

การประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุดในการกลึงชิ้นงานดรัมไฮคัลซ์

น.ส.ณัฐรดา ขำจิ้น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

APPLICATION OF MINIMUM QUANTITY LUBRICATION FOR DRUM HIGH CLUTCH IN
TURNING PROCESS

Miss Nutrada Khumjeen

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุดในการกลึงชิ้นงาน ดรัมไฮคลัช
โดย	น.ส.ณัฐรดา ขำจิ้น
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์สมชาย พวงเพิกคี่ก)

ณัฐรดา ขำจิ้น : การประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุดในการกลึงชิ้นงานดรัมไฮคลัช. (APPLICATION OF MINIMUM QUANTITY LUBRICATION FOR DRUM HIGH CLUTCH IN TURNING PROCESS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญญ

การกลึงเป็นกระบวนการหลักที่ใช้ในการแปรรูปชิ้นส่วนยานยนต์ และจากความต้องการผลผลิตที่มากขึ้น จึงต้องใช้ความเร็วในการตัด และอัตราการป้อนตัดที่สูง ซึ่งการตัดดังกล่าวทำให้อุณหภูมิในการตัดสูง เป็นสาเหตุให้อายุการใช้งานของมีดตัดลดลง ไม่เพียงส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานแล้ว ยังส่งผลให้อัตราการผลิตต่ำลงด้วย จากการหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการเปลี่ยนมีดตัดใหม่ ดังนั้นการใช้การใส่สารหล่อเย็น (คูลแลนท์) เป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้เพื่อช่วยลดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะตัด ลดอัตราการสึกหรอของมีดตัด ช่วยยืดอายุการใช้งานของมีดตัด และชิ้นงานได้คุณภาพตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามใช้การใส่สารหล่อเย็นก็ไม่ได้เป็นทางเลือกที่ดีเสมอไป จากต้นทุนที่สูงและปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้เทคนิค MQL จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้มากขึ้นในปัจจุบัน เพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น

งานวิจัยนี้ได้เสนอการใช้เทคนิค MQL มาใช้ทดแทนการตัดแบบเปียกที่ใช้ในกระบวนการผลิตปัจจุบัน โดยนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อศึกษาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมสำหรับวัสดุเหล็กคาร์บอนเกรด SAPH370 ด้วยเครื่องมือตัดคาร์ไบด์ โดยเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมจะพิจารณาจากปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด และอายุการใช้งานของมีดตัดสูงสุด ภายใต้ความขรุขระผิวเฉลี่ย (R_a) ไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร จากงานวิจัยนี้ได้เสนอเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมที่อัตราการป้อนตัด 0.10 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วในการตัด 300 เมตรต่อนาที และปริมาณการใส่สารหล่อเย็น 5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5970925221 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Turning MQL Cutting Fluid Tool Life Surface Roughness

Nutrada Khumjeen : APPLICATION OF MINIMUM QUANTITY LUBRICATION FOR DRUM HIGH CLUTCH IN TURNING PROCESS. Advisor: Assoc. Prof. Somkiat Tangjitsitcharoen

The turning process is the main processes used in automotive parts from more productivity, it requires the cutting velocity and feed rate high, from those cutting, it causes high temperatures on cutting and a tool life of cutting tools decreased. Therefore using of cutting fluid (Coolant) is one of the commonly used methods to reduce temperatures that occur while cutting, reducing the wear of cutting tool and helps extend the tool life of the cutting tool. However, cutting fluid it's not always a good way, from the high cost and environmental problems issues. Using the MQL technique is one of the alternatives that using more nowadays to solve the above mentioned problems. This research proposed a MQL technique substitution of cutting fluid that using in the current process by applying in order to obtain the proper cutting condition for carbon steel material grade SAPH370 with the carbide cutting tool. The cutting conditions will acceptable from the minimum quantity of lubricant and the maximum of tool life of cutting tool under surface roughness (Ra) is less than 1.2 micrometer. The proper cutting condition determined at a feed rate of 0.10 mm/rev, a cutting speed of 300 m/min and a minimum quantity lubrication of 5ml/hr.

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2018

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งเสียสละเวลา ทั้งแรงกายแรงใจ คอยแนะนำ สอนสั่ง ให้แนวคิด ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ด้วยความเอาใจใส่ จนกระทั่งสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณประธานสอบ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้สละเวลา ให้ คำแนะนำ และข้อคิดต่างๆ พร้อมทั้งตรวจแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนรายงานฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง สมบูรณ์ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้วิชาความรู้ทุกอย่างแก่ข้าพเจ้า จนวิทยานิพนธ์ฉบับ นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณพ่อแม่และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดย ตลอด รวมทั้งขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือกันตลอดมา

ณัฐรดา ขำจิ้น

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	2
1.2 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา	17
1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	20
1.4 เกณฑ์การเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม.....	21
1.5 ขอบเขตงานวิจัย	21
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	22
1.7 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	22
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	23
2.1.1 ลักษณะทั่วไปของกระบวนการตัด[11].....	23
2.1.2 กระบวนการกลึง (Turning Process)	24
2.1.3 อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด (Tool Life).....	25
2.1.4 การสึกหรอของมีดตัด (Tool Wear).....	26
2.1.5 เม็ดมีด (Inserts).....	29
2.1.6 อายุใช้งานของมีดตัดและสมการอายุใช้งานของมีดตัดของเทย์เลอร์.....	30
2.1.7 สมการอายุใช้งานของมีดตัดของเทย์เลอร์ (Taylor Tool Life Equation)	32

2.1.8 ความขรุขระผิวสำเร็จ (Surface Finish).....	32
2.1.9 สารหล่อเย็น (Cutting Fluid).....	34
2.1.10 ประเภทของน้ำมันหล่อเย็น	35
2.1.11 การประยุกต์ใช้สารหล่อเย็น (Methods of Applying Cutting Fluids) [19].....	36
2.1.12 การออกแบบการทดลอง	37
2.1.13 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design).....	39
2.1.14 การสร้างแบบจำลองการถดถอย (Regression Model).....	39
2.1.15 การวิเคราะห์การทดลอง.....	39
2.1.16 การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Design) ..	40
2.1.17 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) [15]	42
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	47
3.1 การออกแบบการทดลอง.....	47
3.2 การกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	47
3.2.1 การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย	47
3.2.2 การกำหนดระดับของปัจจัย	47
3.3 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	49
3.3.1 วัสดุชิ้นงาน (Workpiece material).....	49
3.3.2 เม็ดมีด (Insert)	50
3.3.3 เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC turning machine) ยี่ห้อ JINNFA รุ่น JCL-6032	51
3.3.4 อุปกรณ์สำหรับใช้สเปรย์สารหล่อเย็น (Oil Mist).....	51
3.3.5 การติดตั้งระบบสเปรย์สารหล่อเย็น (Oil Mist)	53
3.3.6 การกลึงชิ้นงานโดยสเปรย์สารหล่อเย็น (Oil Mist).....	54
3.3.7 เครื่องวัดความขรุขระผิว (Roughness tester)	55

3.4	วิธีการทดลอง.....	55
3.5	ขั้นตอนการทำการทดลอง.....	57
3.6	สมการพยากรณ์ความขรุขระผิว และอายุของมีดตัด	57
3.7	การออกแบบการทดลองแบบ Box- Behnken Design	58
3.8	การวิเคราะห์ข้อมูล	60
3.8.1	การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล	60
3.8.2	การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ	60
3.8.3	การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน.....	60
3.8.4	การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการออกแบบทดลอง.....	61
3.8.5	การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance stability)	61
บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	62
4.1	ผลจากการทดลอง	64
4.2	การวิเคราะห์ผลการทดลอง	66
4.2.1	การวิเคราะห์ผลต่อความขรุขระผิวชิ้นงานเฉลี่ย (Ra)	66
4.2.1.1	การทดสอบการกระจายแบบปกติ	66
4.2.1.2	การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล	67
4.2.1.3	การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของความขรุขระผิวเฉลี่ย	68
4.2.1.4	การวิเคราะห์ผลการทดลองของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra)	69
4.2.2	การวิเคราะห์ผลต่ออายุการใช้งานของมีดตัด.....	80
4.2.2.1	การทดสอบการกระจายแบบปกติ	80
4.2.2.2	การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล	81
4.2.2.3	การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของอายุการใช้งานของมีดตัด	82
4.2.2.4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของอายุการใช้งานของมีดตัด	83

4.2.2.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองของอายุการใช้งานมีดตัด	83
(มิลลิเมตรต่อชั่วโมง).....	88
4.3 การสึกหรอของมีดตัด (Tool Wear)	91
4.4 เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสม	93
4.5 การเปรียบเทียบต้นทุน.....	95
4.5.1 ต้นทุนมีดตัด (Tool Cost).....	95
4.5.2 ต้นทุนสารหล่อเย็น (Lubricant Cost)	96
4.5.3 ต้นทุนรวม (Total Cost).....	104
4.6 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period).....	105
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	110
5.1 สรุปผลการวิจัย	110
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	111
5.3 ข้อจำกัดในการวิจัย	112
5.4 ข้อเสนอแนะ	112
รายการอ้างอิง	113
ภาคผนวก.....	116
บรรณานุกรม.....	143
ประวัติผู้เขียน	145

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	สรุปข้อมูลผลงานวิจัยในอดีต.....	7
ตารางที่ 1.2	เงื่อนไขในการตัด	21
ตารางที่ 2.1	กลไกที่ทำให้เกิดการสึกหรอบนมีดตัด.....	28
ตารางที่ 2.2	การออกแบบบ็อกซ์-เบ็นเคน [15].....	43
ตารางที่ 3.1	ค่ามาตรฐานส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงาน.....	49
ตารางที่ 3.2	ขนาดเม็ดมีดที่ใช้ในการทดลอง.....	50
ตารางที่ 3.3	ระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	58
ตารางที่ 3.4	เงื่อนไขการทดลอง.....	58
ตารางที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชิ้นงานการกลึงกับความเรียบผิวเฉลี่ย Ra.....	63
ตารางที่ 4.2	เมทริกซ์ของการทดลองแบบบ็อกซ์-เบ็นเคน 3 ปัจจัย และผลตอบสนอง	64
ตารางที่ 4.3	ค่าประมาณพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์การถดถอยสำหรับค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย 70	
ตารางที่ 4.4	วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระผิว (Analysis of Variance for Ra)....	71
ตารางที่ 4.5	ค่าประมาณพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์การถดถอยสำหรับอายุการใช้งานมีดตัด ...	84
ตารางที่ 4.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับอายุการใช้งานมีดตัด	86
ตารางที่ 4.7	การสึกหรอด้านข้างความตดของเม็ดมีดกลึงที่ขนาดต่างๆ	92
ตารางที่ 4.8	อายุของมีดตัดหรือจำนวนชิ้นงานที่ใช้ถึงจนถึงค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 ไมโครเมตร.....	97
ตารางที่ 4.9	จำนวนของมีดตัดที่ใช้ในการตัดชิ้นงานจำนวน 60,000 ชิ้น	99
ตารางที่ 4.10	ต้นทุนของมีดตัดที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ด้วยวิธีการตัดโดยใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด	100
ตารางที่ 4.11	ปริมาณการใช้สารหล่อเย็นในการตัดชิ้นงานจำนวน 60,000 ชิ้น.....	102
ตารางที่ 4.12	ต้นทุนของสารหล่อเย็น(MQL)ในการตัดชิ้นงานจำนวน 60,000 ชิ้น	103
ตารางที่ 4.13	ต้นทุนรวม ที่จำนวนการตัดทั้งหมด 60,000 ชิ้น.....	104

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบต้นทุนรวม จำนวนการตัดทั้งหมด 60,000 ชิ้น หรือ 3 เดือน..... 107

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 สัดส่วนของกลุ่มชิ้นส่วนยานยนต์ในรถยนต์ 1 คัน 1

รูปที่ 1.2 ยอดผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยานยนต์ของบริษัทกรณีศึกษา..... 2

รูปที่ 1.3 ต้นทุนรวมในการผลิตของกระบวนการกลึง..... 6

รูปที่ 1.4 ยอดผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ รุ่นเอพีเอ็กซ์..... 14

รูปที่ 1.5 แผนผังการกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ รุ่นเอพีเอ็กซ์ 15

รูปที่ 1.6 แผนผังไลน์ผลิต M1..... 15

รูปที่ 1.7 เครื่องกลึงโอพีหนึ่งที่ใช้เป็นกรณีศึกษา (ด้านหน้า) 16

รูปที่ 1.8 เครื่องกลึงโอพีหนึ่งที่ใช้เป็นกรณีศึกษา (ด้านหลัง)..... 16

รูปที่ 1.9 ชิ้นส่วนรถยนต์ Clutch Cover..... 18

รูปที่ 1.10 ชิ้นส่วนรถยนต์ Clutch Disc..... 19

รูปที่ 1.11 ชิ้นส่วนรถมอเตอร์ไซด์ MT Motorcycles 19

รูปที่ 1.12 ชิ้นส่วนรถมอเตอร์ไซด์ AT Motorcycles 19

รูปที่ 1.13 ชิ้นส่วนรถยนต์ Super Squashed Torque 20

รูปที่ 1.14 ชิ้นส่วนรถยนต์ Clutch Pack Converter..... 20

รูปที่ 2.1 ประเภทของกระบวนการตัดหลัก..... 23

รูปที่ 2.2 ลักษณะของกระบวนการตัด (a) Orthogonal Cutting (b) Oblique Cutting..... 24

รูปที่ 2.3 เรขาคณิตของกระบวนการกลึง [12]..... 25

รูปที่ 2.4 แสดงการสึกของมีดตัด ที่เป็นตำแหน่งสำคัญของการเกิดรอยสึก [5] 26

รูปที่ 2.5 รอยสึกบนผิวคาย (Crater wear) และรอยสึกบนผิวหลบ (Flank wear) [5]..... 27

รูปที่ 2.6 รูปทรงของเม็ดมีด (a) กลม, (b) สี่เหลี่ยม, (c) สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน มุม 80°, (d) หกเหลี่ยม, (e) สามเหลี่ยมด้านเท่า, (f) สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน มุม 55° และ (g) สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน มุม 35° [6] 29

รูปที่ 2.7 เกณฑ์ในการเลือกมีดตัด 30

รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการสีกหรือบนผิวหลบกับเวลาที่ใช้ในการตัด	31
รูปที่ 2.9 ผลกระทบของความเร็วที่เปลี่ยนแปลงในการตัดต่อการสีกหรือบนผิวหลบ โดยให้เกณฑ์การหมตอายุของมีดตัดในการสีกหรือบนผิวหลบเป็น 0.020 นิ้ว.....	31
รูปที่ 2.10 Natural log-log กราฟระหว่างความเร็วในการตัดกับอายุการใช้งานของมีดตัด.....	32
รูปที่ 2.11 รายละเอียดของผิวชิ้นงาน	33
รูปที่ 2.12 การเกิดพลังงานความร้อนและการกระจายพลังงานในกระบวนการตัดเฉือน	35
รูปที่ 2.13 รูปแบบระบบการทดลอง.....	38
รูปที่ 2.14 พื้นผิวผลตบสนองแบบสามมิติ [15]	41
รูปที่ 2.15 กราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวผลตบสนอง [15]	41
รูปที่ 2.16 รูปแบบทางเรขาคณิตสำหรับแผนการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน [15]	43
รูปที่ 3.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง.....	50
รูปที่ 3.2 เม็ดมีดที่ใช้ในการทดลอง	50
รูปที่ 3.3 เครื่องกลึงซีเอ็นซีที่ใช้ในการทดลอง	51
รูปที่ 3.4 Eco booster	52
รูปที่ 3.5 สารหล่อลื่น Bluebe -LB-1	52
รูปที่ 3.6 ด้ามมีด	53
รูปที่ 3.7 การติดตั้งระบบสเปรย์สารหล่อเย็น.....	53
รูปที่ 3.8 การสเปรย์สารหล่อเย็น	54
รูปที่ 3.9 ตำแหน่งการกลึงชิ้นงาน.....	54
รูปที่ 3.10 ชิ้นงานหลังการกลึง	55
รูปที่ 3.11 เครื่องวัดความขรุขระผิว.....	55
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	56
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวเฉลี่ยกับจำนวนชิ้นงานในการกลึง	63
รูปที่ 4.2 Normal Probability Plot ของข้อมูลความเรียบผิวเฉลี่ย.....	67

รูปที่ 4.3	การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลความเรียบผิวเฉลี่ย.....	68
รูปที่ 4.4	กราฟทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย	69
รูปที่ 4.5	พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) กับอัตราการป้อนตัด (Feed) และความเร็วจัด (Speed)	72
รูปที่ 4.6	พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร กับอัตราการป้อนตัด (Feed) และความเร็วจัด (Speed).....	73
รูปที่ 4.7	พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร กับอัตราการป้อนตัด (Feed) และปริมาณสารหล่อเย็น (MQL)	74
รูปที่ 4.8	พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร กับความเร็วจัด (Speed) และปริมาณสารหล่อเย็น (MQL).....	75
รูปที่ 4.9	ความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น โดยใช้ปริมาณ MQL 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง	76
รูปที่ 4.10	ความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น โดยใช้ปริมาณ MQL 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง.....	77
รูปที่ 4.11	ความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น โดยใช้ปริมาณ MQL 7 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง.....	78
รูปที่ 4.12	Normal Probability Plot ของข้อมูลอายุการใช้งานของมีดตัด	81
รูปที่ 4.13	การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลอายุการใช้งานของมีดตัด.....	82
รูปที่ 4.14	กราฟทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของอายุการใช้งานของมีดตัด.....	83
รูปที่ 4.15	พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของอายุการใช้งานมีดตัด อัตราการป้อนตัดและความเร็วจัด	87
รูปที่ 4.16	พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของอายุการใช้งานมีดตัด อัตราการป้อนตัดและความเร็วจัด	88
รูปที่ 4.17	พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของอายุการใช้งานมีดตัด อัตราการป้อนตัดและปริมาณการใช้สารหล่อเย็น	88

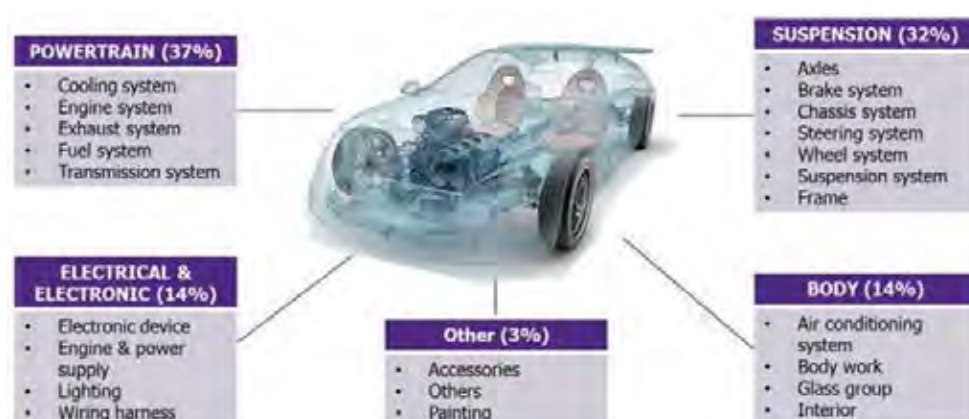
รูปที่ 4.18 อายุการใช้งานมีดตัด ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น 3 มิลลิลิตรต่อ ชั่วโมง.....	89
รูปที่ 4.19 อายุการใช้งานมีดตัด ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น 5 มิลลิลิตรต่อ ชั่วโมง.....	89
รูปที่ 4.20 อายุการใช้งานมีดตัด ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น 7 มิลลิลิตรต่อ ชั่วโมง.....	90
รูปที่ 4.21 การสึกหรอของมีดตัดที่อายุการใช้งานมีดตัดตัดชิ้นงานจำนวน 40 ชิ้น ก) การตัดแบบ เปียก ข) การตัดด้วย MQL	91
รูปที่ 4.22 เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสม	93

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และมีการแข่งขันกันในอัตราสูง สืบเนื่องจากการที่ภาครัฐได้เข้ามามีบทบาทในการส่งเสริมอุตสาหกรรมยานยนต์ของประเทศ ซึ่งกลุ่มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์เป็นกลุ่มที่ทำรายได้ในอันดับต้นๆให้กับประเทศ และในอนาคตมีแนวโน้มว่า อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทยมีความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งการส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศเพิ่มมากขึ้นด้วย สืบเนื่องจากการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนหรือ AEC ส่งผลให้ยอดส่งออกชิ้นส่วนยานยนต์เพิ่มขึ้น และคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

เนื่องจากอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการแข่งขันในธุรกิจนี้จึงทวีความรุนแรงขึ้น ทั้งด้านของตัวผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายขึ้น เทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้าขึ้น รวมถึงราคาที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ซื้อ โดยรถยนต์ 1 คันจะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ในแต่ละกลุ่ม ดังรูปที่ 1.1



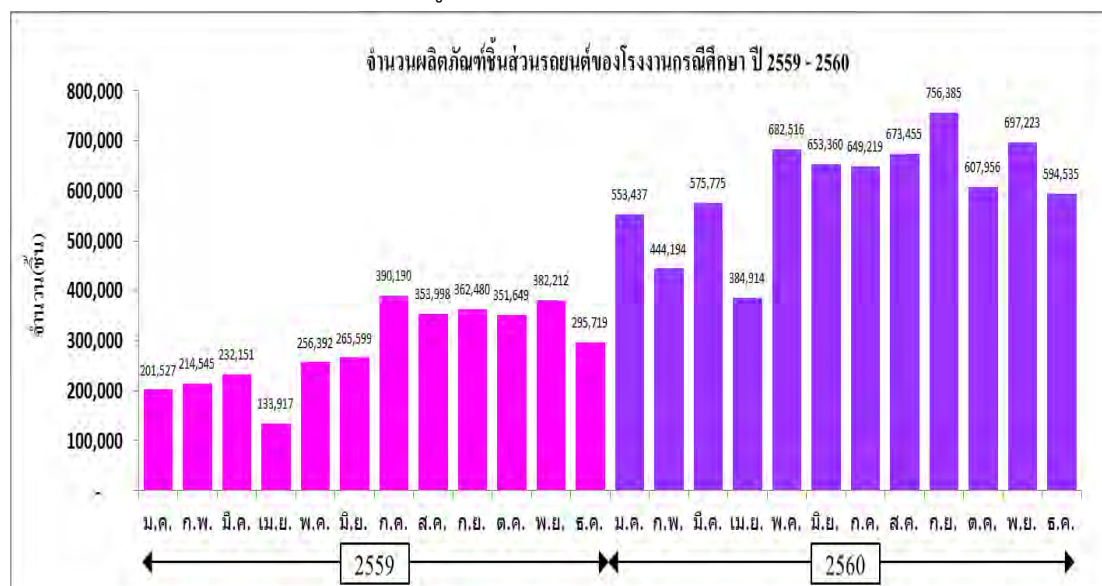
รูปที่ 1.1

รูปที่ 1.1 สัดส่วนของกลุ่มชิ้นส่วนยานยนต์ในรถยนต์ 1 คัน

กลยุทธ์ในการดำเนินธุรกิจของผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่ถูกนำมาพิจารณาในลำดับแรกๆคือการลดต้นทุนการผลิต ซึ่งการลดต้นทุนที่สำคัญก็คือ ทำให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำที่สุด การปรับเปลี่ยนวิธีการผลิต หรือตัดงานที่ไม่จำเป็นออกไป ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มผลกำไรขององค์กรธุรกิจ

และกลยุทธ์ที่เน้นการสำรวจและแก้ไขจุดบกพร่องภายในองค์กรธุรกิจ ซึ่งกลยุทธ์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อความอยู่รอดขององค์กรธุรกิจนั้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ควรเน้นการพัฒนาประสิทธิภาพ และคุณภาพสินค้าอย่างต่อเนื่องเพื่อรักษายอดขายและขยายโอกาสใหม่ๆ ในการขายภายในประเทศ และการส่งออก อีกทั้งพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต และให้ความสำคัญกับนโยบายการลดต้นทุนในกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มความสามารถในแข่งขันทางธุรกิจ และยกระดับความสามารถจนเป็นผู้นำในกลุ่มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ทั้งนี้จากข้อมูลยอดขายการผลิตปี พุทธศักราช 2559 ถึง 2560 จะเห็นได้ว่าการเติบโตของธุรกิจชิ้นส่วนยานยนต์ของบริษัทกรณีศึกษา มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ยอดผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษา

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันวัสดุประเภทเหล็กกล้าคาร์บอน อาทิเช่น เหล็กเกรด SAPH370 ได้ถูกนำมาใช้ผลิตเป็นชิ้นส่วนสำคัญมากมายในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ โดยเฉพาะชิ้นส่วนสำหรับรถยนต์โดยการขึ้นรูปในแบบต่างๆ ซึ่งการกลึงก็เป็นกระบวนการขึ้นรูปหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

กระบวนการกลึงนั้น เป็นกระบวนการตัดแบบต่อเนื่อง (Continuous cut) โดยมีตัดจะเคลื่อนที่ขนานไปกับแกนหมุนและตัดผิววัสดุดังกล่าวออกเพื่อให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการ ปัจจัยสำคัญสำหรับกระบวนการกลึง ได้แก่ ความเร็วตัด (Cutting speed) อัตราการป้อนตัด (Feed rate) ความลึกในการตัด (Depth of cut) มีดตัด (Cutting tool) และชิ้นงาน (Workpiece) โดยผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังผ่านกระบวนการกลึง คือ ขนาดของชิ้นงาน (Workpiece dimension) ความขรุขระของ

ผิวขรุขระ (Surface roughness) เศษกลิ้ง (chip) และการสึกหรอของมีดกลิ้ง (Tool wear) โดยเฉพาะการสึกหรอของมีดตัดก็ยังคงเป็นปัญหาหลักสำหรับงานกลิ้ง เพราะไม่เพียงส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวของชิ้นงาน แต่ยังทำให้ขนาดและรูปร่างของงานไม่ได้ตามค่าที่ต้องการ อีกทั้งส่งผลให้อัตราการผลิตต่ำลง เนื่องจากการหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการเปลี่ยนมีดตัดใหม่

เกณฑ์ที่ใช้กำหนดอายุการใช้งานของมีดตัด ส่วนใหญ่จะยึดเอาชิ้นงานเป็นหลัก เนื่องจากการขึ้นรูปโดยการตัดเพื่อให้ได้รูปแบบชิ้นงานตามที่ต้องการนั้น จะต้องคำนึงถึงปัจจัย และผลที่จะเกิดขึ้นกับงาน ซึ่งผลที่เกิดขึ้นหลังการตัดอย่างหนึ่งคือ คุณภาพผิวงาน โดยปกติของการผลิตทั่วไปมักจะต้องการงานที่มีคุณภาพผิวที่ดี แต่หากใช้มีดตัดที่หมดสภาพ หรือมีดตัดที่ได้รับความเสียหายแล้วนั้น จะส่งผลให้ขนาดของชิ้นงานที่ผลิตออกมามีขนาดไม่ถูกต้อง หรือไม่เป็นไปตามที่ต้องการ เช่น ถ้าปลายมีดตัดเกิดการสึกหรอ (Nose wear) มีดตัดก็จะทุ่ย ปลายมีดตัดก็มีขนาดสั้นลง ทำให้ชิ้นงานโตขึ้น ขนาดชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ชิ้นงานไม่ได้ขนาดที่กำหนดตามแบบ อีกทั้งทำให้ความขรุขระของพื้นผิวของชิ้นงานค่าสูง หรือหยابเกินค่าพิถีความเรียบผิวในแบบงานที่กำหนด ซึ่งค่าความขรุขระของพื้นผิวนั้นมีผลโดยตรงต่อการเสียดทานเมื่อต้องประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน หรือมีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่สัมผัสกัน จึงมีความจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนมีดตัดอันใหม่ เพื่อรักษาคุณภาพของชิ้นงานให้ดีเหมือนเดิม

