้นความแปรผันทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับข้อมูลจึงเนื่องมาจากอิทธิพลของปัจจัยและธรรมชาติของข้อมูล

ปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อความแปรผันของข้อมูลถือได้ว่าเป็นตัวแปรอิสระซึ่งมีผลต่างตัวแปรตาม ซึ่งเป็นข้อมูลที่เรารวดผลหรือเก็บรวบรวมมา ตัวแปรอิสระดังกล่าวมักจะไม่มีความหมายแต่จะมีหลายๆค่าซึ่งเรียกว่าระดับ (Level) ของปัจจัย ถ้าปัจจัยนั้นๆ มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามจริงๆแต่ละระดับก็จะมีผลต่อตัวแปรตามไม่เหมือนกัน การวิเคราะห์จึงทำโดยการทำการทดลอง (Treatment) กำหนดค่าตัวแปรอิสระที่ตัวแปรต่างๆเพื่อหาค่าตัวแปรตามที่เกิดขึ้นจากการทดลองนั้นๆ แล้วนำไปวิเคราะห์ดูว่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของการทดลองนั้นมีนัยสำคัญหรือไม่เมื่อเทียบกับความแปรผันโดยธรรมชาติของตัวแปรตาม และเพื่อที่จะช่วยให้ผู้

วิเคราะห์มีความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลองจึงมักจะต้องการทวนซ้ำ (Replicated) ให้ได้จำนวนข้อมูลที่แต่ละการทดลองมากพอ การเลือกระดับของปัจจัย ถ้าเป็นการเจาะจงรูปแบบของการทดลองจะถูกเรียกว่าเป็นแบบเจาะจง (Fixed effect model) ผลที่ได้จากการทดลองจะสรุปได้เฉพาะอิทธิพลของปัจจัยที่ระดับที่นำมาทดสอบ แต่ถ้าการเลือกระดับของปัจจัยเป็นการเลือกแบบสุ่ม รูปแบบของการทดลองจะเป็นแบบสุ่ม (Random effect model) ผลที่ได้จากการทดลองจะสรุปอิทธิพลโดยรวมของปัจจัย

หลักการทำ ANOVA เป็นการใช้ความแปรปรวนมาวิเคราะห์ซึ่ง R.A. Fisher ได้ทำการวิเคราะห์ความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของค่าความแปรปรวนแล้วแตกออกมาเป็นความแตกต่างย่อย จากนั้นนำความแตกต่างย่อยนั้นมาเปรียบเทียบ ถ้าความแตกต่างใดๆมีค่ามากแสดงว่าปัจจัยตัวนั้นมีผล ข้อดีของการใช้ ANOVA เป็นการแก้ปัญหาการเพิ่มของความเสียหาย (Inflated risk)

ในกรณีของ Single Factor มีรูปแบบการทดลองดังนี้

- 1) Complete Randomized Design (CRD) เหมาะสำหรับที่จะใช้กับ Uncontrollable Factor ที่มีขนาดไม่โตนัก และไม่มี noise factor การทดลองจะยึดหลักการทำแบบสุ่ม และการทำซ้ำ
- 2) Randomized Block Design (RBD) ต้องมีการทำสุ่มทุกครั้ง ทำซ้ำทุกการทดลอง และมีการทำบล็อก
- 3) Latin Square Design (LSD)

ในกรณี Multi Factor มีรูปแบบการทดลองดังนี้

- 1) General Factorial ซึ่งใช้กับการทดลองที่มี 2 ปัจจัยขึ้นไป จึงทำให้เกิดผลของอิทธิพลร่วม (interaction effect) และอิทธิพลหลัก (main effect) ซึ่งอิทธิพลของปัจจัยร่วมคือผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนไปแล้วทำให้อิทธิพล (effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย
- 2) Fractional Factorial Design

## 2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

N.R. Dhar, M.W. Islam, S. Isla, and M.A.H. Mithu (ปี 2005) [8] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของวิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดต่ออุณหภูมิที่เกิดขณะตัด รูปร่างของเศษกลึงโลหะและความเรียบผิวของชิ้นงาน ในการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอน AISI-1040 ด้วยเม็ดมีดคาร์ไบด์ (uncoated carbide) เปรียบเทียบกับการกลึงแบบแห้งและการกลึงแบบเปียกด้วยน้ำมันหล่อเย็น พบว่าผลจากการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดสามารถลดอุณหภูมิขณะตัด เพิ่มความเรียบผิวของชิ้นงานได้ ทั้งนี้ขึ้นกับความเร็วยกการตัดและอัตราการป้อนชิ้นงาน นอกจากนี้เศษกลึงโลหะที่ได้มีลักษณะดีเมื่อใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด ดังนั้นการใช้วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดอย่างถูกวิธี นอกจากจะช่วยเพิ่มความสามารภในการตัดแล้ว ยังช่วยสร้างสภาพแวดล้อมการทำงานที่ดีอีกด้วย

N.R. Dhar, M. Kamruzzaman, and Mahiuddin Ahmed (ปี 2005) [9] ได้ทำการศึกษาบทบาทของการกลึงเหล็กกล้า AISI-4340 ด้วยวิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดต่อการสึกหรอของเม็ดตัดคาร์ไบด์ (uncoated carbide insert) และความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วการตัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่างๆกัน ผลจากใช้วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดสามารถลดอัตราการสึกหรอของเม็ดตัดและความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณการตัดได้ สามารถสรุปได้เป็นข้อๆดังต่อไปนี้

1. สมรรถนะของการตัดด้วยวิธี MQL ดีกว่าวิธีแบบแห้งและแบบเปียก เพราะ MQL สามารถลดอุณหภูมิขณะตัดได้ดีกว่า ซึ่งจะช่วยให้คมตัดของเม็ดที่เสียดสีกับเศษกลึงโลหะสึกหรอได้ช้าลง
2. วิธี MQL ช่วยลดการสึกหรอของเม็ดตัดและเพิ่มอายุของเม็ดตัด เมื่อเปรียบเทียบกับการกลึงเหล็ก AISI-4340 ด้วยวิธีแบบเปียกและแบบแห้ง
3. วิธี MQL ทำให้คุณภาพของชิ้นงานสุดท้ายดีขึ้นเนื่องจากการสึกหรอของเม็ดตัดลดลง อัตราการสึกหรอของเม็ดตัดที่ลดลงนอกจากจะทำให้อายุของเม็ดตัดเพิ่มขึ้นแล้วยังทำให้ผลิตภาพของการกลึงเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากสามารถตัดชิ้นงานด้วยความเร็วมากขึ้น

Tae Jo Ko, Sung Ho Park, and Hee Sool Kim (ปี 2003) [10] ทำการศึกษากลไกการเกิดอนุภาคแอโรซอลในระหว่างการกลึงซึ่งประกอบด้วย การหมุนของชิ้นงาน การกระแทกของสาร

หล่อเย็นบนชิ้นงานและมีดีดตัด การระเหยและการควบแน่นของสารหล่อเย็น พบว่าความเร็วรอบในการหมุนชิ้นงานและอัตราการไหลของสารหล่อเย็นมีผลกระทบต่อความเข้มข้นและขนาดของอนุภาคแอโรซอล เมื่อค่าต่างๆดังกล่าวเพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคจะยิ่งลดลง ส่วนความเข้มข้นก็จะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Tae Jo Ko ได้กล่าวว่า ประเด็นหลักที่ทำให้เกิดอนุภาคแอโรซอลคือการหมุนของชิ้นงาน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากลไกการเกิดอนุภาคแอโรซอลจากการทดลองคือการกระแทกของสารหล่อเย็นบนมีดตัดและเศษกึ่งโลหะ และการหมุนของชิ้นงาน อย่างไรก็ตาม ในการกลึงจริงสามารถกล่าวได้ว่า กลไกการเกิดอนุภาคแอโรซอลส่วนใหญ่เกิดจากการกระแทกของสารหล่อเย็นบนมีดตัดและเศษกึ่งโลหะ

J.F. Kelly and M.G. Cotterell (ปี 2002) [11] ได้ทำการทดสอบวิธีการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นด้วยวิธีต่างๆ เพื่อหาสภาวะการการตัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจาะชิ้นงานประเภทอลูมิเนียมหล่อ J.F. Kelly แนะนำว่าการหล่อเย็นระหว่างการเจาะควรใช้แบบปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ในกระบวนการเจาะด้วยวิธีนี้จะใช้ปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับสารหล่อเย็นแบบเปียก จากงานวิจัยพบว่าตำแหน่งการวางหัวฉีด ปริมาณสารหล่อเย็นและความดันของสารหล่อเย็นที่เหมาะสมจะทำให้อายุของมีดตัดสูงสุด

A.S. Varadarajan, P.K. Philip, and B. Ramamoorthy (ปี 2002) [12] ได้ประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นโดยการฉีดสารหล่อเย็นด้วยความเร็วสูงไปยังบริเวณการตัดขณะกลึงเหล็กชุบแข็ง ด้วยอัตราการไหลของสารหล่อเย็นที่น้อยมากประมาณ 2 มิลลิลิตร/นาที สมรรถนะของการกลึงที่ได้ด้วยวิธีนี้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับแบบเปียกและแบบแห้งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สมรรถนะโดยรวมของการตัดด้วยวิธี HTMF เหนือกว่าแบบเปียกและแบบแห้ง ทั้งนี้ได้จากแรงที่ใช้ในการตัดลดลง อายุของมีดตัดนานขึ้น ความเรียบผิวชิ้นงานดี อัตราส่วนการตัดลดลง อุณหภูมิขณะตัดบริเวณที่มีดตัดสัมผัสกับเศษกึ่งโลหะลดลง

2. วิธีนี้สามารถนำมาใช้แทนการหล่อเย็นแบบเปียกได้ง่าย เพราะไม่ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มจากเดิมมากมาย

3. การใช้สารหล่อเย็นปริมาณน้อย ประมาณ 2 มิลลิลิตร/นาทีจะทำให้สารหล่อเย็นส่วนใหญ่วะเหาย ดังนั้นสิ่งตกค้างบนชิ้นงานและเศษกลึงโลหะจะมีน้อยมาก ทำให้ไม่เกิดการปนเปื้อน

Keith H. CAUSTON (ปี 2002) [13] งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงปัญหาที่เกิดจากกระบวนการตัดแบบแห้งสำหรับกำลังการผลิตที่สูงและชิ้นงานมีลักษณะซับซ้อน เช่น พวกเสื้อสูบรถยนต์ที่ทำจากอลูมิเนียมอัลลอยด์ โดยศึกษาปัจจัยนำเข้าต่างๆที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของกระบวนการกระบวนการตัดแบบแห้งหรือสะอาด (Dry or Green machining) ได้รับความนิยมนำขึ้นอย่างมากเนื่องจากมีการคำนึงถึงความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมในการทำงาน พบว่าอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ที่ใช้สารหล่อเย็นนั้น บางครั้งก็ไม่ได้มีความจำเป็นมากนัก อุตสาหกรรมเหล่านี้จะต้องเสียต้นทุนน้ำยาหล่อเย็นสำหรับกระบวนการตัดประมาณ 16-20 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด

Kenneth L. Gunter and John W. Sutherland (ปี 1999) [14] งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับ การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบระดับความเข้มข้นของละอองสารหล่อเย็นที่เกิดจากกระบวนการกลึงที่สภาวะการตัดต่างๆกัน การบ่งชี้ถึงปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดละอองสารหล่อเย็น จะทำให้สามารถลดความค่าใช้จ่ายด้านเทคโนโลยีการควบคุมละอองสารหล่อเย็นได้ เช่น ระบบกรองอากาศ อุปกรณ์ดักละออง สารเติมแต่งในสารหล่อเย็นที่ใช้ลดการเกิดละออง ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่ากระบวนการตัดโลหะที่ใช้ความเร็วสูงเช่น การกลึง การกัด การคว้าน เมื่อใช้ความเร็วรอบในการหมุนต่ำจะทำให้เกิดละอองน้อยลงและเป็นการลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนงาน แต่เนื่องจากการตัดโลหะที่ความเร็วสูงจะทำให้ผลิตภาพของกระบวนการสูง ดังนั้นการลดความเร็วในการตัดเพื่อที่จะลดละออง จึงไม่สอดคล้องกับเหตุผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ งานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นความสนใจไปที่การทำให้อากาศสะอาดด้วยการปรับปรุงวิธีการใช้สารหล่อเย็นเพื่อลดปริมาณละอองในกระบวนการตัด

K.H.W. Seah, X. Li and K.S. Lee (ปี 1995) [15] ได้เสนอแย้งกับความเชื่อเดิมๆว่าการใช้สารหล่อเย็นไม่ได้ทำให้อายุของมีดตัดนานขึ้นเสมอไป ข้อเท็จจริงที่พบกันก็คือผลจากการใช้สารหล่อเย็นจะช่วยลด crater wear ได้บ้างเล็กน้อย และอาจจะช่วยทำให้ตำแหน่งของ crater wear เลื่อนตำแหน่งออกจากปลายของมีดตัด ซึ่งจะช่วยให้รอยสึกหรือลึกขึ้นและลึกขึ้น จนทำให้ความแข็งแรงของมีดตัดลดลงมาก การใช้สารหล่อเย็นโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วตัดสูงๆ ก็จะทำให้

flank wear เพิ่มขึ้นเช่นกัน ภายใต้สภาวะบางอย่างนั้น การใช้สารหล่อเย็นก็อาจจะเป็นสาเหตุให้อัตราการสึกหรอของมีดตัดมีค่ามากกว่าการไม่ใช้สารหล่อเย็นเลยก็ได้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 การออกแบบการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการวิจัยคือการศึกษาและพัฒนาการตัดให้ดีขึ้นโดยการประยุกต์ใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดและเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขการตัดจากการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นด้วยวิธี MQL ที่มีผลต่ออัตราการสึกหรอของมีดตัด ความเรียบผิวชิ้นงาน และแรงตัดที่เกิดขึ้น ดังนั้นในการทดลองจะทำการแปรผันปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน ความสึกหรอของมีดตัด และแรงตัด

### 3.2 การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเรียบผิวชิ้นงาน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน ความสึกหรอมีดและแรงตัดสามารถจำแนกออกได้เป็น 5 ปัจจัยหลักๆ ซึ่งได้แก่

- 1) ปัจจัยเนื่องจากคน (Man)
- 2) ปัจจัยเนื่องจากเครื่องจักร (Machine)
- 3) ปัจจัยเนื่องจากวัตถุดิบ (Material)
- 4) ปัจจัยเนื่องจากวิธีการ (Method)
- 5) ปัจจัยเนื่องจากสิ่งแวดล้อม (Environment)

งานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ปัจจัยเนื่องจาก คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และสิ่งแวดล้อมซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยดังกล่าวได้ ทั้งนี้เพื่อทำการศึกษาถึงปัจจัยเนื่องจากวิธีการเป็นหลัก

#### 3.2.2 การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย

จากการคัดเลือกปัจจัยเนื่องจากวิธีการ พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน ความสึกหรอมีดและแรงตัด ซึ่งเป็นเงื่อนไขในการกลึงชิ้นงาน (Cutting Condition) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์การกลึงชิ้นงานสามารถจำแนกได้ดังนี้

- 1) อัตราป้อนตัด
- 2) ความเร็วตัด
- 3) ความลึกตัด
- 4) วิธีการหล่อเย็น



### 3.2.3 การกำหนดระดับของปัจจัย

การกำหนดระดับของปัจจัย (Level) จะกำหนดเป็นแบบคงที่ โดยอาศัยข้อมูลเชิงเทคนิคของบริษัทผู้ผลิตมีดตัดที่แนะนำจากคู่มือการใช้งานมีดตัดโดยกำหนดให้

- 1) อัตราป้อนตัดจะทำการวิจัย 2 ค่า ดังนี้ 0.15, 0.18 มิลลิเมตรต่อรอบ
- 2) ความเร็วรอบจะทำการวิจัย 2 ค่า ดังนี้ 150, 250, 350 เมตรต่อนาที
- 3) ความลึกในการตัดจะทำการวิจัย 2 ค่า ดังนี้ 0.5, 1.0 มิลลิเมตร

เงื่อนไขในการตัดจะเลือกจากค่าต่ำและสูงของแต่ละเงื่อนไขการตัด ส่วนวิธีการหล่อเย็นจะทำการวิจัย 5 ค่าดังนี้ การตัดแบบแห้ง, การตัดแบบเปียก, การตัดแบบใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด ด้วยความดัน 3, 5, 7 บาร์

### 3.3 ข้อจำกัดในการวิจัย

3.3.1 ในการทดลองจำเป็นต้องใช้เหล็กก้อนและมีดตัดเป็นจำนวนมาก ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทดลองสูง ใน 1 การทดลองจะต้องเสียค่าใช้จ่ายหลักคือเหล็กก้อน และมีดตัด ซึ่งคิดเป็น 3000 บาท/ก้อนเหล็ก และ 100 บาท/คมมีด คิดเป็นเงินประมาณ 3100 บาท/การทดลอง และเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลองในครั้งนี้ซึ่งคือ การศึกษาพารามิเตอร์ในการตัดที่เหมาะสมโดยการประยุกต์วิธีการหล่อเย็นโดยใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ผู้ทำการวิจัยจะไม่ทำการทดลองในแต่ละเงื่อนไขซ้ำ

เนื่องด้วยข้อจำกัดดังกล่าวทำให้ในการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของปัจจัยต่างๆเท่านั้น โดยไม่ให้ความสำคัญกับผลของปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect)

### 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 วัสดุชิ้นงาน (Work piece materials) ชิ้นงานทดสอบเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน S45C มีลักษณะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตรและความยาว 300 มิลลิเมตร

3.4.2 วัสดุมีดกลึง (Insert) มีดกลึงที่ใช้ในการทดลองเป็นของ KENNAMENTAL รุ่น DNMG 1144FN KC9100 เป็นมีดกลึงสำหรับการกลึงละเอียด.

3.4.3 สารหล่อเย็น ใช้หัวเขื่อน้ำมันหล่อเย็นแบบสังเคราะห์ ผสมน้ำอัตราส่วน 1 ต่อ 10

3.4.4 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงในภาคผนวก ก.

- 1) เครื่องกลึงซีเอ็นซี ( CNC turning machine) ของ MAZAK รุ่น NEXUS turning
- 2) ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ของ Kistler รุ่น 9720 สำหรับวัดแรงตัด ชาร์จแอมพลิไฟเออร์ (Charge amplifier) ของ Kistler สำหรับขยายสัญญาณแรงตัด
- 3) ออสซิลโลสโคป (Oscilloscoper) ของ YOKOGAWA สำหรับแสดงผลสัญญาณแรงตัด
- 4) เครื่องวัดความเรียบผิว ( Roughness tester )
- 5) ไมโครสโคป (Microscope) สำหรับวัดความลึกห่อของมีดตัด
- 6) เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารหล่อเย็น ( refractometer )
- 7) เครื่องมือวัดขนาดชิ้นงาน (Vernier calipers)
- 8) หัวฉีดสารหล่อเย็นแบบละออง
- 9) อุปกรณ์ควบคุมแรงดันสารหล่อเย็น (Pressure Relief Valve)

### 3.5 ขั้นตอนดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดลองเพื่อหาสภาวะการตัดที่เหมาะสมที่สุด คือการหาเงื่อนไขการตัดที่ให้ความหนาผิวชิ้นงานมีค่าต่ำ ไม่เกิน 12.5 ไมครอน ตาม JIS B0601 (1982) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความเรียบผิวก็คือ Roughness Tester โดยการใช้เครื่อง CNC Turning แล้วหาเงื่อนไขการตัดที่สามารถตัดเหล็กได้นานที่สุดโดยที่ความหนาผิวชิ้นงานสูงสุดไม่เกินกำหนด แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านวัตถุดิบ และอุปกรณ์ในการวัดชิ้นงาน ซึ่งไม่สามารถวัดความหนาผิวชิ้นงานได้ตลอดปริมาตรการตัด ทำให้ผู้วิจัยต้องทำการวัดค่าความหนาผิวชิ้นงานทุกๆ ปริมาตรการกลึง 0.5 ลบ.ม. แล้วทำการหาช่วงปริมาตรการตัดที่เหมาะสม และนำแต่ละเงื่อนไขการทดลองมาเปรียบเทียบกันได้

ในการวิเคราะห์เบื้องต้นก่อนจะนำไปสู่การวิเคราะห์เชิงสถิติด้วย ANOVA จึงทำการหาปริมาตรการกลึงเพื่อที่จะนำข้อมูลผลตอบต่างๆที่ปริมาตรการกลึงหนึ่งๆ มาทำการวิเคราะห์โดยเลือกปริมาตรการกลึง (Chip volume) ที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ข้อมูลทางสถิติ โดยการสังเกตค่าความหนาผิวเฉลี่ยจากกราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect Plot) หลังจากนั้นเลือกปริมาตรการกลึง (Chip volume) ที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแล้ว ก็จะนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ

### 3.6 ขั้นตอนการทำการทดลอง

- 1) การเตรียมชิ้นงาน (Workpiece) นำเหล็กท่อน (Ingot) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร ยึดจับด้วยเครื่องกลึง ยันศูนย์ชิ้นงาน แล้วทำการปอกผิวนอกที่มีความแข็งกว่าปกติทิ้ง
- 2) เมื่อชิ้นงานเรียบร้อยแล้วจึงทำการเขียนโปรแกรมลงบนเครื่องซีเอ็นซีเพื่อตัดชิ้นงานให้ได้ปริมาตรที่ต้องการ แล้วจึงติดตั้งมีดตัด และอุปกรณ์ในการหล่อเย็น
- 3) ทำการกลึงปอกผิวด้วยเงื่อนไขการตัดในตารางที่ 3.1
- 4) ทุกๆ การตัดที่ปริมาตร 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ลบ.ม. จะทำการวัดความลึกหรือของมีดตัด ความหยาบผิวของชิ้นงาน และแรงตัด
- 5) เมื่อกลึงชิ้นงานจนถึงปริมาตร 2.0 ลบ.ม. หรือมีดตัดสึกหรือจนไม่สามารถใช้งานได้ก็ จะทำการเปลี่ยนมีดตัดและทดลองด้วยเงื่อนไขการตัดต่อไป
- 6) บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.2 เขียนกราฟระหว่างปริมาตรการตัดกับผลตอบ ต่างๆ คือ ความลึกหรือของมีดตัด ความเรียบผิวชิ้นงาน แรงตัด ที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดด้วยเงื่อนไขต่างๆ

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการทดลอง

เงื่อนไขการทดลอง	อัตราป้อนตัด (มม. / รอบ)	ความเร็วตัด (ม. / นาที)	ความลึกตัด (มม.)	วิธีหล่อเย็น
1	0.15	150	0.5	Dry
2	0.15	150	0.5	MQL3
3	0.15	150	0.5	MQL5
4	0.15	150	0.5	MQL7
5	0.15	150	0.5	Wet
6	0.15	150	1.0	Dry
7	0.15	150	1.0	MQL3
8	0.15	150	1.0	MQL5
9	0.15	150	1.0	MQL7
10	0.15	150	1.0	Wet
11	0.15	250	0.5	Dry
12	0.15	250	0.5	MQL3
13	0.15	250	0.5	MQL5
14	0.15	250	0.5	MQL7
15	0.15	250	0.5	Wet
16	0.15	250	1.0	Dry
17	0.15	250	1.0	MQL3
18	0.15	250	1.0	MQL5
19	0.15	250	1.0	MQL7
20	0.15	250	1.0	Wet
21	0.15	350	0.5	Dry
22	0.15	350	0.5	MQL3
23	0.15	350	0.5	MQL5
24	0.15	350	0.5	MQL7
25	0.15	350	0.5	Wet
26	0.15	350	1.0	Dry
27	0.15	350	1.0	MQL3
28	0.15	350	1.0	MQL5
29	0.15	350	1.0	MQL7
30	0.15	350	1.0	Wet

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการทดลอง (ต่อ)

เงื่อนไขการทดลอง	อัตราป้อนตัด (มม. / รอบ)	ความเร็วตัด (ม. / นาที)	ความลึกตัด (มม.)	วิธีหล่อเย็น
31	0.18	150	0.5	Dry
32	0.18	150	0.5	MQL3
33	0.18	150	0.5	MQL5
34	0.18	150	0.5	MQL7
35	0.18	150	0.5	Wet
36	0.18	150	1.0	Dry
37	0.18	150	1.0	MQL3
38	0.18	150	1.0	MQL5
39	0.18	150	1.0	MQL7
40	0.18	150	1.0	Wet
41	0.18	250	0.5	Dry
42	0.18	250	0.5	MQL3
43	0.18	250	0.5	MQL5
44	0.18	250	0.5	MQL7
45	0.18	250	0.5	Wet
46	0.18	250	1.0	Dry
47	0.18	250	1.0	MQL3
48	0.18	250	1.0	MQL5
49	0.18	250	1.0	MQL7
50	0.18	250	1.0	Wet
51	0.18	350	0.5	Dry
52	0.18	350	0.5	MQL3
53	0.18	350	0.5	MQL5
54	0.18	350	0.5	MQL7
55	0.18	350	0.5	Wet
56	0.18	350	1.0	Dry
57	0.18	350	1.0	MQL3
58	0.18	350	1.0	MQL5
59	0.18	350	1.0	MQL7
60	0.18	350	1.0	Wet

ตารางที่ 3.2 ตารางสรุปผลการทดลองของแต่ละเงื่อนไขการตัด

ปริมาณเหล็ก ที่กลึง (ลบ.ม.)	ความหยาบ ผิวชิ้นงาน (ไมครอน)		ความลึกห่อมีดตัด (มิลลิเมตร)		แรงตัด แกน X (นิวตัน)	แรงตัด แกน Y (นิวตัน)	แรงตัด แกน Z (นิวตัน)
	Ra, $\mu\text{m}$	Rz, $\mu\text{m}$	Vb a, mm	Vb max, mm	Fz, N	Fz, N	Fz, N
Volume $\text{m}^3$							
0.0							
0.5							
1.0							
1.5							
2.0							

### 3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะให้การหลักสถิติ เพื่อให้การวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งสามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

#### 3.7.1 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลเป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันหรือไม่ ซึ่งทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ซึ่งค่าส่วนตกค้างแต่ละค่าควรเป็นอิสระซึ่งกันและกันทั้งนี้ต้องได้จากการทำการทดลองแบบสุ่มที่เหมาะสม โดยจะทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลอยู่บนแกนนอน ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำไปใช้งาน ถ้าหากข้อมูลมีความเป็นอิสระรูปที่พล็อตขึ้นมาจะกระจายอยู่ทั่วไปไม่เป็นแนวโน้ม (Trend) นั่นก็หมายความว่าข้อมูลมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

#### 3.7.2 การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ

การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติโดยการสร้าง Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เป็นการพล็อตค่าส่วนตกค้าง ลงบนกราฟที่เรียกว่า Normal Probability Paper ซึ่งพล็อตระหว่างส่วนตกค้างกับค่าความน่าจะเป็นสะสม Pk

$= (k-1/2)/n$  โดย  $P_k \times 100$  อยู่บนแกนตั้ง ส่วนแกนนอนจะเป็นค่าส่วนตั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำไปใช้งาน

### 3.7.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนเป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล ทดสอบโดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และค่าที่ถูกฟิตอยู่บนแกนนอนดังแสดง ถ้าหากข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือมีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล รูปที่พล็อตขึ้นมาจะกระจายอยู่ทั่วไป ไม่มีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆทั้งสิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นใด และทดสอบโดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับระดับของปัจจัยแต่ละปัจจัยซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และระดับของปัจจัยอยู่บนแกนนอน ถ้าหากข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือมีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล รูปที่พล็อตขึ้นมาจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก แต่ถ้ารูปที่พล็อตขึ้นมาจะมีลักษณะเป็นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลำดับ แสดงว่าข้อมูลนั้นไม่มีความเสถียรของความแปรปรวนหรือไม่มีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำไปใช้งาน

### 3.7.4 การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการออกแบบทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการออกแบบการทดลอง จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจะได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จะคำนวณค่า P Value ออกมาให้ ซึ่งในการพิจารณาค่า P Value นั้น จะทำการเปรียบเทียบกับค่า  $\alpha$  ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่าน้อยกว่าค่า  $\alpha$  แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่ามากกว่าค่า  $\alpha$  แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองโดยในการวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่า  $\alpha$  มีค่าเท่ากับ 0.05

### 3.7.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองในแต่ละการทดลอง

หลังจากการทดสอบ ANOVA แล้ว จะทราบว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อผลตอบ การวิเคราะห์ผล  
ในขั้นต่อไปจะอธิบายสาเหตุของแต่ละเงื่อนไขการตัด ที่ทำให้เกิดผลตอบต่างๆกัน โดยอาศัย  
ความรู้เรื่อง Metal Cutting ที่ได้กล่าวในเรื่องของทฤษฎีในบทที่ 2



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ปัจจัยการตัด (อัตราป้อนตัด ความเร็วตัด ความลึกตัด และ วิธีการหล่อเย็น) ที่ส่งผลต่อความสามารถในการตัด (ความสึกหรอมีดตัด ความหยابผิวชิ้นงาน แรงตัด) จะแยกวิเคราะห์เป็นหัวข้อต่างๆตามพารามิเตอร์ในการตัดต่อผลตอบดังนี้

#### 4.1 ผลจากการทดลองและการวิเคราะห์

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 โดยมีปัจจัยและผลตอบที่ทำการพิจารณาต่อไปนี้

##### ปัจจัยในการตัด

- |                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| 1. ปัจจัย f       | คือ อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตร/รอบ) |
| 2. ปัจจัย v       | คือ ความเร็วตัด (เมตร/นาที)      |
| 3. ปัจจัย d       | คือ ความลึกตัด (มิลลิเมตร)       |
| 4. ปัจจัย cooling | คือ วิธีการหล่อเย็น              |

##### ผลตอบของการตัด

- |              |                                       |
|--------------|---------------------------------------|
| 1. ผลตอบ Ra  | คือความหยابผิวชิ้นงานเฉลี่ย (ไมครอน)  |
| 2. ผลตอบ Rz  | คือความหยابผิวชิ้นงานสูงสุด (ไมครอน)  |
| 3. ผลตอบ Vba | คือความสึกหรอมีดตัดเฉลี่ย (มิลลิเมตร) |
| 4. ผลตอบ Vbm | คือความสึกหรอมีดตัดสูงสุด (มิลลิเมตร) |
| 5. ผลตอบ Fx  | คือแรงตัดแนวแกน (นิวตัน)              |
| 6. ผลตอบ Fy  | คือแรงตัดแนวรัศมี (นิวตัน)            |
| 7. ผลตอบ Fz  | คือแรงตัดหลัก (นิวตัน)                |

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ตลอดจนปริมาตรเหล็กที่กลึงครบ 2.0 ลบ.ม.