ความขรุขระของผิวของชิ้นงาน (Surface Roughness) เป็นตัวชี้วัดคุณภาพผิวงานที่จะทำการตัด ซึ่งสามารถกำหนดได้ว่าต้องการให้ผิวงานที่ได้ มีลักษณะอย่างไร จึงจะเหมาะสมกับการใช้งาน ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเรียบของผิวงาน ซึ่งเป็นปัจจัยจากเงื่อนไขการตัด ได้แก่ อัตราการป้อนตัด รัศมีงูมมีด ความเร็วตัด และความลึกในการตัด มีผลต่อความขรุขระของผิวชิ้นงาน ซึ่งจากจากทฤษฎีความขรุขระผิวชิ้นงาน[9] มีการใช้ค่าของอัตราการป้อนตัด และค่ารัศมีงูมมีด ในการคำนวณ ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งสองมีความสอดคล้องกับความขรุขระผิวชิ้นงานโดยตรงจากทฤษฎีถ้าใช้ค่าอัตราการป้อนตัดที่ลดลง ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวชิ้นงานมีค่าต่ำลง ในขณะที่รัศมีงูมมีดที่มากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวชิ้นงานลดลงด้วย นอกจากนี้ค่าความขรุขระผิวชิ้นงานที่ดี เกิดขึ้นจากความลึกตัดที่ใช้ในการตัดน้อย และพบว่าความเร็วตัดส่งผลต่ออุณหภูมิในขณะตัด ซึ่งทำให้ชิ้นงานเกิดความอ่อนนุ่มและตัดได้ง่ายขึ้น ดังนั้นคุณภาพของผิวชิ้นงานก็จะดีตามไปด้วย ในทางกลับกันหากใช้ความเร็วตัดมากเกินไป ก็จะส่งผลให้มีดตัดสึกหรอเร็วขึ้น ความสึกหรอของมีดตัดมีขนาดใหญ่ขึ้น อาจส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวชิ้นงานสูงตาม[23]

การสึกหรอของเครื่องมือตัด (Tool Wear) คือ การใช้งานจนหมดสภาพระหว่างทำการตัด เฉือนที่ส่วนของมีดตัดถูกกระทำด้วยพลังงานความร้อน และพลังงานกล โดยทั่วไปแล้วการสึกหรอบนคมตัดของมีดสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของตำแหน่ง ที่เกิดการสึกหรอ คือ การสึกหรอบนผิวหลบ (Flank wear) การสึกหรอบนผิวคาย (Crater wear) และการสึกหรอที่ปลายมีด (Nose wear)[9] ซึ่งการสึกหรอของเครื่องมือตัด (Tool wear) เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ และนำไปสู่การเสียหายของเครื่องมือตัด เนื่องจากความต้องการที่จะเพิ่มการผลิตให้มากขึ้นด้วยเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตสูง จึงจำเป็นต้องใช้ความเร็วตัดและอัตราการป้อนตัดสูงตาม ทำให้เกิดอุณหภูมิในการตัดสูง ส่งผลให้มีดตัดเกิดการสึกหรอ การสึกหรอของคมตัดจะมีผลต่อการสูญเสียรูปร่างของมีดตัด และการลดลงของประสิทธิภาพการตัด ไม่เพียงจะทำให้อายุการใช้งานของเครื่องมือสั้นลง แต่ยังส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงอีกด้วย [3] อย่างไรก็ตามการสึกหรอ และอายุการของมีดตัด นอกจากการเงื่อนไขการตัดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกมาใช้ทำมีดตัดด้วย ซึ่งควรมีคุณสมบัติสำคัญทั้ง 3 ประการ คือ 1.ความสามารถของวัสดุที่จะรับพลังงานโดยไม่เกิดการพังหรือแตกหัก (Toughness) 2. ความสามารถของวัสดุที่จะยังคงความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง (Hot hardness) และ 3.เป็นความสามารถของวัสดุในการต้านทานการสึกหรอ (Wear resistance) [9] แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการสึกของมีดตัดก็ยังคงเป็นปัญหาหลัก ที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ดังนั้นการใช้สารหล่อเย็น (Cutting fluid) จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้เพื่อช่วยให้ประสิทธิภาพการตัดของกระบวนการดังกล่าวดีขึ้น อายุการใช้งานของมีดตัดที่ยาวนานขึ้น และได้คุณภาพของผิวชิ้นงาน และขนาดของชิ้นงานตามที่ต้องการ

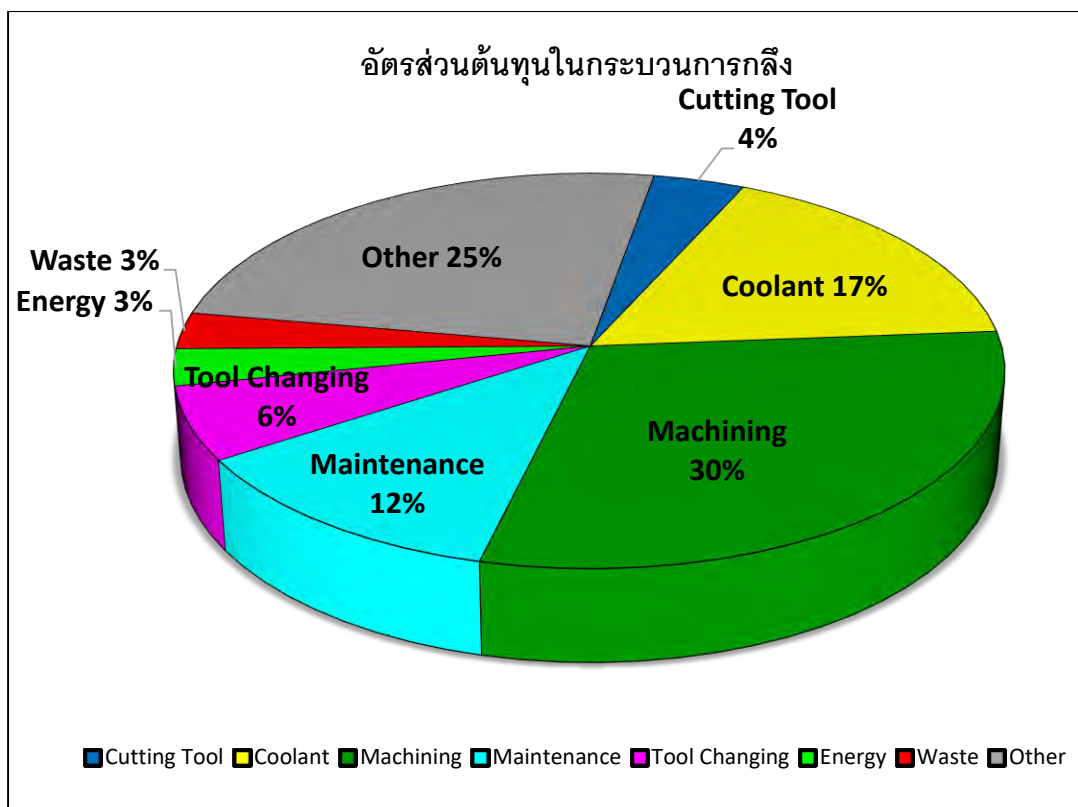
การใช้สารหล่อเย็น (Cutting fluid) เป็นวิธีหนึ่งซึ่งช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของการตัด โดยมีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ 1.ลดความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณที่เกิดการเฉือน (Shear zone) และบริเวณที่เกิดความเสียดทาน (Friction zone) และ 2.ลดความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างมีดตัดกับเศษตัด และมีดตัดกับชิ้นงาน นอกจากนี้ยังมีประโยชน์อื่นๆ เช่น ช่วยชะล้างเศษตัดออกจากชิ้นงาน ช่วยลดอุณหภูมิของชิ้นงาน ทำให้ง่ายในการหยิบจับ ลดแรงและกำลังในการตัด ช่วยปรับปรุงขนาดและผิวสำเร็จของชิ้นงาน แม้ว่าการใช้สารหล่อเย็นจะส่งผลในด้านดีกับการตัดชิ้นงาน แต่การผลิตในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ต้องคำนึงถึงต้นทุนและตระหนักถึงปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่เลี่ยงไม่ได้

ในบางครั้งการเลือกใช้สารหล่อเย็น (Cutting fluids) อาจไม่ใช่สิ่งที่ดีและเหมาะสมเสมอไป ซึ่งนอกจากข้อดีที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังมีผลกระทบอื่นๆในแง่ลบตามมาอีกด้วย [8] การใช้สารหล่อ

เย็นนำไปสู่ปัญหาหลัก 2 ประการ คือ ปัญหาด้านสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นความเสี่ยงอย่างหนึ่งจากการปฏิบัติงาน ที่ต้องสัมผัสกับอนุภาคจากสารหล่อเย็นที่กระจายอยู่ในอากาศภายในอาคารของโรงงาน และด้านปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรดินและทรัพยากรน้ำ อีกทั้งยังทำให้เกิดความสูญเสียต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นการจัดการปัญหา และกำจัดสารหล่อเย็นจะต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบอย่างเข้มงวด เพื่อการปกป้องสิ่งแวดล้อมไม่ให้ถูกทำลาย แม้ว่าในแต่ละโรงงานจะมีการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากสารหล่อเย็นอย่างเข้มงวดแล้วก็ตาม แต่ก็เชื่อว่าจะทำให้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมนั้นหายไปเสียทีเดียว เพียงแค่ช่วยบรรเทาปัญหานั้นให้ลดลง

อย่างไรก็ตามการสำหรับผู้ปฏิบัติงานแล้วนั้น เป็นสิ่งที่เสี่ยงไม่ได้ เนื่องจากซึ่งเป็นผู้ที่สัมผัสกับสารหล่อเย็นโดยตรง ซึ่งอาจจะได้รับผลกระทบต่อนิวเคลียสด้านสุขภาพ เนื่องจากสารหล่อเย็น ที่ใช้งานเป็นระยะเวลาานาน จะเกิดการเน่าเสีย ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้สัมผัส ด้านสุขภาพอนามัย อาทิ โรคผิวหนัง สามารถทำให้เกิดผื่นผิวหนังอักเสบทั้งแบบผื่นแพ้ และมีผลต่อทางเดินหายใจเมื่อสูดดมไอระเหยหรือละอองของน้ำหล่อเย็นเข้าไป อาจทำให้เกิดอาการระคายเคืองทางเดินหายใจ โรคหอบหืด หลอดลมอักเสบและปัญหาทางเดินหายใจอื่น ๆ และมีโอกาสเป็นไปได้ว่าการสัมผัสสารน้ำยาหล่อเย็นที่ปนเปื้อนหรือสกปรกในระยะยาวอาจนำไปสู่โรคมะเร็งได้

สำหรับบริษัทแล้ว ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการตัดโดยใช้สารหล่อเย็นเป็นค่าใช้จ่ายในการผลิตเครื่องจักรจำนวนมาก นักวิจัยจำนวนมาก [4,5] โดยระบุว่าค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการตัดโดยใช้สารหล่อเย็นมักจะสูงกว่าค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือตัด อีกทั้งโรงงานกรณีศึกษามีเครื่องจักรเกี่ยวกับงานกลึงกว่า 60% ของเครื่องจักรทั้งหมด นั้นหมายถึงต้นทุนการผลิตหลักของผลิตภัณฑ์เกิดจากกระบวนการกลึงมากที่สุด จากต้นทุนรวมในการผลิตของกระบวนการกลึงดังแสดงในแผนภูมิวงกลมรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ต้นทุนรวมในการผลิตของกระบวนการกลึง

จากความต้องการผลิตผลที่สูงขึ้น การผลิตให้ได้ปริมาณชิ้นส่วนที่มากขึ้นตามความต้องการจึงถูกกดดัน และแข่งขันด้วยเวลาและต้นทุน การผลิตชิ้นส่วนเหล็กด้วยกระบวนการการตัดด้วยความเร็วสูง ทำให้อุณหภูมิในบริเวณการตัดสูง อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการเสียหายของเครื่องมือตัดก่อนครบอายุการใช้งาน[1] นอกจากนี้ยังลดความสมบูรณ์ของพื้นผิวของผลิตภัณฑ์โดยการเหนียวทำให้เกิดความเค้นตกค้าง และรอยแตกขนาดเล็กของพื้นผิว นอกจากนี้ยังเกิดการออกซิเดชันและการกัดกร่อนอย่างรวดเร็ว [2] ในการตัดเฉือนด้วยความเร็วสูงนั้น การใช้งานสารหล่อเย็น ไม่สามารถแทรกเข้าไประหว่างชิ้นส่วนกับมีดตัด จึงไม่สามารถหล่อลื่นการตัด และขจัดความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4]

การใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด (Minimum Quantity Lubrication : MQL) ได้รับการวิจัยและถูกแนะนำตั้งแต่ทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการทำลายสิ่งแวดล้อม และอันตรายจากการปฏิบัติงาน [1] การใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด สามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้สารหล่อเย็นในการหล่อลื่น และลดเวลาในการทำความสะดวกขึ้นงาน นอกเหนือจากนี้ ยังช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องมือตัดให้ดีขึ้น ช่วยลดการสึกหรอของ

เครื่องมือตัด ทำให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความขรุขระของผิวลดลง ทำให้ผิวของชิ้นงานมีคุณภาพดีขึ้นกว่าการหล่อเย็นแบบเปียก

การนำเทคนิคการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด (MQL) มาทดแทนการใช้สารหล่อเย็นแบบเดิมนั้น ได้มีนักวิจัยหลายท่านสนใจและทำการวิจัยนี้อย่างแพร่หลาย ซึ่งผลวิจัยส่วนหนึ่งได้ถูกหยิบยกผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด สรุปได้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สรุปข้อมูลงานวิจัยในอดีต

ผู้วิจัย	กระบวนการ /วัสดุชิ้นงาน	เงื่อนไขการตัด		การหล่อเย็น	สรุปผล
Dhar et al. 2006	การกลึง / AISI-1040 steel	อัตราการป้อนตัด (มิลลิเมตร/รอบ)	0.1, 0.13, 0.16, 0.2	สเปรย์ (MQL),แห้ง,เปียก	สมรรถนะของการตัดด้วยการหล่อเย็นวิธี MQL MQL ดีกว่าวิธีแบบแห้งและแบบเปียก การหล่อเย็นวิธี MQL ให้ประโยชน์ส่วนใหญ่เกี่ยวกับการลดอุณหภูมิการตัดอุณหภูมิ ซึ่งช่วยปรับปรุงการการเสียดสีของมีดตัดและเศษ รักษาความคมของขอบตัด อีกทั้งยังช่วยลดความแปรปรวนของขนาดชิ้นงาน ทำให้ได้ค่าที่เสถียร เนื่องจากช่วยลดการสึกหรอ และความเสียหายที่ปลายมีดตัดข้าง นอกจากนี้จะช่วยเพิ่มความสามารถในการตัดแล้ว ยังช่วยสร้างสภาพแวดล้อมการทำงานที่ดีอีกด้วย
		ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	64, 80, 110, 130		
		ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)	1		
		รัศมีจุมุมมีดตัด (มิลลิเมตร)	0.8		

ตารางที่ 1.1 สรุปข้อมูลผลงานวิจัยในอดีต (ต่อ)

ผู้วิจัย	กระบวนการ /วัสดุชิ้นงาน	เงื่อนไขการตัด		การหล่อ เย็น	สรุปผล
Dhar et al.2006	การกลึง/ AISI-4340 steel	อัตราการป้อน ตัด (มิลลิเมตร/ รอบ)	0.16	สเปรย์ (MQL), แห้ง, เปียก	สมรรถนะของการตัดโดยใช้ การหล่อเย็นด้วยวิธี MQL ดีกว่า วิธีแบบแห้งและแบบเปียก เพราะวิธี MQL สามารถลด อุณหภูมิขณะตัดได้ดีกว่า ซึ่งจะ ทำให้คมตัดของมีดที่เสียดสีกับ เศษกลึงหรือได้ข้างลง ช่วยลด การสึกหรอของมีดตัด และช่วย เพิ่มอายุการใช้งานของมีดตัด อีกทั้งการหล่อเย็นด้วยวิธี MQL ทำให้คุณภาพของชิ้นงานกลึงผิว สำเร็จดีขึ้น เนื่องจากการสึก หรอของมีดตัดลดลง และอัตรา การสึกหรอของมีดตัดที่ลดลง นอกจากนี้ยังทำให้ผลผลิตของ การกลึงเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจาก สามารถตัดชิ้นงานด้วยอัตราการ ป้อนตัดที่เพิ่มขึ้น และความเร็ว ตัดที่มากขึ้น
		ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	110		
		ความลึกในการ ตัด (มิลลิเมตร)	1.5		
		รัศมีจุมุมมีดตัด (มิลลิเมตร)	0.8		

ตารางที่ 1. 2 สรุปข้อผลงานวิจัยในอดีต (ต่อ)

ผู้วิจัย	กระบวนการ /วัสดุชิ้นงาน	เงื่อนไขการตัด		การหล่อ เย็น	สรุปผล
Dhar et al. (2007)	การกลึง/ AISI-1040 steel	อัตราการป้อน ตัด (มิลลิเมตร/ รอบ)	0.1, 0.13, 0.16, 0.2	สเปรย์ (MQL), แห้ง, เปียก	สมรรถนะของการตัดโดยใช้การ หล่อเย็นด้วยวิธี MQL ดีกว่าการ ตัดแบบแห้ง เนื่องจากวิธีMQL ช่วยลดอุณหภูมิการขณะตัด ซึ่ง ช่วยในปรับปรุงการการเสียดสี ของมีดตัดและเศษ ซึ่งสามารถ ลดแรงตัดลง และค่าการสึกหรอ ของมีดตัดน้อยกว่าการตัดแบบ แห้ง และการตัดแบบเปียก นอกจากนี้วิธีMQL ให้ค่าความ ขรุขระผิวที่ต่ำกว่าทั้งสองวิธี และช่วยลดการเบี่ยงเบนของ ขนาดชิ้นงาน ทำให้ขนาดชิ้นงาน ที่ได้มีความเสถียรมากมากขึ้น
		ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	72, 94, 139, 164		
		ความลึกในการ ตัด (มิลลิเมตร)	1.5		
		รัศมีจุมุมมีดตัด (มิลลิเมตร)	0.8		
S. Tangitsitcharoen (2009)	การกลึง/ S45C steel	อัตราการป้อน ตัด (มิลลิเมตร/ รอบ)	0.15 , 0.18	สเปรย์ (MQL), แห้ง, เปียก	การประยุกต์ใช้ปริมาณสารหล่อ เย็นน้อยที่สุด(MQL) ในสภาวะ การตัดแบบต่างๆ โดยใช้ไดนาโม มิเตอร์เพื่อตรวจวัดแรงตัด ภายในกระบวนการตัด โดย พบว่าความเรียบผิวที่มีค่าน้อย แสดงว่าชิ้นงานตัดเนียนได้ง่าย ทำให้เกิดแรงตัดต่ำ และการ สึกหรอของมีดตัดสามารถ พิจารณาได้จากแรงตัดที่เกิดขึ้น ได้ เพราะถ้าหากมีดตัดมีการสึก หรอที่สูงก็จะส่งผลให้แรงตัดสูง ตามไป
		ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	150, 250, 350		
		ความลึกในการ ตัด (มิลลิเมตร)	0.5,1. 0		
		รัศมีจุมุมมีดตัด (มิลลิเมตร)	0.4		

ตารางที่ 1.3 สรุปข้อมูลงานวิจัยในอดีต (ต่อ)

ผู้วิจัย	กระบวนการ /วัสดุชิ้นงาน	เงื่อนไขการตัด		การหล่อ เย็น	สรุปผล
S. Tangjitsitcharoen (2009)	การกัด/ S50C steel	อัตราการบิ่น ตัด (มิลลิเมตร/ ฟิ้น)	0.01, 0.03	สเปรย์ (MQL), แห้ง, เปียก	การศึกษาการตัดแบบ แห้ง การตัดแบบเปียก และการ ตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น (MQL) โดยใช้หัวตัดแบบหัวบอล ใช้ค่าเกณฑ์ความขรุขระผิวของ ชิ้นงาน อายุมีดตัด การใช้สาร หล่อเย็น การกระจายตัวของ อนุภาคสารหล่อเย็น และราคา ใช้จ่ายในการตัด เพื่อหา ความสัมพันธ์ระหว่างการสึก หรือกับความขรุขระผิว , การสึก หรือกับแรงตัด , และแรงตัดกับ ความขรุขระผิว ซึ่งผลที่ได้ เป็นไปในแนวทางเดียวกัน จาก การทดลองพบว่า การตัดแบบ สเปรย์ให้ค่าใช้จ่ายในการตัดที่ ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการตัดแบบ อื่น
		ความเร็วตัด (รอบ/นาที)	8000 , 1000 0, 1200 0		
		ความลึกในการ ตัด (มิลลิเมตร)	0.3 , 0.5		
		รัศมีจุมุมมีดตัด (มิลลิเมตร)	-		

ตารางที่ 1.4 สรุปข้อมูลผลงานวิจัยในอดีต (ต่อ)

ผู้วิจัย	กระบวนการ /วัสดุชิ้นงาน	เงื่อนไขการตัด		การหล่อ เย็น	สรุปผล
Channarong Rungruang (2009)	การกัด/ S50C	อัตราการบ่อน ตัด (มิลลิเมตร/ ฟิ้น)	0.02, 0.04, 0.06	สเปรย์ (MQL), แห้ง, เปียก	จากผลการวิเคราะห์ทาง สถิติ สามารถอธิบายอิทธิพลการ หล่อเย็นที่มีต่อความเรียบผิว ของชิ้นงาน พบว่าการใช้หล่อ เย็นสามารถช่วยให้ความเรียบ ผิวของชิ้นงานในการกัดด้วยมิด กัดหัวบอลมีความเรียบผิวที่ ดีกว่าการกัดแบบแห้ง โดยการ พิจารณาจากค่าความเรียบผิว เฉลี่ยของชิ้นงาน ซึ่งการกัดโดย วิธีสเปรย์สารหล่อเย็น(MQL) ให้ ค่าความเรียบผิวที่ดีกว่าการกัด แบบเปียกและการกัดแบบแห้ง เมื่อพิจารณาจากเงื่อนไขที่มีค่า ระดับความพึงพอใจรวมสูงสุด ของผลตอบในแต่ละเงื่อนไขการ ตัด พบว่าวิธีสเปรย์สารหล่อเย็น (MQL) ให้ค่าความพึงพอใจรวม ของผลตอบมากที่สุดอยู่ที่ระดับ 85.65%
		ความเร็วตัด (รอบ/นาที)	8000 , 1000 0, 1200 0		
		ความลึกในการ ตัด (มิลลิเมตร)	0.3 , 0.5 , 0.7		
		รัศมีจุมุมกัดตัด (มิลลิเมตร)	-		

ตารางที่ 1. 5 สรุปข้อมูลผลงานวิจัยในอดีต (ต่อ)

ผู้วิจัย	กระบวนการ /วัสดุชิ้นงาน	เงื่อนไขการตัด		การหล่อ เย็น	สรุปผล
M.M.A. Khana*, M.A.H. Mithua, N.R. Dharb (2009)	การกลึง/AISI 9310 steel	อัตราการป้อน ตัด (มิลลิเมตร/ รอบ)	0.1, 0.13, 0.16, 0.18	สเปรย์ (MQL), แห้ง, เปียก	สมรรถนะของการตัดโดยใช้การ หล่อเย็นด้วยวิธี MQL สามารถ ลดอุณหภูมิขณะตัดลงได้ 10% เมื่อเทียบกับการตัดแบบเปียก และสามารถกำจัดกาเกิดพอก หน้ามีด BUE ได้ วิธี MQL ทำให้ คุณภาพของชิ้นงานดีขึ้น ความ ขรุขระผิวของชิ้นงานน้อยลง เนื่องจากการสึกหรอของมีดตัด ลดลง อัตราการสึกหรอของมีด ตัดที่ลดลง อีกทั้งการหล่อเย็น ด้วยวิธี MQL ทำให้อายุการใช้ งานของมีดตัดเพิ่มขึ้น
		ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	223, 246, 348, 483		
		ความลึกในการ ตัด (มิลลิเมตร)	1		
		รัศมีจุมุมมีดตัด (มิลลิเมตร)	0.8		
Keerati Karunasawat (2011)	การกัด/Al 6063	อัตราการป้อน ตัด (มิลลิเมตร/ ฟัน)	0.02, 0.03, 0.04	ใช้ลมเป่า	การตัดที่สภาวะเหมาะสม ของการใช้ลมเป่า คือ ความ ความเร็วรอบ 2,600 รอบต่อ นาที, อัตราการป้อนตัด 0.02 มิลลิเมตรต่อรอบ, ความลึกตัด 0.75 มิลลิเมตร, ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางหัวตัด 6 มิลลิเมตร, และความดันลมเป่าที่ 0.3 เมกกะปาสกาล (3บาร์) ค่าความ พึงพอใจรวมของผลตอบอยู่ที่ ระดับ 93.41%
		ความเร็วตัด (รอบ/นาที)	1800 , 2200 , 2600		
		ความลึกในการ ตัด (มิลลิเมตร)	0.5, 0.75 ,1		

ตารางที่ 1.6 สรุปข้อมูลผลงานวิจัยในอดีต (ต่อ)

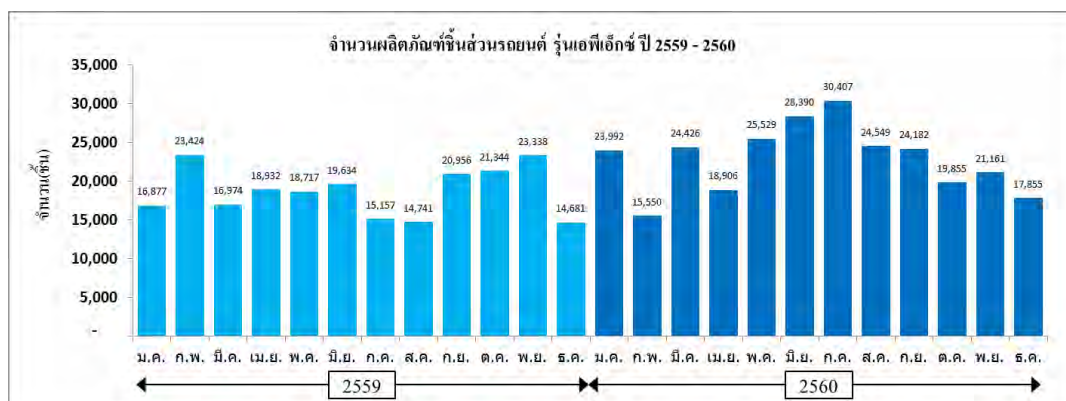
ผู้วิจัย	กระบวนการ /วัสดุชิ้นงาน	เงื่อนไขการตัด		การหล่อ เย็น	สรุปผล
Tadeusz Leppert (2011)	การกลึง/C45 AISI 1045 steel	อัตราการป้อน ตัด (มิลลิเมตร/ รอบ)	0.08, 0.27, 0.47	สเปรย์ (MQL), แห้ง, เปียก	จากผลการทดลองพบว่าการ หล่อเย็นด้วยวิธีMQL แสดงให้ เห็นถึงผลลัพธ์ที่ดีกว่าในแง่ของ ผิวของชิ้นงาน และกำลังตัดที่ใช้ ในการตัดน้อยกว่าการตัดแบบ แห้ง และแบบเปียก อีกทั้งวิธี MQL ทำให้คุณภาพของชิ้นงาน กลึงผิวสำเร็จดีขึ้น เนื่องจาก การสึกหรอของมีดตัดลดลง และ อัตราการสึกหรอของมีดตัดที่ ลดลง จึงส่งผลให้ผิวชิ้นงานที่ได้ ดีกว่าการตัดแบบแห้ง และแบบ เปียก
		ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	76, 190, 237		
		ความลึกในการ ตัด (มิลลิเมตร)	1		
		รัศมีจุมุมมีดตัด (มิลลิเมตร)	0.8		
Lohar and Nanavaty (2013)	การกลึง/ Alloy steel AISI 4340	อัตราการป้อน ตัด (มิลลิเมตร/ รอบ)	0.05, 0.07, 0.1	สเปรย์ (MQL), แห้ง, เปียก	จากผลการทดลองกลึง ชิ้นงาน AISI 4340 พบว่าการ หล่อเย็นด้วยวิธีMQL ทำให้แรง ในการตัดลดลง 40% เมื่อเทียบ กับการตัดแบบแห้ง และแรงตัด ลดลง 26% เมื่อเทียบกับการ หล่อเย็นแบบเปียก นอกจากนี้ การตัดโดยใช้การหล่อเย็นด้วย วิธีMQL ช่วยให้การสึกหรอของ มีดตัดลดลง และช่วยปรับปรุง อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด ให้สามารถใช้งานได้นานกว่าการ ตัดแบบแห้ง และแบบเปียก
		ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	40, 80, 120		
		ความลึกในการ ตัด (มิลลิเมตร)	0.5, 1		
		รัศมีจุมุมมีดตัด (มิลลิเมตร)	0.4		