No.	Name of Cutting condition	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Vba (mm)	Vbm (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
1	0.15_150_0.5_Dry_0	2.0157	8.6600	0.0000	0.0000	125	119	211
	0.15_150_0.5_Dry_0.5	2.1703	11.1920	0.0955	0.1026	120	119	217
	0.15_150_0.5_Dry_1	1.5088	9.8320	0.0978	0.1125	121	106	198
	0.15_150_0.5_Dry_1.5	1.8924	10.2200	0.1390	0.1457	131	119	226
	0.15_150_0.5_Dry_2	2.2251	12.2960	0.1578	0.1640	134	121	225
2	0.15_150_0.5_MQL3_0	1.7289	9.4200	0.0000	0.0000	117	110	202
	0.15_150_0.5_MQL3_0.5	1.8322	12.9360	0.0998	0.0998	123	124	224
	0.15_150_0.5_MQL3_1	2.7170	17.1640	0.1104	0.1192	126	130	241
	0.15_150_0.5_MQL3_1.5	3.0529	14.0880	0.1259	0.1339	130	125	234
	0.15_150_0.5_MQL3_2	3.5658	14.9160	0.1766	0.1823	123	117	231
3	0.15_150_0.5_MQL5_0	1.8444	9.1600	0.0000	0.0000	119	116	207
	0.15_150_0.5_MQL5_0.5	2.1146	9.9120	0.0928	0.0928	125	124	221
	0.15_150_0.5_MQL5_1	3.0406	16.5360	0.1121	0.1145	140	134	236
	0.15_150_0.5_MQL5_1.5	3.0399	13.1200	0.1204	0.1295	144	130	226
	0.15_150_0.5_MQL5_2	3.1345	14.3520	0.1372	0.1415	157	155	242
4	0.15_150_0.5_MQL7_0	2.0396	9.4680	0.0000	0.0000	119	117	210
	0.15_150_0.5_MQL7_0.5	2.7757	18.1440	0.0909	0.0971	124	122	221
	0.15_150_0.5_MQL7_1	3.8181	15.7360	0.1190	0.1244	127	119	231
	0.15_150_0.5_MQL7_1.5	3.4260	13.7400	0.1368	0.1368	129	119	225
	0.15_150_0.5_MQL7_2	3.2095	13.7680	0.1668	0.1763	123	117	231
5	0.15_150_0.5_Wet_0	2.0465	8.6760	0.0000	0.0000	124	120	214
	0.15_150_0.5_Wet_0.5	4.0056	16.9200	0.0932	0.1053	119	122	221
	0.15_150_0.5_Wet_1	3.7938	13.8640	0.1213	0.1234	121	97	199
	0.15_150_0.5_Wet_1.5	2.1873	11.7800	0.1510	0.1567	133	123	240
	0.15_150_0.5_Wet_2	3.1223	12.0080	0.1708	0.1796	141	123	237
6	0.15_150_1_Dry_0	2.1079	10.8480	0.0000	0.0000	139	237	397
	0.15_150_1_Dry_0.5	2.1492	10.8800	0.0945	0.0945	133	233	400
	0.15_150_1_Dry_1	2.1122	11.6840	0.0968	0.1086	139	235	401
	0.15_150_1_Dry_1.5	1.8781	10.8800	0.1249	0.1258	139	239	412
	0.15_150_1_Dry_2	1.8839	10.6160	0.1400	0.1413	142	237	412
7	0.15_150_1_MQL3_0	1.9529	9.7400	0.0000	0.0000	138	221	372
	0.15_150_1_MQL3_0.5	1.9691	9.6640	0.0931	0.0954	144	228	397
	0.15_150_1_MQL3_1	2.0813	11.8840	0.0981	0.1026	139	236	394
	0.15_150_1_MQL3_1.5	2.6324	19.7280	0.1059	0.1184	143	240	410
	0.15_150_1_MQL3_2	2.8565	18.4960	0.1204	0.1282	144	241	418

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ตลอดจนปริมาตรเหล็กที่กลึงครบ 2.0 ลบ.ม. (ต่อ)

No.	Name of Cutting condition	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Vba (mm)	Vbm (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
8	0.15_150_1_MQL5_0	2.1841	10.0680	0.0000	0.0000	131	227	381
	0.15_150_1_MQL5_0.5	2.1240	10.6880	0.0855	0.0945	135	226	397
	0.15_150_1_MQL5_1	2.5757	22.4360	0.0939	0.1103	136	242	410
	0.15_150_1_MQL5_1.5	3.6633	20.2120	0.1177	0.1239	135	242	418
	0.15_150_1_MQL5_2	3.3304	15.7200	0.1221	0.1311	139	247	429
9	0.15_150_1_MQL7_0	1.9339	9.9360	0.0000	0.0000	220	220	371
	0.15_150_1_MQL7_0.5	2.0144	10.5560	0.0971	0.1050	136	226	390
	0.15_150_1_MQL7_1	3.0406	16.5360	0.0982	0.1108	139	235	395
	0.15_150_1_MQL7_1.5	3.1378	16.3600	0.1110	0.1120	141	239	404
	0.15_150_1_MQL7_2	3.7735	17.4160	0.1181	0.1181	143	245	415
10	0.15_150_1_Wet_0	1.8939	10.1800	0.0000	0.0000	139	236	395
	0.15_150_1_Wet_0.5	2.3023	15.0400	0.0942	0.0949	132	221	396
	0.15_150_1_Wet_1	3.1923	22.8120	0.1019	0.1138	133	226	393
	0.15_150_1_Wet_1.5	4.1930	19.0240	0.1116	0.1280	143	235	409
	0.15_150_1_Wet_2	3.7128	16.6440	0.1365	0.1528	155	249	430
11	0.15_250_0.5_Dry_0	2.0283	8.6240	0.0000	0.0000	119	120	219
	0.15_250_0.5_Dry_0.5	2.0864	8.9200	0.1128	0.1466	115	107	214
	0.15_250_0.5_Dry_1	2.0735	9.6480	0.1505	0.1789	104	88	199
	0.15_250_0.5_Dry_1.5	1.5487	6.3960	0.1656	0.1963	98	94	199
	0.15_250_0.5_Dry_2	2.1364	7.8640	0.1691	0.2000	97	90	191
12	0.15_250_0.5_MQL3_0	2.0459	8.5920	0.0000	0.0000	122	107	190
	0.15_250_0.5_MQL3_0.5	1.8976	8.4760	0.1265	0.1338	130	117	207
	0.15_250_0.5_MQL3_1	1.8647	9.6880	0.1853	0.1866	138	115	220
	0.15_250_0.5_MQL3_1.5	1.5612	8.3360	0.1818	0.1933	145	105	207
	0.15_250_0.5_MQL3_2	2.1329	9.1520	0.1877	0.1938	152	111	213
13	0.15_250_0.5_MQL5_0	1.8259	8.2200	0.0000	0.0000	122	106	187
	0.15_250_0.5_MQL5_0.5	1.8080	8.4040	0.1279	0.1471	132	117	204
	0.15_250_0.5_MQL5_1	1.8107	8.8640	0.1721	0.1833	140	125	223
	0.15_250_0.5_MQL5_1.5	1.8960	10.0000	0.1977	0.2016	152	108	205
	0.15_250_0.5_MQL5_2	1.1888	8.6840	0.2023	0.2038	143	108	204
14	0.15_250_0.5_MQL7_0	2.3605	11.2880	0.0000	0.0000	139	125	211
	0.15_250_0.5_MQL7_0.5	2.9701	13.2000	0.1183	0.1471	152	121	206
	0.15_250_0.5_MQL7_1	2.8512	12.5880	0.1784	0.1879	176	147	237
	0.15_250_0.5_MQL7_1.5	1.8051	9.0400	0.1930	0.2068	147	118	222
	0.15_250_0.5_MQL7_2	2.7388	12.3840	0.1987	0.2081	160	114	212

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ตลอดปริมาตรเหล็กที่กลึงครบ 2.0 ลบ.ม. (ต่อ)

No.	Name of Cutting condition	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Vba (mm)	Vbm (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
15	0.15_250_0.5_Wet_0	1.8638	8.3960	0.0000	0.0000	117	118	219
	0.15_250_0.5_Wet_0.5	2.0838	9.3640	0.1581	0.1805	121	118	224
	0.15_250_0.5_Wet_1	1.1126	5.7640	0.1779	0.1974	106	99	207
	0.15_250_0.5_Wet_1.5	1.8976	9.6320	0.1810	0.2206	113	102	211
	0.15_250_0.5_Wet_2	2.2662	10.3010	0.1946	0.2253	111	98	206
16	0.15_250_1_Dry_0	2.1314	10.1533	0.0000	0.0000	130	223	386
	0.15_250_1_Dry_0.5	1.9647	9.4933	0.0900	0.1102	125	221	389
	0.15_250_1_Dry_1	2.0966	10.6853	0.1130	0.1353	124	231	398
	0.15_250_1_Dry_1.5	2.2921	11.6453	0.1356	0.1578	124	237	403
	0.15_250_1_Dry_2	1.7082	9.2680	0.1526	0.1839	109	204	376
17	0.15_250_1_MQL3_0	1.8556	9.7360	0.0000	0.0000	138	208	355
	0.15_250_1_MQL3_0.5	1.9403	9.5320	0.1115	0.1185	149	225	369
	0.15_250_1_MQL3_1	1.7606	8.9440	0.1199	0.1286	155	230	380
	0.15_250_1_MQL3_1.5	1.7793	9.3760	0.1677	0.1772	170	247	387
	0.15_250_1_MQL3_2	1.8802	10.1440	0.1902	0.1912	156	222	387
18	0.15_250_1_MQL5_0	2.0761	10.0480	0.0000	0.0000	128	197	345
	0.15_250_1_MQL5_0.5	2.7428	12.5000	0.0975	0.1053	140	210	366
	0.15_250_1_MQL5_1	1.8015	9.6120	0.1325	0.1546	161	232	384
	0.15_250_1_MQL5_1.5	1.8713	10.2240	0.1555	0.1626	144	196	372
	0.15_250_1_MQL5_2	1.1448	7.8280	0.1819	0.1822	155	194	370
19	0.15_250_1_MQL7_0	2.2054	11.0360	0.0000	0.0000	132	204	348
	0.15_250_1_MQL7_0.5	2.1077	11.1240	0.1118	0.1187	141	216	362
	0.15_250_1_MQL7_1	2.1208	10.9120	0.1432	0.1565	146	232	386
	0.15_250_1_MQL7_1.5	2.1387	10.2320	0.1777	0.1810	169	216	378
	0.15_250_1_MQL7_2	1.5692	7.8480	0.1790	0.1812	151	198	369
20	0.15_250_1_Wet_0	2.0425	10.3720	0.0000	0.0000	133	225	389
	0.15_250_1_Wet_0.5	2.0810	10.2960	0.0946	0.1278	130	223	392
	0.15_250_1_Wet_1	3.0340	14.4592	0.1297	0.1532	164	241	401
	0.15_250_1_Wet_1.5	3.5488	15.4360	0.1604	0.2421	154	248	413
	0.15_250_1_Wet_2	2.2919	12.3440	0.1748	0.2500	148	239	405
21	0.15_350_0.5_Dry_0	2.1532	10.8392	0.0000	0.0000	126	120	217
	0.15_350_0.5_Dry_0.5	1.9172	10.5760	0.1801	0.1801	106	105	208
	0.15_350_0.5_Dry_1	1.9749	8.3480	0.1789	0.2278	109	104	205
	0.15_350_0.5_Dry_1.5	2.1482	10.0680	0.1939	0.2338	111	104	204
	0.15_350_0.5_Dry_2	2.3897	12.2920	0.2292	0.2824	125	134	212

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ตลอดจนปริมาตรเหล็กที่กลึงครบ 2.0 ลบ.ม. (ต่อ)

No.	Name of Cutting condition	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Vba (mm)	Vbm (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
22	0.15_350_0.5_MQL3_0	2.2622	10.1640	0.0000	0.0000	133	110	191
	0.15_350_0.5_MQL3_0.5	1.2008	7.1440	0.1991	0.2079	146	120	211
	0.15_350_0.5_MQL3_1	1.7194	7.0120	0.2132	0.2186	207	151	226
	0.15_350_0.5_MQL3_1.5	2.1531	9.2920	0.2197	0.2277	184	135	220
	0.15_350_0.5_MQL3_2	2.2577	9.5560	0.2384	0.2548	222	162	231
23	0.15_350_0.5_MQL5_0	2.0164	9.5920	0.0000	0.0000	125	105	184
	0.15_350_0.5_MQL5_0.5	0.9477	6.1600	0.1794	0.1856	164	122	206
	0.15_350_0.5_MQL5_1	1.7479	7.1320	0.2135	0.2180	188	147	226
	0.15_350_0.5_MQL5_1.5	2.1024	8.8280	0.2191	0.2274	197	138	215
	0.15_350_0.5_MQL5_2	2.1118	8.7440	0.2317	0.2339	174	123	200
24	0.15_350_0.5_MQL7_0	2.1094	9.7080	0.0000	0.0000	128	111	194
	0.15_350_0.5_MQL7_0.5	1.9923	10.4960	0.1788	0.1808	167	116	207
	0.15_350_0.5_MQL7_1	1.8182	7.6560	0.1955	0.2007	201	141	222
	0.15_350_0.5_MQL7_1.5	2.0422	8.5640	0.2187	0.2296	187	139	223
	0.15_350_0.5_MQL7_2	2.1161	9.9480	0.2307	0.2388	186	141	212
25	0.15_350_0.5_Wet_0	1.8803	9.0496	0.0000	0.0000	126	116	209
	0.15_350_0.5_Wet_0.5	2.0015	10.4840	0.1667	0.1866	113	106	220
	0.15_350_0.5_Wet_1	1.1559	6.2600	0.1874	0.2143	111	110	213
	0.15_350_0.5_Wet_1.5	1.8335	7.3040	0.1940	0.2271	108	118	219
	0.15_350_0.5_Wet_2	1.8762	7.2680	0.1955	0.2373	115	116	221
26	0.15_350_1_Dry_0	1.9820	10.5320	0.0000	0.0000	135	215	380
	0.15_350_1_Dry_0.5	2.6490	11.8640	0.1366	0.1624	142	234	402
	0.15_350_1_Dry_1	1.9770	10.0920	0.1690	0.1980	155	199	379
	0.15_350_1_Dry_1.5	1.8997	9.6760	0.1738	0.2006	221	237	403
	0.15_350_1_Dry_2	N/A	N/A	0.1990	0.2349	N/A	N/A	N/A
27	0.15_350_1_MQL3_0	1.9089	9.5640	0.0000	0.0000	142	206	348
	0.15_350_1_MQL3_0.5	2.3738	11.2480	0.1566	0.1805	190	245	375
	0.15_350_1_MQL3_1	1.5922	8.7800	0.1816	0.2090	191	203	362
	0.15_350_1_MQL3_1.5	2.7662	11.6160	0.1984	0.2123	316	282	391
	0.15_350_1_MQL3_2	N/A	N/A	0.6773	0.8000	N/A	N/A	N/A
28	0.15_350_1_MQL5_0	2.1809	9.9640	0.0000	0.0000	139	202	343
	0.15_350_1_MQL5_0.5	1.9744	9.3080	0.1434	0.1788	177	232	366
	0.15_350_1_MQL5_1	0.9677	6.3160	0.1927	0.2025	234	239	371
	0.15_350_1_MQL5_1.5	2.4853	9.9760	0.2204	0.2346	336	288	388
	0.15_350_1_MQL5_2	3.3321	12.9960	0.2541	0.3308	322	342	414

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ตลอดจนปริมาตรเหล็กที่กลึงครบ 2.0 ลบ.ม. (ต่อ)

No.	Name of Cutting condition	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Vba (mm)	Vbm (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
29	0.15_350_1_MQL7_0	2.2979	11.2920	0.0000	0.0000	135	201	342
	0.15_350_1_MQL7_0.5	2.4885	12.3480	0.1515	0.1859	206	228	359
	0.15_350_1_MQL7_1	2.6623	10.8520	0.1907	0.2036	351	267	407
	0.15_350_1_MQL7_1.5	1.3593	8.3560	0.1956	0.2087	156	239	388
	0.15_350_1_MQL7_2	1.8802	9.3640	0.2033	0.2184	202	221	366
30	0.15_350_1_Wet_0	2.0351	10.2440	0.0000	0.0000	139	221	381
	0.15_350_1_Wet_0.5	2.0217	9.3960	0.1405	0.1512	135	229	393
	0.15_350_1_Wet_1	1.8861	9.9564	0.1639	0.2102	126	192	377
	0.15_350_1_Wet_1.5	1.8809	8.2400	0.1949	0.2459	144	216	394
	0.15_350_1_Wet_2	2.2886	10.8200	0.2090	0.2551	157	239	404
31	0.18_150_0.5_Dry_0	3.2924	14.3880	0.0000	0.0000	111	123	226
	0.18_150_0.5_Dry_0.5	2.7411	11.6800	0.1511	0.1558	149	147	289
	0.18_150_0.5_Dry_1	2.6678	12.4840	0.1577	0.1690	161	148	297
	0.18_150_0.5_Dry_1.5	2.2421	10.3360	0.1720	0.1735	165	139	276
	0.18_150_0.5_Dry_2	2.0345	10.0760	0.1859	0.1901	136	118	239
32	0.18_150_0.5_MQL3_0	2.7102	12.3600	0.0000	0.0000	131	109	246
	0.18_150_0.5_MQL3_0.5	2.0673	11.7680	0.1684	0.1763	113	92	216
	0.18_150_0.5_MQL3_1	2.6920	13.7040	0.1746	0.1810	170	104	219
	0.18_150_0.5_MQL3_1.5	2.6606	14.7920	0.1948	0.2014	304	123	239
	0.18_150_0.5_MQL3_2	2.7288	16.3000	0.1987	0.2113	127	124	240
33	0.18_150_0.5_MQL5_0	2.6296	13.4000	0.0000	0.0000	124	113	220
	0.18_150_0.5_MQL5_0.5	1.7259	9.1080	0.1640	0.1785	231	83	223
	0.18_150_0.5_MQL5_1	2.8744	16.1040	0.1796	0.1851	129	106	240
	0.18_150_0.5_MQL5_1.5	2.9098	18.3000	0.1917	0.2060	220	84	225
	0.18_150_0.5_MQL5_2	3.2829	19.5760	0.2054	0.2166	153	116	252
34	0.18_150_0.5_MQL7_0	2.6234	13.0800	0.0000	0.0000	141	101	209
	0.18_150_0.5_MQL7_0.5	3.0904	15.8200	0.1662	0.1783	183	129	242
	0.18_150_0.5_MQL7_1	3.6239	18.3120	0.1795	0.1883	142	116	242
	0.18_150_0.5_MQL7_1.5	3.9246	21.5960	0.1955	0.2078	140	117	260
	0.18_150_0.5_MQL7_2	4.3148	23.1080	0.2199	0.2219	444	384	314
35	0.18_150_0.5_Wet_0	2.4519	11.6880	0.0000	0.0000	147	153	279
	0.18_150_0.5_Wet_0.5	3.9851	19.9880	0.1801	0.1868	153	145	286
	0.18_150_0.5_Wet_1	4.0086	30.0720	0.1927	0.1989	161	146	287
	0.18_150_0.5_Wet_1.5	4.1936	20.0320	0.2002	0.2082	180	141	270
	0.18_150_0.5_Wet_2	3.9298	17.5280	0.2110	0.2165	156	114	236

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ตลอดจนปริมาตรเหล็กที่กลึงครบ 2.0 ลบ.ม. (ต่อ)

No.	Name of Cutting condition	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Vba (mm)	Vbm (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
36	0.18_150_1_Dry_0	2.7695	14.6520	0.0000	0.0000	151	256	449
	0.18_150_1_Dry_0.5	2.8256	14.1440	0.0921	0.0970	149	244	441
	0.18_150_1_Dry_1	2.6209	12.1200	0.1120	0.1309	152	240	452
	0.18_150_1_Dry_1.5	2.4001	12.7010	0.1897	0.1943	168	249	466
	0.18_150_1_Dry_2	2.4515	13.8760	0.1976	0.2011	161	237	448
37	0.18_150_1_MQL3_0	2.7936	14.0640	0.0000	0.0000	146	240	436
	0.18_150_1_MQL3_0.5	2.8757	14.4480	0.1675	0.1791	147	220	443
	0.18_150_1_MQL3_1	3.2860	17.7920	0.1804	0.1884	170	240	468
	0.18_150_1_MQL3_1.5	3.2056	18.1760	0.1955	0.2042	162	230	464
	0.18_150_1_MQL3_2	3.4221	18.2600	0.2064	0.2129	152	241	475
38	0.18_150_1_MQL5_0	2.7494	15.9280	0.0000	0.0000	143	230	453
	0.18_150_1_MQL5_0.5	2.8069	13.4444	0.1700	0.1747	143	251	436
	0.18_150_1_MQL5_1	3.2721	17.8680	0.1789	0.1847	163	238	474
	0.18_150_1_MQL5_1.5	3.0929	17.4560	0.1926	0.2046	163	238	472
	0.18_150_1_MQL5_2	3.2626	17.2720	0.2094	0.2156	171	257	471
39	0.18_150_1_MQL7_0	2.8006	14.2160	0.0000	0.0000	146	239	433
	0.18_150_1_MQL7_0.5	2.5932	13.9360	0.1687	0.1730	149	228	465
	0.18_150_1_MQL7_1	2.9060	15.1120	0.1814	0.1887	151	231	482
	0.18_150_1_MQL7_1.5	2.8431	15.6680	0.1897	0.1987	150	236	471
	0.18_150_1_MQL7_2	2.7981	16.8400	0.1948	0.2067	130	216	477
40	0.18_150_1_Wet_0	2.9026	13.8120	0.0000	0.0000	145	260	462
	0.18_150_1_Wet_0.5	3.5145	18.5920	0.1411	0.1490	155	269	511
	0.18_150_1_Wet_1	3.7427	19.5280	0.1694	0.1728	157	267	496
	0.18_150_1_Wet_1.5	3.9680	18.2880	0.1807	0.1875	158	273	484
	0.18_150_1_Wet_2	3.6147	18.7720	0.1859	0.1904	149	254	457
41	0.18_250_0.5_Dry_0	2.8780	12.8720	0.0000	0.0000	138	139	261
	0.18_250_0.5_Dry_0.5	1.7961	8.4000	0.1724	0.1782	149	139	271
	0.18_250_0.5_Dry_1	1.8774	8.6360	0.1794	0.1839	161	136	271
	0.18_250_0.5_Dry_1.5	1.9204	8.6240	0.2883	0.2106	172	128	253
	0.18_250_0.5_Dry_2	1.6758	7.1960	0.2119	0.2208	250	231	278
42	0.18_250_0.5_MQL3_0	2.7537	11.9480	0.0000	0.0000	122	105	240
	0.18_250_0.5_MQL3_0.5	2.5440	13.5520	0.1822	0.1940	209	116	231
	0.18_250_0.5_MQL3_1	2.6640	12.6520	0.1979	0.2056	130	114	230
	0.18_250_0.5_MQL3_1.5	1.9125	11.6760	0.2011	0.2179	244	123	203
	0.18_250_0.5_MQL3_2	2.5513	12.9400	0.2241	0.2384	190	90	223

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ตลอดจนปริมาตรเหล็กที่กลึงครบ 2.0 ลบ.ม. (ต่อ)