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจากข้อสรุปส่วนใหญ่จากการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด(MQL) ให้ผลดีต่อประสิทธิภาพของมิตตัดที่ดีขึ้น การสึกหรอที่ช้าลง ช่วยลดความขรุขระผิวลดลง คุณภาพผิวสำเร็จดีขึ้นทำให้มิตมีอายุการใช้งานได้ยาวนานขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้มีส่วนที่คล้ายกับจากงานวิจัยที่ผ่านมา ในส่วนของการใช้สารหล่อเย็นแบบสเปรย์ หรือ ใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด (MQL) มาใช้แทนการหล่อเย็นแบบเปียก โดยมีส่วนของความแตกต่างกับงานวิจัยข้างต้น คือ วัสดุชิ้นงาน ชนิดมิตตัด เงื่อนไขการตัด และปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ในการสเปรย์ ที่มีความต่างกัน

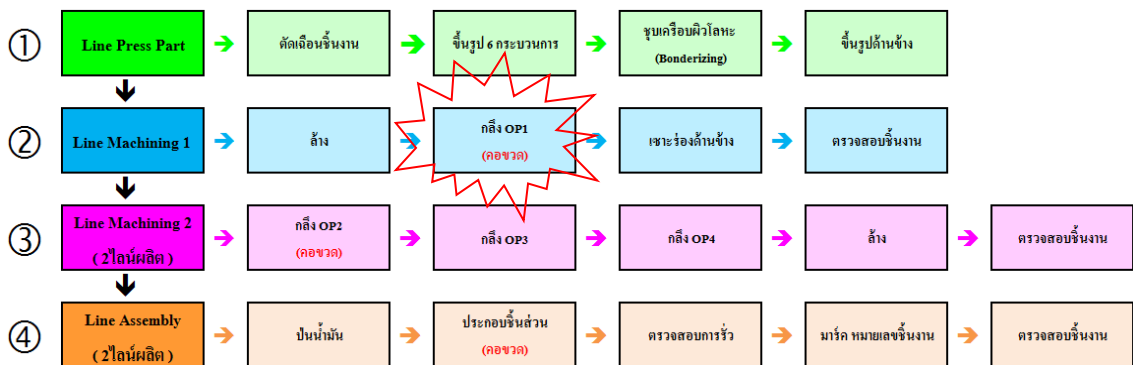
การใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดมีหลายแบบในกระบวนการตัด ซึ่งให้ผลการตัดที่แตกต่างกัน เนื่องจากประสิทธิภาพของการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดจะใช้ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น วัสดุชิ้นงาน ชนิดของมิตตัด ชนิดของสารหล่อเย็น และวิธีการใช้เครื่องจักรที่ใช้ พารามิเตอร์การตัดจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดแบบต่างๆ ที่เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสม โดยคำนึงต้นทุนของมิตตัดและปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้

การใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด จะนำมาประยุกต์ใช้กับชิ้นงานดรัมไฮคลัช เนื่องจากเป็นรุ่นที่มี ยอดสั่งซื้อค่อนข้างสูง ดังรูปที่ 1.4



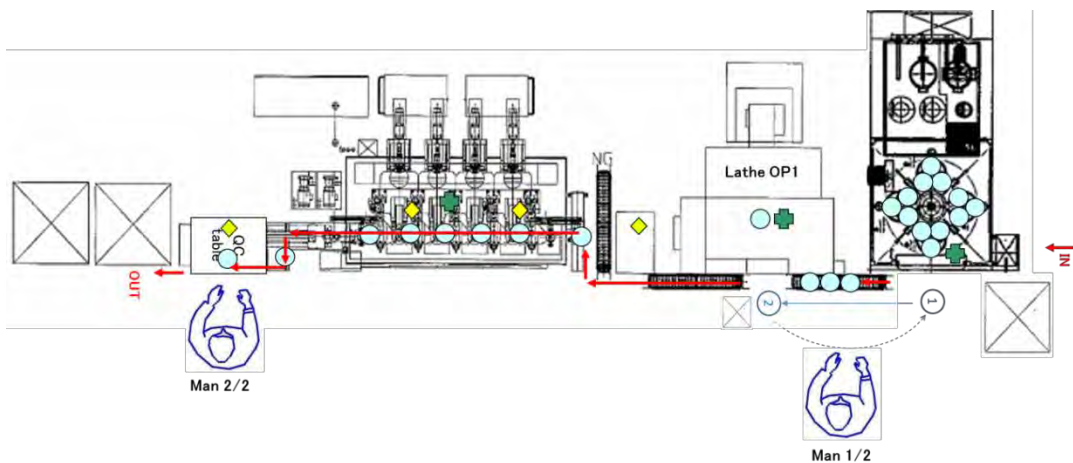
รูปที่ 1.4 ยอดผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ รุ่นเอพีเอ็กซ์

แผนผังการผลิตชิ้นงานดรัมไฮดรอลิก รุ่นเอพีเอ็กซ์



รูปที่ 1.5 แผนผังการกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ รุ่นเอพีเอ็กซ์

กระบวนการที่เลือกทดลองคือ กระบวนการกลึงชิ้นงานดรัมกระบวนการที่หนึ่ง (OP1) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เป็นคอขวด (Bottle Neck) อีกทั้งความสามารถในการผลิตน้อยกว่ากระบวนการอื่น เนื่องจากมีไลน์ผลิตเพียงไลน์เดียว และมีเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว จึงต้องใช้เวลาในการผลิต 2 กะในการผลิตชิ้นงาน เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า อีกทั้งชิ้นงานดรัมไฮดรอลิก เป็นชิ้นงานมีลักษณะคล้ายกับถ้วย และมีผิวเป็นร่อง ทำให้ต้องใช้เวลานานในการทำความสะอาดชิ้นงาน มากกว่าชิ้นงานรุ่นอื่น



รูปที่ 1.6 แผนผังไลน์ผลิต M1



รูปที่ 1.7 เครื่องกลึงโอพีหนึ่งที่ใช้เป็นกรณีศึกษา (ด้านหน้า)



รูปที่ 1.8 เครื่องกลึงโอพีหนึ่งที่ใช้เป็นกรณีศึกษา (ด้านหลัง)

การผลิตในปัจจุบัน ใช้การกลึงด้วยสารหล่อเย็นแบบเปียก โดยมีเงื่อนไขการตัด คือ อัตราป้อนตัด 0.08 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วตัด 300 เมตรต่อนาที รัศมีจุมุมิตตัด 0.8 มิลลิเมตร และค่าความลึกตัด 0.1 มิลลิเมตร โดยมีอายุการใช้งานมีดตัด ที่ 40 ครั้ง ใช้เวลาในการผลิต 30 วินาทีต่อชิ้น อีกทั้งต้องใช้เครื่องเป่าลมทำความสะอาดชิ้นงานหลังจากกระบวนการกลึง เพราะกำจัดน้ำคูลแลนท์ออกจากชิ้นงานให้หมดก่อนส่งไปยังกระบวนการถัดไป

แนวความคิดในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยการนำวิธีการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด (Minimum Quantity of Lubrication :MQL) มาใช้ในกระบวนการกลึงที่หนึ่ง ซึ่งจะเปลี่ยนจากการวิธีหล่อเย็นแบบเปียกโดยใช้น้ำยาหล่อเย็น มาใช้เทคโนโลยีสารหล่อเย็นน้อยที่สุด โดยวิธีการสเปรย์ละอองน้ำมันที่สกัดจากพืช (vegetable oil) แทนการสารหล่อเย็นแบบเปียก

ผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าการนำวิธีการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุดจะช่วยยืดอายุการใช้งานของมีดตัด และปรับปรุงผิวของชิ้นงานให้ดีขึ้น อีกทั้งต้องการยกเลิกขั้นตอนการใช้เครื่องเป่าทำความสะอาดชิ้นงานหลังกระบวนการกลึง และการลดต้นทุนการใช้น้ำยาหล่อเย็น ค่าใช้จ่ายต่างๆ เกี่ยวกับระบบจ่ายน้ำยาหล่อเย็น รวมถึงลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อให้พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้น และมีสุขภาพจิตที่ดีขึ้น อีกทั้งเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

1.2 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทร่วมทุนกับประเทศญี่ปุ่น โดยเป็นผู้ผลิตคลัทช์รายใหญ่ของโลก และเป็นผู้นำในการประดิษฐ์คิดค้นเทคโนโลยีใหม่ๆ ในอุตสาหกรรมคลัทช์โดยได้คิดค้นเทคโนโลยีที่ใช้วัสดุผ้าคลัทช์ UF ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์เฉพาะของบริษัทเพียงผู้เดียว ซึ่งมีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง ทนต่อความร้อนได้ดี และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ในปัจจุบันทำการผลิตจานคลัทช์ (CLUTCH DISC) หวีคลัทช์ (CLUTCH COVER) ทอร์คคอนเวอร์เตอร์ (Torque Converter) คลัทช์แพ็ค (Clutch Pack)

เรามุ่งมั่นที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ Torque Convertors ที่สามารถรักษาความสมดุลของประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงและจุดเด่น คือ ช่วยในการประหยัดน้ำมันและการตอบสนองในการขับขี่ เนื่องจากการเชื่อมต่อเครื่องยนต์กับ ชุดเกียร์ที่ทำได้ในความเร็วต่ำจึงทำให้ การเชื่อมต่อมีประสิทธิภาพถึง 80%และ การตอบสนองของคันเร่งได้ดี เนื่องจากการสั่งการจับตัวที่แยกตัวกับชุด

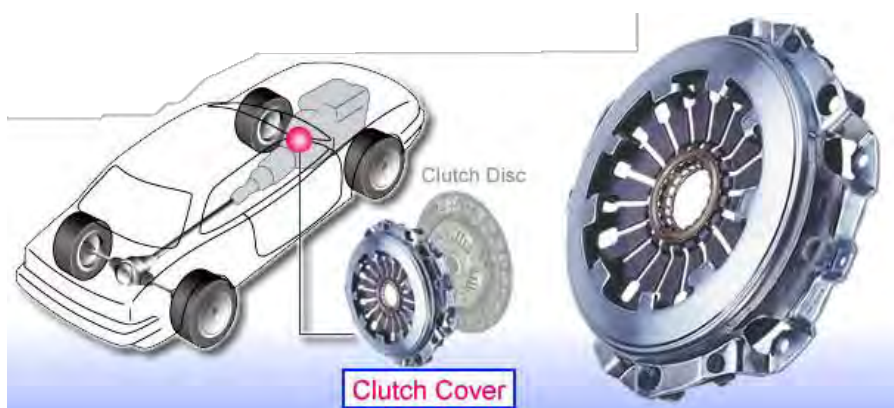
น้ำมันในห้องทอร์คการออกแบบนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทั้งใน Spring และวัสดุ แรงเสียดทาน คลัทช์ที่พบใน Torque Converter

Black Tough Clutch เป็นผลิตภัณฑ์ถูกออกแบบให้เพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมขึ้น โดยประมาณ 30% ทั้งในส่วนของทวีคลัทช์และจานคลัทช์เอง นอกจากนี้ยังได้มีการนำผ้าคลัทช์เกรดพรีเมียม แบบเดียวกับที่ใช้ในคลัทช์สำหรับรถแข่งของญี่ปุ่นทำให้ได้คลัทช์ที่จับแน่นไม่ลื่น จึงสามารถแก้ปัญหาต่างๆสำหรับรถที่ใช้งานอย่างสมบุกสมบันหรือรถที่บรรทุกหนักได้ แน่ใจว่าเมื่อสามารถถ่ายก่า ลังได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว

ก็มีส่วนช่วยให้ประหยัดน้ำมันได้มากยิ่งขึ้นสำหรับสปริงคลัทช์แบบพิเศษที่ออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อรับแรงบิดที่เพิ่มขึ้นมาถึง 30% มีส่วนช่วยในการลดอุณหภูมิให้มียอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น เมื่อเทียบกับ

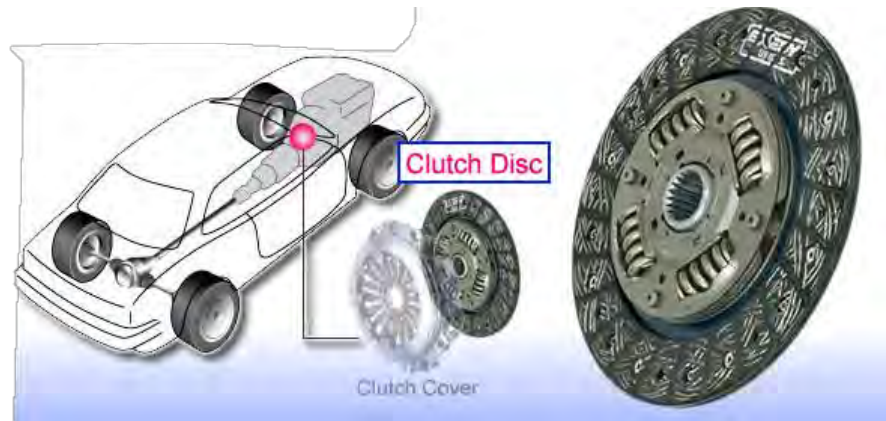
สปริงคลัทช์แบบทั่วไปที่ใช้กันอยู่ในท้องตลาด ที่เน้นแค่ความแข็งแรงเพียงอย่างเดียวโดยภาพรวมแล้วส่งผลให้คลัทช์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น นอกจากนี้จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนคลัทช์บ่อยๆแล้ว ยังช่วยประหยัดเวลาอันมีค่าสำหรับลูกค้า โดยเฉพาะรถกระบะเพื่อการพาณิชย์ที่ต้องการใช้งานอย่างต่อเนื่อง อย่างที่เราทราบกันว่าเวลาเป็นเงินเป็นทอง ซึ่งส่วนนี้ถือเป็นผลบวกทางอ้อมอีกทางหนึ่งจากการเลือกใช้ Black Tough Clutch

Clutch Cover ฝาครอบคลัทช์นี้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานช่วยลดความพยายามในการเหยียบที่เกิดจากการสึกหรอและมีการติดตั้งหลักในรถแท็กซี่และรถเพื่อการพาณิชย์



รูปที่ 1.9 ชิ้นส่วนรถยนต์ Clutch Cover

Clutch Disc ชิ้นส่วนยานยนต์ซึ่งวางอยู่ระหว่างฝาครอบคลัทช์กับล้อเลื่อนจะรับกดขี่โดยตรงในการส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังเกียร์และสามารถลดการสั่นสะเทือนในระบบขับเคลื่อนเนื่องจากวัสดุแรงเสียดทานที่ยืดหยุ่นและกลไกการลดแรงกระแทก



รูปที่ 1.10 ชิ้นส่วนรถยนต์ Clutch Disc

MT Motorcycles โมเดลนี้ใช้เพื่อเปลี่ยนความเร็วของรถและเป็นสิ่งที่พบในรถจักรยานยนต์ส่วนใหญ่ จะช่วยลดปริมาณแรงที่ต้องใช้ในการใช้คลัทช์คันโยกและส่งแรงบิดขนาดใหญ่จากเครื่องยนต์ไปยังเกียร์



รูปที่ 1.11 ชิ้นส่วนรถมอเตอร์ไซด์ MT Motorcycles

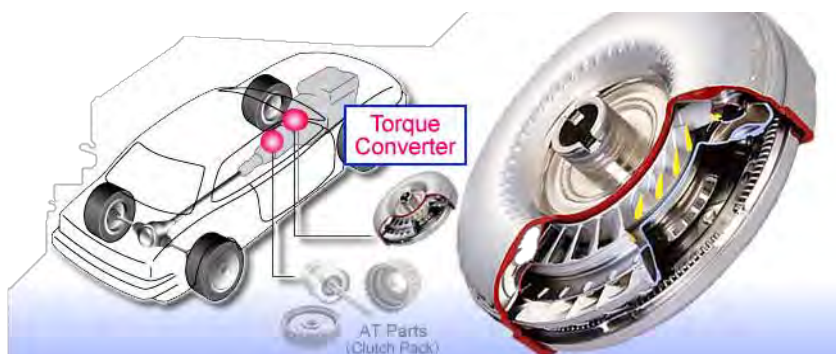
AT Motorcycles ส่วนนี้ซึ่งมักพบในสกูตเตอร์ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้เป็น RPMs ของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น, คลัทช์เป็นอิสระผ่านแรงเหวี่ยง



รูปที่ 1.12 ชิ้นส่วนรถมอเตอร์ไซด์ AT Motorcycles

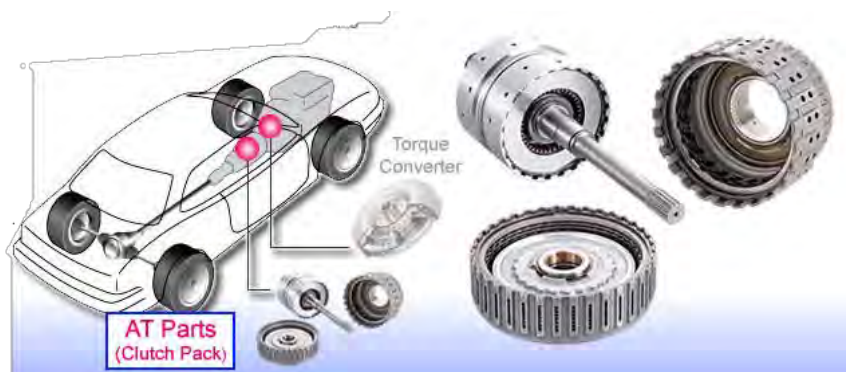
Super Squashed Torque Converter

ตัวแปลงแรงบิดซึ่งมีความบางมากกว่าเครื่องแปลงแรงบิดแบบแบนอื่น ๆ ได้รับการออกแบบให้มีน้ำหนักเบาและประหยัดพื้นที่



รูปที่ 1.13 ชิ้นส่วนรถยนต์ Super Squashed Torque

Clutch Pack ชุดคลัทช์นี้ใช้เพื่อสลับไปมาระหว่างหน้าและหลังและช่วยลดความยาวตามแนวแกนของระบบขับเคลื่อนในยาน CVT ผลิตภัณฑ์นี้เป็นชุดประกอบด้วยแผ่นกระดาศและแผ่นที่ใช้ส่วนใหญ่ในการส่งผ่านตัวแปรอัตโนมัติและต่อเนื่อง



รูปที่ 1.14 ชิ้นส่วนรถยนต์ Clutch Pack Converter

1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานตรัมไฮคลัทช์โดยพิจารณาจากปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้น้อยที่สุด และอายุมีดตัดสูงสุด

1.4 เกณฑ์การเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม

- 1) อายุการใช้งานของมีดตัดจะกำหนดจากความขรุขระผิวของชิ้นงาน (Roughness) ที่ขนาดของความขรุขระผิวต้องไม่เกิน Ra 1.2 ไมโครเมตร
- 2) ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้น้อยที่สุด
- 3) ผลรวมค่าใช้จ่ายต่ำสุด

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) กระบวนการกลึงปอกผิวชิ้นงาน บนเครื่องกลึงซีเอ็นซียี่ห้อ JINN FA รุ่น JCL-6032
- 2) วัสดุชิ้นงานที่ใช้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SAPH370
- 3) มีดกลึง ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น DCMT070208-LP MP3025 (DCMT21.52LP)
- 4) ด้ามมีดกลึง ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FSDQC2016R-07E
- 5) อุปกรณ์ Eco booster ยี่ห้อ FUJI รุ่น Model EB3-S2L-U
- 6) สารหล่อลื่น Bio ยี่ห้อ FUJI BC รุ่น Bluebe -LB-1
- 7) อุปกรณ์วัดขนาดชิ้นงานไมโครมิเตอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo
- 8) เครื่องมือวัดความเรียบ ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-310
- 9) กล้องไมโครสโคป ยี่ห้อ Nikon ใช้วัดความลึกหยาบของมีดตัด
- 10) ปัจจัย และระดับปัจจัยสำหรับการทดลอง ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 เงื่อนไขในการตัด

เงื่อนไขการตัด	การสเปรย์สารหล่อเย็น(MQL)		
	3 มิลลิลิตร/ชั่วโมง	5 มิลลิลิตร/ชั่วโมง	7 มิลลิลิตร/ชั่วโมง
อัตราการป้อนตัด (มิลลิเมตร/รอบ)	0.08 , 0.1 , 0.12	0.08 , 0.1 , 0.12	0.08 , 0.1 , 0.12
ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	280 , 300 , 320	280 , 300 , 320	280 , 300 , 320
ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)	0.10	0.10	0.10
รัศมีจุมุมมีดตัด (มิลลิเมตร)	0.8	0.8	0.8

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนางานกลึง และนำระบบการใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุดไปประยุกต์ในการกลึงชิ้นงานอื่นๆ
- 2) ตัดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดน้ำยาหล่อเย็นที่หมดสภาพ
- 3) ทำให้สภาพแวดล้อมในการทำงานดีขึ้น เนื่องจากไม่มีกลิ่นเหม็นจากน้ำยาหล่อเย็น พื้นที่ทำงานไม่เลอะเทอะ และลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ เช่น การลื่นล้ม เนื่องจากพื้นเปียก
- 4) ยกเลิกการใช้เครื่องเป่าลมทำความสะอาดชิ้นงาน
- 5) ลดเวลาในการเป่าทำความสะอาดน้ำยาหล่อเย็น (Coolant) ออกจากชิ้นงาน
- 6) พนักงานสามารถทำงานได้ง่าย และรวดเร็วขึ้น
- 7) เพื่อเป็นแนวทางนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการกลึงอื่นต่อไป

1.7 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการกลึงชิ้นงานที่เลือกมาทำงานวิจัย
- 2) ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งศึกษาปัจจัยในกระบวนการกลึงที่คาดว่าจะมีผลต่อผิวชิ้นงาน
- 3) ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ตัดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการกลึงชิ้นงาน
- 4) ออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบล็อก-เบห์นเคน
- 5) ทำการทดลองและเก็บข้อมูล
- 6) ตรวจสอบขนาดชิ้นงาน วัดความขรุขระผิวชิ้นงาน ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ และการสึกหรอของมีดตัด
- 7) วิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้น้อยที่สุด อายุมีดตัดสูงสุด และผลรวมค่าใช้จ่ายต่ำสุด
- 8) สรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ
- 9) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

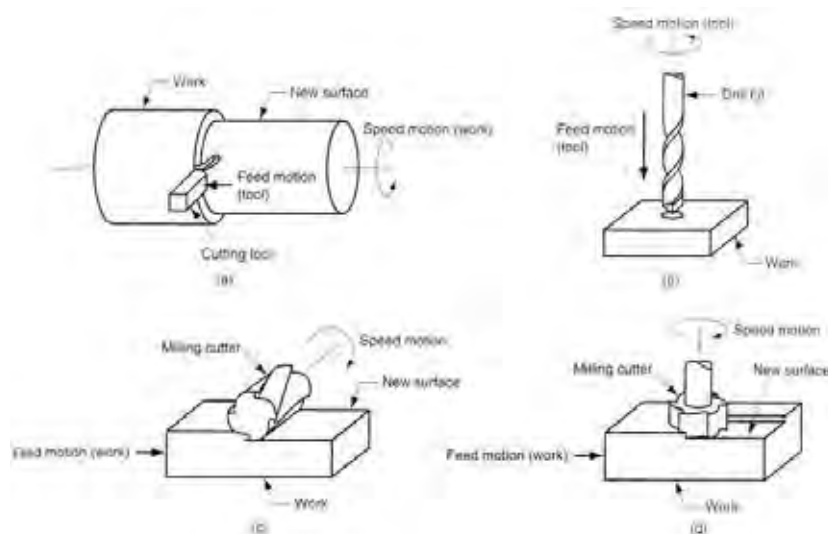
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของกระบวนการตัด[11]

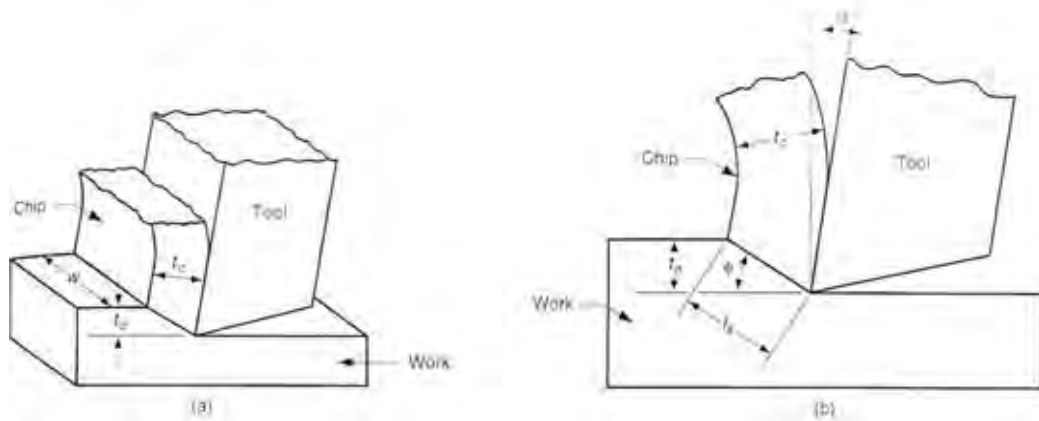
ในงานวิจัยนี้จะใช้คำว่า "กระบวนการตัด" แทนคำว่า "Machining" หมายถึง กระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องมือตัด หรือมีดตัด (Cutting tool) ในการกำจัดเนื้อวัสดุส่วนเกิน ที่ไม่ต้องการออกจากชิ้นงาน และวัสดุส่วนที่เหลือจะมีรูปร่างตามที่ต้องการขั้นตอนหลักในกระบวนการตัดเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปโดยการเฉือน (Shear deformation) ทำให้เกิดเศษตัด (Chip) เมื่อเศษตัดถูกกำจัดออกจากชิ้นงานจะเกิดผิวชิ้นงานใหม่

กระบวนการตัดใช้ในการผลิตชิ้นงานโลหะให้มีรูปร่างต่างๆ และถือเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญมากอย่างหนึ่งกระบวนการตัด ไม่ได้มีเพียงกระบวนการเดียว แต่ประกอบไปด้วยกลุ่มของกระบวนการโดยทั่วไปจะใช้เครื่องมือตัดทำให้เกิดเศษโลหะ ซึ่งมาจากการตัดเฉือนชิ้นงาน โดยมีการเคลื่อนที่อยู่ที่ 2 ประเภท คือ ความเร็วตัด และการป้อนตัด โดยที่เครื่องมือตัดจะเคลื่อนที่ตัดผ่านผิวของชิ้นงาน จากการเคลื่อนที่สัมผัสของความเร็วดัดและการป้อนตัด จะทำให้ได้มาซึ่งรูปลักษณะของชิ้นงานตามที่ต้องการ กระบวนการตัดนั้นมีอยู่หลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทก็จะสามารถที่จะสร้างชิ้นงานเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ ประเภทของกระบวนการตัดได้แก่ การกลึง การเจาะ และการกัดตั้งตัวอย่างในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ประเภทของกระบวนการตัดหลัก

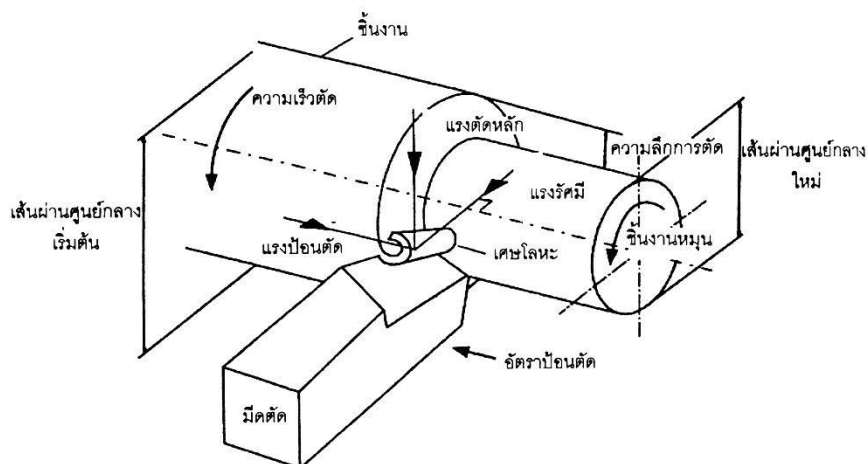
นอกจากนี้กระบวนการตัดสามารถแบ่งตามชนิดของเครื่องมือตัดได้เป็น การตัดที่ใช้เครื่องมือตัดคมตัดเดียว การตัดที่ใช้เครื่องมือตัดหลายคมตัด และการตัดที่ใช้ล้อหินเจียร และกระบวนการตัดยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของกระบวนการ คือ กระบวนการตัดฉาก (Orthogonal Cutting) ซึ่งหมายถึงกระบวนการตัดที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ของเศษวัสดุตั้งฉากกับคมตัด และกระบวนการตัดเฉียง (Oblique Cutting) การเคลื่อนที่ของเศษวัสดุจะทำมุมกับคมตัด [11] ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของกระบวนการตัด (a) Orthogonal Cutting (b) Oblique Cutting

2.1.2 กระบวนการกลึง (Turning Process)

กระบวนการกลึง เป็นกระบวนการตัดแบบต่อเนื่อง (Continuous cut) โดยมีตัดจะเคลื่อนที่ขนานไปกับแกนหมุนและตัดผิววัสดุตั้งกล่าวออกเพื่อให้ได้รูปร่างที่ต้องการ ตัวแปรทางเรขาคณิตที่สำคัญบนมีดมีดตัด คือ รัศมีจมูกมีดตัด (Nose radius) ด้านข้างมุมคาย (Side rank) ด้านหลังมุมคาย (Rank face) และด้านข้างมุมตัด (Side cutting edge angle) เศษโลหะจะไหลออกมาที่หน้ามุมคาย (Rank face) ของมีดตัด ด้านข้างของมุมคายจะเอียงออกจากหน้าของมุมตัด ส่วนด้านข้างของมุมคายจะเอียงจากปลายของมีดตัดที่ตั้งฉากกับผิวหน้าชิ้นงานที่ทำการกลึง [12]



รูปที่ 2.3 เรขาคณิตของกระบวนการกลึง [12]

2.1.3 อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด (Tool Life)

การพังของมีดตัด (Tool failure) เกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ

- 1) การพังเนื่องจากการแตกหัก (Fracture Failure) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงในการตัดมีค่าสูงมากทำให้เกิดจากแตกหักทันที โดยเฉพาะในวัสดุเปราะ
- 2) การพังเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Failure) เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการตัดมีค่าสูงเกินกว่าที่วัสดุที่ใช้ในการทำมีดตัดจะทนได้ ทำให้เกิดการอ่อนตัวลงและเกิดการเปลี่ยนรูปร่างถาวร (Plastic deformation) เป็นผลให้เกิดการสูญเสียคมในการตัด
- 3) การสึกหรอ (Gradual Wear) การสึกหรอที่ละเล็กละน้อยของคมตัดจะมีผลต่อการสูญเสียรูปร่างของมีดตัดและการลดลงของประสิทธิภาพการตัด ที่สภาวะสุดท้ายของมีดตัดจะมีลักษณะคล้ายการพังเนื่องจากอุณหภูมิ

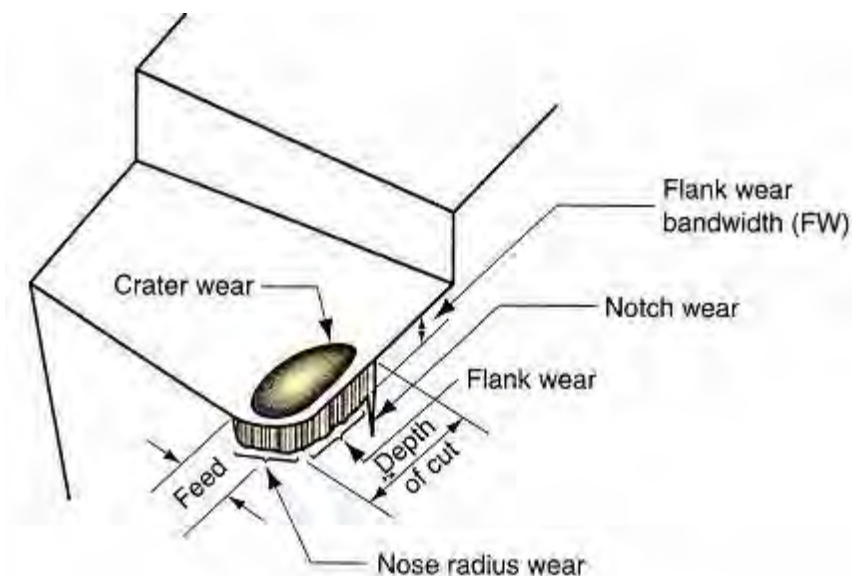
การพังเนื่องจากการแตกหักและอุณหภูมิทำให้เกิดสูญเสียการใช้งานของมีดตัดก่อนเวลาซึ่งเป็นเรื่องที่ไม่พึงปรารถนาในงานตัด แต่การพังเนื่องจากการสึกหรอนั้นสามารถพิจารณาการใช้งานและยืดอายุการใช้งานของมีดตัดได้

คุณภาพของงานตัดเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาเช่นกัน เนื่องจากหากมีดตัดเสื่อมสภาพในระหว่างการตัดจะมีผลต่อผิวสำเร็จของชิ้นงานอันเป็นผลให้ต้องมีการปรับผิวชิ้นงานใหม่ ความเสียหายเหล่านี้สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการเลือกสภาวะการตัดให้มีมีดตัดค่อยๆสึกหรอมากกว่าที่จะเสื่อมสภาพไปเนื่องจากการแตกหักหรือจากอุณหภูมิสูง รวมถึงการเปลี่ยนมีดตัดก่อนที่การสูญเสียคมตัดจะเกิดขึ้น

2.1.4 การสึกหรอของมีดตัด (Tool Wear)

ในการใช้มีดตัดในกระบวนการตัดนั้น แรงในการตัดและอุณหภูมิในการตัดที่สูงจะเป็นสภาพแวดล้อมที่ไม่ส่งผลดีต่อมีดตัด โดยถ้าแรงในการตัดสูงเกินไป มีดตัดจะเกิดการแตกหัก และถ้าอุณหภูมิในระหว่างการตัดสูงเกินไป วัสดุจะอ่อนตัวลงและเกิดการเสียหาย ซึ่งถ้าทั้ง 2 เงื่อนไขดังกล่าวไม่ได้สูงเกินไปและนำมาซึ่งความเสียหายของมีดตัด ก็ยังเกิดการสึกหรออย่างต่อเนื่องของมีดตัดซึ่งนำไปสู่ความเสียหายของมีดตัด ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการนำเทคโนโลยีในด้านของมีดตัดเข้ามาช่วย โดยจะให้ความสำคัญกับประเด็นหลักใน 2 ด้าน คือด้านของวัสดุของมีดตัด (Tool material) และรูปทรงของเครื่องมือตัด (Tool geometry) ซึ่งในด้านวัสดุของมีดตัดนั้นจะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาวัสดุที่สามารถทนทานต่อแรง อุณหภูมิ และการสึกหรอในกระบวนการตัด

การสึกหรอของมีดตัดเกิดขึ้นสองตำแหน่งบนมีดตัด ได้แก่ Top rake face และ Flank ซึ่งการสึกหรอของมีดตัดจะแยกได้เป็น 2 แบบ คือ Crater wear และ Flank wear ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ในที่นี้จะใช้มีดตัดคมเดียวในการอธิบายลักษณะการสึกหรอของมีดตัด และกลไก (Mechanism) ในการเกิดการสึกหรอ



รูปที่ 2.4 แสดงการสึกของมีดตัด ที่เป็นตำแหน่งสำคัญของการเกิดรอยสึก [5]

ส่วนในด้านรูปทรงของเครื่องมือตัดจะพัฒนาเกี่ยวกับการหารูปทรงที่เหมาะสมของมีดตัดสำหรับวัสดุของมีดตัดและสำหรับกระบวนการตัด ทั้งนี้เพื่อให้อายุของมีดตัดยาวนานขึ้นโดยมี 3 สาเหตุหลักๆที่เป็นไปได้ที่ทำให้มีดตัดเกิดความเสียหาย ซึ่งก็คือ

- 1) การเสียหายแบบแตกหัก (Fracture failure)

รูปแบบของการเสียหายแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อแรงในการตัดที่จุดตัดมากเกินไป โดยจะนำมาซึ่งความเสียหายแบบทันทีทันใดเนื่องจากการแตกหัก

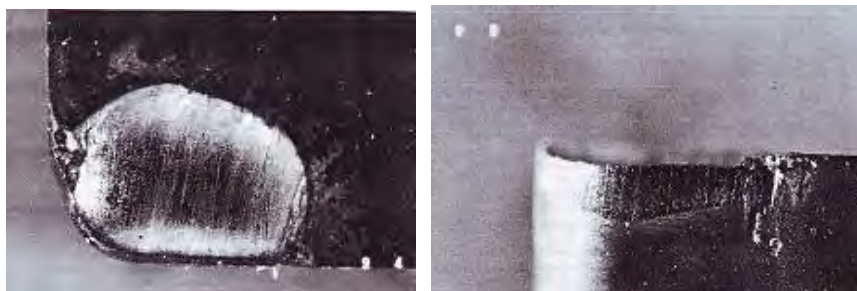
2) การเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature failure)

การเสียหายนี้เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการตัดสูงเกินไปสำหรับวัสดุของมีดตัด ทำให้วัสดุของมีดตัดอ่อนตัวลง ซึ่งจะเกิดการเสียรูปแบบพลาสติกและสูญเสียความคมของคมตัดไป

3) การสึกหรอแบบค่อยเป็นค่อยไป (Gradual wear)

การสึกหรออย่างค่อยเป็นค่อยไปของคมตัดจะทำให้มีดตัดเสียรูปทรงและลดประสิทธิภาพในการตัดลง และสุดท้ายมีดตัดก็จะเสียหายจนไม่สามารถใช้งานได้

การเสียหายแบบแตกหักและการเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิจะส่งผลให้มีดตัดเกิดการเสียหายก่อนกำหนด ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น และจากการเสียหายของมีดตัดทั้ง 3 รูปแบบดังกล่าว การสึกหรออย่างค่อยเป็นค่อยไปจะดีกว่าในอีก 2 แบบที่กล่าวไปข้างต้น เนื่องจากมันมีความเป็นไปได้ที่จะใช้มีดตัดได้ยาวนานกว่าในกรณีที่เกิดการเสียหาย 2 แบบแรก นอกจากนี้ในการพยายามที่จะควบคุมรูปแบบของความเสียหายที่เกิดขึ้น มันมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาคุณภาพของตัวผลิตภัณฑ์ด้วย คือเมื่อมีดตัดเกิดความเสียหายในระหว่างการตัด มันมักจะเกิดความเสียหายต่อผิวชิ้นงานอย่างทันทีทันใด ซึ่งความเสียหายแบบนี้ สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการเลือกเงื่อนไขของการตัดที่ทำให้เกิดการสึกหรอแบบค่อยเป็นค่อยไป และทำได้โดยการเปลี่ยนมีดตัดก่อนที่คมตัดของมีดตัดจะเสียหาย



รูปที่ 2.5 รอยสึกบนผิวคาย (Crater wear) และรอยสึกบนผิวหลบ (Flank wear) [5]

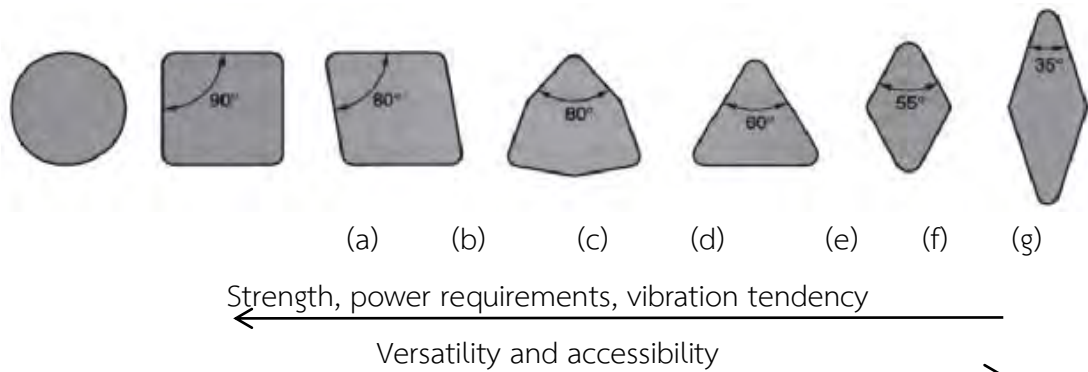
โดยทั่วไปแล้ว การสึกหรอของมีดตัดจะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป (Gradual wear) ซึ่งกลไกต่างๆที่ทำให้เกิดการสึกหรอบริเวณผิวสัมผัสระหว่างมีดตัดกับเศษกึ่งโลหะ และบริเวณผิวสัมผัสระหว่างมีดตัดกับผิวชิ้นงานในระหว่างการ ซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งการสึกหรอในรูปที่ 2.5 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กลไกที่ทำให้เกิดการสึกหรอบนเม็ดตัด

กลไกการสึกหรอ	สาเหตุของการเกิด	ตำแหน่งการสึกหรอ
การเสียดสี (Abrasion)	เมื่อเกิดเศษโลหะขึ้นระหว่างที่โลหะทั้งสองชนิดกำลังขัดสีกันอยู่อนุภาคที่แข็งของชิ้นงานจะทำให้บางส่วนเม็ดตัดค่อยๆหลุดติดออกมา	- บนผิวหลบ - บนผิวคาย
การยึดติด (Adhesive Wear)	โลหะสองอย่างที่ขัดสีกันภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่สูงทำให้โลหะที่อ่อนกว่าส่วนหนึ่งเกิดการหลอมละลายไปติดกับโลหะที่แข็งกว่าซึ่งในที่นี่ก็คือเม็ดตัด ทำให้โลหะที่แข็งกว่าเกิดปฏิกิริยาขึ้น ซึ่งปฏิกิริยานั้นจะหลุดออกไปในระหว่างที่โลหะทั้งสองทำการขัดสีกันต่อ	- บนผิวคาย
การแพร่ (Diffusion)	เกิดการแลกเปลี่ยนอะตอมกันระหว่างผิวหน้าของวัสดุ 2 ชนิด อะตอมของเม็ดตัดจะหายไป ความแข็งแรงลดลงทำให้ง่ายต่อการเกิดการเสียดสีและการยึดติด และจะเกิดได้มากขึ้นเมื่อบริเวณที่เกิดการสัมผัสมีอุณหภูมิสูง และมีความเร็วต่ำ	- บนผิวคาย
ปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction)	ความเร็วตัดสูงและอุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้เครื่องมือตัดอ่อนลงพร้อมกับเกิดการสึกหรอที่ขอบคมตัดขึ้น	- บนผิวคาย
การเสียรูปแบบ พลาสติก (Plastic deformation)	เกิดอุณหภูมิที่สูงบริเวณคมตัด คมตัดจะเริ่มเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ทำให้ง่ายต่อการเกิดการเสียดสี	- บนผิวหลบ

2.1.5 เม็ดมีด (Inserts)

เม็ดมีดของมีดตัดที่ติดอยู่กับด้ามมีด (Tool holder) ซึ่งเม็ดมีดนั้นมีหลายรูปทรง และหลายขนาด โดยรูปทรงของเม็ดมีดที่ถูกใช้ในกระบวนการกลึงแสดงดังรูปที่ 2.6

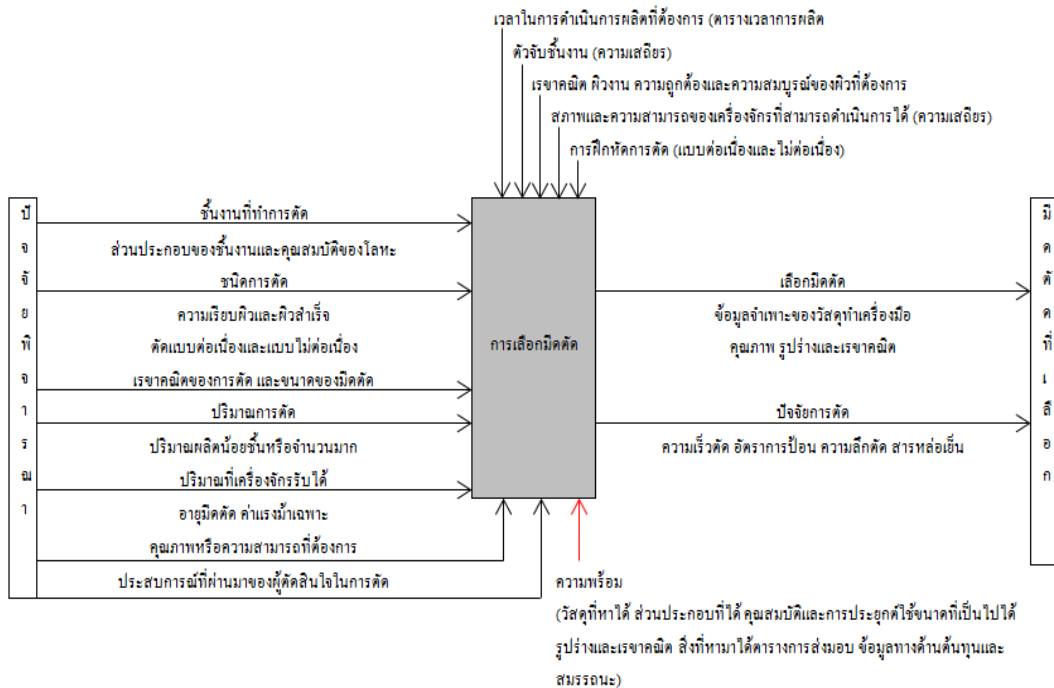


รูปที่ 2.6 รูปทรงของเม็ดมีด (a) กลม, (b) สี่เหลี่ยม, (c) สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน มุม 80° , (d) หกเหลี่ยม, (e) สามเหลี่ยมด้านเท่า, (f) สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน มุม 55° และ (g) สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน มุม 35° [6]

โดยทั่วไปแล้ว มุมของเม็ดมีดที่มีขนาดใหญ่ควรจะถูกเลือกใช้เมื่อต้องการความแข็งแรงและความคุ้มค่า ในขณะที่มุมของเม็ดมีดที่มีขนาดเล็กควรจะถูกเลือกใช้เมื่อต้องการการเข้าถึงชิ้นงานที่ง่าย และจากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าเม็ดมีดที่มีลักษณะกลม ซึ่งมีข้อดีคือ มันสามารถที่จะถูกใช้ได้มากกว่าเม็ดมีดชนิดอื่น ซึ่งเม็ดมีดที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจะมี 4 คมตัด, เม็ดมีดที่มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมจะมี 3 คมตัด ในขณะที่เม็ดมีดที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนจะมีเพียง 2 คมตัด โดยคมตัดยิ่งน้อยจะทำให้เกิดต้นทุนสูงขึ้นเนื่องจากสามารถใช้งานได้น้อยครั้งกว่าเม็ดมีดที่มีหลายคมตัด

2.1.5.1 การเลือกมีดตัด (Tool selection)

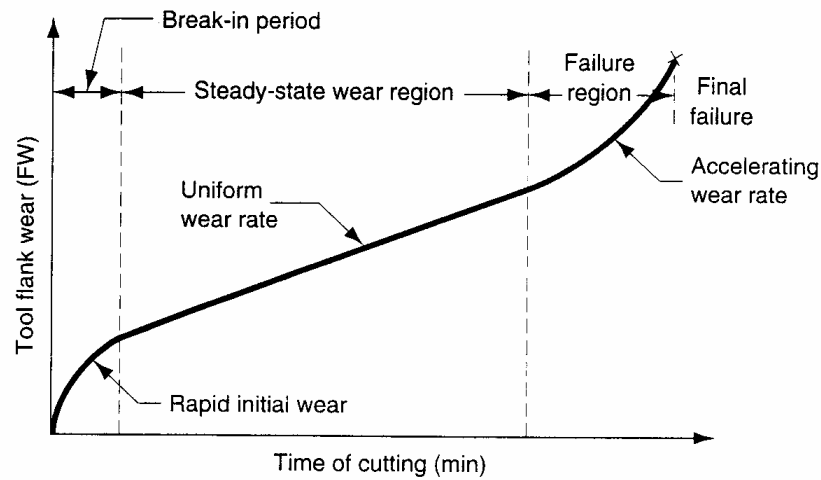
สาเหตุหลักที่ทำให้มีดตัดเกิดความเสียหายนั้น สามารถที่จะใช้ในการกำหนดคุณสมบัติที่สำคัญที่ควรต้องมีในวัสดุที่ใช้ทำมีดตัด ซึ่งก็คือ ความแกร่ง (Toughness) ซึ่งมีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและความเหนียว โดยวัสดุที่ใช้ทำมีดตัดต้องมีค่าความแกร่งที่สูงเพื่อที่วัสดุจะสามารถดูดซับพลังงานโดยที่ไม่แตกหักได้, ความแข็งที่อุณหภูมิสูง (Hot hardness) เป็นความสามารถของวัสดุที่จะยังคงความแข็งที่อุณหภูมิสูง และการต้านทานการสึกหรอ (Wear resistance) โดยวัสดุที่ใช้ในการทำมีดตัดที่ต่างกันจะมีการรวมกันของคุณสมบัติในแต่ละด้านในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งการพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุทำมีดตัดเป็นเพียงส่วนหนึ่งของหลักเกณฑ์การเลือกมีดตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เกณฑ์ในการเลือกมิตตัด

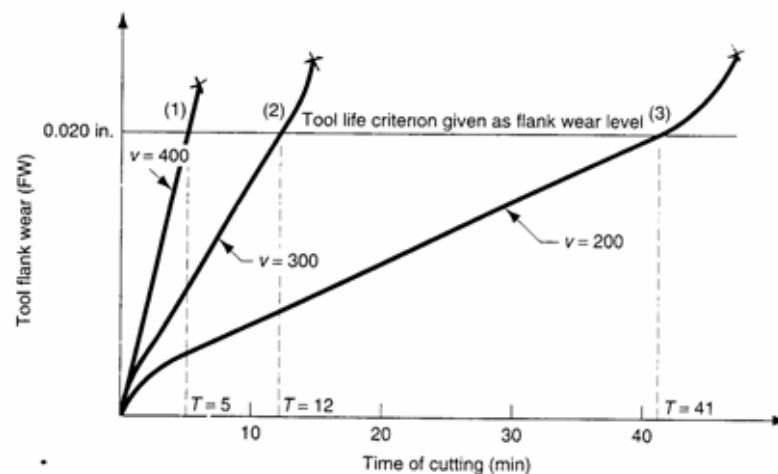
2.1.6 อายุใช้งานของมิตตัดและสมการอายุใช้งานของมิตตัดของเทย์เลอร์ (Tool life and the Taylor tool life equation)

ตามที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ว่ากลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้นล้วนส่งผลต่อระดับการเพิ่มขึ้นของการสึกหรอบนมิตตัด ซึ่งการสึกหรอของมิตตัดนั้นมีความสัมพันธ์กับเวลาในการตัดดังรูปที่ 2.8 และถึงแม้ว่าความสัมพันธ์ที่แสดงดังรูปจะเป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนผิวหลบ แต่ความสัมพันธ์นี้ยังสามารถใช้ได้กับการสึกหรอบนผิวคายด้วย ซึ่งจากรูปจะพบว่าปริมาณการสึกหรอบนผิวหลบของเครื่องมือตัดกับเวลาที่ใช้ในการตัดแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง โดยในส่วนของ การสึกหรอช่วงแรก (Initial wear) คมตัดจะสึกหรออย่างรวดเร็ว และเกิดขึ้นในระยะเวลา 2-3 นาที เนื่องจากการใช้งานมิตตัดที่มีความสมบูรณ์ ในบริเวณส่วนปลายสุดของคมตัดจะมีลักษณะเป็นสันแหลม ซึ่งง่ายต่อการสึกหรอเป็นอย่างมาก เมื่อเกิดการสึกหรอในช่วงนี้ระยะหนึ่ง อัตราการสึกหรอจะลดลง แล้วเข้าสู่ช่วงการสึกหรออัตราคงที่เมื่อเทียบกับเวลาที่ผ่านไป (Steady state wear) ซึ่งเป็นการสึกหรอตามปกติในธรรมชาติ จนถึงเมื่อการสึกหรอเพิ่มขึ้นถึงระยะที่สาม คือ การสึกหรอที่รวดเร็ว (Accelerating wear) เนื่องจากคมตัดเกิดการสึกหรอมาก จนทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นมาก และอุณหภูมิสูงขึ้นมาก จึงเป็นเหตุที่ทำให้เร่งการสึกหรอให้เร็วขึ้น



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอบนผิวหลบกับเวลาที่ใช้ในการตัด