No.	Name of Cutting condition	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Vba (mm)	Vbm (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
43	0.18_250_0.5_MQL5_0	2.6391	12.6080	0.0000	0.0000	121	99	199
	0.18_250_0.5_MQL5_0.5	1.8286	9.1240	0.1789	0.1837	142	98	221
	0.18_250_0.5_MQL5_1	1.8974	11.1440	0.2007	0.2108	190	117	229
	0.18_250_0.5_MQL5_1.5	1.8911	11.5120	0.2218	0.2318	130	114	231
	0.18_250_0.5_MQL5_2	1.9276	12.3160	0.2438	0.2585	138	109	247
44	0.18_250_0.5_MQL7_0	2.6156	12.5320	0.0000	0.0000	178	112	235
	0.18_250_0.5_MQL7_0.5	1.9796	9.6880	0.1894	0.2023	127	109	224
	0.18_250_0.5_MQL7_1	2.3663	12.9080	0.1933	0.2198	136	109	236
	0.18_250_0.5_MQL7_1.5	2.1698	14.1280	0.2278	0.2306	144	108	244
	0.18_250_0.5_MQL7_2	2.1194	13.3640	0.2413	0.2675	221	173	228
45	0.18_250_0.5_Wet_0	2.8524	11.9520	0.0000	0.0000	138	149	274
	0.18_250_0.5_Wet_0.5	2.2646	10.4800	0.1683	0.1738	133	142	279
	0.18_250_0.5_Wet_1	2.3440	12.1000	0.1821	0.1888	138	127	259
	0.18_250_0.5_Wet_1.5	2.3969	12.3240	0.2037	0.2161	150	125	246
	0.18_250_0.5_Wet_2	1.8308	10.4760	0.2200	0.2311	138	126	256
46	0.18_250_1_Dry_0	2.7529	13.9880	0.0000	0.0000	145	232	424
	0.18_250_1_Dry_0.5	2.8147	14.6040	0.1188	0.1207	157	236	430
	0.18_250_1_Dry_1	2.7510	13.6640	0.1594	0.1604	183	252	449
	0.18_250_1_Dry_1.5	2.4731	10.2166	0.1935	0.2000	191	216	418
	0.18_250_1_Dry_2	2.0262	9.6280	0.2119	0.2260	175	224	425
47	0.18_250_1_MQL3_0	2.7441	15.1680	0.0000	0.0000	143	229	405
	0.18_250_1_MQL3_0.5	2.1336	10.8080	0.1897	0.1910	225	215	411
	0.18_250_1_MQL3_1	2.6622	11.6920	0.1946	0.2042	160	210	441
	0.18_250_1_MQL3_1.5	2.8627	12.4080	0.2008	0.2104	167	216	444
	0.18_250_1_MQL3_2	3.0240	18.9720	0.2164	0.2260	163	240	466
48	0.18_250_1_MQL5_0	2.7624	15.3600	0.0000	0.0000	141	223	397
	0.18_250_1_MQL5_0.5	2.4293	11.7640	0.1882	0.1946	190	221	437
	0.18_250_1_MQL5_1	2.4014	12.7800	0.1935	0.2047	181	233	469
	0.18_250_1_MQL5_1.5	2.4114	13.7840	0.2089	0.2113	165	219	454
	0.18_250_1_MQL5_2	2.6903	14.6680	0.2277	0.2369	184	228	467
49	0.18_250_1_MQL7_0	2.5122	12.8640	0.0000	0.0000	144	227	416
	0.18_250_1_MQL7_0.5	2.1066	10.3120	0.1759	0.1819	186	206	417
	0.18_250_1_MQL7_1	1.8830	11.7000	0.1867	0.1904	162	229	465
	0.18_250_1_MQL7_1.5	1.8892	11.1200	0.1945	0.2094	171	224	462
	0.18_250_1_MQL7_2	1.9438	11.6720	0.1952	0.2245	174	229	459



ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ตลอดจนปริมาตรเหล็กที่กลึงครบ 2.0 ลบ.ม. (ต่อ)

No.	Name of Cutting condition	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Vba (mm)	Vbm (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
50	0.18_250_1_Wet_0	2.6589	12.8080	0.0000	0.0000	145	229	412
	0.18_250_1_Wet_0.5	2.0644	10.2880	0.1822	0.1832	172	244	467
	0.18_250_1_Wet_1	1.6682	9.1560	0.1945	0.1995	172	232	460
	0.18_250_1_Wet_1.5	2.1368	10.3600	0.2089	0.2173	184	236	437
	0.18_250_1_Wet_2	1.7282	9.3200	0.2117	0.2206	170	237	438
51	0.18_350_0.5_Dry_0	2.9461	12.9440	0.0000	0.0000	133	130	240
	0.18_350_0.5_Dry_0.5	1.9386	11.3960	0.1901	0.1965	149	142	264
	0.18_350_0.5_Dry_1	2.5959	12.7120	0.2163	0.2220	232	166	270
	0.18_350_0.5_Dry_1.5	2.9403	13.7440	0.2897	0.3481	283	268	283
	0.18_350_0.5_Dry_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
52	0.18_350_0.5_MQL3_0	2.5782	11.9600	0.0000	0.0000	179	101	216
	0.18_350_0.5_MQL3_0.5	2.0075	10.2160	0.1879	0.1967	132	117	237
	0.18_350_0.5_MQL3_1	2.0520	9.9280	0.2147	0.2251	127	100	225
	0.18_350_0.5_MQL3_1.5	2.4758	12.6840	0.3115	0.4183	127	103	243
	0.18_350_0.5_MQL3_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
53	0.18_350_0.5_MQL5_0	2.6440	11.9000	0.0000	0.0000	121	98	197
	0.18_350_0.5_MQL5_0.5	1.8932	9.8160	0.2109	0.2294	184	119	223
	0.18_350_0.5_MQL5_1	2.2683	11.1600	0.2457	0.2555	212	129	227
	0.18_350_0.5_MQL5_1.5	2.1440	12.2320	0.2745	0.3250	188	106	234
	0.18_350_0.5_MQL5_2	1.8982	11.1320	0.3346	0.3658	126	113	226
54	0.18_350_0.5_MQL7_0	2.6451	13.5120	0.0000	0.0000	285	286	285
	0.18_350_0.5_MQL7_0.5	1.9376	10.4240	0.2173	0.2281	134	120	242
	0.18_350_0.5_MQL7_1	N/A	N/A	0.2449	0.2552	N/A	N/A	N/A
	0.18_350_0.5_MQL7_1.5	N/A	N/A	0.2564	0.2725	N/A	N/A	N/A
	0.18_350_0.5_MQL7_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
55	0.18_350_0.5_Wet_0	2.5396	11.7440	0.0000	0.0000	132	135	251
	0.18_350_0.5_Wet_0.5	1.8247	9.5080	0.1722	0.1762	171	154	279
	0.18_350_0.5_Wet_1	1.8473	9.8160	0.2062	0.2115	208	160	276
	0.18_350_0.5_Wet_1.5	1.8825	9.4760	0.3099	0.3155	250	231	278
	0.18_350_0.5_Wet_2	3.9482	16.6200	0.3988	0.6095	301	298	233
56	0.18_350_1_Dry_0	2.8239	14.9720	0.0000	0.0000	134	211	383
	0.18_350_1_Dry_0.5	2.1701	12.6800	0.1976	0.2019	190	262	465
	0.18_350_1_Dry_1	2.2826	11.0840	0.2080	0.2128	274	270	440
	0.18_350_1_Dry_1.5	3.3159	17.8520	0.2584	0.2705	475	384	466
	0.18_350_1_Dry_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

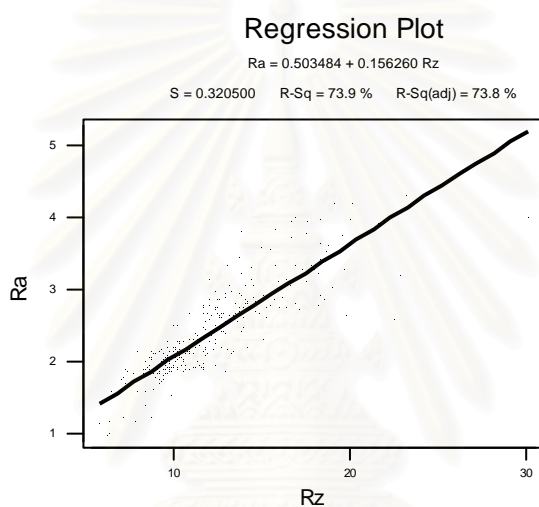
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ตลอดจนปริมาตรเหล็กที่กลึงครบ 2.0 ลบ.ม. (ต่อ)

No.	Name of Cutting condition	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Vba (mm)	Vbm (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
57	0.18_350_1_MQL3_0	2.6098	15.2200	0.0000	0.0000	292	282	437
	0.18_350_1_MQL3_0.5	1.9968	11.3600	0.1771	0.1808	143	228	405
	0.18_350_1_MQL3_1	1.9523	9.2600	0.2107	0.2254	178	202	420
	0.18_350_1_MQL3_1.5	2.1631	11.8240	0.2333	0.2510	225	226	430
	0.18_350_1_MQL3_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
58	0.18_350_1_MQL5_0	2.8435	14.0640	0.0000	0.0000	237	275	458
	0.18_350_1_MQL5_0.5	2.1752	9.5960	0.1779	0.1865	141	210	391
	0.18_350_1_MQL5_1	2.1084	13.3040	0.1988	0.2107	239	258	449
	0.18_350_1_MQL5_1.5	2.5888	12.6960	0.2143	0.2253	166	221	446
	0.18_350_1_MQL5_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
59	0.18_350_1_MQL7_0	2.6052	12.6000	0.0000	0.0000	143	216	400
	0.18_350_1_MQL7_0.5	2.2625	12.0360	0.1881	0.1938	172	223	438
	0.18_350_1_MQL7_1	2.2135	11.4520	0.2089	0.2179	154	233	480
	0.18_350_1_MQL7_1.5	2.1541	13.0240	0.2211	0.2336	269	303	463
	0.18_350_1_MQL7_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
60	0.18_350_1_Wet_0	2.9322	15.4640	0.0000	0.0000	147	219	398
	0.18_350_1_Wet_0.5	2.4093	12.7760	0.1794	0.1866	216	260	458
	0.18_350_1_Wet_1	2.9735	12.3160	0.1900	0.1982	258	263	457
	0.18_350_1_Wet_1.5	3.3269	16.8480	0.2003	0.2162	288	300	423
	0.18_350_1_Wet_2	N/A	N/A	0.3213	0.3450	543	421	473

**หมายเหตุ** 1) N/A; Not Available หมายถึงไม่มีค่า เนื่องจากมีดตัดชำรุดจนไม่สามารถตัดได้  
 2) Name of Cutting Condition เรียงตามดังนี้ อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตร/รอบ)  
 ความเร็วตัด (เมตร/นาที) ความลึกตัด (มิลลิเมตร) วิธีการหล่อเย็น และปริมาตร  
 การตัดโลหะ (ลบ.ม.)

#### 4.1.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความหยาบผิวที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

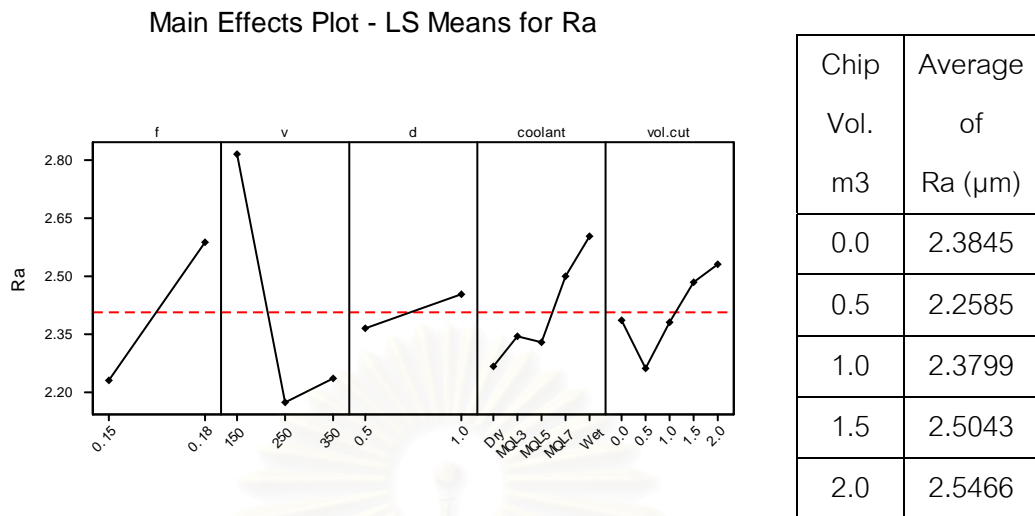
เนื่องจากตัวแปรผลตอบของค่าความหยาบผิวมีอยู่ด้วยกัน 2 ค่า จึงทำการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของผลตอบว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยสามารถดูได้จากค่า R-sq ถ้าค่า R-sq มีค่าสูงแสดงว่าค่า Rz และ Ra มีความสัมพันธ์กัน ไม่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ค่าผลตอบของความหยาบผิวทั้งสองค่า แต่ถ้าค่า R-sq มีค่าต่ำแสดงว่าค่า Rz และ Ra ไม่มีความสัมพันธ์กัน จะต้องนำผลตอบทั้งสองมาวิเคราะห์ผล



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ของค่า Ra กับ Rz

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Rz และ Ra มีความสัมพันธ์กัน โดยดูจากค่า R-Sq (adj)เท่ากับ 73.8 % นั้นหมายความว่า ถ้าค่า Rz หรือ Ra มีการเปลี่ยนแปลง ก็ส่งผลให้ Ra หรือ Rz มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยเช่นกัน ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ผลตอบทั้งสอง ทำการวิเคราะห์แค่ผลตอบตัวใดตัวหนึ่งก็สามารถอธิบายผลตอบอีกตัวได้

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้ค่า Ra มาพล็อตเพื่อดูอิทธิพลเนื่องจากปริมาณการกลิ้งตั้งแต่ 0 ลบ.ม. จนถึง 2 ลบ.ม. ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟอิทธิพลหลักของค่า Ra กับปัจจัยต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 ในส่วนของความหยาบผิวเฉลี่ยกับปริมาณเหล็กที่ตัด จะพบว่าความหยาบผิวเฉลี่ยเริ่มต้นจะมีค่าความหยาบผิวอยู่ที่ 2.3845 ไมครอน หลังจากตัดเหล็กไป 0.5 ลูกบาศก์เมตร ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยลดลงเหลือ 2.2585 ไมครอน และเมื่อนำมีดตัดไปกลิ้งชิ้นงานอีกจะพบว่าความหยาบผิวเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้นเป็น 2.3799 ไมครอน ที่ปริมาตรกลิ้งชิ้นงานที่ 1.0 ลูกบาศก์เมตรและ เป็น 2.4849 ไมครอน ที่ปริมาตรกลิ้งชิ้นงานที่ 1.5ลูกบาศก์เมตร และเป็น 2.5466 ไมครอน ที่ปริมาตรกลิ้งชิ้นงานที่ 2.0 ลูกบาศก์เมตร

จากผลความหยาบผิวชิ้นงานที่ปริมาตรการกลิ้งต่างๆกัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีดกลิ้งใหม่ จะให้ค่าความหยาบผิวที่สูง และเมื่อกำลังไปสักระยะ ความหยาบผิวชิ้นงานจะลดลง และเมื่อกำลังต่อไป ความหยาบผิวชิ้นงานก็จะกลับมาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้สาเหตุเนื่องจากการกลิ้งไปสักระยะหนึ่ง จะทำให้รัศมีจุกมีดตัดเพิ่มขึ้น ทำให้ลบรอยที่เกิดจากการป้อนมีดตัดลดลง ส่งผลให้ความหยาบผิวชิ้นงานลดลงในระยะแรก เมื่อกำลังชิ้นงานต่อไปมีดตัดจะเริ่มสึก จนทำให้ความหยาบชิ้นงานกลับมาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

การใช้งานของมีดตัดกลิ้งชิ้นงานจะดูจากความหยาบผิวชิ้นงานเป็นหลัก เมื่อกำลังชิ้นงานไป จะความหยาบผิวชิ้นงานสูงสุด Rz เท่ากับ 12.5 ไมครอน ซึ่งเป็นมาตรฐานของความหยาบผิวชิ้นงานสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ ก็จะหยุดกลิ้งและเปลี่ยนมีดตัดใหม่

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่า Ra และ Rz สมการการถดถอยคือ  $Ra = 0.503484 + 0.156260 Rz$  ความหยาบผิวเฉลี่ยที่ให้ค่าความหยาบผิวชิ้นงานสูงสุด Rz เท่ากับ

12.5 ไมครอนคือ Ra เท่ากับ 2.4567 ไมครอน ซึ่งเป็นปริมาณการกลิ้งเหล็กบริเวณ 1.5 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ในการวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไปเพื่อเปรียบเทียบผลของปัจจัยที่ให้ค่าผลตอบที่ดีที่สุด จะวิเคราะห์ ณ ปริมาตรการกลิ้งที่ 1.5 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งได้คัดแยกข้อมูลดังตารางที่ 4.2

การบอกอายุของมีดตัด นอกจากจะกำหนดจากค่า Ra แล้วยังสามารถประมาณค่าได้จากความลึกหรอยของมีดตัด โดยการประมาณค่าจากผลตอบที่ปริมาตรการกลิ้งเหล็กที่ 1.0 ถึง 2.0 ลูกบาศก์เมตรดังนี้

ปริมาตรการกลิ้ง (ลบ.ม.)	Average of Vba (mm)	Average of Ra ( $\mu\text{m}$ )
1.0	0.1695	2.3799
1.3088	0.1843	2.4567
1.5	0.1935	2.5043

เนื่องจากเป็นช่วงการตัดที่ค่าความหยาบผิวชิ้นงานและความลึกหรอยมีดตัดเข้าสู่ช่วงคงตัว โดยค่า Ra เท่ากับ 2.4567 ไมครอน จะเป็นปริมาตรการกลิ้งที่ 1.3088 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งใช้การประมาณในช่วงจะได้ความลึกหรอยมีดตัดเท่ากับ 0.1843 มิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจากการตัดที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ณ ปริมาตรกลึง 1.5 ลบ.ม.

No.	Name of Cutting condition	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Vba (mm)	Vbm (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
1	0.15_150_0.5_Dry_1.5	1.8924	10.2200	0.1390	0.1457	131	119	226
2	0.15_150_0.5_MQL3_1.5	3.0529	14.0880	0.1259	0.1339	130	125	234
3	0.15_150_0.5_MQL5_1.5	3.0399	13.1200	0.1204	0.1295	144	130	226
4	0.15_150_0.5_MQL7_1.5	3.4260	13.7400	0.1368	0.1368	129	119	225
5	0.15_150_0.5_Wet_1.5	2.1873	11.7800	0.1510	0.1567	133	123	240
6	0.15_150_1_Dry_1.5	1.8781	10.8800	0.1249	0.1258	139	239	412
7	0.15_150_1_MQL3_1.5	2.6324	19.7280	0.1059	0.1184	143	240	410
8	0.15_150_1_MQL5_1.5	3.6633	20.2120	0.1177	0.1239	135	242	418
9	0.15_150_1_MQL7_1.5	3.1378	16.3600	0.1110	0.1120	141	239	404
10	0.15_150_1_Wet_1.5	4.1930	19.0240	0.1116	0.1280	143	235	409
11	0.15_250_0.5_Dry_1.5	1.5487	6.3960	0.1656	0.1963	98	94	199
12	0.15_250_0.5_MQL3_1.5	1.5612	8.3360	0.1818	0.1933	145	105	207
13	0.15_250_0.5_MQL5_1.5	1.8960	10.0000	0.1977	0.2016	152	108	205
14	0.15_250_0.5_MQL7_1.5	1.8051	9.0400	0.1930	0.2068	147	118	222
15	0.15_250_0.5_Wet_1.5	1.8976	9.6320	0.1810	0.2206	113	102	211
16	0.15_250_1_Dry_1.5	2.2921	11.6453	0.1356	0.1578	124	237	403
17	0.15_250_1_MQL3_1.5	1.7793	9.3760	0.1677	0.1772	170	247	387
18	0.15_250_1_MQL5_1.5	1.8713	10.2240	0.1555	0.1626	144	196	372
19	0.15_250_1_MQL7_1.5	2.1387	10.2320	0.1777	0.1810	169	216	378
20	0.15_250_1_Wet_1.5	3.5488	15.4360	0.1604	0.2421	154	248	413
21	0.15_350_0.5_Dry_1.5	2.1482	10.0680	0.1939	0.2338	111	104	204
22	0.15_350_0.5_MQL3_1.5	2.1531	9.2920	0.2197	0.2277	184	135	220
23	0.15_350_0.5_MQL5_1.5	2.1024	8.8280	0.2191	0.2274	197	138	215
24	0.15_350_0.5_MQL7_1.5	2.0422	8.5640	0.2187	0.2296	187	139	223
25	0.15_350_0.5_Wet_1.5	1.8335	7.3040	0.1940	0.2271	108	118	219
26	0.15_350_1_Dry_1.5	1.8997	9.6760	0.1738	0.2006	221	237	403
27	0.15_350_1_MQL3_1.5	2.7662	11.6160	0.1984	0.2123	316	282	391
28	0.15_350_1_MQL5_1.5	2.4853	9.9760	0.2204	0.2346	336	288	388
29	0.15_350_1_MQL7_1.5	1.3593	8.3560	0.1956	0.2087	156	239	388
30	0.15_350_1_Wet_1.5	1.8809	8.2400	0.1949	0.2459	144	216	394

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจากการตัดที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ณ ปริมาตรกลึง 1.5 ลบ.ม. (ต่อ)

No.	Name of Cutting condition	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Vba (mm)	Vbm (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
31	0.18_150_0.5_Dry_1.5	2.2421	10.3360	0.1720	0.1735	165	139	276
32	0.18_150_0.5_MQL3_1.5	2.6606	14.7920	0.1948	0.2014	304	123	239
33	0.18_150_0.5_MQL5_1.5	2.9098	18.3000	0.1917	0.2060	220	84	225
34	0.18_150_0.5_MQL7_1.5	3.9246	21.5960	0.1955	0.2078	140	117	260
35	0.18_150_0.5_Wet_1.5	4.1936	20.0320	0.2002	0.2082	180	141	270
36	0.18_150_1_Dry_1.5	2.4001	12.7010	0.1897	0.1943	168	249	466
37	0.18_150_1_MQL3_1.5	3.2056	18.1760	0.1955	0.2042	162	230	464
38	0.18_150_1_MQL5_1.5	3.0929	17.4560	0.1926	0.2046	163	238	472
39	0.18_150_1_MQL7_1.5	2.8431	15.6680	0.1897	0.1987	150	236	471
40	0.18_150_1_Wet_1.5	3.9680	18.2880	0.1807	0.1875	158	273	484
41	0.18_250_0.5_Dry_1.5	1.9204	8.6240	0.2883	0.2106	172	128	253
42	0.18_250_0.5_MQL3_1.5	1.9125	11.6760	0.2011	0.2179	244	123	203
43	0.18_250_0.5_MQL5_1.5	1.8911	11.5120	0.2218	0.2318	130	114	231
44	0.18_250_0.5_MQL7_1.5	2.1698	14.1280	0.2278	0.2306	144	108	244
45	0.18_250_0.5_Wet_1.5	2.3969	12.3240	0.2037	0.2161	150	125	246
46	0.18_250_1_Dry_1.5	2.4731	10.2166	0.1935	0.2000	191	216	418
47	0.18_250_1_MQL3_1.5	2.8627	12.4080	0.2008	0.2104	167	216	444
48	0.18_250_1_MQL5_1.5	2.4114	13.7840	0.2089	0.2113	165	219	454
49	0.18_250_1_MQL7_1.5	1.8892	11.1200	0.1945	0.2094	171	224	462
50	0.18_250_1_Wet_1.5	2.1368	10.3600	0.2089	0.2173	184	236	437
51	0.18_350_0.5_Dry_1.5	2.9403	13.7440	0.2897	0.3481	283	268	283
52	0.18_350_0.5_MQL3_1.5	2.4758	12.6840	0.3115	0.4183	127	103	243
53	0.18_350_0.5_MQL5_1.5	2.1440	12.2320	0.2745	0.3250	188	106	234
54	0.18_350_0.5_MQL7_1.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
55	0.18_350_0.5_Wet_1.5	1.8825	9.4760	0.3099	0.3155	250	231	278
56	0.18_350_1_Dry_1.5	3.3159	17.8520	0.2584	0.2705	475	384	466
57	0.18_350_1_MQL3_1.5	2.1631	11.8240	0.2333	0.2510	225	226	430
58	0.18_350_1_MQL5_1.5	2.5888	12.6960	0.2143	0.2253	166	221	446
59	0.18_350_1_MQL7_1.5	2.1541	13.0240	0.2211	0.2336	269	303	463
60	0.18_350_1_Wet_1.5	3.3269	16.8480	0.2003	0.2162	288	300	423

หมายเหตุ 1) N/A; Not Available หมายถึงไม่มีค่า เนื่องจากมีดตัดชำรุดจนไม่สามารถตัดได้

2) Name of Cutting Condition เรียงตามดังนี้ อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตร/รอบ)

ความเร็วตัด (เมตร/นาที) ความลึกตัด (มิลลิเมตร) วิธีการหล่อเย็น และปริมาตร

การตัดโลหะ (ลบ.ม.)

## 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

หลังจากคัดเลือกช่วงปริมาตรการกลิ้งเหล็กที่จะใช้นำมาวิเคราะห์ผลการทดลองแล้ว จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยจะทำการวิเคราะห์ผลตอบต่างๆตามลำดับต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ผลตอบความหยาบผิวชิ้นงานเฉลี่ย  $Ra$
2. การวิเคราะห์ผลตอบความลึกหรือมีดตัดเฉลี่ย  $Vba$
3. การวิเคราะห์ผลตอบแรงตัดแนวแกน  $Fx$
4. การวิเคราะห์ผลตอบแรงตัดแนวรัศมี  $Fy$
5. การวิเคราะห์ผลตอบแรงตัดหลัก  $Fz$

### 4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองของความหยาบผิวเฉลี่ย ( $Ra$ )

การวิเคราะห์ผลการทดลองของความหยาบผิวเฉลี่ย ด้วย ANOVA จะต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลก่อน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กรณีคือ

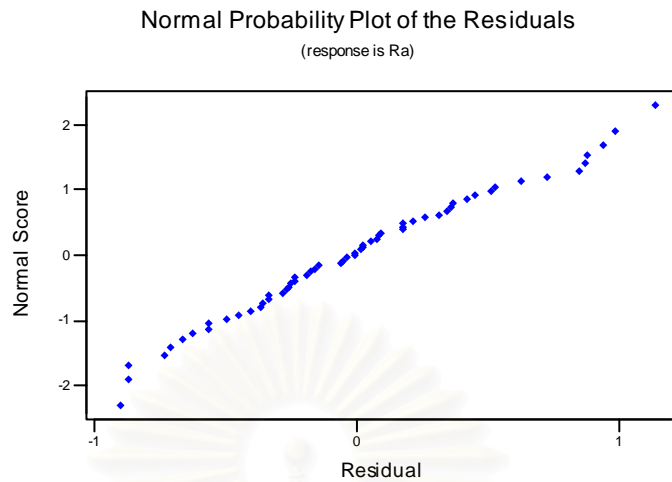
- การทดสอบการกระจายแบบปกติ
- การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล
- การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของความหยาบผิวเฉลี่ย

#### 4.2.1.1 การทดสอบการกระจายแบบปกติ

การทดสอบการกระจายแบบปกติของความหยาบผิวเฉลี่ยแสดงได้ดังรูปที่ 4.3

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

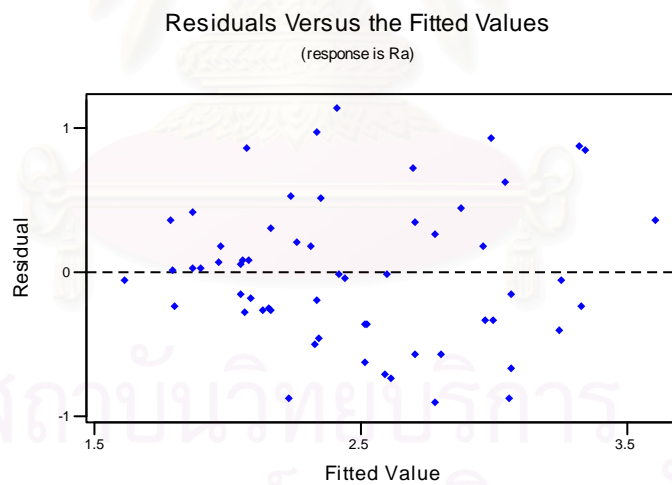




รูปที่ 4.3 Normal Probability Plot ของ Ra

#### 4.2.1.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

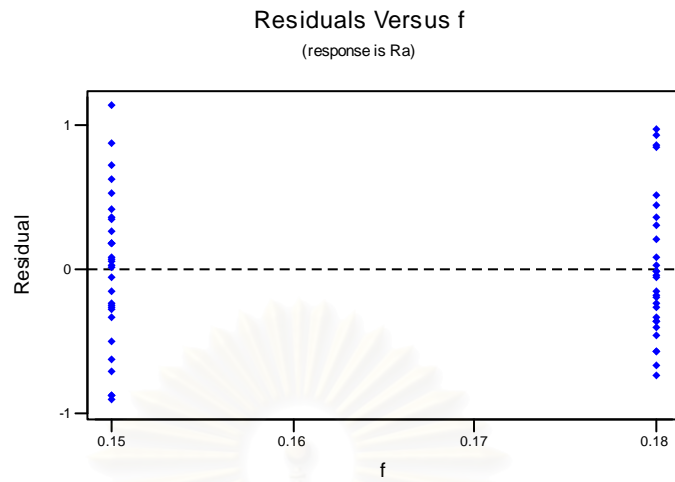
การทดสอบความเป็นอิสระของความหยาบผิวเฉลี่ยแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