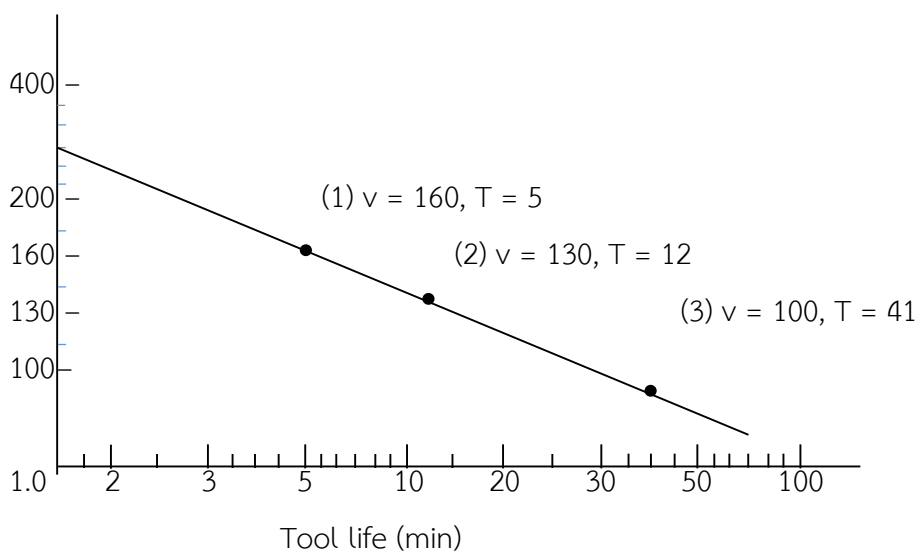
ความชันของเส้นโค้งของการสึกหรอในช่วงที่ 2 จะขึ้นอยู่กับวัสดุของชิ้นงานและเงื่อนไขของการตัด โดยวัสดุของชิ้นงานที่แข็งกว่าจะนำมาซึ่งอัตราการสึกหรอที่สูงกว่าในวัสดุชิ้นงานที่อ่อน และในทำนองเดียวกัน ความเร็วในการตัด, อัตราป้อนตัด และความลึกตัดที่เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้อัตราการสึกหรอที่สูงขึ้นเช่นกัน โดยความเร็วจะส่งผลต่อการสึกหรอมากที่สุด และถ้านำเส้นโค้งของการสึกหรอมาพล็อตระหว่างความเร็วในการตัดเทียบกับเวลาจะได้อัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้นด้วยและทำให้ระดับของการสึกหรอถึงค่า 0.5 มิลลิเมตร หรือ 0.020 นิ้วซึ่งเป็นเกณฑ์การหมดอายุของมีดตัดในการสึกหรอบนผิวหลบเร็วกว่าของความเร็วในการตัดที่ต่ำกว่า



รูปที่ 2.9 ผลกระทบของความเร็วที่เปลี่ยนแปลงในการตัดต่อการสึกหรอบนผิวหลบ โดยให้เกณฑ์การหมดอายุของมีดตัดในการสึกหรอบนผิวหลบเป็น 0.020 นิ้ว

2.1.7 สมการอายุใช้งานของมีดตัดของเทย์เลอร์ (Taylor Tool Life Equation)

จากรูปที่ 2.9 ถ้านำค่าอายุการใช้งานของมีดตัดของเส้นโค้งการสึกหรอทั้ง 3 ค่ามา ทำพล็อตกราฟ natural log-log ของความเร็วในการตัดกับอายุการใช้งานของมีดตัด จะได้ผลของความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 Natural log-log กราฟระหว่างความเร็วในการตัดกับอายุการใช้งานของมีดตัด

ความสัมพันธ์นี้ได้ถูกค้นพบโดย Frederick W. Taylor ในช่วงทศวรรษที่ 1900 โดยแสดงความสัมพันธ์นี้ออกมาในรูปแบบสมการ ซึ่งต่อมาถูกเรียกว่าสมการอายุการใช้งานของเทย์เลอร์ ดังสมการที่ 2.1

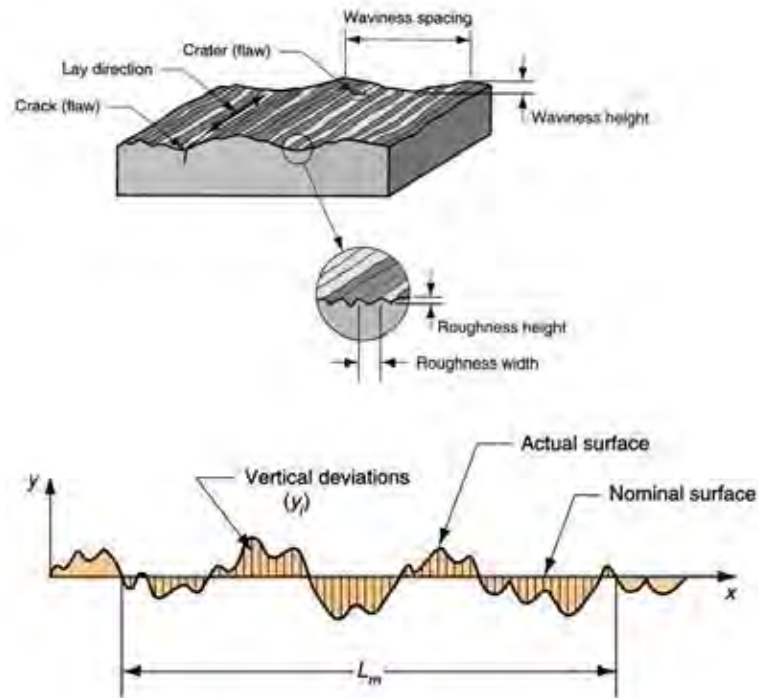
$$v \times T^n = C \quad (2.1)$$

โดยที่ v (Cutting Speed) = ความเร็วในการตัด (เมตร/นาที หรือ ฟุต/นาที)
 T (Tool life) = อายุการใช้งานของมีดตัด (นาที)
 n = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุของมีดตัด
 C = ค่าที่ขึ้นอยู่กับวัสดุของมีดตัด, วัสดุของชิ้นงานและเงื่อนไขของการตัด

2.1.8 ความขรุขระผิวสำเร็จ (Surface Finish)

ผิวสำเร็จไม่เพียงแต่จะมีอิทธิพลต่อความถูกต้องแม่นยำของชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูปเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติและสมรรถนะในด้านการบำรุงรักษาอีกด้วย [14]

ลักษณะของผิวสำเร็จจะแสดงในรูปของคุณสมบัติที่จะกล่าวดังต่อไปนี้ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 รายละเอียดของผิวชิ้นงาน

1. ความเรียบหรือความขรุขระ (Roughness) จะประกอบไปด้วยช่องว่างขนาดเล็ก และละเอียดที่ซิดกันหลายๆช่อง สาเหตุหลักเกิดจากรอยที่เหลื่อไว้จากการตัด ความสูงเฉลี่ย หรือ ความลึกเฉลี่ยบนชิ้นงานซึ่งแสดงถึงความขรุขระผิวถูกวัดจากการกำหนดช่วงความยาว หนึ่งที่เรียกว่า “cutoff length” หรือ “roughness sampling length”
2. รอยคลื่น (Waviness) ประกอบไปด้วยรอยขรุขระบนชิ้นงาน ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า roughness sampling length (ประมาณ 1 ไมโครเมตร) สาเหตุเกิดจากการสั่นหรือมีรอยตำหนิบนชิ้นงานที่เกิดจากรับภาระในการตัดและอุณหภูมิในการตัดมากเกินไป
3. รอยตำหนิยาว (Lay) เป็นรอยตำหนิที่เป็นทิศทางยาว มักจะขึ้น ในทิศทางของ ชิ้นงานมีดตัด รวมทั้ง การเคลื่อนที่ระหว่างชิ้นงานและเครื่องมือ
4. ตำหนิผิวหน้า (Surface Flaw) เป็นรอยตำหนิที่เกิดขึ้น แบบสุ่ม สาเหตุเกิดมาจาก รอยตำหนิที่มีมาแต่แรกแล้ว เช่น รอยร้าว ฟองอากาศ
5. ผิวสำเร็จ (Surface finish) มีความสำคัญต่อการสวมประกอบและการจัดวางของ ชิ้น งาน การสวมประกอบและการจัดวางต่างๆ จะเกิดขึ้น ได้ก็ต่ออาศัยการทาสีหรือทา

ตำหนิเข้าช่วย บางทีก็ใช้เป็นลักษณะกาชหรือของไหลไหลผ่าน บางทีก็ใช้สายตาคุโดยอาศัยความมั่นใจของชิ้นงาน บางทีก็ใช้แสงที่มีคุณสมบัติการสะท้อนได้สูงความเรียบผิวสำเร็จมีผลมาจากพารามิเตอร์ในการตัดหลายอย่างซึ่งรวมถึงรูปทรงของมีดตัด รูปทรงของชิ้นงาน ความแข็งแรงของเครื่องจักร วัสดุชิ้นงาน ปัจจัยในการตัดและวัสดุมีดตัด

2.1.9 สารหล่อเย็น (Cutting Fluid)

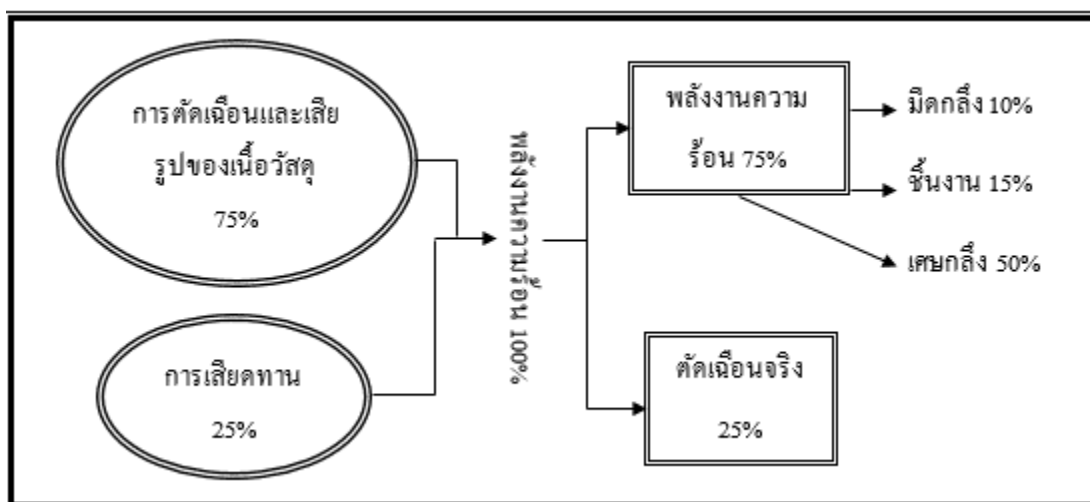
จุดประสงค์ของการตัดคือ การตัดได้ชิ้น งานที่มีขนาดถูกต้องและความเรียบผิวสำเร็จที่ดี สารหล่อเย็นนอกจากจะช่วยในเรื่องดังกล่าวแล้ว ยังช่วยในเรื่องของความประหยัดอีกด้วย เนื่องจากสารหล่อเย็นช่วยในการยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดหรือมีดตัด เมื่ออายุการใช้งานของเครื่องมือตัดยาวนานขึ้น [12,14] ก็ส่งผลให้ต้นทุนของเครื่องมือตัดลดลง สารหล่อเย็นเป็นได้ทั้ง ของเหลวและก๊าซ สารหล่อเย็นจะช่วยขจัดปัญหาหลักๆ 2 ประการคือปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้น ระหว่างการตัดและแรงเสียดทานที่เกิดระหว่างผิวสัมผัสของมีดตัดกับเศษโลหะและมีดตัดกับชิ้น งาน นอกจากสารหล่อเย็นจะช่วยกำจัดความร้อนและแรงเสียดทานแล้ว สารหล่อเย็นยังช่วยขจัดเศษโลหะที่เกิดระหว่างการตัด ช่วยลดอุณหภูมิของชิ้น งานขณะตัด ช่วยลดแรงและกำลังในการตัด ช่วยเพิ่มคุณภาพของชิ้น งานให้มีความเรียบและขนาดได้ตามต้องการ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้สารหล่อเย็นมีดังนี้

1. เพิ่มอายุของมีดตัด เนื่องจากผลของการหล่อลื่นและหล่อเย็น
2. เพิ่มความเรียบผิวของชิ้นงาน
3. กำจัดเศษออกไปได้ง่ายขึ้น
4. ลดการบิดเบี้ยวของชิ้น งานเนื่องจากผลของการหล่อเย็น
5. ลดแรงที่ใช้ในการตัด (cutting forces) และยังลดการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน

เนื่องจากการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก

น้ำมันหล่อเย็นเป็นสารหล่อเย็นที่ช่วยระบายความร้อน และลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดเฉือนโลหะ ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนั้น พบว่า 2 ใน 3 ส่วน มาจากการตัดเฉือนและเสียรูปของเนื้อวัสดุ ส่วนอีก 1 ใน 3 ส่วนมาจากแรงเสียดทาน โดยกำลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน และส่งถ่ายไปยังเศษกลึงประมาณ 50%, มีดกลึงและเครื่องมือตัด 10% และชิ้นงาน 15% ส่วนที่เหลืออีก 25% จะใช้เป็นพลังงานในการตัดเฉือน ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเกิดพลังงานความร้อนและการกระจายพลังงานในกระบวนการตัดเฉือน

2.1.10 ประเภทของน้ำมันหล่อเย็น

น้ำมันหล่อเย็นแบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. น้ำมันล้วน (Straight oil) มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ 100% หรือเกือบ 100% ส่วนใหญ่เลือกใช้ น้ำมันแร่เนื่องจากมีราคาถูก การใช้งานน้ำมันล้วนไม่ต้องเจือจางด้วยน้ำ บางชนิดอาจมีส่วนประกอบของสารเติมแต่ง เช่น สารป้องกันการสึกหรอ, สารรับแรงกดสูง เป็นต้น ข้อดีของน้ำมันล้วนคือ มีคุณสมบัติการหล่อลื่นสูง เหมาะสำหรับงานที่ตัดเฉือนยากและความเร็วรอบต่ำหรืองานที่ต้องการความละเอียดของผิวงานสูง มีอายุการใช้งานยาวนาน เนื่องจากไม่มีองค์ประกอบของน้ำ ส่วนข้อเสียของน้ำมันล้วนคือ ให้คุณสมบัติการลดอุณหภูมิไม่ดี มีกลิ่นฉุน มีควันและละอองมาก สิ่งเหล่านี้จะทำให้สภาพแวดล้อมในการทำงานไม่ได้

2. โซลูเบิลออยล์ (Soluble oil) เป็นน้ำมันที่สามารถละลายน้ำได้ ประกอบด้วย น้ำมันแร่ 60-90%, สารอิมัลซิไฟเออร์ และสารเติมแต่งอื่น ๆ ก่อนการใช้งานจะต้องเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 5-40 โดยมีสารอิมัลซิไฟเออร์จะเป็นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่ประสานให้น้ำมันเข้ากันกับน้ำได้ดี กลายเป็นอิมัลชันน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water emulsion) โซลูเบิลออยล์มีข้อดีคือ เป็นน้ำมันหล่อเย็นที่มีคุณสมบัติหล่อเย็นและหล่อลื่นที่ดีเยี่ยม เหมาะกับงานเบาและหนักปานกลาง ส่วนข้อเสียคือ มีน้ำเป็นตัวทำละลายประกอบกับมีน้ำมันแร่เป็นองค์ประกอบในอัตราส่วนมาก จึงเป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี อายุการใช้งานสั้น นอกจากนี้ยังเป็นปัจจัยให้เกิดสนิมบนผิวงานอีกด้วย

3. น้ำมันสังเคราะห์ (Synthetics) ประกอบด้วยสารเคมีสังเคราะห์ 100% ไม่มีองค์ประกอบของน้ำมันแร่ ก่อนการใช้งานต้องเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 10-40 ข้อดีของน้ำมันสังเคราะห์คือ มีคุณสมบัติการลดอุณหภูมิที่ดี นอกจากนี้ยังป้องกันการกัดกร่อน และดูแลรักษาสภาพได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือ มีคุณสมบัติการหล่อลื่นต่ำ จึงอาจส่งผลให้อุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบมีอายุการใช้งานสั้น สารเติมแต่งในน้ำมันสังเคราะห์แบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ เกลืออนินทรีย์เพื่อป้องกันการกัดกร่อน สารช่วยชะล้างเพื่อทำให้ผิวชิ้นงานเปียก และอินทรีย์สารช่วยให้ละลายน้ำ

4. น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ (Semi-synthetics) เป็นลักษณะผสมระหว่างโซลูเบิลออยล์กับน้ำมันสังเคราะห์ คือน้ำมันเข้มข้นประกอบด้วยน้ำมันแร่เพียง 2-30%, สารอิมัลซิไฟเออร์, สารเคมีสังเคราะห์ และน้ำ ก่อนการใช้งานต้องเจือจางน้ำมันเข้มข้นกับน้ำในอัตราส่วนประมาณ 1 ต่อ 10-40 น้ำมันกึ่งสังเคราะห์มีสีโปร่งแสงจนถึงสีทึบแสง อนุภาคของน้ำมันจะไวต่อความร้อนมากโดยโมเลกุลของน้ำมันจะล้อมรอบผิวโลหะร้อน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการหล่อลื่น ต่อมาเมื่ออุณหภูมิเย็นลง โมเลกุลของน้ำมันจะสามารถกระจายเป็นปกติได้อีกครั้ง น้ำมันกึ่งสังเคราะห์มีข้อดีคือ สามารถใช้กับงานได้ทุกประเภท เหมาะกับงานความเร็วรอบและอัตราการป้อนสูง มีคุณสมบัติการหล่อลื่นและหล่อเย็นที่ดี ความหนืดต่ำ และมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าโซลูเบิลออยล์ เกิดควันและละอองน้อยกว่าน้ำมันล้วน ดังนั้นน้ำมันหล่อเย็นชนิดนี้ จึงมีปริมาณการใช้มากขึ้น

2.1.11 การประยุกต์ใช้สารหล่อเย็น (Methods of Applying Cutting Fluids) [19]

วิธีในการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ถ้าจะกล่าวถึงในแง่ของประโยชน์ของการใช้และการลดประมาณของเสียอย่างเต็มที่ [14] เครื่องจักรส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยเครื่องสูบน้ำ ที่ติดตั้ง บนถังที่บรรจุสารหล่อเย็นทางออกหรือด้านจ่ายของเครื่องสูบน้ำ จะมีหัวฉีดติดตั้ง อยู่ โดยผ่านท่อที่ยืดหยุ่นสามารถปรับได้ หัวฉีดสามารถปรับให้เกิดลาของสารหล่อเย็นเพื่อที่จะฉีดไปบริเวณพื้นที่ตัด

1. การหล่อเย็นแบบเปียก (Flood application) ใช้อัตราการไหลตั้งแต่ 10 ลิตรต่อนาที สำหรับมีดคมตัดเดี่ยว จนถึง 225 ลิตรต่อนาที สำหรับมีดตัดหลายคมตัด

2. การหล่อเย็นแบบสเปรย์สารหล่อเย็น (Mist application) โดยสารหล่อเย็นจะถูกจ่ายโดยหัวฉีดที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะ เพื่อจะทำให้เกิดในรูปของละอองขนาดเล็กที่ละเอียด ประมาณ 5-25 ไมครอนละอองจะถูกฉีดเข้าไปด้วยความเร็วสูงตรงบริเวณพื้นที่ตัด วิธีนี้มีจุดเด่นตรงที่สามารถฉีดไปยังบริเวณที่สารหล่อเย็นเข้าถึงได้ยาก และยังสามารถเห็นชิ้น งานขณะทำการตัดได้ชัดเจนอีกด้วย การหล่อเย็นด้วยวิธีนี้มีข้อได้เปรียบกว่า การ

หล่อเย็นแบบเปียก เพราะช่วงที่เกิดละออง อุณหภูมิของสารหล่อเย็นจะลดลงเนื่องจากการขยายตัว ซึ่งจะทำให้เกิดการดูดซับเอาความร้อนมาได้มากขึ้น เนื่องจากวิธีนี้จะฉีดสารหล่อเย็นเข้าไปโดยตรงด้วยความเร็วสูงจึงทำให้มีผลการหล่อเย็นที่ดีกว่า ในกระบวนการตัดโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้มีดตัดคาร์ไบด์ในการตัด การหล่อเย็นแบบเปียกอาจทำให้มีดตัดเกิดรอยแตกกร้าวได้ ในกรณีนี้การหล่อเย็นแบบละอองจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการยืดอายุของมีดตัด

2.1.12 การออกแบบการทดลอง

เพื่อให้มีความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง และให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูล จึงต้องมีการนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนทดลอง คำว่า “การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment)” หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลอง เพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อมูลสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น [15,16]

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลอง เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ โดยศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันเนื่องจากวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้ หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ เรพลีเคชัน (Replication) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และ บล็อกกิ้ง (Blocking)

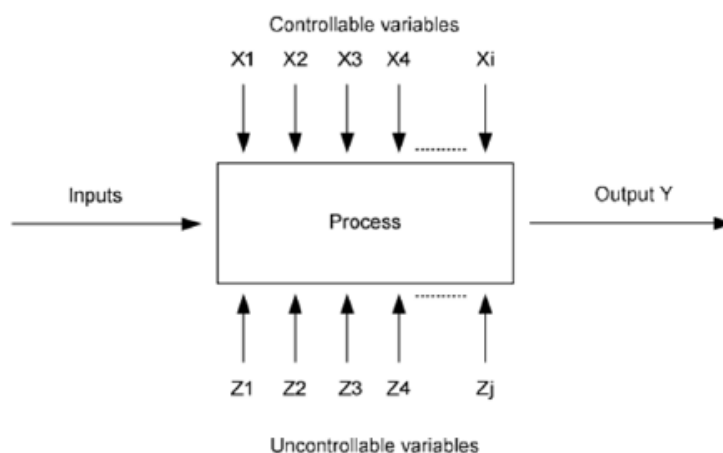
เรพลีเคชัน หมายถึง การทดลองซ้ำ เรพลีเคชัน มีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรกเรพลีเคชันทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ โดยตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับการพิจารณาว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลีเคชันสามารถช่วยหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

แรนดอมไมเซชัน เป็นพื้นฐานหลักสำหรับวิธีการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ การออกแบบการทดลองแรนดอมไมเซชัน หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล

(หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไม่เซชัน จะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การทำแรนดอมไม่เซชันการทดลองจะทำให้สามารถลดผลของ ปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

บล็อกกิ้ง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นหนึ่งอัน เดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆภายในแต่ละ บล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิ้ง ระบบการทดลองโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 3 ส่วน หลักๆ คือ อินพุต (Input) กระบวนการ (Process) และเอาต์พุต (Output) โดยอินพุต ประกอบด้วย 4M คือ คนงาน (Man) เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Method) และวัตถุดิบ (Material) กระบวนการ คือ การรวมเอาอินพุตมาแปรรูปเป็นเอาต์พุต โดยตัวแปร กระบวนการจำแนกได้ 2 ประเภทคือ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factor) และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factor) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 วัตถุประสงค์ของ การทดลอง

1. หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อค่าตอบสนอง y
2. กำหนดค่าของ x ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง y เพื่อให้ค่า y อยู่ในค่าที่ต้องการ
3. กำหนดค่าของ x ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง y เพื่อให้ค่า y มีค่าน้อย
4. กำหนดค่าของ x ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง y เพื่อให้ค่า y ให้ผลตัวแปรที่ไม่สามารถ
5. ควบคุมได้มีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 2.13 รูปแบบระบบการทดลอง

2.1.13 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design)

ในการทดลองส่วนใหญ่จะศึกษาผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ดังนั้น การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial design) จะเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึงการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของ ระดับ (level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น เช่นกรณีที่ปัจจัย A มีจำนวนระดับเท่ากับ a ปัจจัย B มีจำนวนระดับเท่ากับ b ในการทดลอง 1 เปรสิเคด (Replicate) จะประกอบไปด้วยการทดลองทั้ง ab การทดลอง โดยการทดลองทั้งหมดจะถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลนั่นเอง

2.1.14 การสร้างแบบจำลองการถดถอย (Regression Model)

ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ควรสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการดาเนินกระบวนการ หรือควบคุมกระบวนการ โดยหาความสัมพันธ์ของตัวแปร ถ้ามีตัวแปรตาม (Dependent variable) อยู่เพียงตัวเดียวหรือผลตอบ (Respond) y ที่ขึ้นกับค่าตัวแปรอิสระ (Independent variable) จำนวน k ตัว ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้ถูกกำหนดโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือแบบจำลองการถดถอย (Regression model)

แบบจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้นพหุคูณที่มีตัวแปรถดถอย k ตัว โดยจะเรียกตัวแปรอิสระว่า ตัวแปรทำนาย (Predictor Variable) หรือตัวถดถอย และคำว่าเชิงเส้นถูกนำมาใช้เนื่องจากสมการเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า β_j โดยที่ $j = 0, 1 \dots k$ ถูกเรียกว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย แบบจำลองนี้แสดงระนาบเกิน (Hyperplane) ที่มีมิติ k ของตัวแปรถดถอย x_j พารามิเตอร์ β_j แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับตัวแปรผลตอบ y ต่อหนึ่งหน่วยของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับ x_j เมื่อตัวแปรอิสระที่เหลือทั้งหมด x_i ($i \neq j$) มีค่าคงตัว ดังสมการ

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (2.2)$$

2.1.15 การวิเคราะห์การทดลอง

2.1.14.1 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบนัยสำคัญของการถดถอย คือการทดสอบเพื่อจะตรวจสอบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลตอบ y และเซตย่อยของตัวแปรถดถอย x_1, x_2, \dots, x_k หรือไม่

โดยสมมติค่าความผิดพลาดในแบบจำลองเป็น $\epsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ ซึ่งหมายความว่า ϵ มีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีความแปรปรวนเท่ากับ σ^2

การแสดงว่าสมมติฐานหลักจะถูกปฏิเสธหรือไม่ที่ระดับนัยสำคัญ (α) ที่กำหนดสามารถพิจารณาได้จากค่า P-Value ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นที่ค่าทดสอบทางสถิติเป็นค่าที่น้อยที่สุดของระดับนัยสำคัญซึ่งนำไปสู่การปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 ดังนั้นค่าทดสอบทางสถิติมีนัยสำคัญก็ต่อเมื่อ สมมติฐานหลัก H_0 ถูกปฏิเสธ

2.1.14.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination: R^2) เป็นการวิเคราะห์ค่าที่ใช้อธิบายความสามารถของสมการถดถอยหรือตัวแปรอิสระในสมการถดถอย ว่าสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าผลตอบ (y) หรือตัวแปรตามได้ในสัดส่วนเท่าใดถ้าค่า R^2 หากมีค่าสูง แสดงว่าสมการถดถอยมีความเหมาะสมมาก แต่ค่า R^2 จะเปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนจำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอยทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นจึงนิยมใช้ค่า R^2_{adj} แทน หรือใช้ทั้งค่า R^2 และ R^2_{adj} ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของสมการถดถอยร่วมกัน

2.1.16 การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Design)

วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคทั้ง ทางคณิตศาสตร์และทางสถิติในการวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรผลตอบที่เราสนใจ โดยเป็นปัญหาที่มีตัวแปรอิสระหลายตัวแปร และการสร้างแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลตอบและตัวแปรอิสระ รวมทั้ง มีวัตถุประสงค์ในการหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนั้นด้วย ตัวอย่างเช่น สมมุติว่าวิศวกรเคมีคนหนึ่ง ต้องการที่จะหาระดับของอุณหภูมิ (X_1) และความดัน (X_2) ที่จะทำให้ผลผลิตของกระบวนการมีค่ามากที่สุด ซึ่งผลผลิตของกระบวนการนี้เป็นฟังก์ชันของระดับของอุณหภูมิและความดัน กล่าวคือ

$$y = f(X_1, X_2) + \epsilon \quad (2.3)$$

โดยที่ ϵ คือค่าความผิดพลาดของตัวแปรผลตอบ y ที่เป็นผลมาจากทดลอง ถ้ากำหนดให้ $E(y) = f(X_1, X_2) = f(X_1, X_2)$ ดังนั้น สมการของพื้นผิวผลตอบสามารถเขียนได้ คือ