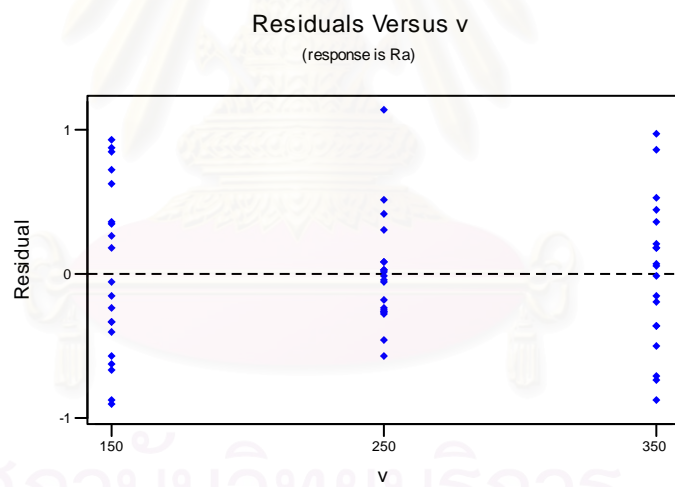
รูปที่ 4.4 กราฟทดสอบความเป็นอิสระของ Ra

#### 4.2.1.3 การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของผลตอบความหยาบผิวเฉลี่ย

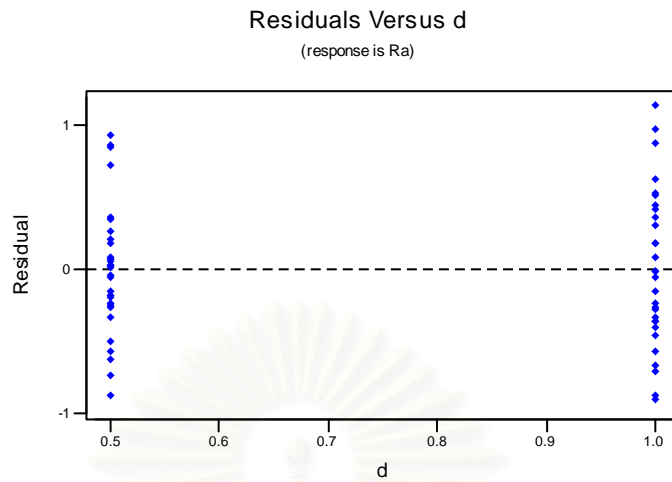
การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของความหยาบผิวเฉลี่ยแสดงได้ดังรูปที่ 4.5, 4.6, 4.7, 4.8



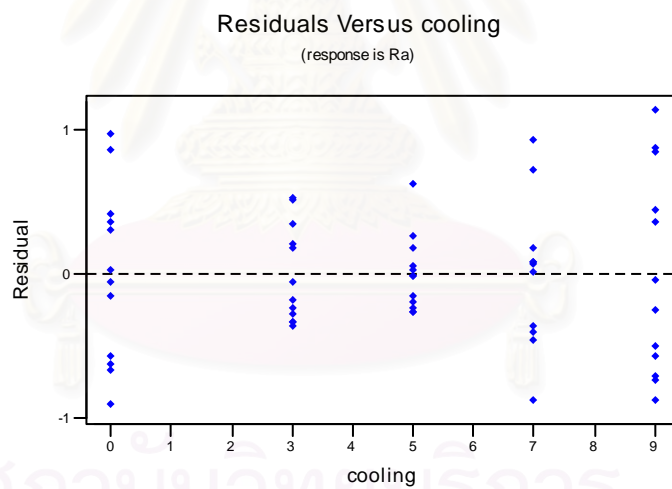
รูปที่ 4.5 กราฟระหว่าง Residual กับ อัตราป้อนตัด แสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Ra



รูปที่ 4.6 กราฟระหว่าง Residual กับ ความเร็วตัด แสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Ra



รูปที่ 4.7 กราฟระหว่าง Residual กับ ความลึกที่ตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ Ra



รูปที่ 4.8 กราฟระหว่าง Residual กับ วิธีการหล่อเย็นแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ Ra

#### 4.2.1.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความหยาบผิวเฉลี่ย Ra ที่ปริมาตรการกลึง

#### 1.5 ลูกบาศก์เมตร

การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดลองความหยาบผิวของชิ้นงานจากการตัดด้วยเงื่อนไขต่างๆ ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

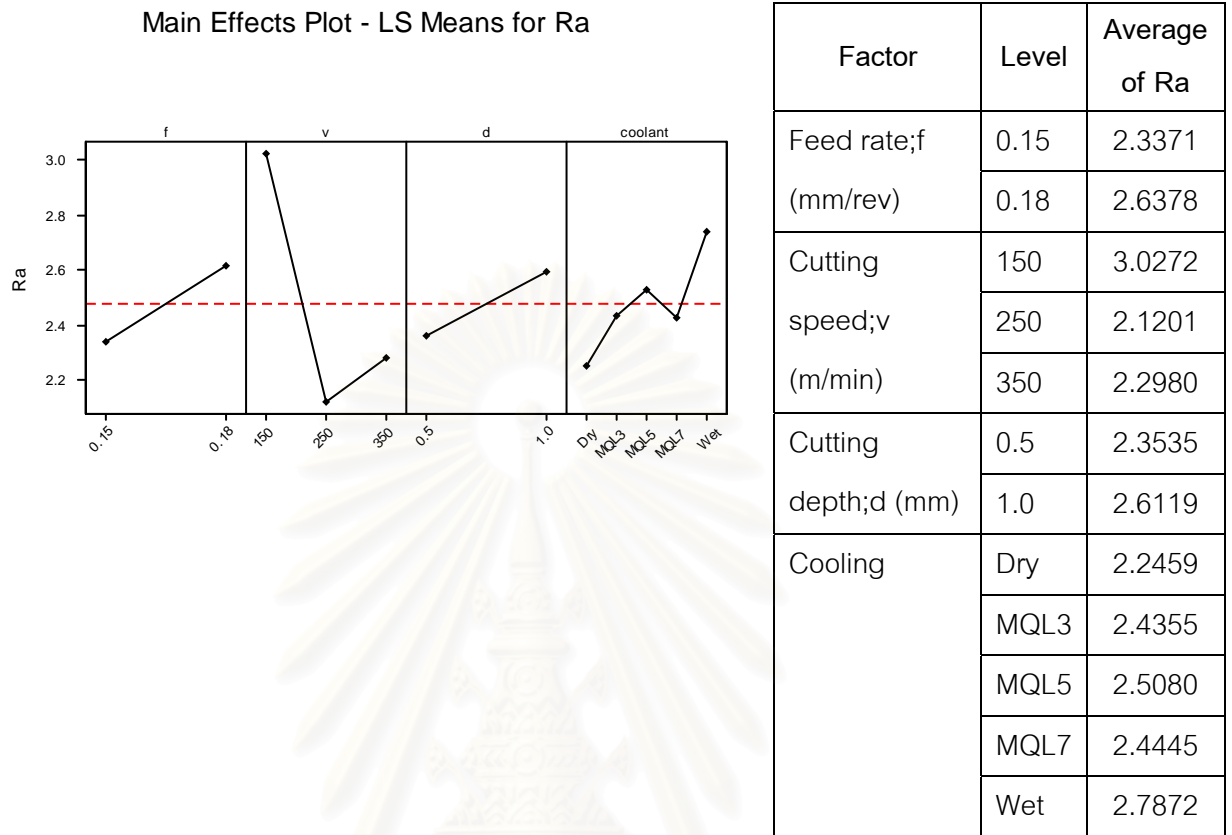
## General Linear Model: Ra versus f, v, d, coolant

Factor	Type	Levels	Values
f	fixed	2	0.15 0.18
v	fixed	3	150 250 350
d	fixed	2	0.5 1.0
cooling	fixed	5	Dry MQL3 MQL5 MQL7 Wet

## Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
f	1	1.3333	1.2202	1.2202	4.25	0.045
v	2	9.1511	9.2166	4.6083	16.04	0.000
d	1	0.9942	1.0074	1.0074	3.51	0.067
cooling	4	1.8511	1.8511	0.4628	1.61	0.186
Error	50	14.3660	14.3660	0.2873		
Total	58	27.6957				

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวชิ้นงานที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% หรือปัจจัยที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 คือปัจจัยเนื่องจากอัตราป้อนตัด ค่า P-value เท่ากับ 0.045 และ ปัจจัยเนื่องจากความเร็วตัด ค่า P-value 0.000 ส่วนปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวชิ้นงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือปัจจัยที่มีค่า P-value มากกว่า 0.05 คือปัจจัยเนื่องจากความลึกในการตัด ค่า P-value เท่ากับ 0.067 และ ปัจจัยเนื่องจากวิธีการหล่อเย็น ค่า P-value เท่ากับ 0.186 สรุปว่า อัตราป้อนตัดและความเร็วตัดมีผลโดยตรงต่อความหยาบผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.9 กราฟอิทธิพลหลักระหว่าง Ra กับปัจจัยต่างๆ

รูปที่ 4.9 กราฟอิทธิพลหลักของความหยาบผิวชิ้นงานสามารถสรุปได้ดังนี้

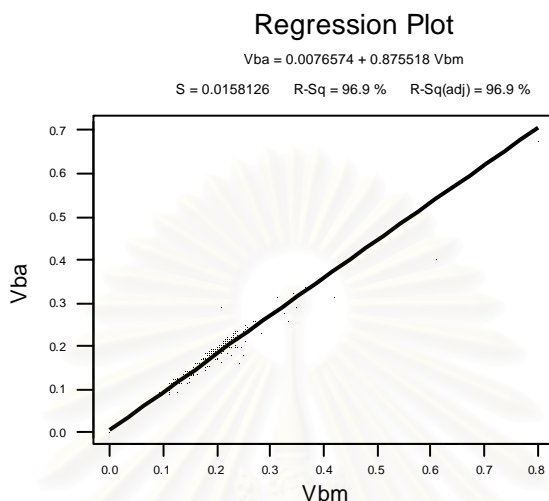
1. อัตราป้อนตัดค่าต่ำจะให้ความหยาบผิวที่ต่ำกว่า หรือความเร็วป้อนตัดจะส่งผลให้ความหยาบผิวเพิ่มขึ้นดีกว่า เมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัดจะส่งผลให้ความหยาบผิวเพิ่มขึ้น

2. ความเร็วตัดที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความหยาบผิวชิ้นงานต่ำสุดอยู่ที่ 250 เมตร/นาที

#### 4.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองของความลึกหรือมิติตัดเฉลี่ย ( $V_{ba}$ )

เนื่องจากตัวแปรผลตอบของค่าความลึกหรือมิติตัดมีอยู่ด้วยกัน 2 ค่า จึงทำการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของผลตอบว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยสามารถดูได้จากค่า R-sq ถ้าค่า R-sq มีค่าสูงแสดงว่าค่า  $V_{ba}$  และ  $V_{bm}$  มีความสัมพันธ์กัน ไม่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ค่าผลตอบ

ของความหยาบผิวทั้งสองค่า แต่ถ้าค่า R-sq มีค่าต่ำแสดงว่าค่า Vba และ Vbm ไม่มีความสัมพันธ์กัน จะต้องนำผลตอบทั้งสองมาวิเคราะห์ผล



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ของค่า Vba กับ Vbm

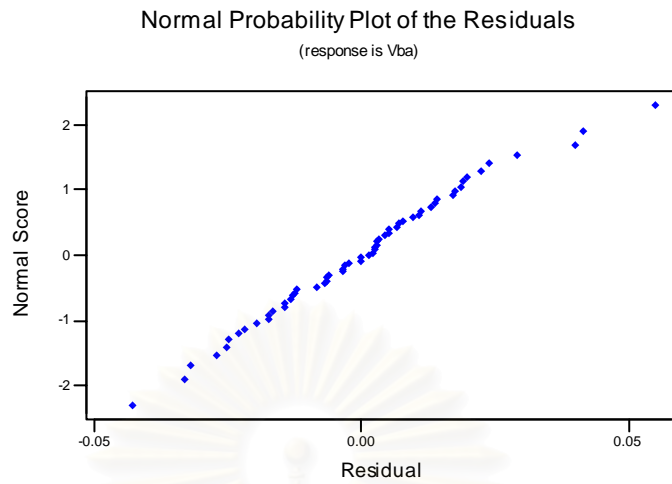
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Vba และ Vbm มีความสัมพันธ์กัน โดยดูจากค่า R-Sq (adj) เท่ากับ 96.9 % นั้นหมายความว่า ถ้าค่า Vba และ Vbm มีการเปลี่ยนแปลง ก็จะทำให้ Vbm และ Vba มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยเช่นกัน ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ผลตอบทั้งสอง ทำการวิเคราะห์แค่ผลตอบตัวใดตัวหนึ่งก็จะสามารถอธิบายผลตอบอีกตัวได้ ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้ค่า Vba เนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ย และมีความถูกต้องมากกว่า

การวิเคราะห์ผลการทดลองของความลึกหรือมิติตัดเฉลี่ย ด้วย ANOVA จะต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลก่อน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กรณีคือ

- การทดสอบการกระจายแบบปกติ
- การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล
- การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของความลึกหรือมิติตัดเฉลี่ย

#### 4.2.2.1 การทดสอบการกระจายแบบปกติ

การทดสอบการกระจายแบบปกติของความลึกหรือมิติตัดเฉลี่ยแสดงได้ดังรูปที่

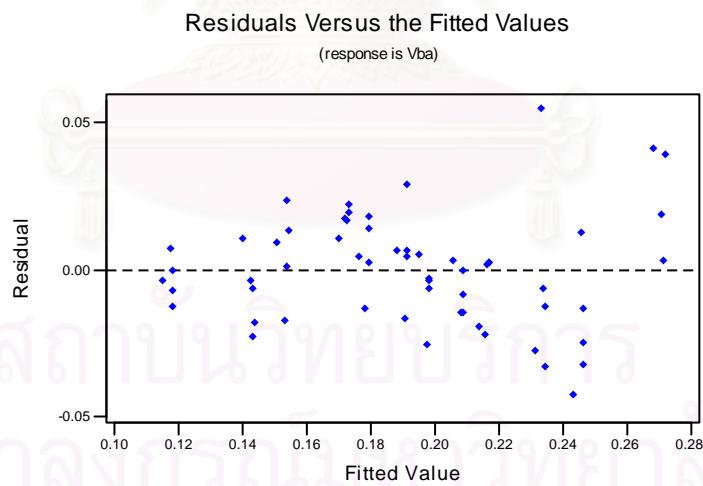


รูปที่ 4.11 Normal Probability Plot ของ Vba

#### 4.2.2.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

การทดสอบการกระจายแบบปกติของความถี่หรือมีดัดเฉลี่ยแสดงได้ดังรูปที่

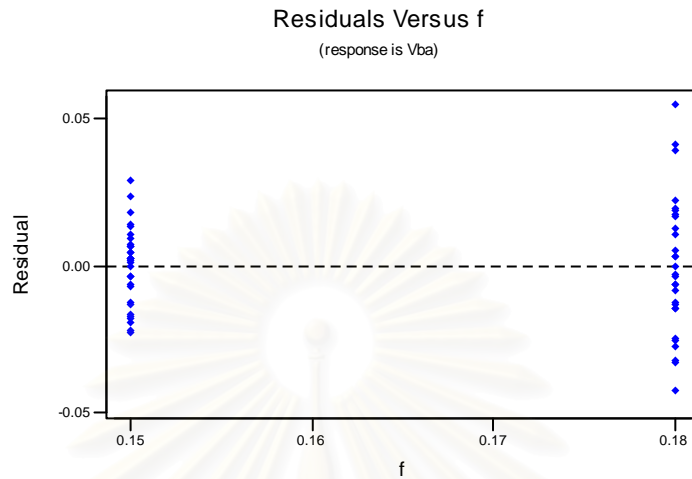
4.12



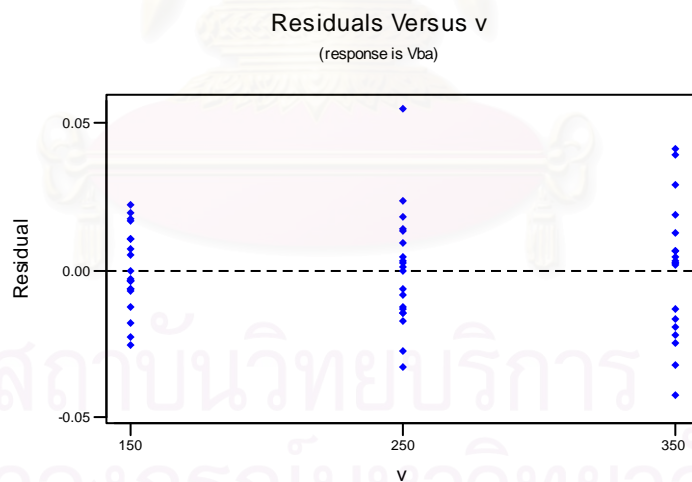
รูปที่ 4.12 กราฟทดสอบความเป็นอิสระของ Vba

4.2.2.3 การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของผลตอบความถี่หรือมีดัดเฉลี่ย

การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของความถี่หรือมิติตัดเฉลี่ย  
แสดงได้ดังรูปที่ 4.13, 4.14, 4.15, 4.16

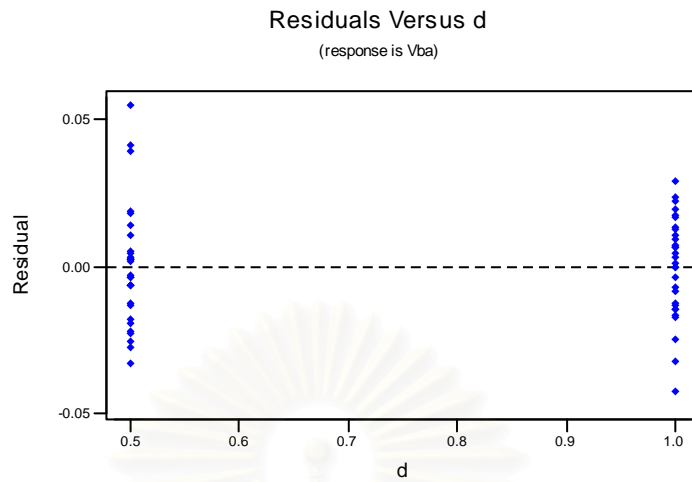


รูปที่ 4.13 กราฟระหว่าง Residual กับ อัตราป้อนตัด แสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวน  
ของ Vba

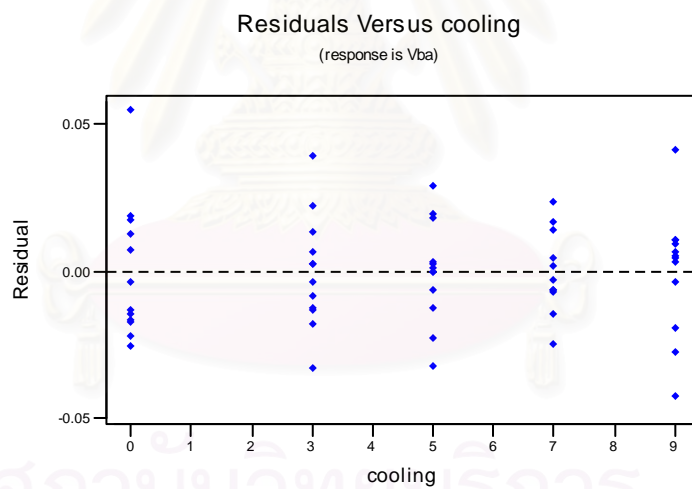


รูปที่ 4.14 กราฟระหว่าง Residual กับ ความเร็วตัดแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ  
Vba





รูปที่ 4.15 กราฟระหว่าง Residual กับ ความลึกตัดแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Vba



รูปที่ 4.16 กราฟระหว่าง Residual กับ วิธีการหล่อเย็นแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Vba

#### 4.2.2.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความความสึกหรอมัดตัดเฉลี่ย Vba

จากผลการทดลองความหยาบผิวของชิ้นงานจากการตัดด้วยเงื่อนไขต่างๆ ด้วย การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

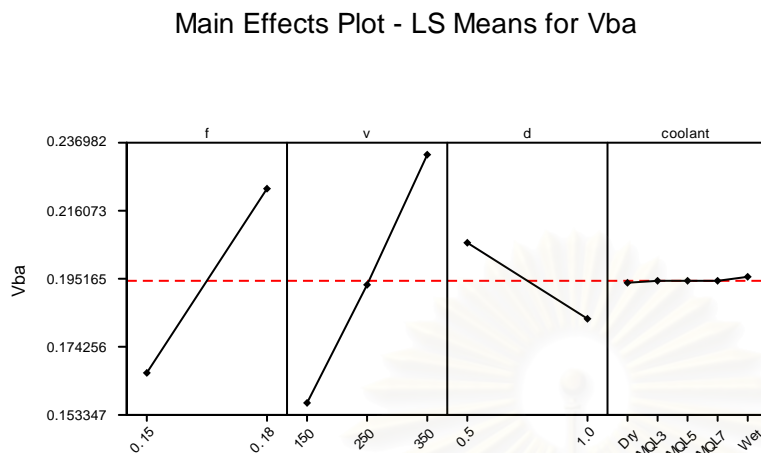
## General Linear Model: Vba versus f, v, d, coolant

Factor	Type	Levels	Values
f	fixed	2	0.15 0.18
v	fixed	3	150 250 350
d	fixed	2	0.5 1.0
cooling	fixed	5	Dry MQL3 MQL5 MQL7 Wet

## Analysis of Variance for Vba, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
f	1	0.041706	0.044362	0.044362	107.38	0.000
v	2	0.051341	0.052216	0.026108	63.20	0.000
d	1	0.009392	0.009397	0.009397	22.75	0.000
cooling	4	0.000090	0.000090	0.000023	0.05	0.994
Error	50	0.020656	0.020656	0.000413		
Total	58	0.123186				

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสึกหรอ มีดตัดเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือปัจจัยที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.000 คือปัจจัย เนื่องจากอัตราป้อนตัด ค่า P-value เท่ากับ 0.000 และ ปัจจัยเนื่องจากความเร็วตัด ค่า P-value เท่ากับ 0.000 และปัจจัยเนื่องจากความลึกในการตัด ค่า P-value เท่ากับ 0.000 ส่วนปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวชิ้นงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือปัจจัยที่มีค่า P-value มากกว่า 0.05 คือ ปัจจัยเนื่องจากวิธีการหล่อเย็น ค่า P-value เท่ากับ 0.994 สรุปว่า อัตราป้อนตัด ความเร็วตัด และความลึกตัดมีผลโดยตรงต่อความสึกหรอมีดตัดเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ



Factor	Level	Average of Vba
Feed rate;f (mm/rev)	0.15	0.1663
	0.18	0.2207
Cutting speed;v (m/min)	150	0.1573
	250	0.1933
	350	0.2299
Cutting depth;d (mm)	0.5	0.2059
	1.0	0.1811
Cooling	Dry	0.1937
	MQL3	0.1947
	MQL5	0.1946
	MQL7	0.1932
	Wet	0.1914

รูปที่ 4.17 กราฟอิทธิพลหลักระหว่าง Vba กับปัจจัยต่างๆ

รูปที่ 4.17 กราฟอิทธิพลหลักของความลึกห่อมีดตัดเฉลี่ยสามารถสรุปดังนี้

- อัตราป้อนตัดมีค่าต่ำ จะให้ความลึกห่อมีดตัดเฉลี่ยที่ต่ำกว่า เมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัดจะส่งผลให้ความลึกห่อมีดตัดเฉลี่ยเพิ่มขึ้น
- ความเร็วตัดมีค่าต่ำจะทำให้ความลึกห่อมีดตัดต่ำ เมื่อความเร็วตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดความร้อนบนมีดตัดมากขึ้น ส่งผลให้ความลึกห่อมีดตัดเฉลี่ยเพิ่มขึ้น
- ความลึกตัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ภาระในการตัดมากขึ้น แต่ในการทดลองได้เปรียบเทียบความลึกห่อมีดตัดที่ปริมาตรการกลึงเดียวกัน ดังนั้นความลึกตัดที่มากกว่าจะใช้เวลาในการตัดน้อยกว่า ทำให้ความร้อนที่เกิดสะสมบนมีดตัดมีน้อยกว่า ส่งผลให้ความลึกห่อมีดตัดเฉลี่ยที่ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร มีค่าต่ำกว่าที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

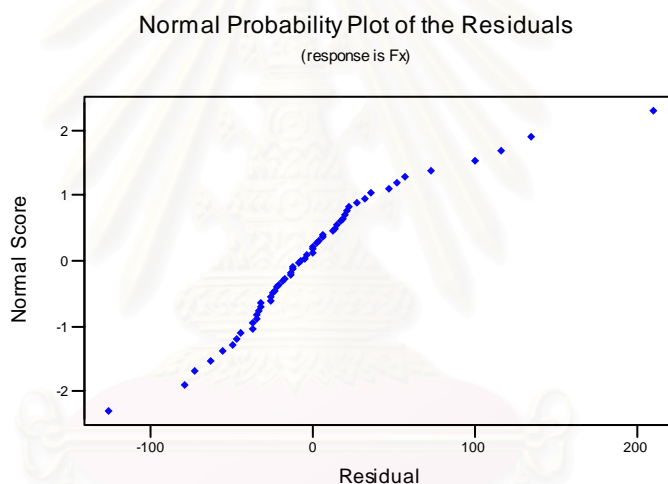
### 4.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองของแรงตัดแนวแกน (Fx)

การวิเคราะห์ผลการทดลองของแรงตัดแนวแกน (Fx) ด้วย ANOVA จะต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลก่อน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กรณีคือ

- การทดสอบการกระจายแบบปกติ
- การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล
- การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของแรงตัดแนวแกน (Fx)

#### 4.2.3.1 การทดสอบการกระจายแบบปกติ

การทดสอบการกระจายแบบปกติของแรงตัดแนวแกน (Fx) แสดงได้ดังรูปที่ 4.18

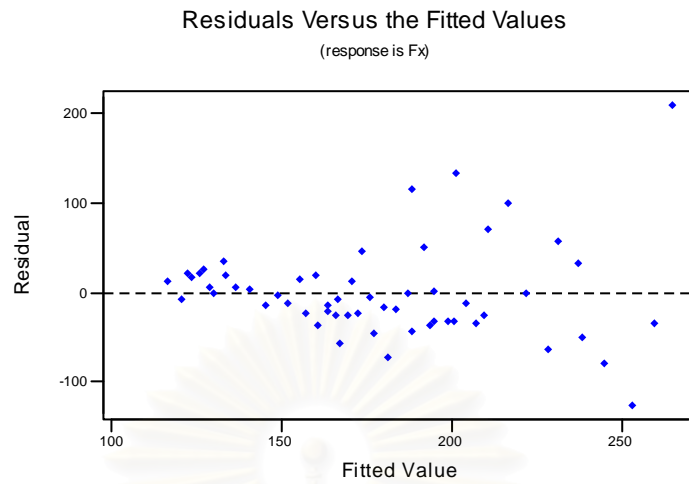


รูปที่ 4.18 Normal Probability Plot ของ Fx

#### 4.2.3.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

การทดสอบทดสอบความเป็นอิสระของแรงตัดแนวแกน (Fx) แสดงได้ดังรูปที่

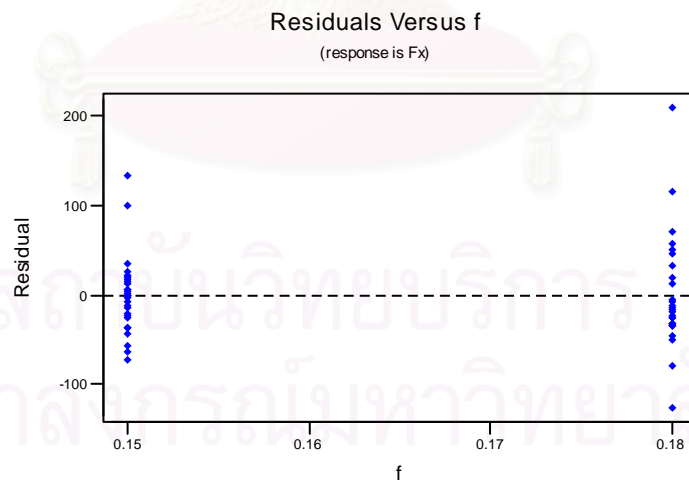
4.18



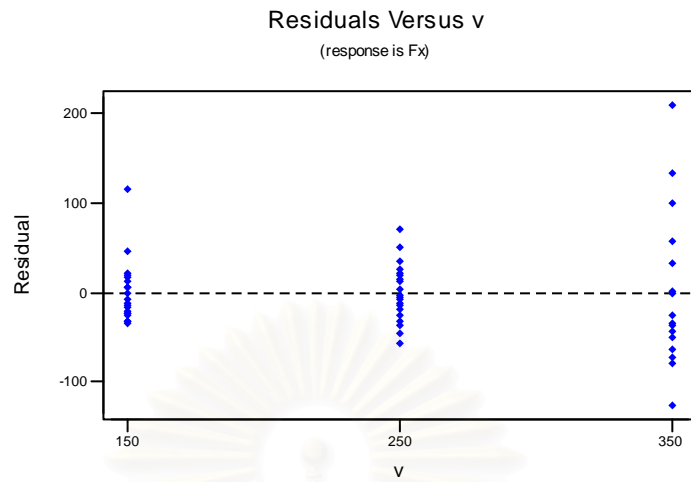
รูปที่ 4.19 กราฟทดสอบความเป็นอิสระของ Fx

#### 4.2.3.3 การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของแรงตัด แนวแกน (Fx)

การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของแรงตัดแนวแกน (Fx) แสดง  
ได้ดังรูปที่ 4.20, 4.21, 4.22, 4.23

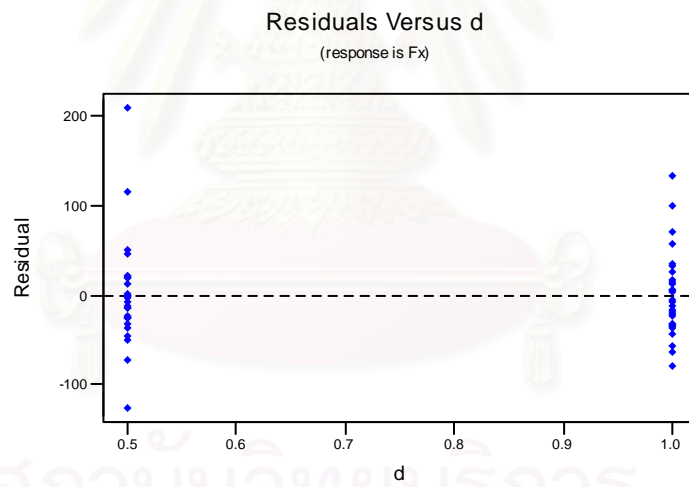


รูปที่ 4.20 กราฟระหว่าง Residual กับ อัตราป้อนตัด แสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวน Fx



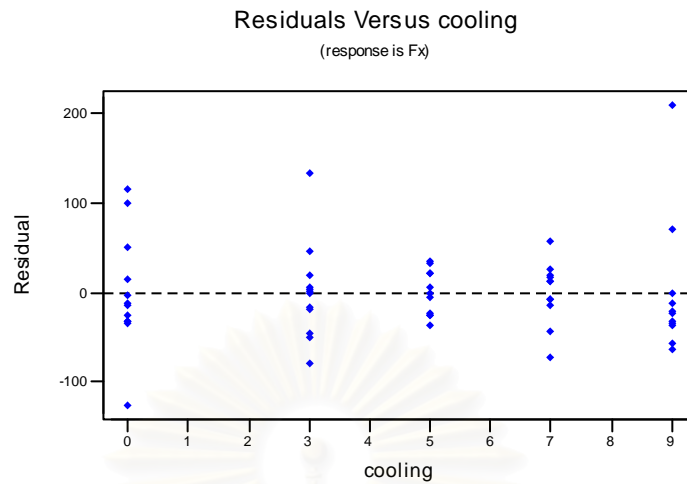
รูปที่ 4.21 กราฟระหว่าง Residual กับ ความเร็วตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ

Fx



รูปที่ 4.22 กราฟระหว่าง Residual กับ ความลึกตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ

Fx



รูปที่ 4.23 กราฟระหว่าง Residual กับ วิธีการหล่อเย็นแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Fx

#### 4.2.3.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแรงตัดแนวแกน (Fx) ที่ปริมาตรการกลึง

##### 1.5 ลูกบาศก์เมตร

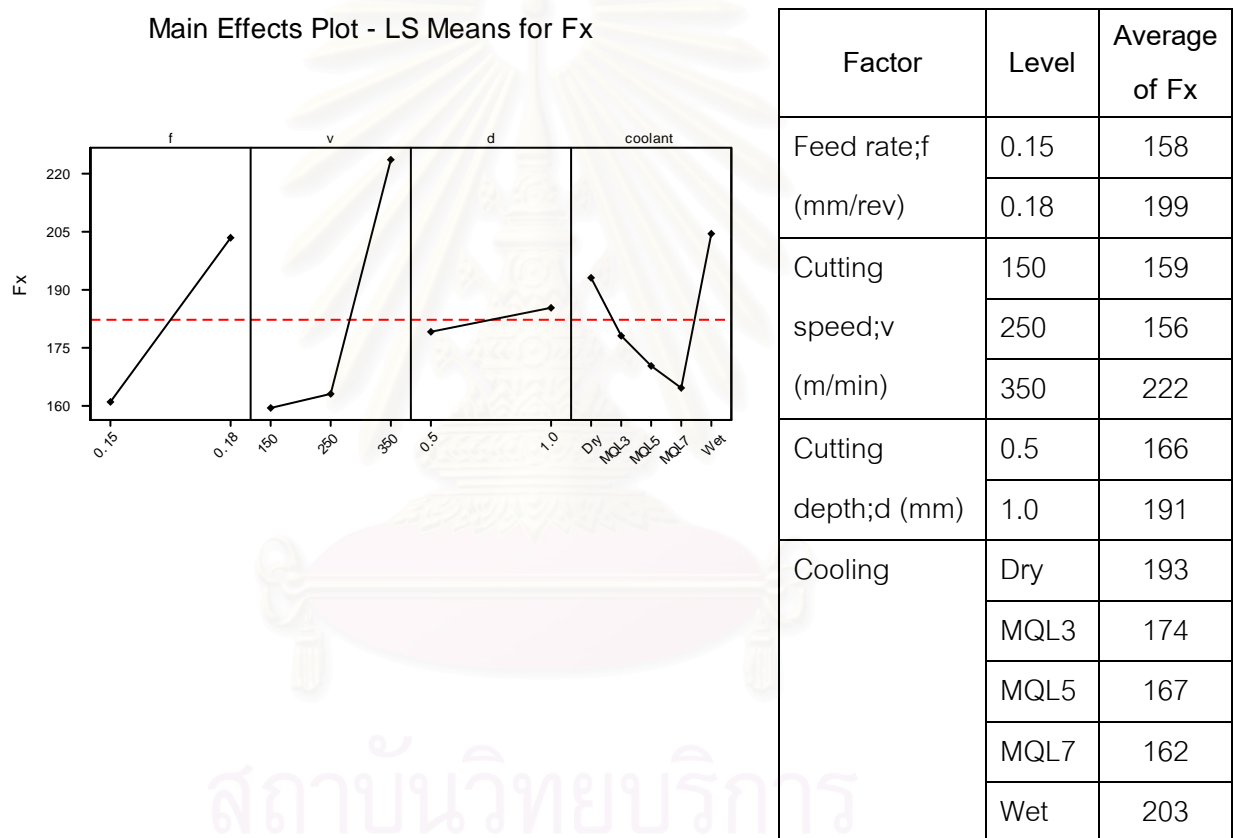
General Linear Model: Fx versus f, v, d, coolant

Factor	Type	Levels	Values
f	fixed	2	0.15 0.18
v	fixed	3	150 250 350
d	fixed	2	0.5 1.0
cooling	fixed	5	Dry MQL3 MQL5 MQL7 Wet

Analysis of Variance for Fx, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
f	1	21659	26426	26426	7.97	0.007
v	2	47909	46713	23356	7.05	0.002
d	1	328	627	627	0.19	0.666
cooling	4	12195	12195	3049	0.92	0.460
Error	50	159131	159131	3315		
Total	58	241221				

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงตัดแนวแกน (Fx) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือปัจจัยที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.000 คือปัจจัยเนื่องจากอัตราป้อนตัด ค่า P-value เท่ากับ 0.007 และ ปัจจัยเนื่องจากความเร็วตัด ค่า P-value เท่ากับ 0.002 ส่วนปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวชิ้นงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือปัจจัยที่มีค่า P-value มากกว่า 0.05 คือ ปัจจัยเนื่องจากความลึกในการตัด ค่า P-value เท่ากับ 0.666 และปัจจัยเนื่องจากวิธีการหล่อเย็น ค่า P-value เท่ากับ 0.460 สรุปว่า อัตราป้อนตัด ความเร็วตัด มีผลโดยตรงต่อแรงตัดแนวแกน (Fx) อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.24 กราฟอิทธิพลหลักระหว่าง Fx กับปัจจัยต่างๆ

รูปที่ 4.24 กราฟอิทธิพลหลักของแรงตัดแนวแกน (Fx) สามารถสรุปได้ดังนี้

1. อัตราป้อนตัดมีค่าต่ำ จะให้แรงตัดแนวแกนที่ต่ำกว่า เมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัดจะส่งผลให้แรงตัดแนวแกนสูงขึ้น
2. ความเร็วตัดมีค่าต่ำจะทำให้แรงตัดแนวแกนต่ำ เมื่อความเร็วตัดสูงขึ้นจะทำให้แรงตัดแนวแกนเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วตัดสูง จะเห็นได้ว่าแรงตามแกนตัดเพิ่มขึ้นสูงมาก



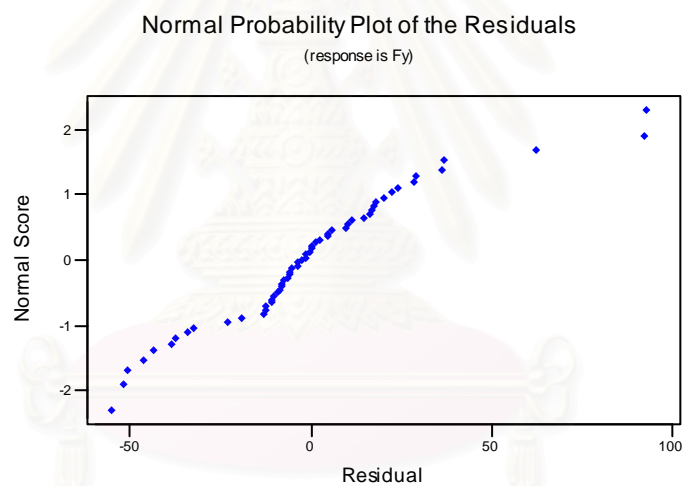
#### 4.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองของแรงตัดแนวรัศมี (Fy)

การวิเคราะห์ผลการทดลองของแรงตัดแนวรัศมี (Fy) ด้วย ANOVA จะต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลก่อน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กรณีคือ

- การทดสอบการกระจายแบบปกติ
- การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล
- การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของแรงตัดแนวรัศมี (Fy)

##### 4.2.4.1 การทดสอบการกระจายแบบปกติของแรงตัดแนวรัศมี (Fy)

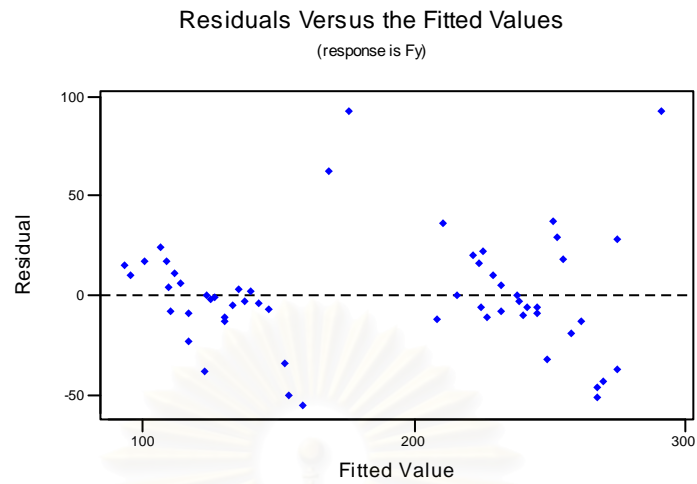
การทดสอบการกระจายแบบปกติของแรงตัดแนวรัศมี (Fy) แสดงได้ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 Normal Probability Plot ของ Fy

##### 4.2.4.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

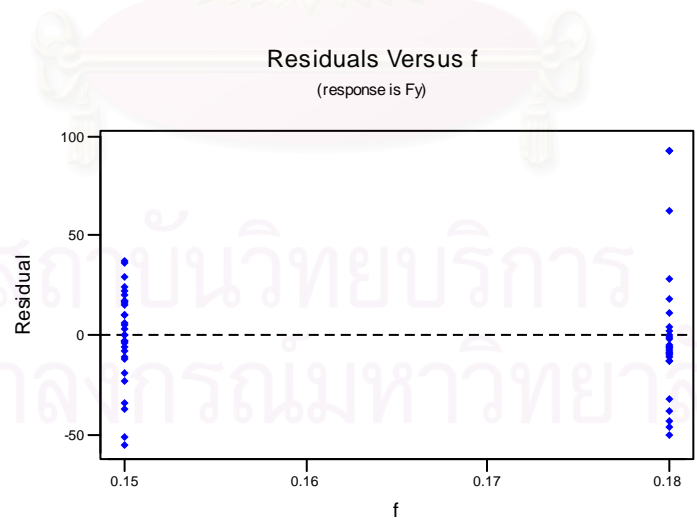
การทดสอบการกระจายแบบปกติของแรงตัดแนวรัศมี (Fy) แสดงได้ดังรูปที่ 4.26



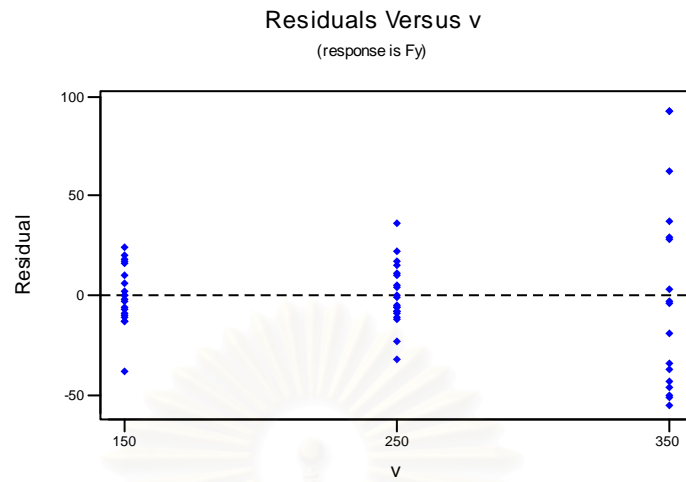
รูปที่ 4.26 กราฟทดสอบความเป็นอิสระของ Fy

#### 4.2.4.3 การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของแรงตัดแนวรัศมี (Fy)

การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของแรงตัดแนวรัศมี (Fy) แสดงได้ดังรูปที่ 4.27, 4.28, 4.29, 4.30

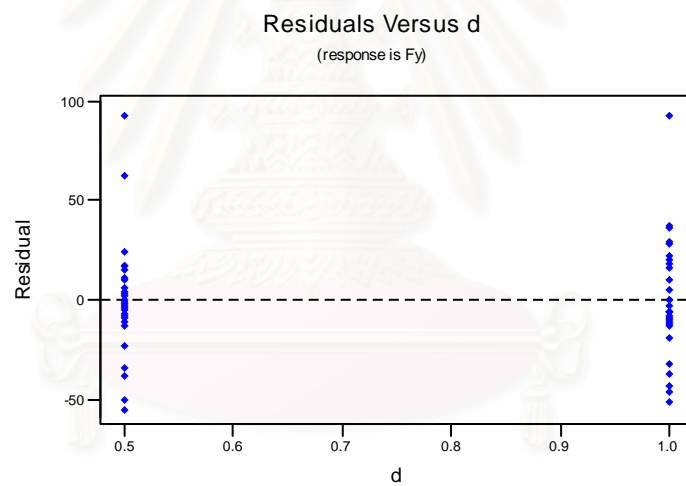


รูปที่ 4.27 กราฟระหว่าง Residual กับ อัตราป้อนตัด แสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวน Fy



รูปที่ 4.28 กราฟระหว่าง Residual กับ ความเร็วตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ

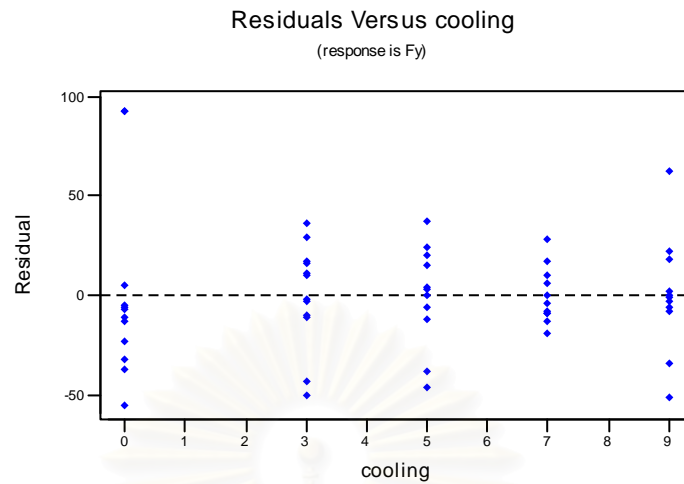
Fy



รูปที่ 4.29 กราฟระหว่าง Residual กับ ความลึกตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ

Fy

สุโขทัยวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.30 กราฟระหว่าง Residual กับ วิธีการหล่อเย็นแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Fy

#### 4.2.4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแรงตัดแนวรัศมี (Fy) ที่ปริมาตรการกลึง 1.5 ลูกบาศก์เมตร

General Linear Model: Fy versus f, v, d, coolant

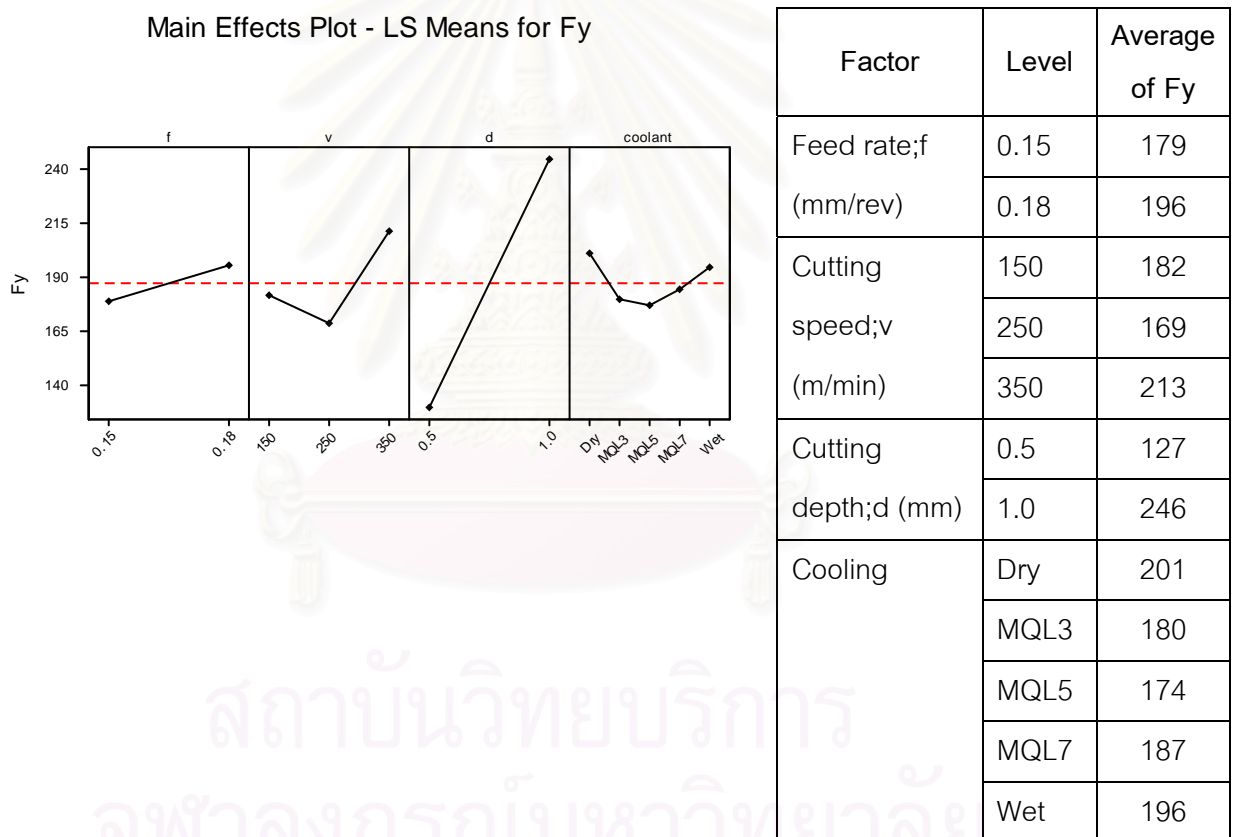
Factor	Type	Levels	Values
f	fixed	2	0.15 0.18
v	fixed	3	150 250 350
d	fixed	2	0.5 1.0
cooling	fixed	5	Dry MQL3 MQL5 MQL7 Wet

Analysis of Variance for Fy, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
f	1	3685	3788	3788	3.75	0.059
v	2	20480	16833	8416	8.34	0.001
d	1	187427	188867	188867	187.09	0.000
cooling	4	4685	4685	1171	1.16	0.340
Error	50	48456	48456	1010		
Total	58	264733				

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงตัดแนวรัศมี ( $F_y$ ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือปัจจัยที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 คือปัจจัยเนื่องจากความเร็วตัด ค่า P-value เท่ากับ 0.001 และปัจจัยเนื่องจากความลึกตัด ค่า P-value เท่ากับ 0.000

ส่วนปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อแรงตัดแนวรัศมี ( $F_y$ ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือปัจจัยที่มีค่า P-value มากกว่า 0.05 คือ ปัจจัยเนื่องจากอัตราป้อนตัด ค่า P-value เท่ากับ 0.059 และปัจจัยเนื่องจากวิธีการหล่อเย็น ค่า P-value เท่ากับ 0.340



รูปที่ 4.31 กราฟอิทธิพลหลักของ  $F_y$  กับปัจจัยต่างๆ

รูปที่ 4.31 กราฟอิทธิพลหลักของแรงตัดแนวรัศมี ( $F_y$ ) สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความเร็วตัดมีค่าต่ำจะทำให้แรงตัดแนวรัศมีต่ำ เมื่อความเร็วตัดสูงขึ้นจะทำให้แรงตัดแนวรัศมีลดลง แต่ถ้าเพิ่มความเร็วตัดอีกจะทำให้แรงตัดแนวรัศมีกลับเพิ่มขึ้นอีก
2. ความลึกตัดสูงขึ้นจะทำให้แรงตัดแนวรัศมีเพิ่มขึ้น

#### 4.2.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองของแรงตัดหลัก (Fz)

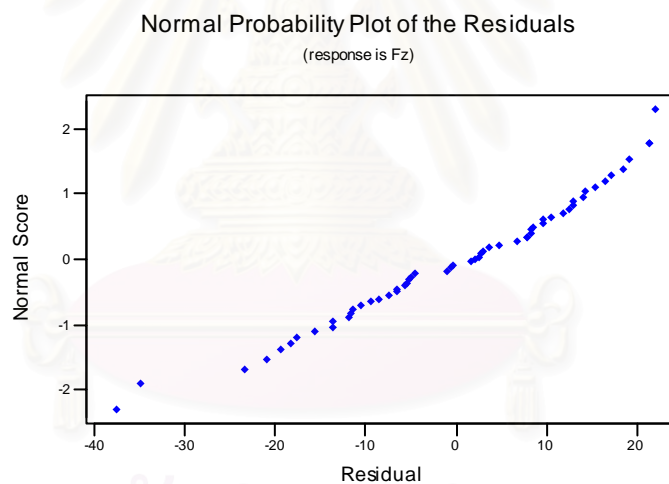
การวิเคราะห์ผลการทดลองของแรงตัดหลัก (Fz) ด้วย ANOVA จะต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลก่อน

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กรณีคือ

- การทดสอบการกระจายแบบปกติ
- การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล
- การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของแรงตัดหลัก (Fz)

##### 4.2.5.1 การทดสอบการกระจายแบบปกติของแรงตัดตามหลัก (Fz)

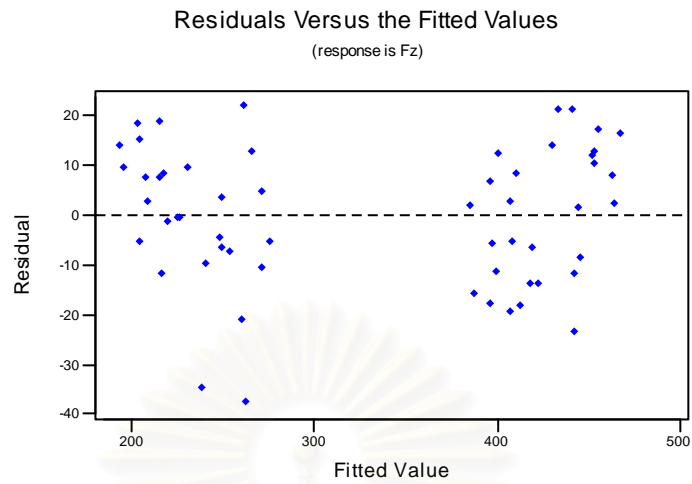
การทดสอบการกระจายแบบปกติของแรงตัดหลัก (Fz) แสดงได้ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 Normal Probability Plot ของ Fz

##### 4.2.5.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

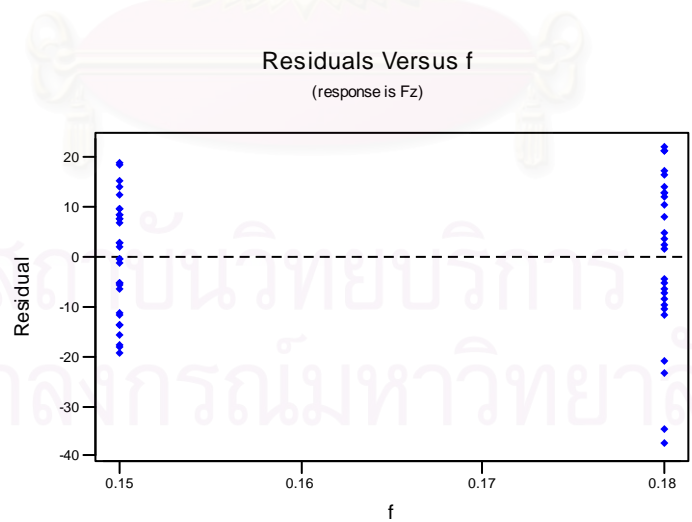
การทดสอบการกระจายแบบปกติของแรงตัดหลัก (Fz) แสดงได้ดังรูปที่ 4.32