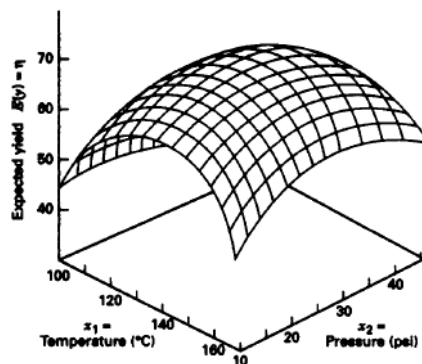
$$\eta = f(X_1, X_2) \quad (2.4)$$

ซึ่งสมการที่ 2.4 เรียกว่า พื้นผิวผลตอบ (Response Surface) จากสมการพื้นผิวผลตอบสามารถแสดงในรูปแบบของกราฟิกดังแสดงในรูปที่ 2.14 โดยที่ η จะถูกพล็อตกับระดับของ X_1 และ X_2 เพื่อช่วยให้สามารถมองรูปร่างของพื้นผิวตอบได้ดียิ่งขึ้น หรือสามารถแสดงได้ในอีกรูปแบบหนึ่งคือเส้น

โครงร่าง (Control Plot) ของพื้นผิวตอบสนองแสดงในรูปที่ 2.14 ในการสร้างเส้นโครงร่างนี้ เส้นที่มีค่าของผลตอบคงที่จะถูกวาดอยู่บนระนาบ X_1 และ X_2 เส้นโครงร่างแต่ละเส้นจะมีความสูงของพื้นผิวตอบที่เท่ากันค่าหนึ่ง ในปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวตอบส่วนมากหากไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลตอบและตัวแปรอิสระ ในขั้นตอนแรกจะต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และเซตของตัวแปรอิสระ และโดยปกติแล้วจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังต่างๆที่อยู่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ถ้าแบบจำลองผลตอบมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่จะใช้ในการประมาณความสัมพันธ์นี้ก็คือแบบจำลองกำลังหนึ่ง

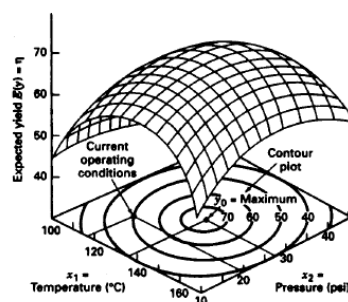
$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon \quad (2.5)$$

แต่หากระบบนั้นมีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้อง ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้นจะถูกเลือกใช้ เช่น พหุนามกำลังสอง



รูปที่ 2.14 พื้นผิวผลตอบสนองแบบสามมิติ [15]

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบส่วนมากจะใช้แบบจำลองหนึ่งในสองแบบที่กล่าวมานี้ อย่างไรก็ตามตามแบบจำลองพหุนามที่กล่าวมานี้จะไม่สามารถใช้ประมาณความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระ แต่หากพื้นผิวที่สนใจนั้น มีขนาดค่อนข้างเล็กแล้ว แบบจำลองเหล่านี้จะใช้งานได้ดีพอสมควร



รูปที่ 2.15 กราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวผลตอบสนอง [15]

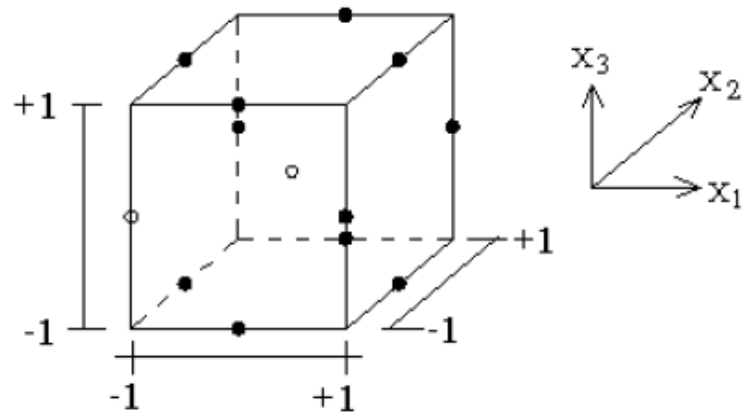
วิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method) จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ ต่างๆของแบบจำลองแบบพหุนาม การวิเคราะห์พื้นผิว ผลตอบจะเกิดขึ้น เฉพาะกับพื้นผิวที่สร้างขึ้นเท่านั้น ดังนั้น หากพื้นผิวที่สร้างสามารถประมาณฟังก์ชันตัวแปรผลตอบ ได้เป็นอย่างดีแล้ว การวิเคราะห์ผลตอบที่ได้ก็จะให้ผลเหมือนกับการวิเคราะห์ระบบจริง การออกแบบสำหรับการสร้างพื้นผิวตอบนี้เรียกว่าการออกแบบพื้นผิวตอบ (Response Surface Design)

2.1.17 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) [15]

การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เป็นการออกแบบสามระดับสำหรับ fit พื้นผิวผลตอบ การออกแบบนี้ถูกสร้างขึ้น จากการรวมการออกแบบแฟกทอเรียล 2 K กับการออกแบบบล็อกไม่บริสุทธิ์ ผลของการออกแบบ ลักษณะนี้มีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนของการ Run ที่ต้องการ และการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุน หรือเกือบหมุนได้อีกด้วยจากตารางที่ 2.1 แสดง การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์เบห์นเคนที่มีตัวแปร 3 ตัว รูปทางเรขาคณิตของการออกแบบแสดงในรูปที่ 2.16 โดยการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เป็นการออกแบบรูปทรงกลมที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ นอกจากนั้น การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนไม่ได้รวมเอาจุดใดๆที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้น จากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรเอาไว้ปัจจัยระดับ (Factor-Level Combination) ที่แพงมากหรือเป็นไปได้ที่จะทำการทดลองเนื่องจากข้อจำกัดในด้านกายภาพของกระบวนการ

ตารางที่ 2.2 การออกแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน [15]

Run	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0



รูปที่ 2.16 รูปแบบทางเรขาคณิตสำหรับแผนการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน [15]

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

N.R. Dhar M.W. Islam a, S. Islam , M.A.H. Mithu (2006) [1] ได้ทำการวิจัยผลกระทบของการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดต่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะตัดชิ้นงานรูปร่างของเศษกลึงโลหะ และความเรียบผิวของชิ้นงาน ในการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอน AISI-1040 ด้วยเม็ดมีดคาร์ไบด์ โดยเปรียบเทียบกับกรกลึงแบบแห้ง และแบบเปียก จากผลการทดลองพบว่าการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดสามารถลดอุณหภูมิขณะตัดลง และทำให้ความเรียบผิวของชิ้นงานดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบการตัด และอัตราการป้อน นอกจากนี้ยังช่วยให้เศษกลึงที่ได้มีลักษณะดี เมื่อใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด ซึ่งผลจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดอย่างถูกวิธี นอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดแล้ว ยังส่งผลให้สภาพแวดล้อมการทำงานที่ดีขึ้นอีกด้วย

N.R. Dhar , M. Kamruzzaman, Mahiuddin Ahmed (2006) [2] ทำการวิจัยเกี่ยวกับบทบาทของการกลึงเหล็กกล้า AISI-4340 ด้วยวิธีการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดต่อการสึกหรอของมีดตัดคาร์ไบด์ และความเรียบผิวของชิ้นงาน โดยใช้ความเร็วการตัดและอัตราการป้อนตัด ที่ต่างกัน ซึ่งผลที่ได้จากการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด หัวข้อหลักจะเกี่ยวกับการลดอัตราการสึกหรอของมีดตัด และช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณการตัด ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สมรรถนะของการตัดด้วยวิธี MQL ดีกว่าการตัดแบบแห้ง และการตัดแบบเปียก เพราะวิธี MQL สามารถลดอุณหภูมิขณะตัดได้ดีกว่า ซึ่งจะช่วยให้คมตัดของมีดที่เสียดสีกับเศษกลึงโลหะสึกหรอได้ช้าลง
2. วิธี MQL ช่วยลดการสึกหรอของมีดตัด และเพิ่มอายุการใช้งานของมีดตัด เมื่อเปรียบเทียบกับกรกลึงด้วยวิธีแบบเปียกและแบบแห้ง
3. วิธี MQL ทำให้คุณภาพของชิ้นงานกลึงผิวสำเร็จดีขึ้น ความขรุขระน้อยลง เนื่องจากการสึกหรอของมีดตัดลดลง อัตราการสึกหรอของมีดตัดที่ลดลง ซึ่งนอกจากจะทำให้อายุของมีดตัดเพิ่มขึ้นแล้วยังทำให้ผลิตภาพเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากสามารถเพิ่มความเร็วตัดและอัตราการป้อนตัดได้เร็วขึ้นได้

S. Tangjitsitcharoen (2009) [16] ทำการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาเพื่อหาสภาวะการตัดที่เหมาะสมสำหรับการกลึงเหล็กกล้า (Plain carbon steel) ด้วยมีดตัดคาร์ไบด์ โดยการติดตั้งไดนาโมมิเตอร์เพื่อตรวจวัดแรงตัดภายในกระบวนการตัด ด้วยการประยุกต์ใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดในสภาวะการตัดแบบต่างๆ จากผลการศึกษาพบว่า ความเรียบผิวและ

การสึกหรอของมีดตัดสามารถอธิบายได้ด้วยแรงตัดที่เกิดขึ้น โดยอธิบายว่าความเรียบผิวที่มีค่าน้อย หรือมีค่าความขรุขระน้อยแสดงว่าชิ้นงานนั้นสามารถตัดเฉือนได้ง่ายทำให้เกิดแรงตัดที่ต่ำ และการสึกหรอของมีดตัดสามารถพิจารณาจากแรงตัดที่เกิดขึ้น ถ้าหากมีดตัดมีการสึกหรอที่สูงก็จะส่งผลให้แรงตัดสูงตามไปด้วย

R. Channarong (2009) [17] งานวิจัยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขการตัด โดยการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็น ที่มีผลต่อความสึกหรอของมีดกัดแบบหัวบอล ความขรุขระผิวชิ้นงาน และแรงตัด และศึกษาหาสภาวะการตัดที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการกัด เหล็กกล้าด้วยมีดกัดแบบหัวบอลกับการใช้สารหล่อเย็น โดยการใช้วิธีการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบด้วยเทคนิคบ็อกซ์-เบห์นเคน และจากผลการศึกษาพบว่า อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด และความเร็วในการตัด ส่งผลต่อกรณีศึกษาจากมากไปน้อยตามลำดับ จากการวิเคราะห์การตอบสนองในการสร้างสมการลำดับที่สองของความขรุขระผิวชิ้นงาน, ความสึกหรอของมีดกัด, และสัดส่วนการตัด พบว่า สมการนั้น สามารถนำไปพยากรณ์ผลตอบดังกล่าวด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% และได้เงื่อนไขการตัดที่สภาวะเหมาะสมของเงื่อนไขการตัดแบบเปียก ที่ระดับความพึงพอใจรวม 84.21% สภาวะที่เหมาะสมของเงื่อนไขการตัดแบบแห้งที่ระดับความพึงพอใจรวม 75.97%, และสภาวะที่เหมาะสมของเงื่อนไขการตัดแบบสเปรย์ที่ระดับความพึงพอใจรวม 85.65%

S. Tangitsitcharoen, C. Rungruang and D. Laiaddee (2009) [20] งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการตัดแบบแห้ง การตัดแบบเปียก และการตัดแบบสเปรย์ โดยใช้หัวตัดแบบหัวบอล โดยใช้เกณฑ์ความขรุขระผิวของชิ้นงาน อายุมีดตัด การใช้สารหล่อเย็น การกระจายตัวของอนุภาคสารหล่อเย็น และราคาใช้จ่ายในการตัด โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอกับความขรุขระผิว, การสึกหรอกับแรงตัด, และแรงตัดกับความขรุขระผิว ซึ่งผลที่ได้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน จากผลการทดลองพบว่า การตัดแบบสเปรย์ให้ค่าใช้จ่ายในการตัดที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับ การตัดแบบแห้ง และการตัดแบบเปียก

Tangitsitcharoen, S., Arayaphitaya, S. and Thongprasert, S. (2010) [21] งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมของเหล็กกล้าคาร์บอน S45C กับมีดตัดคาร์ไบด์เคลือบผิวภายใต้เงื่อนไขการตัดที่แตกต่างกัน โดยศึกษาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขการตัดที่มีผลต่ออัตราการสึกหรอของมีดตัด ความขรุขระผิวของชิ้นงาน แรงตัด และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นโดยพิจารณาถึงค่าตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการตัด ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design แรงตัดและอุณหภูมิในการตัด ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการ

ตรวจติดตามในกระบวนการตัดโดยไดนาโมมิเตอร์และ Pyrometer ซึ่งติดตั้งบนเครื่องซีเอ็นซีเพื่อใช้วัดแรงและอุณหภูมิในขณะที่ตัด เพื่อพยากรณ์ถึงความหยابผิวที่น้อยที่สุด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการป้อนตัดส่งผลมากที่สุดต่อความหยابผิว จากผลการทดลองพบว่าด้วยความเชื่อมั่นที่ระดับ 95% อัตราป้อนตัดและความเร็วตัด มีผลต่อผลตอบทั้ง 3 ค่า ซึ่งได้แก่ ความหยابผิวชิ้นงาน สัดส่วนแรงตัด และอุณหภูมิในการตัด ส่วนความลึกตัดไม่มีผลต่อผลตอบทั้ง 3 ค่า สำหรับเงื่อนไขการตัดที่ดีที่สุด คือ ความเร็วตัด 350 เมตรต่อ นาที อัตราการป้อนตัด 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกการตัด 0.5 มิลลิเมตร โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัยอื่นๆ โดยใช้กำหนด ค่าของปัจจัยต่างๆของกระบวนการกลึง จากสมการความสัมพันธ์นี้ เพื่อควบคุมค่าความหยابผิวชิ้นงานให้เป็นไปตามค่าที่กำหนด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบการทดลอง

ในบทนี้นำเสนอวิธีการดำเนินการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินการ ชนิดเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลการออกแบบการทดลอง ซึ่งวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อการศึกษาและพัฒนาการตัดให้ดีขึ้นโดยการประยุกต์ใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด และศึกษาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขการตัดจากการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด ที่มีผลต่อความขรุขระผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน และอัตราการสึกหรอของมีดตัด ดังนั้นการทดลองจะทำการแปรผันปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานความสึกหรอของมีดตัด

3.2 การกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวในกระบวนการกลึงมีหลายอย่างโดยสามารถจำแนกได้ 4 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยจากมีดตัด ปัจจัยจากชิ้นงาน ปัจจัยจากเงื่อนไขการตัด และปัจจัยที่เกิดจากธรรมชาติของการตัด ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด รัศมีงูมมีด และการหล่อเย็น ส่งผลต่อความขรุขระผิว ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวจะถูกพิจารณาเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ที่มีต่อความขรุขระผิว ในงานวิจัยนี้ โดยให้ปัจจัยอื่นๆเป็นปัจจัยคงที่ที่สามารถควบคุมได้

3.2.2 การกำหนดระดับของปัจจัย

การกำหนดระดับของปัจจัย (Level) จะกำหนดเป็นแบบคงที่ โดยอาศัยข้อมูลเชิงเทคนิค

ของบริษัทผู้ผลิตมีดตัดที่แนะนำจากคู่มือการใช้งานมีดตัดโดยกำหนดให้

1) อัตราป้อนตัดจะทำการวิจัย 3 ค่า ดังนี้ 0.08 0.10 และ 0.12 มิลลิเมตรต่อรอบ

2) ความเร็วตัดทำการวิจัย 3 ค่า ดังนี้ 280 300 และ 320 เมตรต่อนาที

3) ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด ทำการวิจัย 3 ค่า ดังนี้ 3 5 และ 7 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

กำหนดค่าคงที่ในการตัดได้แก่ รัศมีงูมมีดตัด (Cutting tool nose radius) 0.8 มิลลิเมตร และกำหนดค่าความลึกตัด 0.1 มิลลิเมตร

สาเหตุในการเลือกปัจจัย และ ระดับปัจจัยต่างๆ มีดังต่อไปนี้

1) อัตราการป้อนตัด (feed rate) กำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับ คือ 0.08 0.10 และ 0.12 มิลลิเมตรต่อรอบ เนื่องจากการศึกษาจากทฤษฎีพบว่า ถ้าหากใช้อัตราการป้อนตัดต่ำ จะทำให้ได้คุณภาพผิวชิ้นงานสำเร็จดี ชิ้นงานมีค่าความขรุขระผิวต่ำ อีกทั้งระดับปัจจัยของอัตราการป้อนตัดอยู่ในช่วงอัตราการป้อนตัดที่ผู้ผลิตมีขีดแนะนำ ในช่วงอัตราการป้อนตัดตั้งแต่ 0.06 – 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบ

2) ความเร็วตัด (Cutting Speed) กำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับ คือ 280 300 และ 320 เมตรต่อนาที เป็นค่าความเร็วที่อยู่ในช่วง 180 – 340 เมตรต่อนาที ซึ่งเป็นช่วงความเร็วตัดที่เหมาะสมสำหรับเม็ดมีดคาร์ไบด์ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ผู้ผลิตมีขีดแนะนำ เนื่องจากวัสดุเหล็กมีคุณสมบัติความแข็งและจุดหลอมเหลวสูง ถ้าใช้ความเร็วมากเกินไปอุณหภูมิตัดก็จะสูงตามไปด้วย ส่งผลให้เม็ดมีดเกิดความเสียหาย มีผลให้ค่าความขรุขระผิวแย่ลง

3) สารหล่อเย็น Bluebe LB-1 ผลิตโดยบริษัท FUJI BC ENGINEERING เป็นน้ำมันสารสกัดจากพืช (vegetable oil base) ชนิด Rapeseed oil เป็นเกรดน้ำมันที่สามารถนำมาใช้ทำอาหารได้ จึงไม่เป็นอันตรายในการนำมาใช้งาน โดยถูกนำมาแปลงสภาพให้เหมาะกับการใช้งานสำหรับการตัด ซึ่งน้ำมันเกรดดังกล่าว เหมาะกับงานตัดขนาดกลางถึงหนัก จึงเหมาะสำหรับใช้กับงานกลึง เป็นทางเลือกหลัก สำหรับกระบวนการที่ต้องการยกเลิกระบบคูลแลนท์ (น้ำมันผสมน้ำ) มีคุณสมบัติในการหล่อลื่นด้วยสารประกอบบริสุทธิ์จากธรรมชาติ ซึ่งปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน และสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับ คือ 3 5 และ 7 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งระดับปัจจัยของปริมาณสารหล่อเย็นพิจารณาจากระดับค่าที่ผู้ผลิตสารหล่อเย็นแนะนำ ในช่วงปริมาณการใช้งาน 2 – 10 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

4) รัศมีจุกมีด (Nose radius) โดยรัศมีจุกมีดนั้นส่งผลต่อความขรุขระผิวของชิ้นงาน เนื่องจากการศึกษาจากทฤษฎี พบว่ารัศมีจุกมีดโดยตรงต่อความขรุขระผิว ถ้ารัศมีจุกมีดมีค่ามาก จะส่งผลให้ชิ้นงานมีคุณภาพผิวที่ดี ค่าความขรุขระผิวต่ำ แต่ถ้ารัศมีจุกมีดมีค่ามากเกินไป จะส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนในขณะตัด และยังส่งผลให้คุณภาพผิวชิ้นงานแย่ลง สำหรับงานวิจัยนี้ จะยังคงใช้รัศมีจุกมีดเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาที่ขนาด 0.8 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นขนาดกลางที่นิยมใช้ ซึ่งให้ค่าความขรุขระผิวที่ดีในระดับหนึ่ง อีกทั้งหากมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของรัศมีจุกมีดจะต้องมีการแจ้งลูกค้ารับทราบอีกด้วย จึงไม่ได้รับอนุญาตให้เปลี่ยนแปลงเม็ดมีดในการวิจัยครั้งนี้

5) ความลึกตัด (Depth of cut) สำหรับงานวิจัยนี้ จะยังคงใช้ค่าความลึกตัดเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา ที่ค่า 0.1 มิลลิเมตร เนื่องจากถูกกำหนดด้วยขนาดชิ้นสำเร็จ จึงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับค่าความลึกตัดนั้นส่งผลต่อค่าความขรุขระผิว ซึ่งการใช้ความลึกตัดที่มากส่งผลให้ความขรุขระผิวแย่ลง แต่หากว่าใช้ความลึกตัดน้อยเกินไป ก็จะทำให้ผลในแง่ลบ เนื่องจากรัศมีงูมกมิตัดจะไปบดบังความลึกตัดแทน ซึ่งความลึกตัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ที่ 0.1 มิลลิเมตร เป็นค่าที่เหมาะสมในระดับหนึ่ง เนื่องจากอยู่ในค่ากลาง ที่ไม่มากหรือน้อยจนเกินไป อีกทั้งอยู่ในช่วงความลึกตัดที่ผู้ผลิตมีตัดแนะนำ

3.3 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 วัสดุชิ้นงาน (Workpiece material)

เหล็ก SAPH370 เป็นเหล็กแผ่นรีดร้อนที่มีโครงสร้างเป็นแผ่นและนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน สำหรับการใช้งานโครงสร้างรถยนต์ SAPH370 เป็นเกรดวัสดุและการกำหนดที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน JIS G 3113 เป็นมาตรฐานวัสดุของญี่ปุ่น คุณภาพของเหล็ก SAPH 370 เหล็กมีความนำเชื่อถือมากขึ้นในการต้านทานแรงดึง สามารถใช้ในงานด้านยานยนต์ที่ต้องการความแข็งแรงมากขึ้น ลักษณะเฉพาะของ เหล็ก SAPH370 ที่ใช้มีลักษณะคล้ายถ้วย ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 180 มิลลิเมตร หนา 2.6 มิลลิเมตร โดยมีคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกลดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่ามาตรฐานส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงาน

● Chemical Composition

Unit : %

Symbol	Chemical Composition	
	P	S
SAPH 310, SAPH370, SAPH400, SAPH440	0.040max.	0.040max.

● Mechanical Properties

Symbol	Tensile Strength N/mm ²	Yield Point N/mm ²			Elongation (rolling direction) %					Bendability			Test Piece	
		Thickness up to and excl. 6mm	Thickness 6mm or over to and excl. 8mm	Thickness 8mm or over to and incl. 14mm	No.5 Test Piece					No.1 A Test Piece	Inside Radius			
					Thickness 1.5 or over to and excl. 2.0mm	Thickness 2.0 or over to and excl. 2.5mm	Thickness 2.5 or over to and excl. 3.15mm	Thickness 3.15 or over to and excl. 4.0mm	Thickness 4.0 or over to and excl. 6.3mm		Thickness 6.3mm or over	Bending Angle		Thickness up to and excl. 2.0mm
SAPH 310	310min.	(185)min.	(185)min.	(175)min.	33min.	34min.	36min.	38min.	40min.	26min.	180°	Flat on itself	Thickness × 1.0	No.3 transversely to rolling direction
SAPH 370	370min.	225min.	225min.	215min.	32min.	33min.	35min.	36min.	37min.	25min.	180°	Thickness × 0.5	Thickness × 1.0	
SAPH 400	400min.	255min.	235min.	235min.	31min.	32min.	34min.	35min.	36min.	24min.	180°	Thickness × 1.0	Thickness × 1.0	
SAPH 440	440min.	305min.	295min.	275min.	29min.	30min.	32min.	33min.	34min.	22min.	180°	Thickness × 1.0	Thickness × 1.5	

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยนี้ เป็นชิ้นงานที่ผ่านขึ้นรูปโดยกระบวนการเพรส (Press) ขึ้นรูปออกมาในลักษณะของถ้วย และผิวชิ้นงานด้านนอกมีการทำเป็นร่องฟันเฟืองด้วยกระบวนการเซอเรชั่น (Serration) ลักษณะของชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

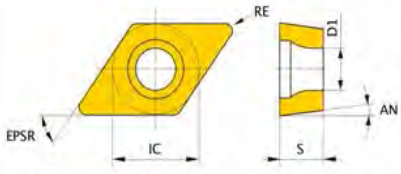

3.3.2 เม็ดมีด (Insert)

เม็ดมีด (Insert) แบบคาร์ไบด์ ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น DCMT070208-LP (รัศมีจุมุมมีด 0.8 มม.) มีดกลึงที่ใช้ในการทดลองเป็นมีดกลึงสำหรับการกลึงละเอียด รายละเอียดของมีดตัดตัดตารางที่ 3.2 และลักษณะของเม็ดมีด ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เม็ดมีดที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.2 ขนาดเม็ดมีดที่ใช้ในการทดลอง

 Name of Grade : Carbide , Grade : MC6025 ANSI : DCMT21.52LP	Dimensions						
	EPSR	RE	IC	S	AN	D1	
Reg(°)	mm	mm	mm	Reg(°)	mm		
55°	0.8	6.35	2.38	7°	2.8		

3.3.3 เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC turning machine) ยี่ห้อ JINNFA รุ่น JCL-6032



รูปที่ 3.3 เครื่องกลึงซีเอ็นซีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.4 อุปกรณ์สำหรับใช้สเปรย์สารหล่อเย็น (Oil Mist)

ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ ระบบสร้างและจ่ายละอองน้ำมัน สารหล่อเย็นชนิดพิเศษ น้ำมันสกัดจากพืช (Vegetable oil) และด้ามมีดสำหรับใช้สเปรย์สารหล่อเย็น

3.3.4.1 อุปกรณ์หลักในการสร้างในการสร้างละอองน้ำมัน คือ Eco booster ยี่ห้อ FUJI รุ่น Model EB3-S2L-U



รูปที่ 3.4 Eco booster

3.3.4.2 สารหล่อลื่นชนิดพิเศษ น้ำมันสกัดจากพืช (Vegetable oil) ยี่ห้อ FUJI BC รุ่น Bluebe -LB-1



รูปที่ 3.5 สารหล่อลื่น Bluebe -LB-1

3.3.4.3 อุปกรณ์ด้ามมีดใช้สเปรย์สารหล่อเย็น (Oil Mist) เป็นด้ามมีดที่ใช้ปัจจุบัน โดยนำไปเจาะรู ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู (เป็นขนาดที่แนะนำโดยบริษัทผู้ผลิต)



รูปที่ 3.6 ด้ามมีด

3.3.5 การติดตั้งระบบสเปรย์สารหล่อเย็น (Oil Mist)

โดยจะติดตั้งอุปกรณ์หลักในการสร้างละอองน้ำมัน Eco booster ไว้ด้านนอก และเชื่อมต่อด้วยท่อชนิดพิเศษ เป็นตัวส่งละอองน้ำมัน โดยท่อจะถูกต้องเข้ากับ ป้อมมีดของเครื่องจักร เพื่อส่งละอองน้ำมันไปยังปลายมีดตัด ซึ่งการจ่ายจะถูกควบคุมโดยโปรแกรม M code ของเครื่องกลึง



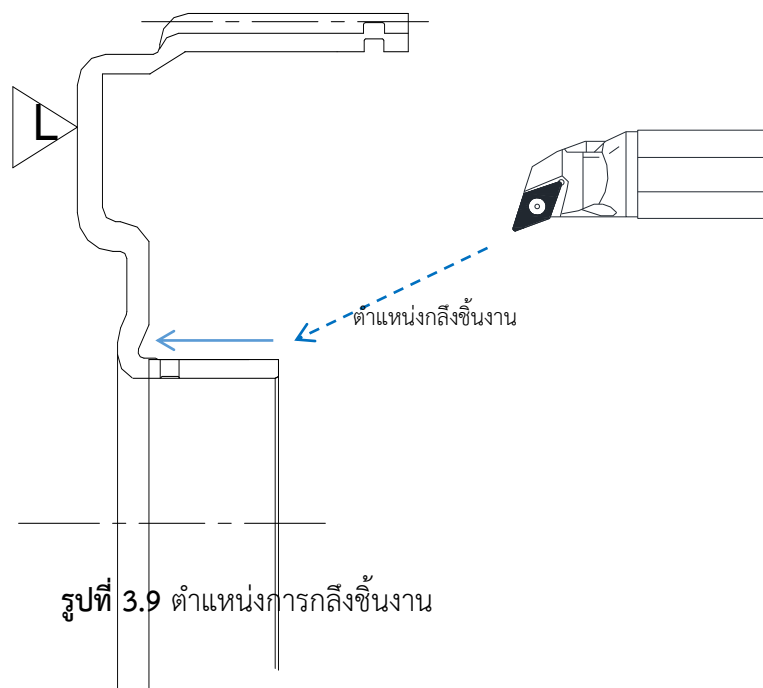
รูปที่ 3.7 การติดตั้งระบบสเปรย์สารหล่อเย็น

3.3.6 การกลิ้งชิ้นงานโดยสเปรย์สารหล่อเย็น (Oil Mist)

ลักษณะการการกลิ้งชิ้นงานโดยสเปรย์สารหล่อเย็น ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การสเปรย์สารหล่อเย็น



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งการกลิ้งชิ้นงาน



รูปที่ 3.10 ชิ้นงานหลังการกลึง

3.3.7 เครื่องวัดความขรุขระผิว (Roughness tester)

ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-310 ใช้วัด ค่าความขรุขระผิวของชิ้นงาน

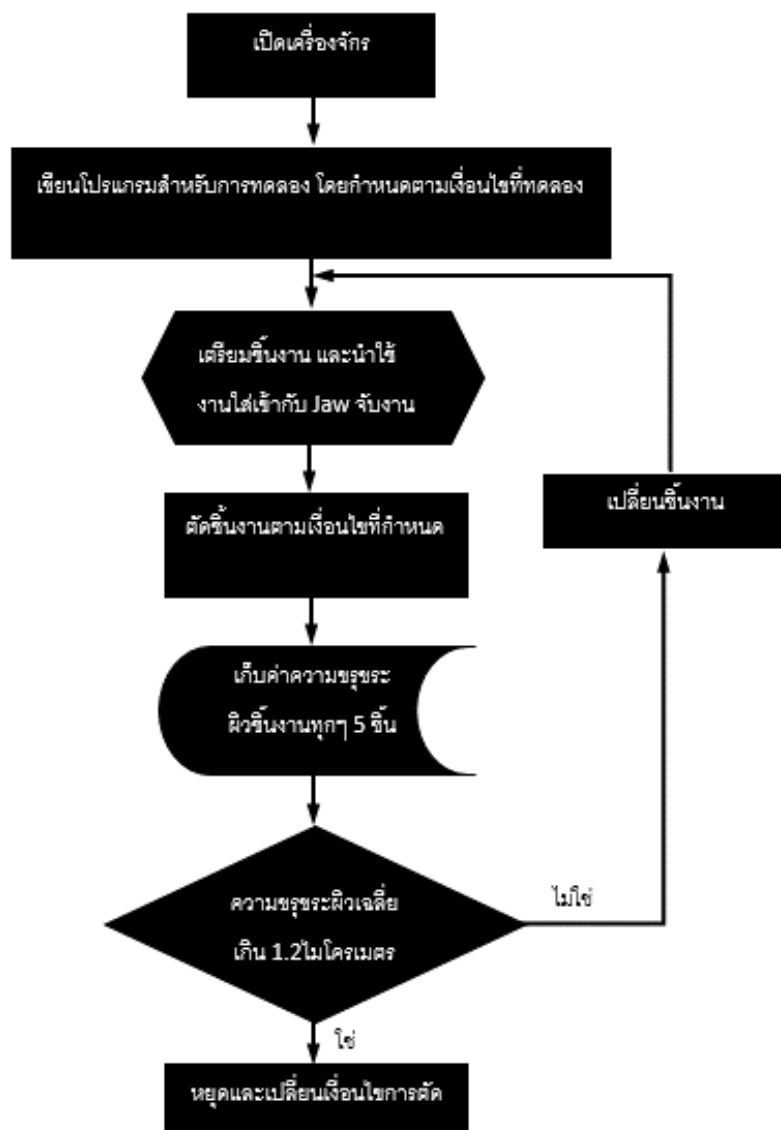


รูปที่ 3.11 เครื่องวัดความขรุขระผิว

3.4 วิธีการทดลอง

การตัดโดยใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ในลักษณะการสเปรย์สารหล่อเย็น หรืออาจจะเรียกว่า oil mist ซึ่งเป็นการปนละอองของน้ำมัน ไปยังปลายมีดตัดตำแหน่งที่สัมผัสกับชิ้นงาน เพื่อผลการเสียดสีที่เกิดขึ้นขณะการตัด ระหว่างมีดตัดกับชิ้นงาน โดยใช้สารหล่อเย็นชนิดน้ำมันสกัดจากพืช (vegetable oil) ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่วนการใช้สเปรย์สารหล่อเย็นสารหล่อเย็นจะไหลผ่านหัว ด้ามมีดที่ผ่านการเจาะรูให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร จำนวน 2 รู ด้วยแรงดันลม 0.5 MPa ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัย [Somkiat , 2009] การใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด โดยการพ่นสารหล่อเย็น ด้วยแรงดันลมที่ 0.5 MPa นั้นเป็นแรงดันลมที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการพ่นสารหล่อเย็น

การทดลองเพื่อหาสภาวะของการตัดที่เหมาะสมที่สุด คือการหาเงื่อนไขการตัดที่ให้ ความขรุขระผิวชิ้นงานมีค่าต่ำ ไม่เกิน Ra1.2 ไมครอน ตามข้อกำหนด ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการ วัดค่าความขรุขระผิวก็คือ Roughness Tester แล้วหาเงื่อนไขการตัดที่สามารถตัดเหล็กได้ นานที่สุดโดยที่ความขรุขระผิวชิ้นงานสูงสุดไม่เกินกำหนด แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางด้าน วัสดุดิบ และอุปกรณ์ในการวัดชิ้นงาน ซึ่งไม่สามารถวัดความขรุขระผิวชิ้นงานได้ตลอดการตัด ทำให้ผู้วิจัยต้องทำการวัดค่าความขรุขระผิวชิ้นงานทุกๆจำนวนการกลึง 5 ตัว แล้วทำการหา อายุการใช้งานมีดตัดที่เหมาะสม และนำแต่ละเงื่อนไขการทดลองมาเปรียบเทียบ ได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.5 ขั้นตอนการทำงานการทดลอง

- 1) การเตรียมชิ้นงาน (Workpiece)

- 2) เมื่อเตรียมชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเขียนโปรแกรมลงบนเครื่องซีเอ็นซีเพื่อตัดชิ้นงาน แล้วจึงติดตั้งมีดตัด และอุปกรณ์ในการหล่อเย็น
- 3) ทำการกลึงปอกผิวด้วยเงื่อนไขการตัดในตารางที่ 3.4
- 4) ทุกๆการตัดที่ลำดับ 1, 5, 10, 15, 20,25,30,35,40,45,50,55,60,..ชิ้น จะทำการวัดความขรุขระผิวของชิ้นงาน และขนาดชิ้นงาน
- 5) เมื่อกลึงชิ้นงานจนถึงจำนวนที่ให้ค่าความขรุขระผิวของชิ้นงาน เข้าใกล้ 1.20 ไมครอนมากที่สุด หรือมีดตัดสึกหรอจนไม่สามารถใช้งานได้ จึงทำการเปลี่ยนมีดตัดและทดลองด้วยเงื่อนไขการตัดต่อไป
- 6) บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.4 เขียนกราฟระหว่างค่าที่ได้จากการตัดกับผลตอบต่างๆ คือ ความขรุขระผิวชิ้นงาน และอายุการใช้งานมีดตัด ที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดด้วยเงื่อนไขต่างๆ

3.6 สมการพยากรณ์ความขรุขระผิว และอายุของมีดตัด

การศึกษาและพัฒนาสมการแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ความขรุขระผิว และอายุของมีดตัด ในงานวิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีพื้นผิวผลตอบสนอง (Response surface method) เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมที่ใช้การออกแบบการทดลองในการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรผลตอบ พร้อมทั้งสามารถพัฒนาสมการแบบจำลองและหาระดับของตัวแปรอิสระที่ให้ผลตอบที่เหมาะสม อีกทั้ง ยังให้ความแม่นยำอยู่ในระดับที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ของความขรุขระผิวนั้นไม่เป็นแบบเชิงเส้น (Non-linear) ดังนั้น การออกแบบการทดลองที่มีระดับปัจจัยอย่างน้อยสามระดับสามารถพิจารณาด้วยวิธีการออกแบบการทดลองได้หลายแบบ อย่างไรก็ตามการออกแบบการทดลองแบบบล็อก -เบห์นเคน ถูกประยุกต์ใช้สำหรับ การพัฒนาสมการพยากรณ์ความขรุขระผิว อัตราส่วนแรงตัด และอุณหภูมิมีด ในงานวิจัยการวิเคราะห์การถดถอยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากจำนวนการทดลองที่น้อยกว่า และมั่นใจได้ว่าผลการทดลองอยู่ในช่วงที่ใช้งานเนื่องจากความสัมพันธ์ของความขรุขระผิวนั้น ไม่เป็นแบบเชิงเส้น (Non-linear) ดังนั้นสมการพหุนามกำลังสอง จึงถูกเลือกมาใช้ในการพัฒนาสมการพยากรณ์ความขรุขระผิว และอายุการใช้งานของมีดตัด

3.7 การออกแบบการทดลองแบบ Box- Behnken Design

ผู้วิจัยใช้โปรแกรมMinitab มาช่วยในการออกแบบการทดลอง เพื่อใช้สร้างตารางการออกแบบ (Design Matrix) โดยในการออกแบบกำหนดให้ลำดับการทดลองมีการสุ่ม (Randomization) เพื่อให้ผลการทดลองไม่เป็นลำดับ และมีความเป็นอิสระ (Independent)

ต่อกัน ในงานวิจัยนี้กำหนดปัจจัยในการทดลองทั้งสิ้น 3 ปัจจัย คือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกกัด และรัศมีจุมุมกัด โดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ คือ ต่ำ กลาง สูง หรือ -1 0 และ 1 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.3 ดังนั้นการออกแบบการทดลองแบบบล็อก-เบห์นเคนจึงให้การทดลองเป็นจำนวน 30 การทดลอง (Run) สำหรับ 2 เรพลิเคต ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	หน่วย	ระดับ			ตัวแปร เข้ารหัส
		ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (+1)	
ความเร็วตัด	(เมตร/นาที)	280	300	320	v
อัตราป้อนตัด	(มิลลิเมตร/รอบ)	0.08	0.1	0.12	f
ปริมาณสารหล่อเย็น	(มล/ชม)	3	5	7	q

ตารางที่ 3.4 เงื่อนไขการทดลอง

เงื่อนไขการ ทดลอง	ลำดับการ ทดลอง	อัตราป้อนตัด (มม. / รอบ)	ความเร็วตัด (ม. / นาที)	ปริมาณการสเปรย์ สารหล่อเย็น (มล/ ชั่วโมง)
15	1	0.1	320	5
4	2	0.12	300	5
2	3	0.12	280	5
12	4	0.1	320	7
10	6	0	320	3
13	7	0.1	300	5
14	8	0.1	300	5
8	9	0.12	300	7
1	10	0.08	280	5
5	11	0.08	300	3
11	12	0.1	280	7
7	13	0.08	300	7
6	14	0.12	300	3

9	15	0.1	280	3
28	16	0.1	300	5
16	17	0.08	280	5
29	18	0.1	300	5
25	19	0.1	320	3
21	20	0.12	300	3
19	21	0.12	320	5
26	22	0.1	280	7
23	23	0.12	300	7
27	24	0.1	320	7
30	25	0.1	300	5
24	26	0.1	280	3
20	27	0.08	300	3
18	28	0.08	320	5
17	29	0.12	280	5
22	30	0.08	300	7

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้การหลักสถิติ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลจากด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนองด้วยการออกแบบการทดลองแบบบล็อก-เบท์นเคน สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab เนื่องจากสามารถตอบสนองต่อการวิเคราะห์ข้อมูลได้เป็นอย่างดี และเป็นที่ยอมรับใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยต่างๆ เพื่อให้การวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งสามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.8.1 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

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

3.8.2 การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ

การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติโดยการสร้าง Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) เป็นการพล็อตค่าส่วนตกค้าง ลงบนกราฟที่ เรียกว่า Normal Probability Paper ซึ่งพล็อตระหว่างส่วนตกค้างกับค่าความน่าจะเป็นสะสม $P_k = (k-1/2)/n$ โดย $P_k \times 100$ อยู่บนแกนตั้งส่วนแกนนอนจะเป็นค่าส่วนตกค้าง ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำไปใช้งาน

3.8.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนเป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล ทดสอบโดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และค่าที่ถูกฟิตอยู่บนแกนนอน ดังแสดง ถ้าหากข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือมีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล รูปที่พล็อตขึ้นมาจะกระจายอยู่ทั่วไป ไม่มีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ ทั้งสิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นใด และทดสอบโดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับระดับของปัจจัยแต่ละปัจจัยซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และระดับของปัจจัยอยู่บนแกนนอน ถ้าหากข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือมีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล รูปที่พล็อตขึ้นมาจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก แต่ถ้ารูปที่พล็อตขึ้นมาี้มีลักษณะเป็นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลำดับ แสดงว่าข้อมูลนั้นไม่มีความเสถียรของความแปรปรวนหรือไม่มีความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำไปใช้งาน

3.8.4 การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการออกแบบทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการออกแบบการทดลอง จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองจะได้รับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จะคำนวณค่า P Value ออกมาให้ ซึ่งในการพิจารณาค่า P Value นั้น จะทำการเปรียบเทียบกับค่า α ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่าน้อยกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่ามากกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองโดยในการวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่า α มีค่าเท่ากับ 0.05

3.8.5 การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance stability)

การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนเป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งการกระจายไม่ควรจะมีลักษณะที่เป็นแนวโน้ม หรือมีการกระจายตัวที่มีรูปแบบกรวยปากเปิด จะถือว่ามีความเสถียรภาพของความแปรปรวน

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลอง รวมถึงการวิเคราะห์ผลการทดลอง ต่อเนื่องจากบทก่อนหน้าที่ได้กล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัยในบทที่ 3 เพื่อนำมาศึกษาสมการวิเคราะห์ค่าความขรุขระผิวของชิ้นงาน และอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด และพิจารณาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิต โดยใช้การวัดจากค่าที่ได้จากผิวชิ้นงาน หลังจากการตัด ความถี่ในการวัดทุกๆ 5 ชิ้น เพื่อประเมินอายุการใช้งานของ

เครื่องมือตัด จากค่าความขรุขระผิวของชิ้นงาน ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองนั้น โดยมีข้อกำหนดค่าความขรุขระของชิ้นงาน (Ra) ต้องไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร อ้างอิงจากข้อกำหนดของชิ้นงาน กรณีศึกษาดังกล่าว ซึ่งค่าที่ได้จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ปัจจัยการตัด อันได้แก่ อัตราป้อนตัด ความเร็วตัด และ ปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการตัด คือ ความขรุขระผิวชิ้นงาน และอายุการใช้งานของมีดตัด จะแยกวิเคราะห์เป็นหัวข้อต่างๆตามพารามิเตอร์ในการตัด โดยมีปัจจัยในการทดลองและผลตอบดังต่อไปนี้

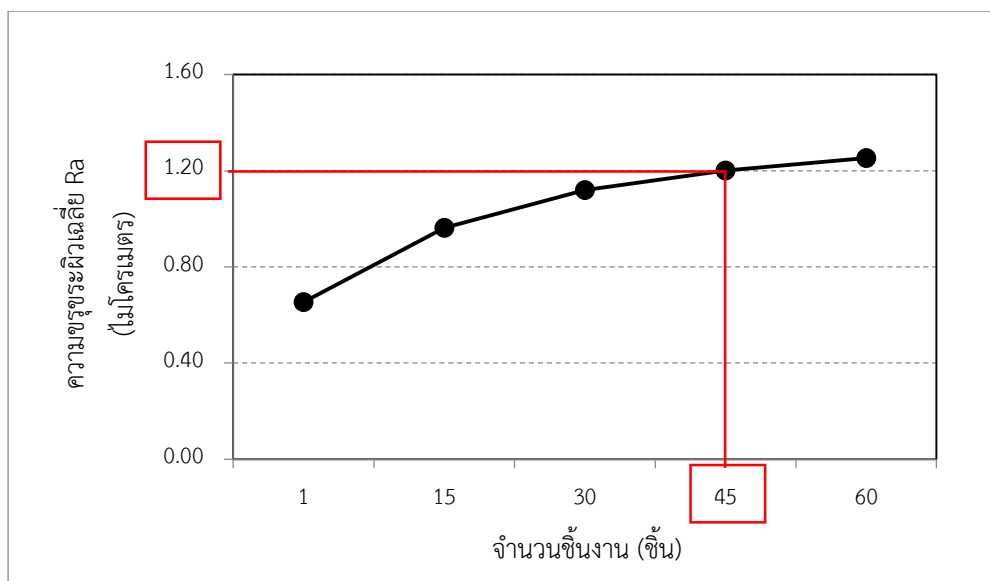
ปัจจัยในการทดลอง

1. ความเร็วรอบ (Cutting Speed) หน่วย เมตรต่อนาที
2. อัตราป้อน (feed rate) หน่วย มิลลิเมตรต่อรอบ
3. ปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น (MQL) หน่วย มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

ผลตอบในการทดลอง

1. ความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) หน่วย ไมโครเมตร
2. อายุการใช้งานของมีดตัด
3. ต้นทุนการผลิตต่ำสุด

จากรูปที่ 4.1 ในส่วนของค่าความขรุขระผิวกับจำนวนชิ้นของการตัดด้วยเงื่อนไขการตัดแบบใช้สเปรย์สารหล่อเย็น พบว่าความขรุขระผิวเฉลี่ยเริ่มต้นที่ชิ้นแรก ในกรณีนี้หมายถึงมีดตัดใหม่ จะมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 0.653 ไมโครเมตร และเมื่อจำนวนในการตัดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน (Ra) งานสูงขึ้นตามไปด้วย สาเหตุของค่าความขรุขระผิวของชิ้นงานที่มีค่าสูงขึ้น เมื่อจำนวนการตัดชิ้นงานเพิ่มขึ้นสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อระยะเวลาการตัดยาวนานขึ้นทำให้การสึกหรอของมีดตัดสึกหรอมากขึ้น ซึ่งเมื่อเกิดการสึกหรอของมีดตัดเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยของชิ้นงานสูงขึ้นด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวเฉลี่ยกับจำนวนชิ้นงานในการกลึง

อายุการใช้งานของมีดตัดพิจารณาจากค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยเป็นหลัก เมื่อกลึงชิ้นงานไปจนกระทั่งค่าความขรุขระผิวถึง 1.2 ไมโครเมตร ก็จะหยุดการกลึงชิ้นงานและเปลี่ยนมีดตัดอันใหม่ โดยกำหนดให้ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน (Ra) ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 1.2 ไมโครเมตร ซึ่งค่าความขรุขระผิวดังกล่าวจะอยู่ในช่วงของจำนวนในการกลึงชิ้นงานเฉลี่ยทุกเงื่อนไขที่ 45 (แสดงผลดังตารางที่ 4.1) ดังนั้น จึงนำช่วงระยะเวลาการกลึงตัวที่ 45 มาทำการวิเคราะห์ผลในลำดับต่อไป ซึ่งสามารถคัดแยกข้อมูลในช่วงระยะดังกล่าวได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชิ้นงานการกลึงกับความเรียบผิวเฉลี่ย Ra

จำนวนชิ้นงานของการกลึง (ชิ้น)	ความขรุขระผิวเฉลี่ย Ra (ไมโครเมตร)
1	0.653
15	0.962
30	1.119
45	1.200
60	1.253

อธิบายเพิ่มเติม จากรูปที่ 4.1 กราฟของการทดลองมีลักษณะคว่ำ แต่เมื่อเทียบกับทฤษฎีแล้วมีลักษณะที่ต่างไปบ้าง เนื่องจากทฤษฎีนั้น ได้เสนอรูปร่างของกราฟในลักษณะรูปแบบหงาย ซึ่งเมื่อเทียบกันแล้ว อาจจะมีปัจจัยบางประการที่ส่งผลให้รูปร่างของกราฟต่าง

ออกไป ซึ่งความชันของเส้นโค้งของการความขรุขระผิวจะขึ้นอยู่กับวัสดุของชิ้นงานและเงื่อนไขของการตัด โดยวัสดุของชิ้นงานที่แข็งกว่าจะนำมาซึ่งอัตราการสึกหรอที่สูงกว่าในวัสดุชิ้นงานที่อ่อน ทำให้ความขรุขระผิวสูงขึ้นเช่นกัน และในทำนองเดียวกัน ความเร็วในการตัด อัตราป้อนตัด และความลึกตัด ที่เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้อัตราการสึกหรอที่สูงขึ้นเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากงานวิจัยนี้ ได้นำเทคนิคการใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุดมาประยุกต์ใช้ ซึ่งสเปรย์ไปยังตำแหน่งการตัดโดยตรง จะเห็นว่ากราฟช่วงแรกจะมีความชันสูงขึ้น แต่ในช่วงปลายความชันของกราฟเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งที่สารหล่อเย็นดังกล่าวช่วยยืดอายุการใช้งานของมีดตัด ทำให้รูปแบบของกราฟช่วงปลาย ต่างไปทฤษฎีบ้างเล็กน้อย

4.1 ผลจากการทดลอง

ข้อมูลจากการทดลองโดยการกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน SAPH370 ภายใต้อันตรายต่างๆ ที่ถูกกำหนดไว้ในตารางที่ 3.4 รวมทั้งหมด 30 เงื่อนไข อ้างอิงจาก โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab ซึ่งนำมาช่วยในการออกแบบการทดลอง เพื่อใช้สร้างตารางการออกแบบ (Design Matrix) โดยในการออกแบบการทดลองจะกำหนดให้ลำดับการทดลองเป็นการสุ่ม (Randomization) ซึ่งประกอบด้วยปัจจัย ดังนี้ อัตราการป้อนตัด ความเร็วตัด และปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น โดยทำการบันทึกผลที่ได้จากการทดลองในแต่ละเงื่อนไข โดยมีค่าความขรุขระผิวชิ้นงานเฉลี่ย (Ra) และอายุการใช้งานสูงสุดของเครื่องมือตัด แต่ละเงื่อนไข ได้ถูกแสดงในตารางที่ 4.2 เป็นผลการทดลองของเงื่อนไขการตัดแบบการสเปรย์สารหล่อเย็นน้อยที่สุด ที่ปริมาณแตกต่างกัน แต่ละเงื่อนไขการทดลอง โดยเป็นผลการทดลองที่เลือกมาเฉพาะค่าที่จะใช้เพื่อการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความขรุขระผิวของชิ้นงาน ซึ่งได้จากการผลการทดลองทุกเงื่อนไข แสดงในตารางที่ 4.2 และสำหรับผลการทดลองทั้งหมดแสดงอยู่ในภาคผนวก

ตารางที่ 4.2 เมทริกซ์ของการทดลองแบบบล็อกซ์-เป็นแกน 3 ปัจจัย และผลตอบสนอง

Std Order	Run Order	Feed rate	Cutting speed	MQL	End of life (piece)	Ra end of life (μm)	Ra of No.45 (μm)
15	1	0	0	0	67	1.192	0.862
4	2	1	1	0	48	1.193	1.166
2	3	1	-1	0	54	1.186	1.064
12	4	0	1	1	53	1.191	1.039
3	5	-1	1	0	57	1.177	0.794
10	6	0	1	-1	44	1.197	1.184
13	7	0	0	0	66	1.183	0.956
14	8	0	0	0	60	1.195	0.979
8	9	1	0	1	55	1.178	0.861
1	10	-1	-1	0	43	1.178	1.159
5	11	-1	0	-1	42	1.177	1.126
11	12	0	-1	1	65	1.197	0.838
7	13	-1	0	1	56	1.191	0.955
6	14	1	0	-1	45	1.194	0.964
9	15	0	-1	-1	45	1.196	1.112
28	16	0	0	0	55	1.195	0.979
16	17	-1	-1	0	45	1.188	1.08
29	18	0	0	0	63	1.193	0.864
25	19	0	1	-1	44	1.19	1.108
21	20	1	0	-1	43	1.177	1.165
19	21	1	1	0	48	1.191	1.009
26	22	0	-1	1	64	1.198	0.955
23	23	1	0	1	53	1.186	1.057
27	24	0	1	1	49	1.194	1.114
30	25	0	0	0	60	1.19	0.889
24	26	0	-1	-1	47	1.194	1.037
20	27	-1	0	-1	45	1.2	1.087

18	28	-1	1	0	57	1.183	0.627
17	29	1	-1	0	58	1.194	0.894
22	30	-1	0	1	50	1.185	0.895

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากคัดเลือกช่วงระยะเวลาการตัดที่เหมาะสมที่จะใช้นามาวิเคราะห์ผลการทดลองแล้ว จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยจะทำการวิเคราะห์ผลตอบต่างๆ ของการตัดแบบการใช้สเปรย์สารหล่อเย็น ตามลำดับดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ผลตอบความขรุขระผิวชิ้น งานเฉลี่ย Ra
2. การวิเคราะห์ผลตอบของอายุการใช้งานมีดตัด

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลต่างๆ เป็นการนำเสนอเพียงบางส่วนที่สำคัญ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่างๆ จะแสดงไว้ในภาคผนวก

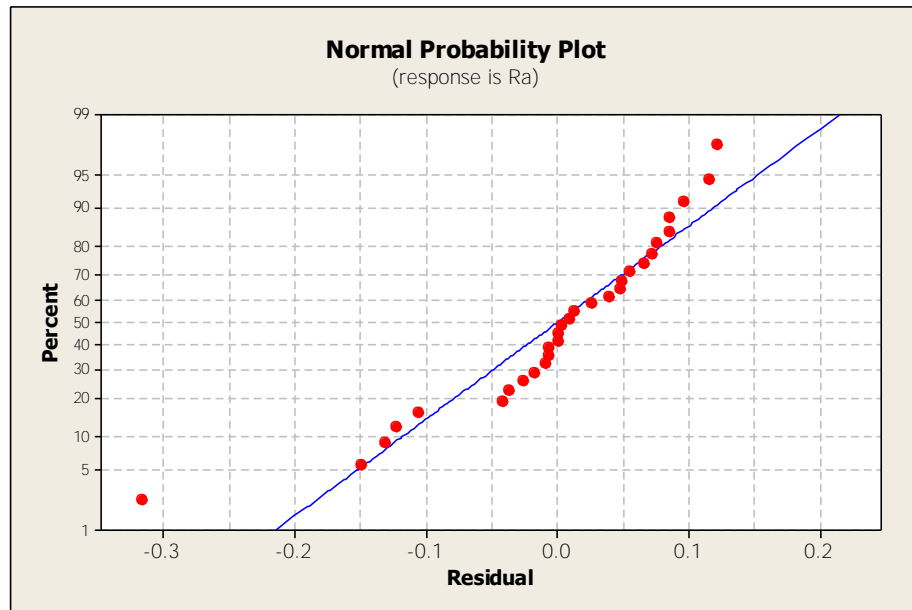
4.2.1 การวิเคราะห์ผลตอบความขรุขระผิวชิ้นงานเฉลี่ย (Ra)

การวิเคราะห์ผลการทดลองของความขรุขระผิวเฉลี่ย ด้วย ANOVA จะต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลก่อน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กรณี คือ

- 1) การทดสอบการกระจายแบบปกติ
- 2) การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล
- 3) การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของความขรุขระผิวเฉลี่ย

4.2.1.1 การทดสอบการกระจายแบบปกติ

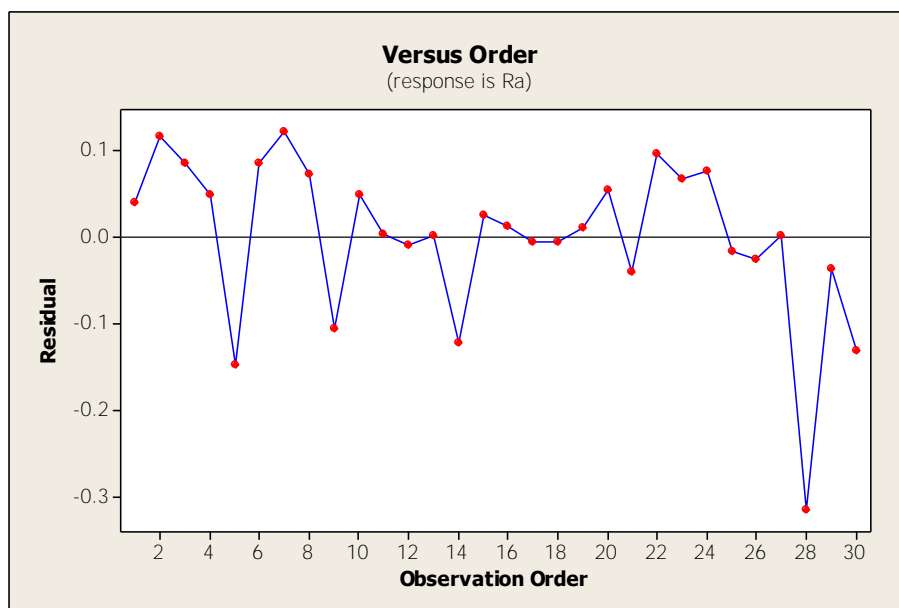
การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยการใช้ค่าส่วนตกค้าง (Residual) ที่ถูกเรียงลำดับจากค่าน้อยไปหา มาก ค่าความน่าจะเป็นสะสม $P_k = (k-1/2)/n$ ถูกนำมาใช้สร้าง Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้างกับความน่าจะเป็นสะสม โดยที่ค่าของความน่าจะเป็นสะสมอยู่บนแนวแกนตั้ง ส่วนแนวแกนนอนจะเป็นค่าส่วนตกค้างการทดสอบการกระจายแบบปกติของความขรุขระผิวเฉลี่ยแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 จากการพิจารณาค่าส่วนตกค้างกับค่าความน่าจะเป็นสะสม พบว่าค่าส่วนตกค้างมีแนวโน้มที่จะเป็นเส้นตรง ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าข้อมูลของค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) จากการทดลองมีการแจกแจงปกติ



รูปที่ 4.2 Normal Probability Plot ของข้อมูลความเรียบผิวเฉลี่ย

4.2.1.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

เพื่อต้องการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันหรือไม่ ซึ่งเป็นการทดลองถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) โดยการใช้ค่าส่วนตกค้าง และลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลมาสร้างแผนภูมิ ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแนวแกนตั้ง และลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลอยู่บนแนวแกนนอน ซึ่งการทดสอบความเป็นอิสระ ของข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.3 จากการพิจารณาค่าของส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลจากการทดลองนี้ไม่พบว่าค่าส่วนตกค้างมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือว่าลดลง หรือว่ามีการเปลี่ยนแปลงแบบวัฏจักร ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าข้อมูลค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) มีความเป็นอิสระและเพียงพอที่จะนำไปใช้เพื่อทำการวิเคราะห์ลำดับต่อไป

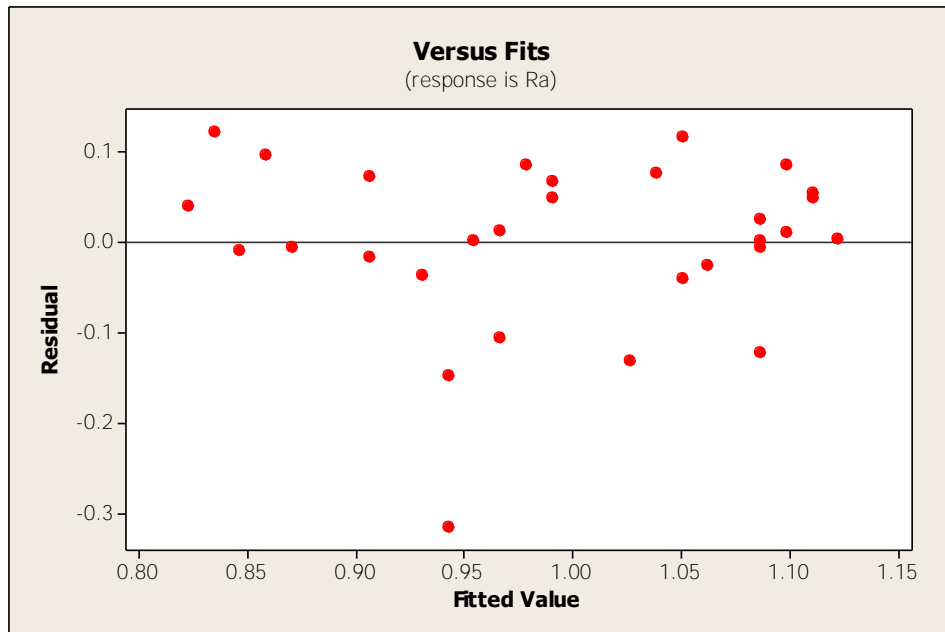


รูปที่ 4.3 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลความเรียบผิวเฉลี่ย

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า กราฟของ Residual ไม่มีรูปแบบแน่นอนหรือมีการกระจัดกระจาย แสดงว่าข้อมูลค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) เป็นอิสระต่อกัน

4.2.1.3 การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของความขรุขระผิวเฉลี่ย

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการใช้ข้อมูลส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ในที่นี้คือค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ที่ถูกทำนาย (Predicted Response) มาสร้างแผนภูมิ ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแนวแกนตั้ง และค่าที่ถูกฟิตอยู่บนแนวแกนนอน การทดสอบความเป็นอิสระของค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย แสดงดังรูปที่ 4.4 จากการพิจารณาค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตนี้ ไม่พบว่าค่าส่วนตกค้างมีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และไม่มีความสัมพันธ์กับเวลาที่คงอยู่ที่ถูกทำนาย ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความแปรปรวนของค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย เพียงพอที่จะทำการวิเคราะห์ลำดับต่อไป



รูปที่ 4.4 กราฟทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย

จากรูปที่ 4.4 จากการพิจารณาค่า Residual และ Fit value พบว่า กราฟไม่มีลักษณะของการลู่เข้าหรือลู่ออก อีกทั้งไม่มีรูปแบบปรากฏให้เห็น แสดงว่าข้อมูลมีความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของข้อมูล

4.2.1.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra)

โดยการพิจารณาจากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของความเรียบผิวเฉลี่ย ซึ่งใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลลัพธ์จากโปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4.5

จากผลการทดลองที่แสดงค่าในตารางที่ 4.1 สามารถนำมาใช้สำหรับการประมาณพื้นผิวผลตอบสนองสำหรับความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) โดยใช้สมการความสัมพันธ์อันดับสอง (Second-Order Model) ดัง สมการที่ 4.1

$$Ra = \beta_0 + \beta_1(f) + \beta_2(v) + \beta_3(q) + \beta_4(f^2) + \beta_5(v^2) + \beta_6(q^2) + \beta_7(vf) + \beta_8(vq) + \beta_9(fq) \quad (4.1)$$

โดยที่ β คือ ค่าสัมประสิทธิ์ f v และ q คือ ตัวแปรอิสระที่ถูกเข้ารหัสประกอบไปด้วยอัตราป้อนตัด (f) ความเร็วตัด (v) และปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น (q)

เมื่อนำตัวแปรอิสระ ได้แก่ อัตราป้อนตัด ความเร็วตัด และปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น ซึ่งอยู่ในรูปของตัวแปรที่ถูกเข้ารหัส (Coded variable) เพื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) โดยใช้โปรแกรม Minitab มาช่วยในการวิเคราะห์จะได้ค่าประมาณสัมประสิทธิ์สำหรับพารามิเตอร์ของแบบจำลองการถดถอยดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าประมาณพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์การถดถอยสำหรับค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.991833	0.03693	26.858	0.000
Block	0.005600	0.01652	0.339	0.738
Feed	0.025188	0.02261	1.114	0.279
Speed	-0.012813	0.02261	-0.567	0.578
Quantity	-0.076750	0.02261	-3.394	0.003
Feed*Feed	0.043896	0.03329	1.319	0.203
Speed*Speed	0.032396	0.03329	0.973	0.343
Quantity*Quantity	0.095521	0.03329	2.870	0.010
Feed*Speed	0.130875	0.03198	4.092	0.001
Feed*Quantity	0.016750	0.03198	0.524	0.607
Speed*Quantity	0.013500	0.03198	0.422	0.678

S = 0.000114708 PRESS = 7.141440E-07
R-Sq = 99.97% R-Sq(pred) = 99.92% R-Sq(adj) = 99.96%

จากรูปที่ 4.3 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระจากการวิเคราะห์การถดถอย จะได้สมการจำลองสำหรับการพยากรณ์ความขรุขระผิวเฉลี่ย คือ

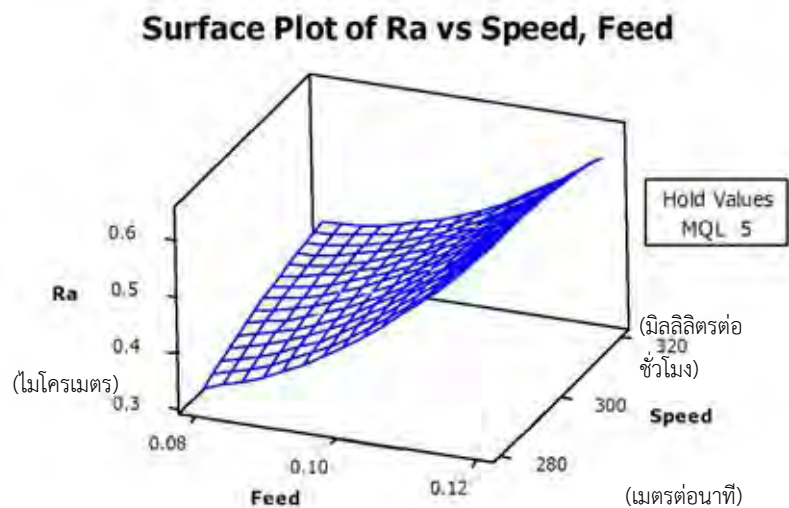
$$Ra = 0.991833 + 0.025188 f - 0.012813v - 0.012813q + 0.043896f^2 + 0.032396v^2 + 0.095521q^2 + 0.130875vf + 0.016750vq + 0.013500fq \quad (4.2)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของอิตรกิริยา (Interaction coefficient) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq) ซึ่งมีค่า 99.97% นั่นคือความแปรปรวนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการมีเพียง 0.03% เท่านั้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีบางปัจจัยที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความขรุขระผิว แต่ก็ไม่ได้ตัดออกจากสมการพยากรณ์ความขรุขระผิวเนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ก็ยังคงเป็นปัจจัยที่จะมีผลต่อความขรุขระผิวด้วยเช่นกัน รวมทั้งการตัดออกปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลให้ความแม่นยำในการพยากรณ์ลดลง

จากสมการพยากรณ์ความขรุขระผิวเฉลี่ยที่ 4.2 สังเกตได้ว่าแต่ละพารามิเตอร์มีค่าสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างกัน กล่าวคือค่าสัมประสิทธิ์นั้นนั้นสามารถบ่งบอกได้ทั้งขนาดและทิศทางที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยสำหรับพารามิเตอร์นั้นๆ โดยสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเป็นบวกจะบ่งบอกถึงพารามิเตอร์นั้นส่งผลต่อความขรุขระผิวเฉลี่ยในลักษณะแปรผันตรงหมายความว่ายิ่งมีค่ามากส่งผลให้ค่าผลตอบของค่าขรุขระผิวมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์นั้นมีค่าลบก็จะส่งผลต่อค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยในลักษณะแปรผกผัน หมายความว่ายิ่งมีค่ามากส่งผลให้ค่าผลตอบของค่าขรุขระผิวมีค่าลดลง ส่วนค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์นั้นจะสามารถบ่งบอกถึงขนาดที่จะส่งผลต่อค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย ถ้ามีค่ามากก็จะส่งผลต่อค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยให้สูงขึ้น ซึ่งก็จะเป็นไปในทำนองเดียวกันนี้ การทดสอบทางสถิติว่าค่าพารามิเตอร์นั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนพารามิเตอร์ที่มีค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ไม่มาก นั้นหมายความว่าส่งผลต่อความขรุขระผิวเฉลี่ยน้อยหรืออาจไม่ส่งผลต่อค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญในการทดสอบทางสถิติ ซึ่งจากสมการจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์ของค่าความเร็วตัดมีค่าเป็นลบ ซึ่งสามารถตีความได้ว่า เมื่อเพิ่มความเร็วตัดขึ้นจะส่งผลความขรุขระผิวเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากที่ความเร็วตัดสูงทำให้อุณหภูมิตัดสูงขึ้น ทำให้เนื้อวัสดุอ่อนนุ่มขึ้นจึงสามารถตัดผิวขึ้นได้ง่ายขึ้น และใช้แรงในการตัดน้อยลง เป็นผลให้ความขรุขระผิวเฉลี่ยลดลงด้วย แต่ในขณะที่สัมประสิทธิ์ของอัตราป้อนตัดของสมการนี้มีค่าเป็นบวก นั่นคือหมายถึงว่าเมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัดขึ้นส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องตามทฤษฎีความขรุขระผิวเฉลี่ย ส่วนความเร็วตัดซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวก ซึ่งเข้าใจได้ว่าเมื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสของการตัดมากขึ้นมีผลให้ความขรุขระผิวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามไป

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.000941	0.000941	0.000941	0.11	0.738
Regression	9	0.328816	0.328816	0.036535	4.46	0.003
Linear	3	0.107026	0.107026	0.035675	4.36	0.017
Square	3	0.081061	0.081061	0.027020	3.30	0.043
Interaction	3	0.140729	0.140729	0.046910	5.73	0.006
Residual Error	19	0.155471	0.155471	0.008183	0.35	
Lack-of-Fit	15	0.087888	0.087888	0.005859		0.941
Pure Error	4	0.067583	0.067583	0.016896		
Total	29	0.485227				

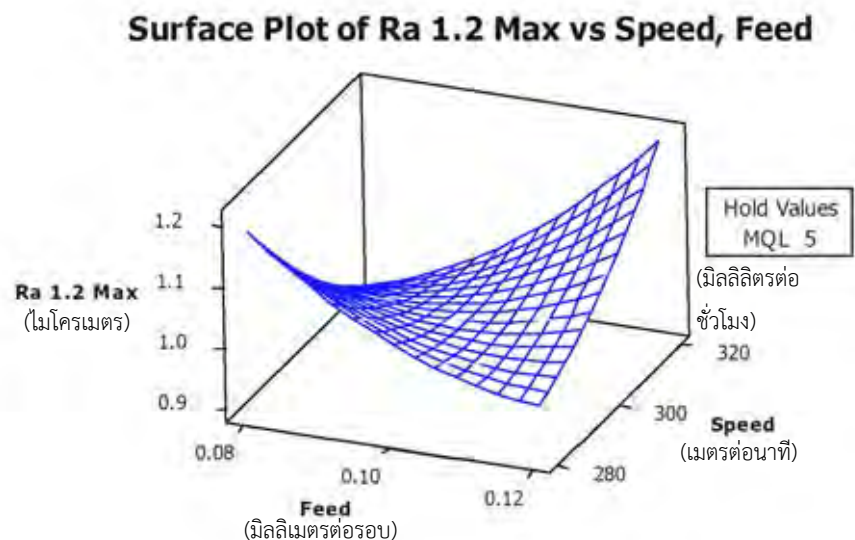
จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระผิวที่ได้จากสมการที่ 4.2 ดังตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าสมการถดถอยกำลังสองมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าความเร็วตัด อัตราป้อนตัด และปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น มีความสัมพันธ์กับความขรุขระผิวอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% อีกทั้ง Lack of fit มีค่า P-Value เท่ากับ 0.941 ซึ่งมากกว่า 0.05 นั้นหมายถึงว่าสมการที่ได้มีความแม่นยำเพียงพอในการพยากรณ์ความขรุขระผิว



รูปที่ 4.5 พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) กับอัตราการป้อนตัด (Feed) และความเร็วตัด (Speed)

จากรูปที่ 4.5 พื้นผิวผลตอบแทน (Surface Plot) แสดงระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) กับอัตราการป้อนตัด (Feed) และความเร็วตัด (Speed) ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ของค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ในช่วงเริ่มต้นการตัด ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงเริ่มต้นการตัดนั้น อัตราการป้อนตัดที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อความขรุขระผิวชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัดทำให้ความขรุขระผิวลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีความขรุขระผิว ($Ra = f^2/32r_n$) เนื่องจากอัตราการป้อนตัดที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลความขรุขระผิวชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นด้วย จากทฤษฎีความขรุขระผิวสามารถคำนวณได้จาก อัตราการป้อนตัดเป็นตัวหลัก จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนตัดขึ้น กราฟจะมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนี้อัตราป้อนตัดที่เพิ่มมากขึ้นนั้นจะส่งผลต่อพื้นที่ในการตัดที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ทำให้มีตัดเนื้อชิ้นงานมากขึ้น ส่งผลต่อแรงในการตัดที่มีค่ามากขึ้น ความขรุขระผิวงานจึงเพิ่มขึ้นนั่นเอง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนถึงความเปลี่ยนแปลงของกราฟ

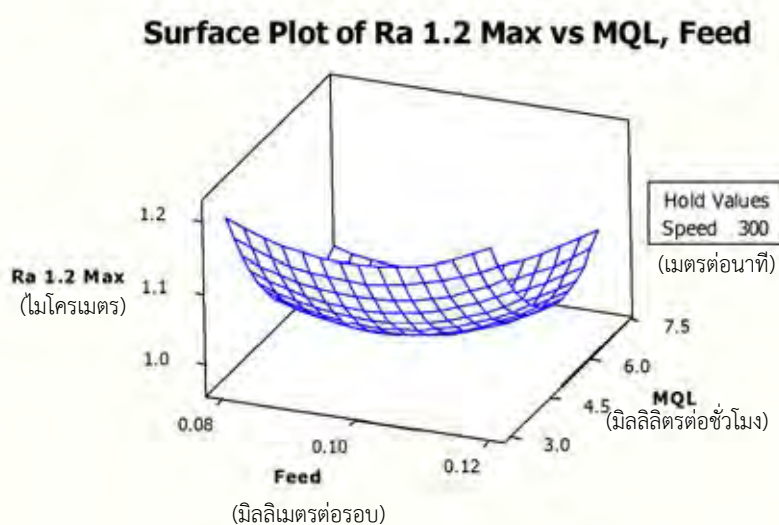
ความเร็วตัดที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อความขรุขระผิวชิ้นงานที่ลดลง เนื่องจากความเร็วตัดที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อพื้นที่ในการตัดที่น้อยลงทำให้มีตัดเนื้อชิ้นงานน้อย ส่งผลให้แรงในการตัดนั้นมีค่าที่น้อยลง แต่สำหรับการต้นเริ่มตั้นนั้นในช่วงแรกจะไม่ค่อยส่งผลต่อความขรุขระผิวมากนัก



รูปที่ 4.6 พื้นผิวผลตอบแทน (Surface Plot) แสดงระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร กับอัตราการป้อนตัด (Feed) และความเร็วตัด (Speed)

จากรูป 4.6 พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร กับอัตราการป้อนตัด (Feed) และความเร็วตัด (Speed) เมื่อนำมาพิจารณา พบว่าอัตราการป้อนตัด ตามทฤษฎีความขรุขระผิว ($Ra = f^2/32r_n$) เมื่ออัตราการป้อนตัดที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลความขรุขระผิวชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นด้วย จากทฤษฎีความขรุขระผิวสามารถคำนวณได้จาก อัตราการป้อนตัดเป็นตัวหลัก จากกราฟจะเห็นได้ว่าในทางกลับกัน เมื่อใช้งานมีดตัดไปเรื่อยๆ พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนตัดขึ้น กราฟมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นจากที่ทฤษฎีนั้น ให้ผลในช่วงเริ่มต้นของการตัดที่ทำให้ได้ค่าความขรุขระผิวที่ต่ำ แต่เมื่อตัดไปเรื่อยๆ จะมีปัจจัยหลายๆอย่างทั้งความร้อนสะสม และการสัมผัสชิ้นงานใช้เวลานานกว่า การสึกหรอของมีดตัดที่มากขึ้น ส่งผลให้ได้ผลที่ต่างไปจากช่วงเริ่มต้น

ความเร็วตัดนั้น เมื่อมีการเพิ่มค่าความเร็วสูงขึ้นจะส่งผลต่อความขรุขระผิวชิ้นงานสูงขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากความเร็วตัดที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้การสึกหรอของมีดเร็วเสียหายเร็วขึ้น ดังนั้นเมื่อความเร็วตัดสูงขึ้น ระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) จึงสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

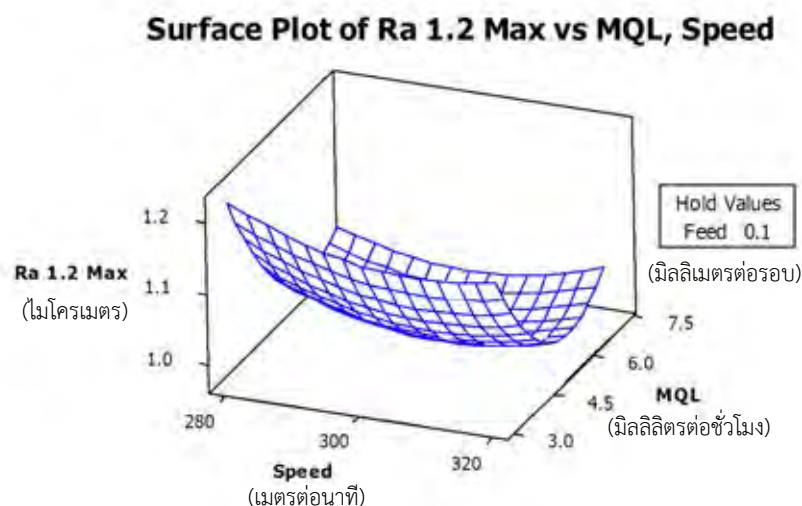


รูปที่ 4.7 พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร กับอัตราการป้อนตัด (Feed) และปริมาณสารหล่อเย็น (MQL)

จากรูปที่ 4.7 พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร กับอัตราการป้อนตัด (Feed) และปริมาณสารหล่อเย็น (MQL) โดยให้ความเร็วที่ 300 เมตรต่อนาทีเป็นค่าคงที่ เมื่อนำมาพิจารณา พบว่าอัตราการป้อนตัด

ที่ค่าน้อยและค่ามาก ส่งผลต่อความขรุขระผิวเฉลี่ยสูง ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่ากลางของ อัตราการป้อนตัดให้ผลเป็นดีที่สุด เนื่องจากให้ค่าขรุขระผิวเฉลี่ยต่ำสุด

ปริมาณสารหล่อเย็น (MQL) พบว่าปริมาณสารหล่อเย็นสเปรย์ที่ปริมาณต่ำ ส่งผลต่อความขรุขระผิวเฉลี่ยสูง และเมื่อเพิ่มปริมาณสารหล่อเย็นขึ้นส่งผลให้ขรุขระผิวเฉลี่ยลดลง ซึ่งตรงกับทฤษฎีสารหล่อเย็น ที่สารหล่อเย็นช่วยยืดอายุการใช้งานของมีดตัด และช่วยปรับปรุงความขรุขระผิวงานซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่ากลางของปริมาณสารหล่อเย็นให้ผลเป็นดีที่สุด เนื่องจากให้ค่าขรุขระผิวเฉลี่ยต่ำสุด



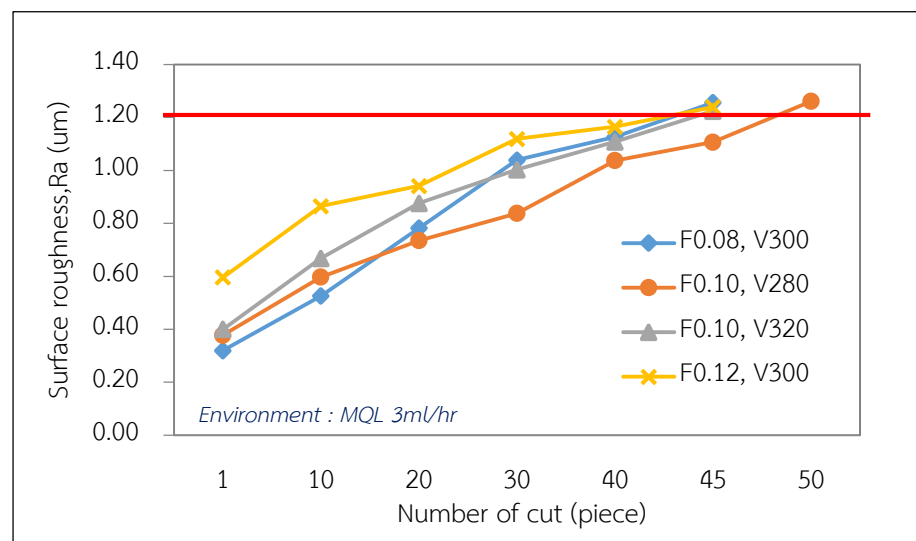
รูปที่ 4.8 พื้นผิวผลตอบแทน (Surface Plot) แสดงระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร กับความเร็วตัด (Speed) และปริมาณสารหล่อเย็น (MQL)

จากรูป 4.8 พื้นผิวผลตอบแทน (Surface Plot) แสดงระดับของความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร กับความเร็วตัด (Speed) และปริมาณสารหล่อเย็น (MQL) โดยให้อัตราการป้อนตัดที่ 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบเป็นค่าคงที่ เมื่อนำมาพิจารณาพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วดัดขึ้นในระดับที่เหมาะสมส่งผลความขรุขระผิวเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากที่ความเร็วตัดสูงทำให้อุณหภูมิตัดสูงขึ้น ทำให้เนื้อวัสดุอ่อนนุ่มขึ้นจึงสามารถตัดผิวชิ้นได้ง่ายขึ้น และใช้แรงในการตัดน้อยลง เป็นผลให้ความขรุขระผิวเฉลี่ยลดลงด้วย

ปริมาณสารหล่อเย็น (MQL) พบว่าปริมาณสารหล่อเย็นสเปรย์ที่ปริมาณต่ำ ส่งผลต่อความขรุขระผิวเฉลี่ยสูง และเมื่อเพิ่มปริมาณสารหล่อเย็นขึ้นส่งผลให้ขรุขระผิวเฉลี่ยลดลง ซึ่งตรงกับทฤษฎีสารหล่อเย็น ที่สารหล่อเย็นช่วยยืดอายุการใช้งานของมีดตัด และช่วย

ปรับปรุงความขรุขระผิวงานซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารหล่อเย็น MQL ในระดับที่เหมาะสมส่งผลความขรุขระผิวเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง