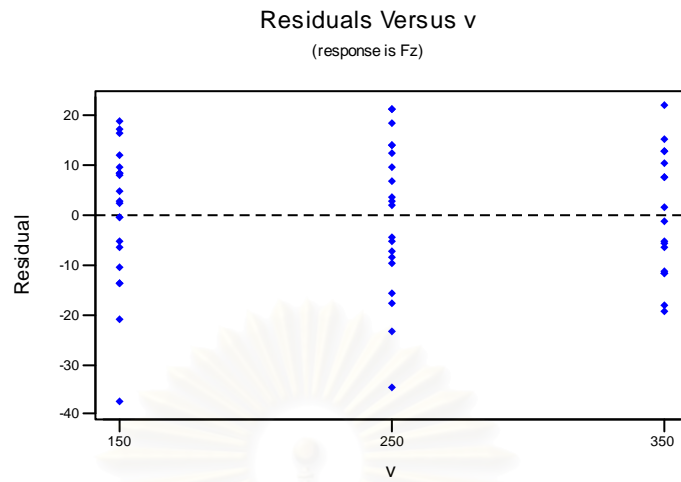
รูปที่ 4.33 กราฟทดสอบความเป็นอิสระของ Fz

#### 4.2.5.3 การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของแรงตัดตามหลัก (Fz)

การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของแรงตัดตามหลัก (Fz) แสดงได้ดังรูปที่ 4.34, 4.35, 4.36, 4.37

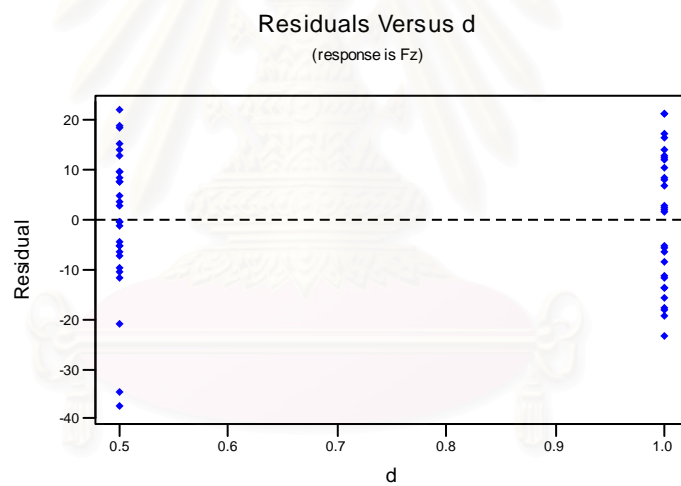


รูปที่ 4.34 กราฟระหว่าง Residual กับ อัตราป้อนตัด แสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวน Fz



รูปที่ 4.35 กราฟระหว่าง Residual กับ ความเร็วตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ

Fz

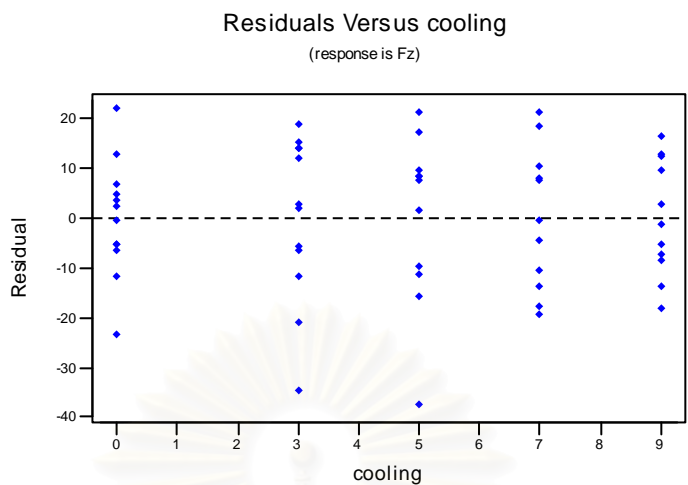


รูปที่ 4.36 กราฟระหว่าง Residual กับ ความลึกตัดแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนของ

Fz

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.37 กราฟระหว่าง Residual กับ วิธีการหล่อเย็นแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของ Fz

4.2.5.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแรงตัดตามหลัก (Fz) ที่ปริมาตรการกลึง

1.5 ลูกบาศก์เมตร

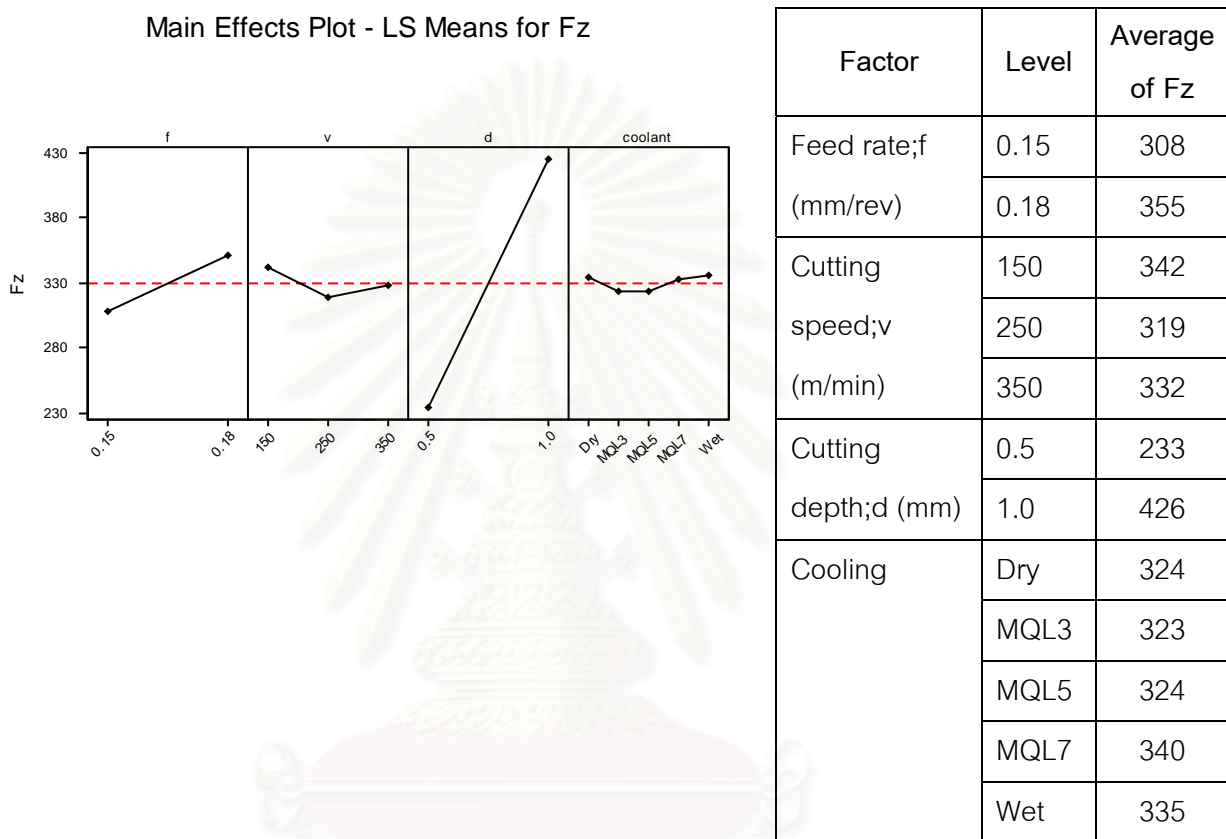
General Linear Model: Fz versus f, v, d, coolant

Factor	Type	Levels	Values
f	fixed	2	0.15 0.18
v	fixed	3	150 250 350
d	fixed	2	0.5 1.0
cooling	fixed	5	Dry MQL3 MQL5 MQL7 Wet

Analysis of Variance for Fz, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
f	1	33279	28577	28577	126.10	0.000
v	2	5370	4890	2445	10.79	0.000
d	1	523520	523000	523000	2307.72	0.000
cooling	4	1917	1917	479	2.11	0.093
Error	50	10878	10878	227		
Total	58	574964				

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงตัดหลัก ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือปัจจัยที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 คือทุกปัจจัยยกเว้นวิธีการหล่อเย็น ซึ่งค่า P-value เท่ากับ 0.093



รูปที่ 4.38 กราฟอิทธิพลหลักของ Fz กับปัจจัยต่างๆ

รูปที่ 4.38 กราฟอิทธิพลหลักของแรงตัดหลัก (Fz) สามารถสรุปได้ดังนี้

1. อัตราป้อนตัดต่ำจะทำให้แรงตัดหลักมีค่าต่ำ เมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัดจะทำให้แรงตัดหลักเพิ่มขึ้น
2. ความเร็วตัดมีค่าต่ำจะทำให้แรงตัดหลักต่ำ เมื่อความเร็วตัดมากขึ้นจะทำให้แรงตัดหลักลดลง แต่ถ้าเพิ่มความเร็วตัดอีกจะทำให้แรงตัดหลักกลับเพิ่มขึ้นอีก
3. ความลึกตัดสูงขึ้นจะทำให้แรงตัดหลักเพิ่มขึ้น

#### 4.2.6 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ผลจากการทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนในหัวข้อที่ 4.2.1 - 4.2.5 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างผลตอบและปัจจัยต่างๆ

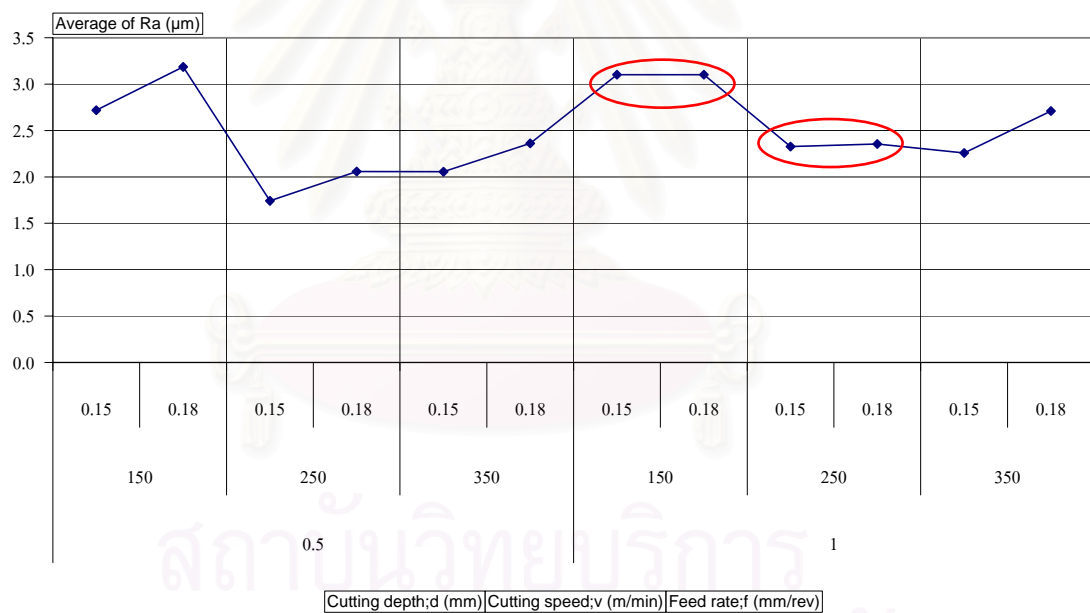
ปัจจัย \ ผลตอบ	ความหยาบ ผิวเฉลี่ย	ความสึกหรอ มิตตัดเฉลี่ย	แรงตัด แนวแกน	แรงตัด แนวรัศมี	แรงตัด หลัก
อัตราป้อนตัด	มีผล	มีผล	มีผล	ไม่มีผล	มีผล
ความเร็วตัด	มีผล	มีผล	มีผล	มีผล	มีผล
ความลึกตัด	ไม่มีผล	มีผล	ไม่มีผล	มีผล	มีผล
วิธีการหล่อเย็น	ไม่มีผล	ไม่มีผล	ไม่มีผล	ไม่มีผล	ไม่มีผล

ตารางที่ 4.3 สรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อผลตอบทุกผลตอบคือความเร็วตัด ปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อผลตอบใดๆคือวิธีการหล่อเย็น ส่วนอัตราป้อนตัดและความลึกตัดส่งผลต่อในบางผลตอบเท่านั้น ซึ่งสาเหตุที่ในแต่ละปัจจัยส่งผลหรือไม่ส่งผลต่อผลตอบนั้น จะวิเคราะห์เพิ่มเติมในหัวข้อที่ 4.3

### 4.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ปัจจัยการตัดต่างๆกัน

#### 4.3.1 ปัจจัยเนื่องจากอัตราป้อนตัด

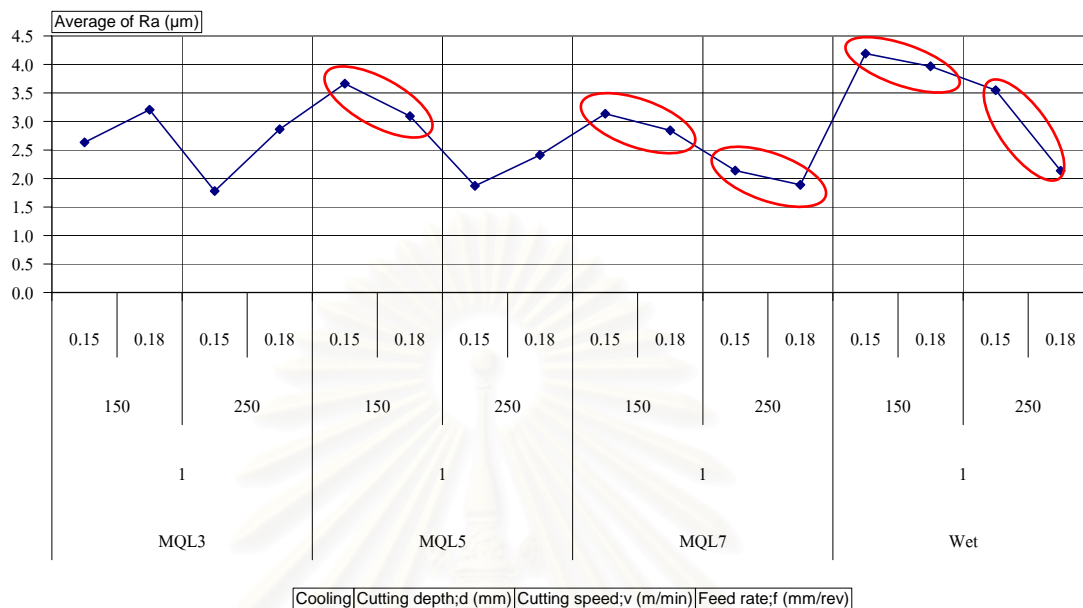
รูปที่ 4.9 กราฟอิทธิพลหลักของความหยาบผิวชิ้นงานสามารถสรุปได้ว่า เมื่ออัตราป้อนตัดมีค่าต่ำ จะให้ความหยาบผิวที่ต่ำกว่า เมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัดจะส่งผลให้ความหยาบผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถเห็นได้จากรูปที่ 4.38 เหตุผลคือเมื่ออัตราป้อนตัดเพิ่มขึ้นจะทำให้มีดตัดเดินเร็วขึ้น ทำให้ระยะทางในการเดินทางของมีดตัดต่อการหมุนชิ้นงาน 1 รอบเพิ่มมากขึ้น รอยที่เกิดจากการตัดจะกว้างขึ้นส่งผลให้ความหยาบผิวชิ้นงานเพิ่มขึ้น สามารถเปรียบเทียบได้ชัดเจนเมื่อดูการกลิ้งเกลียว ซึ่งจะใช้ความเร็วตัดต่ำและอัตราป้อนตัดสูง รอยที่เกิดบนเกลียวจากการใช้ความเร็วตัดต่ำและอัตราป้อนตัดสูง ก็จะได้แสดงให้เห็นถึงความหยาบผิวเช่นกัน



รูปที่ 4.39 กราฟระหว่าง Ra กับปัจจัยต่างๆที่การตัดแบบ Dry

จากรูปที่ 4.39 ที่สภาวะการตัดแบบ Dry อัตราป้อนตัดที่ต่ำกว่าจะมีค่าความเรียบผิวชิ้นงานดีกว่าหรือให้ค่า Ra ที่ต่ำกว่าเสมอ อย่างไรก็ตามที่ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร ความเร็วตัด 150 และ 250 เมตร/นาที (วงรีในรูปที่ 4.39) แม้อัตราป้อนตัดที่ต่ำกว่า แต่ก็ให้ค่า Ra ไม่ต่างกันมาก ทั้งนี้สาเหตุมาจากที่ อัตราป้อนตัดต่ำ ความเร็วตัดต่ำ และความลึกตัดสูง จะมีโอกาส

ที่เศษโลหะพอกตัวที่มีดตัดได้มากกว่า และทำให้ความคมของมีดลดลง ส่งผลให้ความหยาบผิวชิ้นงานมากกว่าปกติ ซึ่งจะพบได้มากถ้ามีการใช้สารหล่อเย็นในการตัดด้วย ดังรูปที่ 4.40



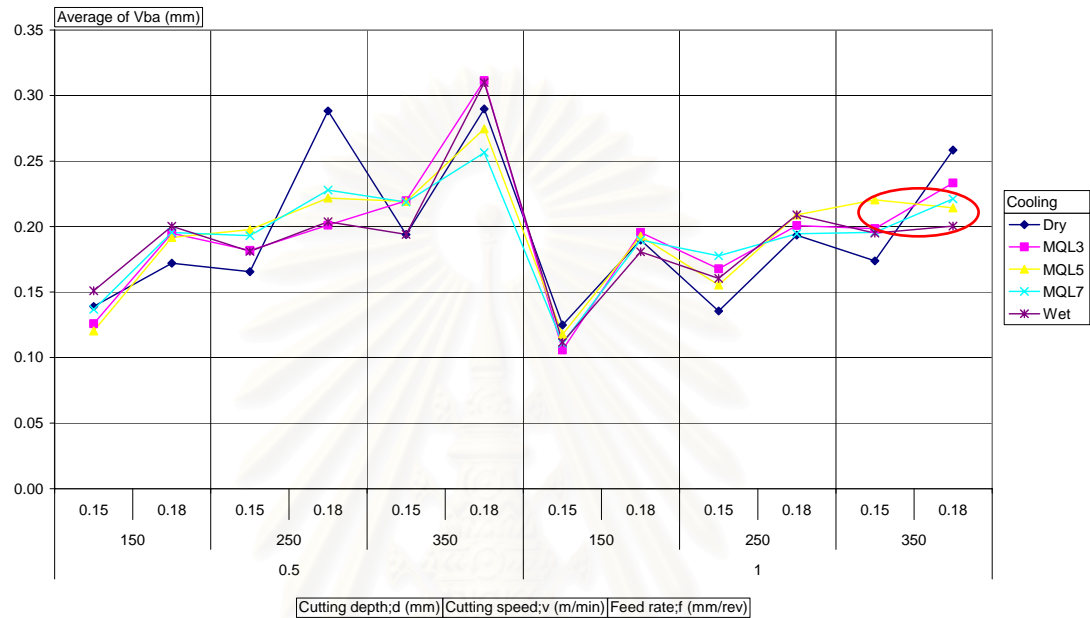
รูปที่ 4.40 กราฟระหว่าง Ra กับปัจจัยต่างๆที่ ความเร็วตัด 150 และ 250 เมตร/นาที ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร วิธีการหล่อเย็นแบบ MQL Wet

จากรูปที่ 4.40 ที่วิธีการหล่อเย็นแบบ Wet และ MQL อัตราป้อนตัดที่ต่ำกว่าจะมีค่าความเรียบผิวชิ้นงานดีกว่าหรือให้ค่า Ra ที่ต่ำกว่าเช่นกัน อย่างไรก็ตามที่ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร ความเร็วตัด 150 และ 250 เมตร/นาที (วงรีรูปที่ 4.40) แม้อัตราป้อนตัดจะต่ำกว่า แต่ก็ให้ค่า Ra ที่มากกว่า ทั้งนี้สาเหตุมาจากที่ อัตราป้อนตัดต่ำ ความเร็วตัดต่ำ ความลึกตัดสูง และมีใช้สารหล่อเย็น จะยังทำให้เกิดเศษโลหะพอกตัวที่มีดตัดได้มากกว่าการตัดแบบแห้ง และทำให้ความคมของมีดลดลง ส่งผลให้ความหยาบผิวชิ้นงานที่อัตราป้อนตัดต่ำมากกว่าความหยาบผิวชิ้นงานที่อัตราป้อนตัดสูง

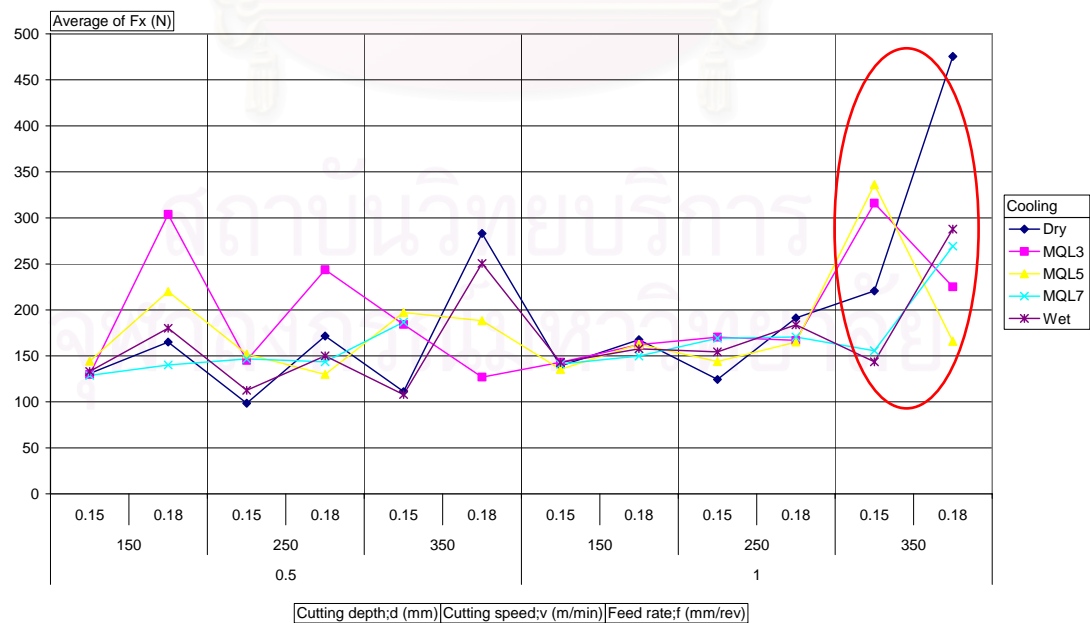
ดังนั้นในการตัดชิ้นงานควรจะต้องเลือกเงื่อนไขการตัดที่ อัตราป้อนตัดต่ำ ความเร็วตัดต่ำ ความลึกตัดสูง และมีการใช้สารหล่อเย็น ไม่ว่าจะแบบ MQL หรือแบบ Wet

ในส่วนของผลตอบความสึกหรอมีดตัดจะพบว่า อัตราป้อนตัดที่ต่ำกว่าจะให้ความสึกหรอมีดตัดที่ต่ำกว่าเสมอ ยกเว้นเงื่อนไขการตัดที่ ความเร็วตัด 350 เมตร/นาที ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร การหล่อเย็นแบบ MQL5 (วงรีรูปที่ 4.41) ที่ให้ความสึกหรอมีดตัดที่อัตราป้อนตัด 0.15 และ 0.18 มิลลิเมตร/รอบ ไม่ต่างกันมาก เนื่องจากที่ความเร็วตัดสูง ความลึกตัดสูงแต่มีการใช้สาร

หล่อเย็นจะช่วยให้ความสึกหรอมีดตัดลดลง สังเกตได้จากเงื่อนไขการตัดเดียวกับแต่ใช้การหล่อเย็นแบบ MQL อื่นๆ และแบบ Wet ในรูปที่ 4.41 ซึ่งค่า ความสึกหรอมีดตัดเฉลี่ยจะไม่แตกต่างกันมาก

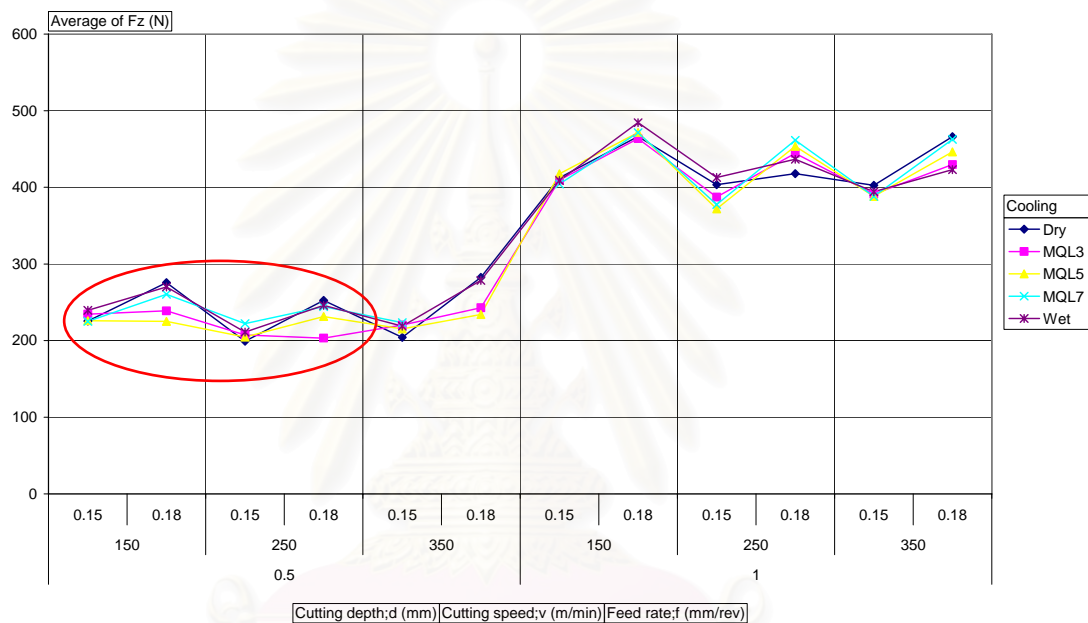


รูปที่ 4.41 กราฟระหว่าง Vba กับปัจจัยต่างๆตามอัตราป้อนตัด



รูปที่ 4.42 กราฟระหว่าง Fx กับปัจจัยต่างๆตามอัตราป้อนตัด

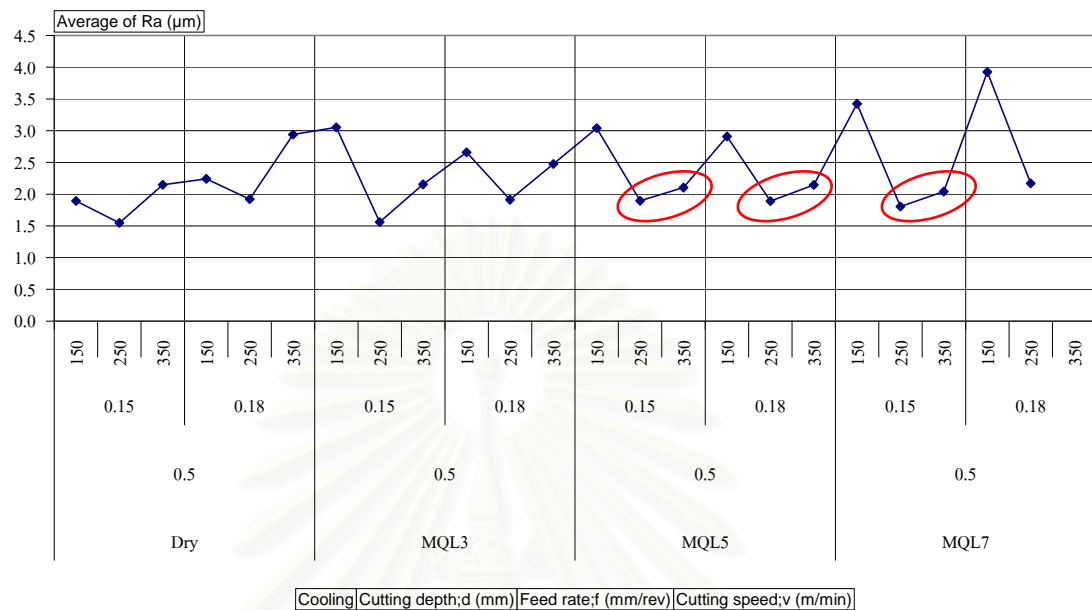
รูปที่ 4.42 แสดงให้เห็นว่าอัตราป้อนตัดที่ต่ำกว่า จะให้แรงตัดแนวแกนที่ต่ำกว่าเสมอ ยกเว้นกรณีความเร็วตัด 350 เมตร/นาที ความลึกตัด 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร (วงรีรูปที่ 4.42) การหล่อเย็น แบบ MQL 3 และ MQL5 ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกัน กับที่กล่าวก่อนหน้า คือ ความเร็วตัดสูง จะทำให้ตัดโลหะได้ง่ายขึ้น และมีการใช้สารหล่อเย็นแบบสเปรย์ซึ่งทำให้เข้าถึงบริเวณการตัดได้มากกว่า จะทำให้ความลึกหรือมิติตัดเฉลี่ยไม่สูงอย่างที่ควรจะเป็น จึงทำให้แรงตัดแนวแกนไม่มีความแตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 4.43 กราฟระหว่าง Fz กับปัจจัยต่างๆตามอัตราป้อนตัด

อัตราป้อนตัดที่ต่ำกว่า จะให้แรงตัดหลักที่น้อยกว่าเสมอ แต่จะพบว่าในกรณีที่อัตราป้อนตัดต่ำและความเร็วตัดต่ำจะให้ผลของแรงตัดแนวแกน (วงรีรูปที่ 4.43) ไม่ต่างกันมากนัก เนื่องจากการใช้ความเร็วตัดต่ำ จะทำให้เกิดความร้อนในการตัดต่ำ ทำให้ตัดโลหะได้ยากขึ้น

### 4.3.2 ปัจจัยเนื่องจากความเร็วตัด

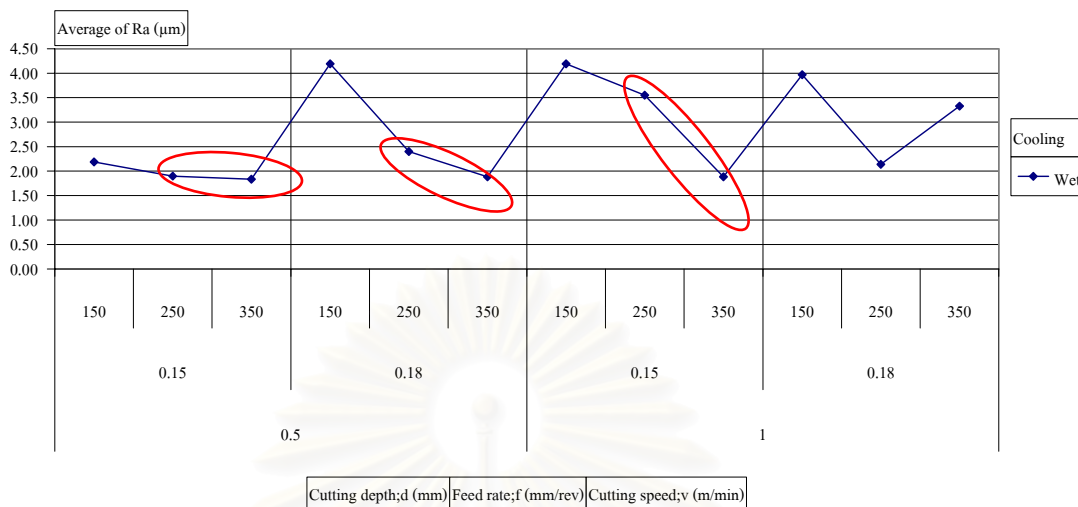


รูปที่ 4.44 กราฟระหว่าง Ra กับปัจจัยต่างๆที่ อัตราป้อนตัด 0.15 และ 0.18 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร วิธีการหล่อเย็นแบบ Dry และ MQL

จากรูปที่ 4.44 ที่สภาวะ Dry และ MQL ความเร็วตัดที่ 250 เมตร/นาที จะให้ค่าความเรียบผิวชิ้นงานดีกว่าหรือให้ค่า Ra ที่ต่ำกว่าเสมอ อย่างไรก็ตามที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ความเร็วตัด 350 เมตร/นาที แม้อัตราป้อนตัดที่ต่ำกว่า แต่ก็ให้ค่า Ra ไม่ต่างกันมาก ทั้งนี้สาเหตุมาจากที่ ความเร็วตัด 350 เมตร/นาที และความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร จะทำให้เกิดความร้อนสูงมาก เกิดการสึกหรอมีดตัดอย่างรวดเร็ว การตัดแบบใช้สารหล่อเย็นจะช่วยทำให้การสึกหรอของมีดตัดช้าลงกว่าปกติได้

ความเร็วตัดที่เหมาะสมคือความเร็วตัดที่ 250 เมตร/นาที ส่วนที่ความเร็วตัด 150 เมตร/นาที จะให้ความเรียบผิวชิ้นงานที่สูงเช่นเดียวกับที่ความเร็วตัด 350 เมตร/นาที เนื่องจากในการตัดชิ้นงานจะความเร็วตัดต่ำ จะทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานต่ำ เหล็กจะไม่อ่อนตัว ต้องใช้แรงตัดสูง มีดตัดจะเกิดการสึกหรอเร็วกว่าปกติ ความเรียบผิวชิ้นงานก็จะสูงตาม แต่ถ้าตัดชิ้นงานที่ความเร็วสูงเกินไป แม้ว่าเหล็กจะอ่อนตัวจนสามารถตัดได้ง่าย ใช้แรงตัดต่ำ แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีมากเกินไปทำให้มีดตัดสึกหรอเร็วกว่าปกติเช่นกัน ความเรียบผิวชิ้นงานก็จะสูงตาม ดังนั้นความเร็วตัดที่เหมาะสมจึงอยู่ในช่วงกลางที่ทำให้เกิดความร้อนในการตัดเหมาะสมและไม่ทำให้มีดตัดสึกเร็วเกินไป

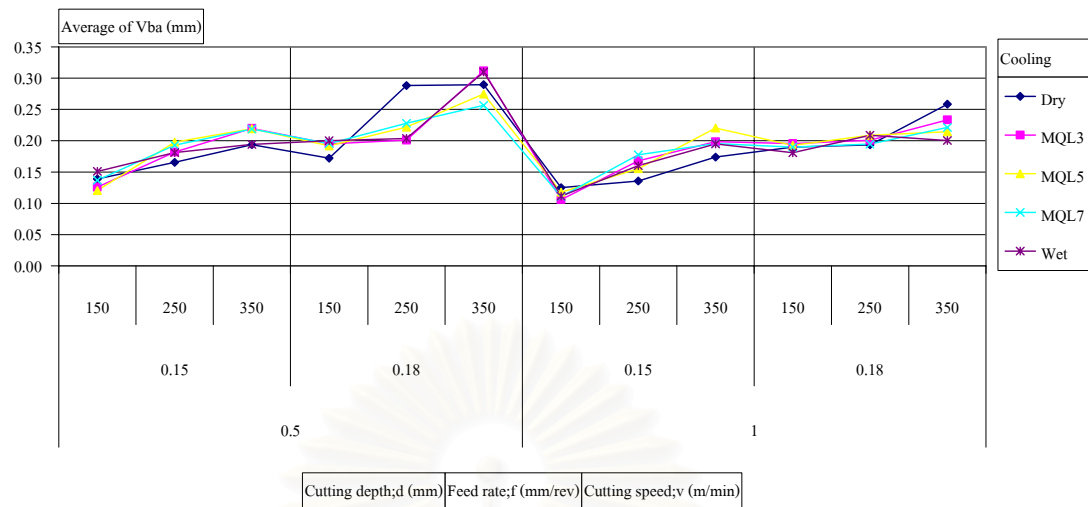




รูปที่ 4.45 กราฟระหว่าง Ra กับปัจจัยต่างๆที่ อัตราป้อนตัด 0.15 และ 0.18 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร วิธีการหล่อเย็นแบบ Wet

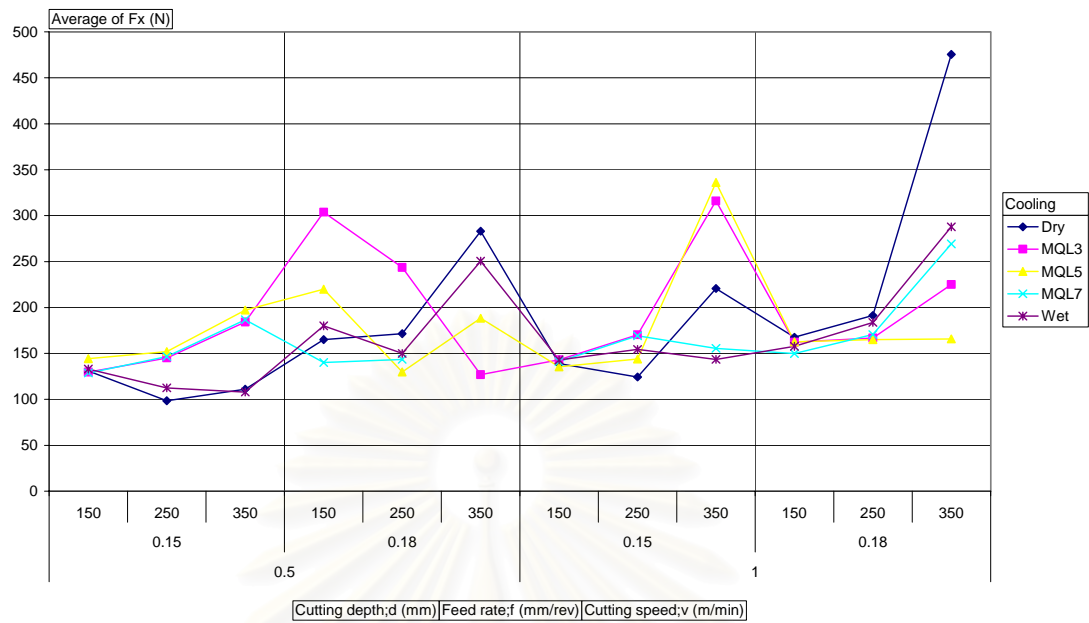
จากรูปที่ 4.45 ที่วิธีการหล่อเย็นแบบเปียก ความเร็วตัด 350 เมตร/นาที ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร จะมีความเรียบผิวชิ้นงานดีกว่าหรือให้ค่า Ra ที่ต่ำกว่าที่ความเร็วตัด 150 และ 250 เมตร/นาที เพราะว่าที่ความเร็วตัดสูง และความลึกการตัดต่ำ จะเกิดความร้อนสูง ตัดโลหะได้ง่ายขึ้น การหล่อเย็นแบบเปียกจะช่วยให้ความร้อนในการตัดลดลง และมีดตัดสึกหรอช้าลง ทำให้ความหยาบผิวชิ้นงานต่ำกว่าปกติ

ยกเว้นกรณี อัตราป้อนตัด 0.18 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วตัด 350 เมตร/นาที ความลึกตัด 1.0 มิลลิเมตร แม้ว่าความร้อนในการตัดจะมาก และช่วยให้ตัดได้ง่ายขึ้น แต่เนื่องจากภาวะในการตัดมาก ทำให้จุ่มมีดตัดสึกหรอมากจนการหล่อเย็นไม่สามารถช่วยได้ จึงทำให้การตัดที่ความเร็ว 250 เมตร/นาที เหมาะสมกว่า

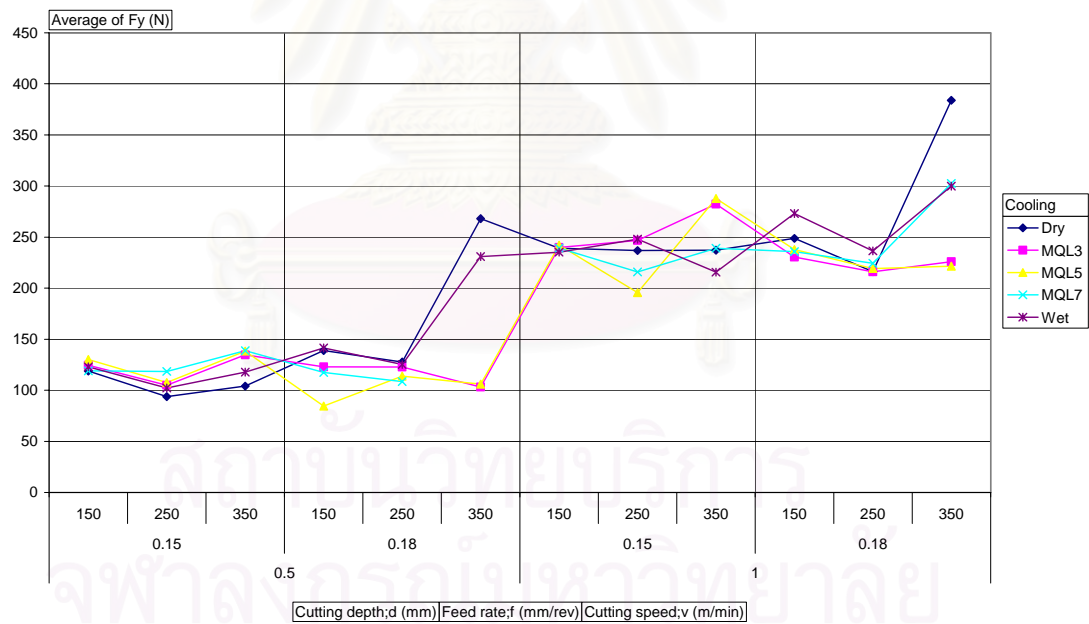


รูปที่ 4.46 กราฟระหว่าง Vba กับปัจจัยต่างๆ ตามความเร็วตัด

รูปที่ 4.46 แสดงให้เห็นว่าความเร็วตัดสูงจะยิ่งทำให้มีดตัดสึกหรอได้เร็วขึ้น เนื่องจากการสึกหรอมีดตัดเกิดจากการเสียดสีของมีดตัดและเศษโลหะที่ได้จากการตัด ความเร็วยิ่งสูงจะทำให้เกิดการเสียดสีมาก เกิดความร้อนสะสมบนตัวมีดมาก ทำให้มีดตัดสึกได้เร็ว จะเห็นได้ชัดโดยเฉพาะที่ ความลึกตัดต่ำ อัตราป้อนตัดสูง เนื่องจากอัตราป้อนตัดที่สูงกว่าจะทำให้เกิดแรงตัดตามแกน (Fx) สูง แรงที่เกิดขึ้นนี้จะตั้งฉากกับหน้ามีดตัด ส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานบนมีดตัด ดังนั้นที่อัตราป้อนตัดสูงกว่าจึงมีความสึกหรอมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.42 ส่วนที่ความลึกตัดสูงเมื่ออัตราป้อนตัดเดียวกัน กลับมีความสึกหรอมีดตัดต่ำกว่า เนื่องจากการวัดผลตอบที่ปริมาตรการตัดเท่ากัน ความลึกตัดที่มากกว่าจึงใช้เวลาในการตัดต่ำกว่า



รูปที่ 4.47 กราฟระหว่าง  $F_x$  กับปัจจัยต่างๆ ตามความเร็วตัด



รูปที่ 4.48 กราฟระหว่าง  $F_y$  กับปัจจัยต่างๆ ตามความเร็วตัด

รูปที่ 4.48 แสดงให้เห็นว่าความเร็วตัดสูง แรงตัดแนวรัศมีจะสูง จะเห็นชัดเมื่อความเร็วตัด 350 เมตร/นาที สอดคล้องกับกราฟอิทธิพลหลักในรูป 4.30 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วตัด 350 เมตร/นาที จะให้ค่าแรงตัดแนวรัศมีมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด เพราะว่าที่ความเร็วตัดสูงจะต้องใช้กำลังในการตัดมากกว่าที่ความเร็วตัดต่ำ ส่วนที่ความเร็วตัด 150 เมตร/นาที มักจะให้ค่าแรงตัด

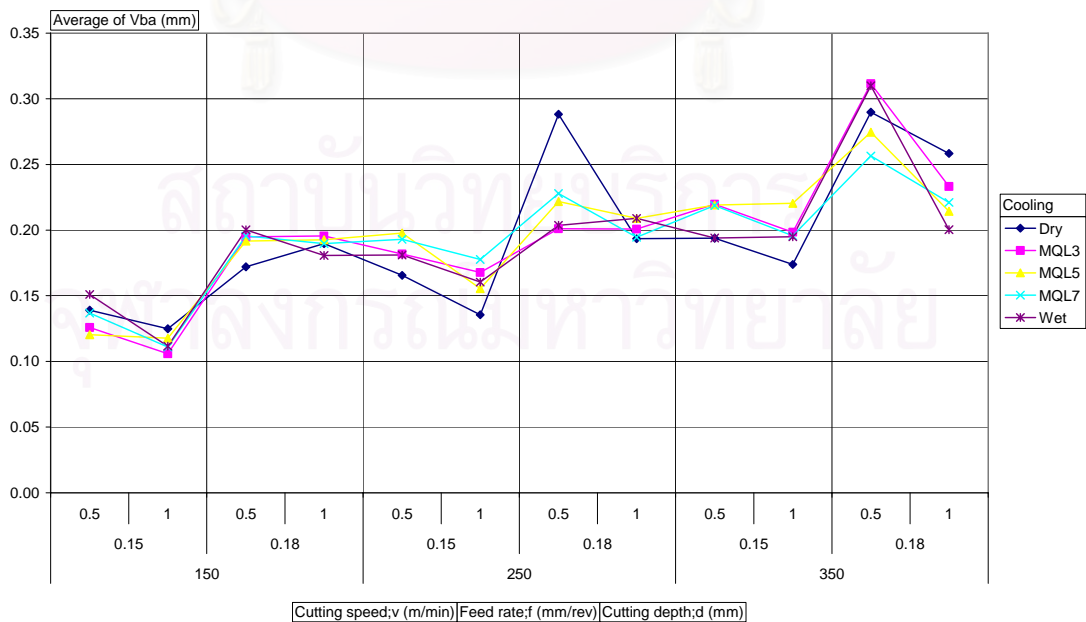
แนวรัศมีสูงกว่าที่ความเร็วตัด 250 เมตร/นาที เนื่องจากที่ความเร็วตัดต่ำ ความร้อนที่เกิดบนชิ้นงานจะต่ำทำให้การตัดโลหะได้ยากกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ในกรณีของแรงตัดหลักดังรูปที่

4.49 เช่นกัน



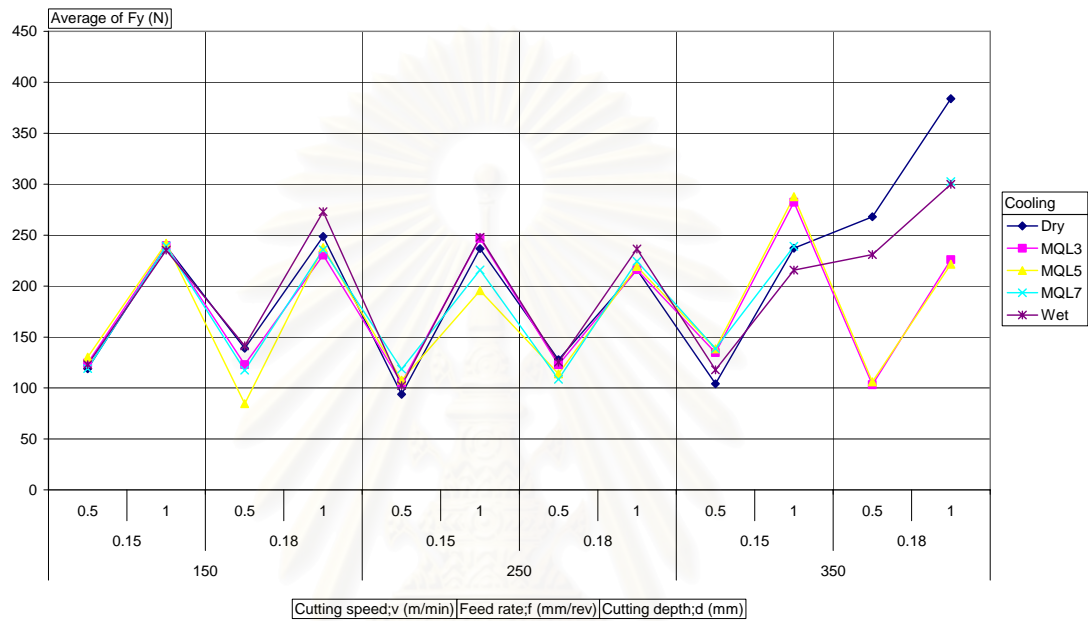
รูปที่ 4.49 กราฟระหว่าง Fz กับปัจจัยต่างๆ ตามความเร็วตัด

### 4.3.3 ปัจจัยเนื่องจากความลึกตัด



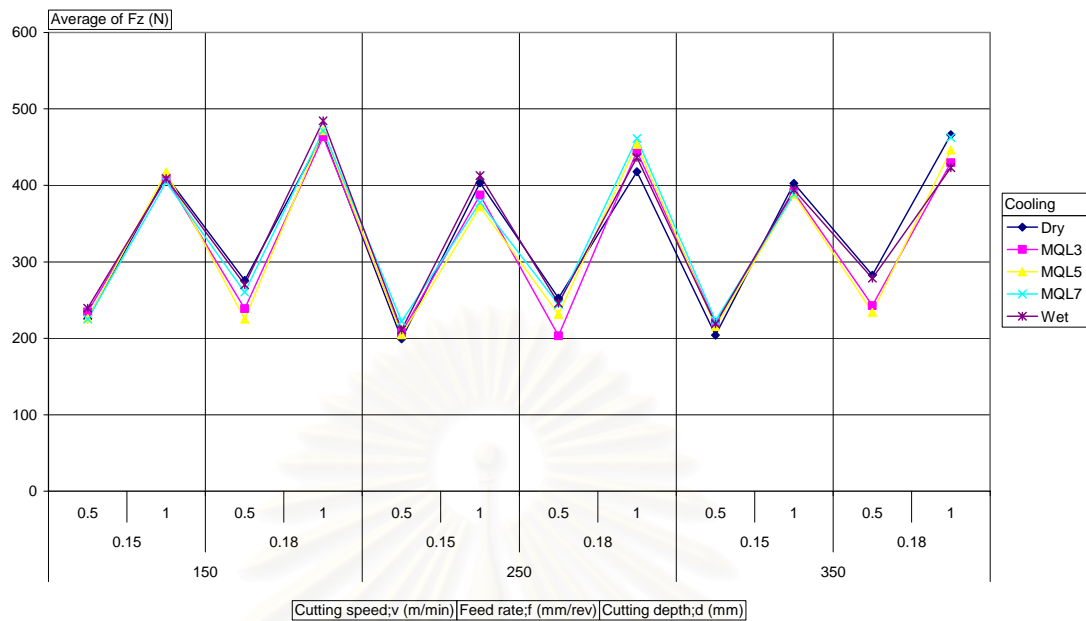
รูปที่ 4.50 กราฟระหว่าง Vba กับปัจจัยต่างๆ ตามความลึกตัด

รูปที่ 4.50 แสดงให้เห็นว่าความลึกตัดที่มากกว่ากลับให้ความสึกหรอมีดตัดที่ต่ำกว่า ทั้งนี้สาเหตุหลักคือ เนื่องจากการทดลองจะวัดผลตอบเทียบกันทุกๆ ปริมาตรการตัด 0.5 ลบ.ม. ดังนั้นเวลาในการตัดที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร จะนานกว่า เวลาในการตัดที่ความลึก 1.0 มิลลิเมตรถึงสองเท่า ส่งผลให้ความสึกหรอมีดตัดมากกว่า



รูปที่ 4.51 กราฟระหว่าง Fy กับปัจจัยต่างๆ ตามความลึกตัด

รูปที่ 4.51 แสดงให้เห็นว่าความลึกตัดที่มากจะให้แรงตัดแนวรัศมีที่มากกว่าประมาณ 2 เท่า เนื่องจากความลึกตัดที่มากกว่า จะทำให้มีดตัดกินเนื้อเหล็กมากกว่า พื้นที่ในการตัดมากกว่า 2 เท่า จะทำให้ภาระในการตัดมากกว่าประมาณ 2 เท่า ซึ่งพบว่าผลตอบแรงตัดหลัก ในรูปที่ 4.52 ก็สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกัน



รูปที่ 4.52 กราฟระหว่าง Fz กับปัจจัยต่างๆ ตามความลึกตัด

#### 4.3.4 ปัจจัยเนื่องจากวิธีการหล่อเย็น

ถึงแม้ว่าจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในหัวข้อ 4.2 จะพบว่าวิธีการหล่อเย็นไม่มีอิทธิพลต่อผลตอบใดๆเลย แต่จากการทดสอบความแปรปรวนในส่วนของผลตอบ Ra สามารถบอกได้ว่าวิธีการหล่อเย็นมีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงานเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 93% (ค่า P-Value เท่ากับ 0.067) จากกราฟอิทธิพลหลักในรูปที่ 4.9 จะพบว่าที่การตัดแบบแห้ง จะให้ค่าความหยาบผิวชิ้นงานต่ำที่สุด ส่วนการตัดแบบเปียกจะให้ค่าความหยาบผิวชิ้นงานสูงที่สุด โดยการตัดแบบ MQL ที่ความดันต่างๆ จะให้ผลอยู่ในช่วงกลางโดยที่ความดัน 5 บาร์จะให้ค่าความหยาบผิวชิ้นงานที่ต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ว่าการใช้ความดันช่วยในการฉีดสารหล่อเย็นจะดีที่ความดันค่าหนึ่งๆ ถ้าความดันมากไปหรือน้อยไปก็จะให้ผลที่แย่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.3.5 ปัจจัยเนื่องจากอันตรกิริยา

เนื่องจากในแต่ละผลการทดลองสามารถเก็บข้อมูลได้เพียง 1 ข้อมูลต่อเซลล์เท่านั้น หรือกล่าวว่าการทดลองนี้มีเพียง 1 เรพลีเคต จะพบว่าไม่สามารถที่จะประมาณค่าความแปรปรวนของความผิดพลาดได้ ซึ่งหมายความว่าผลของอันตรกิริยาและความผิดพลาดเนื่องจากการทดลองไม่สามารถแยกออกจากกันได้โดยเด็ดขาด

ในการทดสอบว่ามีอันตรกิริยาหรือไม่นั้น จะแบ่ง Residual Sum of Squares ออกเป็น 2 พจน์ คือส่วนที่เป็น Non-Additive กับส่วนความผิดพลาด และทดสอบว่าอันตรกิริยามีผลหรือไม่ โดยการคำนวณหา P-value ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังนี้

##### Analysis of Variance for Ra

Source	DF	SS	MS	F	P
f	1	1.333	1.333	4.56	0.04
v	2	9.151	4.576	15.64	0.00
d	1	0.994	0.994	3.40	0.07
cooling	4	1.851	0.463	1.58	0.19
non-additivity	1	0.035	0.035	0.12	0.73
Error	49	14.331	0.292		
Total	58	27.696			

##### Analysis of Variance for Vba

Source	DF	SS	MS	F	P
f	1	0.042	0.042	101.38	0.00
v	2	0.051	0.026	62.40	0.00
d	1	0.009	0.009	22.83	0.00
cooling	4	0.000	0.000	0.05	0.99
non-additivity	1	0.001	0.001	1.22	0.28
Error	49	0.020	0.000		
Total	58	0.123			

## Analysis of Variance for Fx

Source	DF	SS	MS	F	P
f	1	21659	21659	6.72	0.01
v	2	47909	23955	7.43	0.00
d	1	328	328	0.10	0.75
cooling	4	12195	3049	0.95	0.45
non-additivity	1	1235	1235	0.38	0.54
Error	49	157895	3222		
Total	58	241221			

## Analysis of Variance for Fy

Source	DF	SS	MS	F	P
f	1	3685	3685	3.93	0.05
v	2	20480	10240	10.93	0.00
d	1	187427	187427	200.13	0.00
cooling	4	4685	1171	1.25	0.30
non-additivity	1	2567	2567	2.74	0.10
Error	49	45889	937		
Total	58	264733			

## Analysis of Variance for Fz

Source	DF	SS	MS	F	P
f	1	33279	33279	156.49	0.00
v	2	5370	2685	12.63	0.00
d	1	523520	523520	2461.85	0.00
cooling	4	1917	479	2.25	0.08
non-additivity	1	458	458	2.15	0.15
Error	49	10420	213		
Total	58	574964			

ค่า P-value จาก Non-additivity จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทุกผลตอบมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นผลจากอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยจึงไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ



#### 4.4 การหาสภาวะการตัดที่เหมาะสม

สภาวะการตัดที่เหมาะสมสามารถหาได้จากการจัดลำดับว่าเงื่อนไขการตัดใดที่ให้ผลตอบต่าง ๆ ดีที่สุด เนื่องจากในการทดลองมีผลตอบอยู่ 5 ตัว ดังนั้นในการสรุปว่าเงื่อนไขการตัดใดให้ผลตอบที่ดีที่สุด จึงตัดสินใจโดยการถ่วงน้ำหนักและให้คะแนนความสำคัญของแต่ละผลตอบต่าง ๆ กัน พร้อมทั้งเหตุผลในการให้คะแนนดังตารางที่ 4.4 โดยคะแนนความสำคัญจะคิดจากสัดส่วนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการกลึงจากรูปที่ 1.1 ซึ่งต้นทุนเนื่องจากชิ้นงานที่เสียหายจะมีค่าสูงสุด ตามด้วยต้นทุนเนื่องจากมีดตัด และต้นทุนเนื่องจากค่าไฟฟ้า

ตารางที่ 4.4 คะแนนความสำคัญของแต่ละผลตอบ

ผลตอบ	คะแนนความสำคัญ	เหตุผล
ความหยาบผิวเฉลี่ย	9	คุณภาพของชิ้นงาน ราคาวัตถุดิบ
ความสึกหรอมีดตัดเฉลี่ย	5	ราคามีดตัด
แรงตัดแนวแกน	1	ค่าไฟฟ้า
แรงตัดแนวรัศมี	1	ค่าไฟฟ้า
แรงตัดหลัก	3	ค่าไฟฟ้า

หลักจากนั้นจึงลำดับเงื่อนไขการตัดที่ให้คะแนนดีที่สุดในที่ความหยาบผิวชิ้นงานสูงสุด ( $R_z$ ) ของแต่ละการทดลองต้องไม่เกิน 12.5 ไมครอน ความสึกหรอมีดตัดสูงสุด ( $V_{bm}$ ) น้อยกว่า 0.20 มิลลิเมตร ซึ่งได้ผลการจัดลำดับดังตารางที่ 4.5

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 การจัดลำดับของการทดลองเรียงตามลำดับ

ลำดับ	อัตราป้อนตัด	ความเร็วตัด	ความลึกตัด	วิธีการหล่อเย็น
1	0.15	250	0.5	Dry
2	0.15	250	0.5	MQL3
3	0.15	250	0.5	MQL7
4	0.15	350	0.5	Wet
5	0.15	150	0.5	Dry
6	0.15	250	0.5	Wet
7	0.15	250	1.0	MQL5
8	0.15	150	1.0	Dry
9	0.15	250	1.0	MQL3
10	0.15	250	0.5	MQL5

ตารางที่ 4.5 สามารถกำหนดสภาวะการตัดที่เหมาะสมได้ คือสภาวะการตัดที่ความหยาบผิวชิ้นงานต่ำ ความลึกหรือมีดตัดต่ำ แรงตัดทั้งแนวแกน แนวรัศมี และแรงตัดหลักมีค่าต่ำ พบว่าเงื่อนไขการตัดที่ทำให้ผลตอบต่างๆมีค่าต่ำอยู่ในเงื่อนไขของ อัตราป้อนตัด 0.15 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วตัด 250 เมตร/นาที ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร โดยการตัดแบบแห้งจะให้ผลดีที่สุด ตามด้วยการตัดแบบ MQL3 MQL7 และแบบเปียกตามลำดับ

ทั้งนี้ผลการทดลองที่ไม่ได้เรียงลำดับในตารางที่ 4.5 คือผลการทดลองที่ให้ผลตอบที่ไม่น่าพอใจ คือมีความหยาบผิวสูงสุดมากกว่า 12.5 ไมครอน หรือ ความลึกหรือมีดตัดสูงสุดมากกว่า 0.20 มิลลิเมตร โดยพบอย่างยิ่งว่าผลจากการทดลองที่อัตราป้อนตัด 0.18 มิลลิเมตร/รอบ ของทุกเงื่อนไขการตัดให้ผลตอบที่แย่ คือให้ค่าความหยาบผิวชิ้นงานสูง ความลึกหรือมีดตัดสูง และใช้แรงตัดมาก

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

1) การวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดสภาวะการตัดตามบริษัทผู้ผลิตตั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว คือความลึกในการตัด 0.5-1.0 มิลลิเมตร อัตราป้อนตัด 0.10-0.20 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วตัด 150-350 เมตร/นาที โดยใช้วิธีการหล่อเย็น แบบแห้ง แบบเปียก และแบบ MQL ที่ความดัน 3, 5, 7 บาร์

2) มีดตัดใหม่จะให้ความหยาบผิวชิ้นงานเริ่มต้นค่าหนึ่ง เมื่อใช้ไปสักระยะ ความหยาบผิวชิ้นงานจะเริ่มลดลง จนเมื่อใช้ไปอีกระยะ ความหยาบผิวชิ้นงานจะกลับมาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

3) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อทุกผลตอบคือความเร็วตัด ซึ่งพบว่าความเร็วตัดที่เหมาะสม คือความเร็วตัดที่ 250 เมตร/นาที จะให้ความสามารถในการตัดที่ดี มีค่าผลตอบต่ำ ส่วนปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อผลตอบใดๆเลยคือวิธีการหล่อเย็น โดยวิธีการหล่อเย็นไม่ได้ทำให้ความหยาบผิวชิ้นงาน ความลึกหรือมีดตัด และแรงตัดต่างๆ ที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพบว่าวิธีการตัดแบบแห้งมักจะให้ผลตอบความหยาบผิวชิ้นงานที่ต่ำกว่า หรือความเรียบผิวชิ้นงานดีกว่าวิธีอื่นๆ

4) เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองคือ อัตราป้อนตัด 0.15 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วตัด 250 เมตร/นาที ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ด้วยการตัดแบบแห้ง ซึ่งให้ผลตอบต่างๆอยู่ในเกณฑ์ดีหรือมีค่าต่ำ (ความหยาบผิวชิ้นงานต่ำ ความลึกหรือมีดตัดต่ำ แรงตัดแนวแกนต่ำ แรงตัดแนวรัศมีต่ำ แรงตัดหลักต่ำ)

#### 5.2 อภิปรายผลการวิจัย

1) ความสามารถในการตัดกับปัจจัยในการตัดมีความสัมพันธ์กันอย่างลึกซึ้ง จากการผลทดลองจะพบว่าในบางการทดลอง ผลตอบที่ได้ไม่ได้เป็นไปตามที่คิดไว้ เช่นบางครั้งจะพบว่าอัตราป้อนตัดต่ำ แต่ให้ความหยาบผิวชิ้นงานต่ำกว่า เป็นต้น ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลของร่องการเดินของมีดตัดบนชิ้นงาน แต่สิ่งที่สามารถนำมาอธิบายพฤติกรรมของความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้เสมอๆ คือความร้อนบริเวณการตัด ถ้าความร้อนต่ำไปจะตัดโลหะได้ยาก แรงตัดจะสูง ความหยาบผิวชิ้นงานจะสูง ถ้าความร้อนสูงไป มีดตัดจะสึกหรอมาก ความหยาบผิวชิ้นงานก็จะสูงตาม

เช่นกันดังนั้นเพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่ดี ต้องหาความเร็วตัดที่เหมาะสมที่ให้ความร้อนการตัดที่เหมาะสม แล้วจึงประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นที่ความเร็วตัดที่สูงกว่านั้น

2) ผลการทดลองสภาวะการตัดนี้ ใช้ได้กับมีดตัดที่ใช้ในการทดลองเท่านั้น ซึ่งเป็นมีดตัดคาร์ไบด์เคลือบผิวที่ทนความร้อนสูง อิทธิพลของวิธีการหล่อเย็นจึงไม่ต่างกัน ดังนั้นถ้าในการทดลองใช้มีดตัดอื่นที่มีคุณสมบัติต่างออกไป หรือปัจจัยอื่นๆเปลี่ยนไป อาจทำให้วิธีการหล่อเย็นมีอิทธิพลต่อผลตอบต่างๆได้

### 5.3 อุปสรรคในงานวิจัย

การตัดชิ้นงานด้วยวิธีการหล่อเย็นแบบสารหล่อเย็นน้อยที่สุด และแบบเปียกนั้น พบว่าในการกลึงชิ้นงานจริง โดยเฉพาะที่ความลึกการตัดต่ำจะทำให้เศษโลหะมันยาว ซึ่งจะทำให้บังวิถีของสารหล่อเย็น และถ้าเศษโลหะยาวมากจะทำให้ชนหัวฉีดสารหล่อเย็นและส่งผลให้ตำแหน่งการหล่อเย็นเปลี่ยน ส่งผลให้การทดลองผิดพลาดได้

ต้นทุนในการทดลองต่อ1 ผลการทดลองมีค่าใช้จ่ายสูงถึง 3100 บาท/การทดลอง ซึ่งถือว่า มีค่าสูงมาก ดังนั้นจึงไม่มีการทดการทดลองซ้ำในแต่ละการทดลอง

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

1) ในการศึกษาเรื่องการตัด ควรศึกษาเพิ่มเติมเรื่องอุณหภูมิในการตัด เพราะจะทำให้ทราบพฤติกรรมการตัดได้มากขึ้น

2) ควรคำนึงถึงเรื่องต้นทุนด้านอื่นด้วย เช่นต้นทุนสารหล่อเย็น ต้นทุนจากการเสียโอกาสจากการผลิต ต้นทุนเสียโอกาสจากการเปลี่ยนเครื่องมือ ต้นทุนทางด้านสิ่งแวดล้อม ความเสื่อมสภาพชิ้นงานหลังตัด

3) ควรทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้งเพื่อให้ผลการศึกษาน่าเชื่อถือได้มากขึ้น และเพื่อทำการศึกษาผลจากอัตราปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างปัจจัยในการตัด

## รายการอ้างอิง

- [1] E. Paul Degarmo, J T. Black and Ronald A. Kohser, Materials and Process in Manufacturing, 9th ed., USA: John Wiley&Sons, 2004.
- [2] K. Weinert, I. Inasaki, J. W. Sutherland, T. Wakabayashi, Dry machining and minimum quantity lubrication, Annals of the CIRP, 53/2 (2004): 511-537.
- [3] J. W. Sutherland, V. N. Kukur, N. C. King, An experimental investigation of air quality in wet and dry turning, Annals of the CIRP, 49/1 (2000): 64-61.
- [4] L Juneja, and G S Sekhon, Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools, Indian Institute of Technology, India: Delhi, 2003.
- [5] Mikell P. Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing, 2nd ed., USA: John Wiley&Sons, 2004.
- [6] Serope Kalpakjian and Steven Schmid, Manufacturing Engineering and Technology, 5th ed., Singapore: Pearson Prentice Hall, 2006
- [7] Phillip Ostwald, and Jairo Munoz, Manufacturing Processes and System, 9th ed., USA: John Wiley&Sons, 2004.
- [8] N. R. Dhar, M. Kamruzzaman, Mahiuddin Ahmed, Effect of minimum quantity lubricant (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel, Journal of Materials Processing Technology, 172 (2006): 299-304.
- [9] N. R. Dhar, M. W. Islam, M. A. H. Mithu, The influence of minimum quantity lubricant (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel, Journal of Materials Processing Technology, 171 (2006): 93-99.
- [10] T. J. Ko, S. H. Park, H. S. Kim, "Experimental verification of the mist generation mechanism in turning", International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43 (2003): 115-120.
- [11] J.F. Kelly and M.G. Cotterell, Minimal lubrication machining of aluminum alloys, Journal of Materials Processing Technology, 2002.
- [12] A. S. Varadarajan, P. K. Philip, B. Ramamoorthy, Investigations on hard turning with minimal cutting fluid application (HTMF) and its comparison with dry and

wet turning, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42 (2002): 193-200.

[13] Keith H. CAUSTON, An Investigation into the Suitability of Dry Machining Automotive Cylinder Blocks for High Volume Production, University of Bradford, 2002.

[14] K. L. Gunter, J. W. Sutherland, An experimental investigation into the effect of process conditions on the mass concentration of cutting fluid mist in turning, Journal of Cleaner Production, 7 (1999): 341-350.

[15] K. H. W. Seah, X. Li, K. S. Lee, The effect of applying coolant on tool wear in metal machining, Journal of Materials Processing Technology, 48 (1995): 495-501.



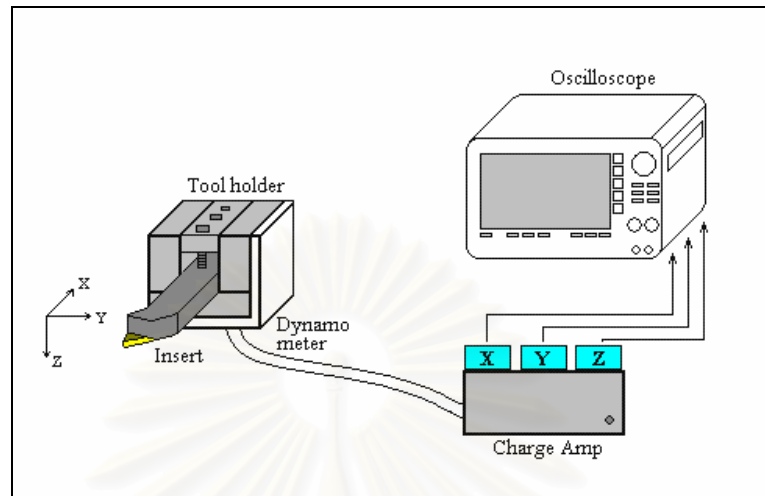
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



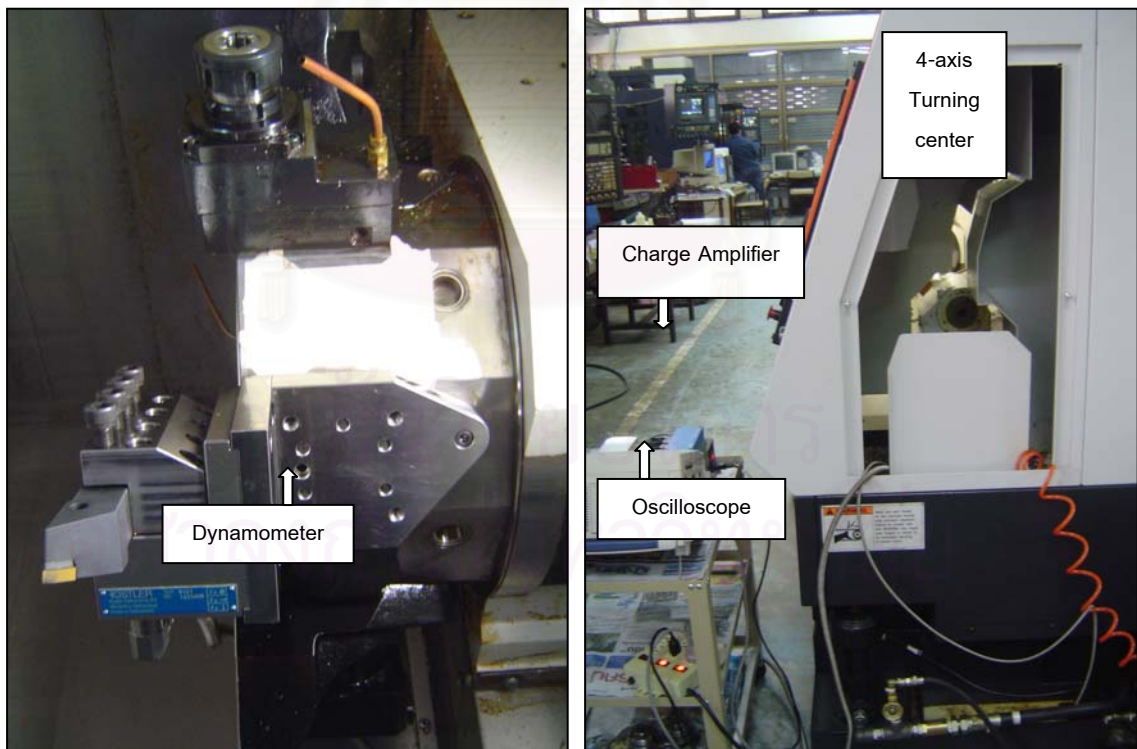
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

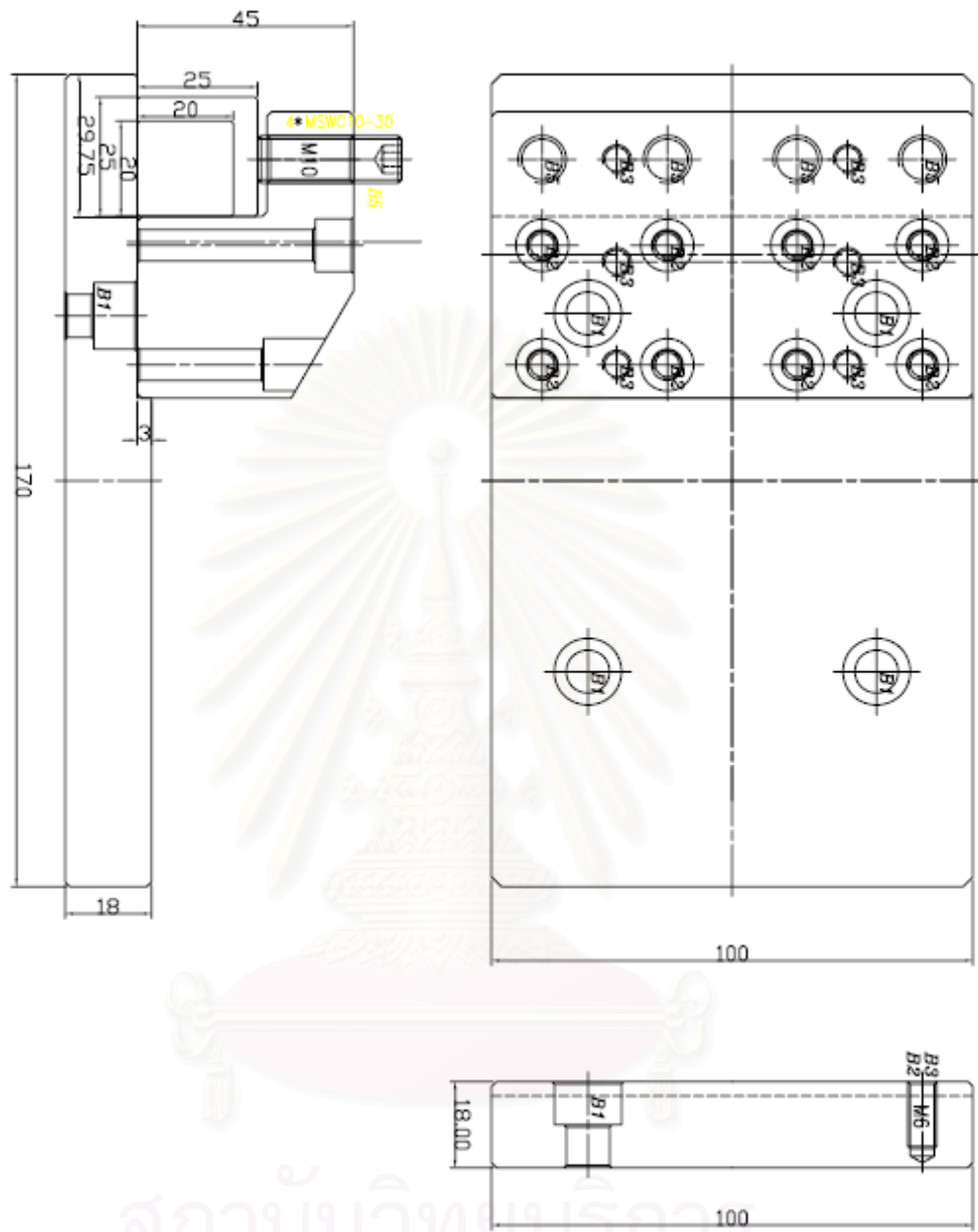


รูปที่ ก.1 แสดงการติดตั้งไดนาโมมิเตอร์สำหรับการวัดและวิเคราะห์แรงตัด

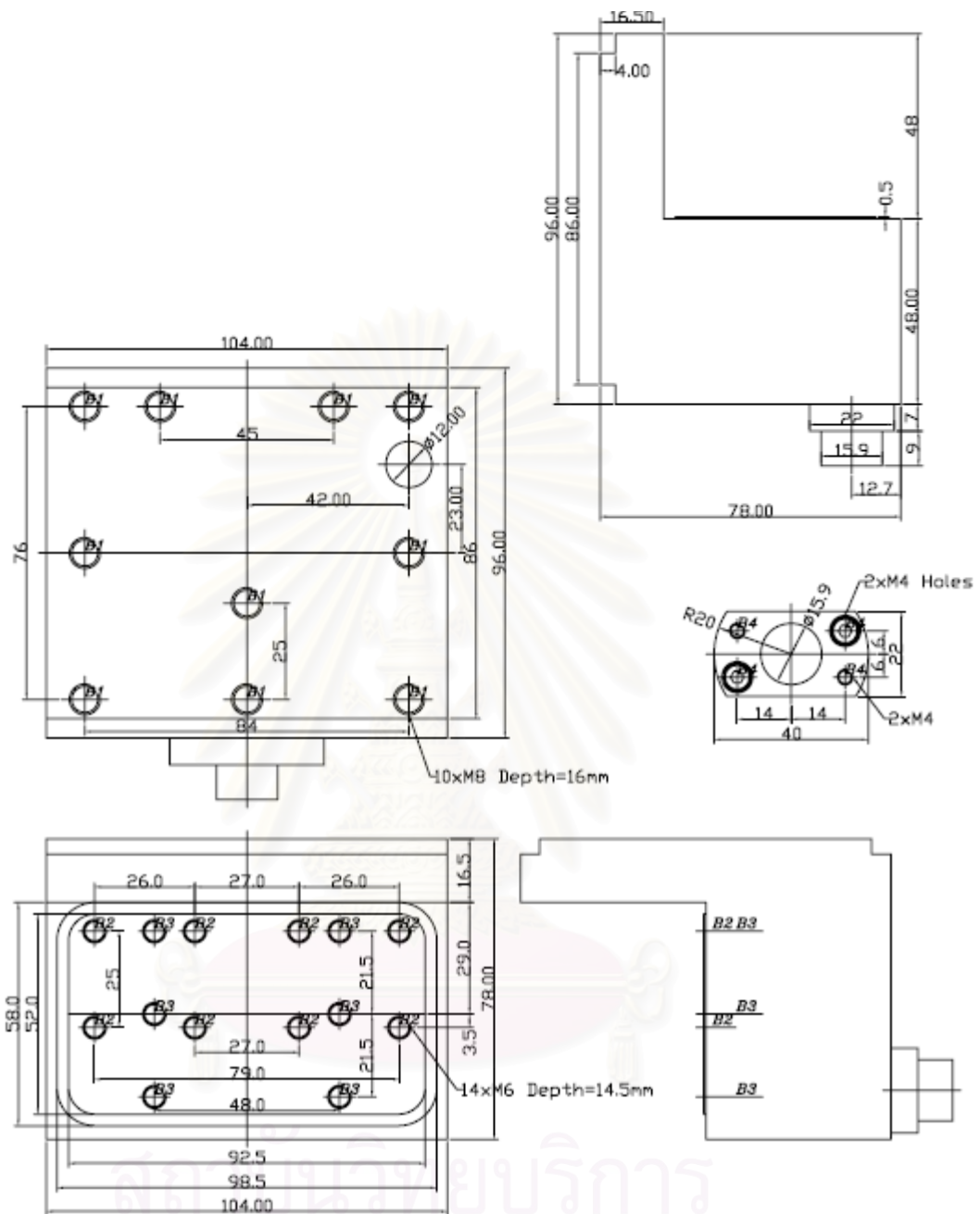


รูปที่ ก.2 แสดงการติดตั้งไดนาโมมิเตอร์สำหรับการวัดและวิเคราะห์แรงตัดบนเครื่องกลึงซีเอ็นซี





รูปที่ ก.3 แสดงแบบ Drawing ส่วนจับด้ามมีดตัด  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.4 แสดงแบบ Drawing ของไดนาโมมิเตอร์สำหรับการวัด

**INSTALLATION INSTRUCTIONS**

- 1) Place unit on the machine and set nozzle about 2 inches (50 mm) from the area you wish to cool.
- 2) Connect air line to your air supply.
- 3) Insert suction line into your container.
- 4) The highest coolant level must be slightly lower than the nozzle.

**OPERATION INSTRUCTIONS**

- 1) Pull out plastic knob.
- 2) Adjust air flow by turning the brass hex nut, then pull out knob.
- 3) Adjust liquid flow by turning the nozzle.

**SPARE PARTS LIST**

Spray unit *		
L. (mm)	Part No.	
204	MC2131	
134	MC2132	
279	MC2133	

Air line *		
Length. (m)	Part No.	
1	MC2134	
2	MC2135	

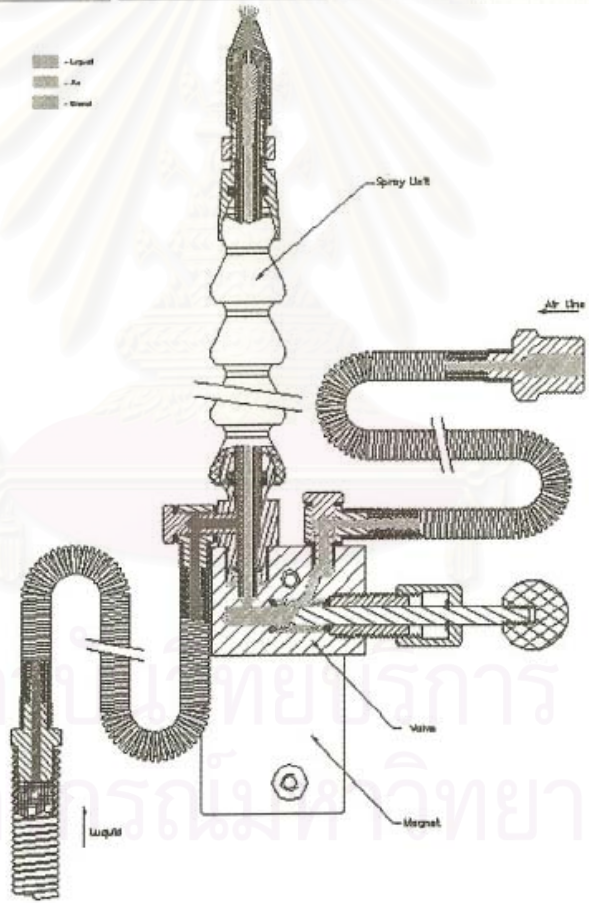
  

Suction line *		
Length. (m)	Part No.	
1	MC2136	
2	MC2137	

Part	Part No.	
Wipe	MC2138	
Magnet	MC2140	
Nozzle	MC2001	
Washer	MC2133	
Wash screw + Washer	MC2132	
Weld Stand Assy.	MC2100	
Filter	MC2137	

\* - Other dimensions upon request



รูปที่ ก.5 แสดงหัวฉีดสารหล่อเย็นที่ใช้ในการตัดแบบ MQL

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปิยะ ศิริธรรมปิติ เกิดเมื่อวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2522 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2544 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาในสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2547



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย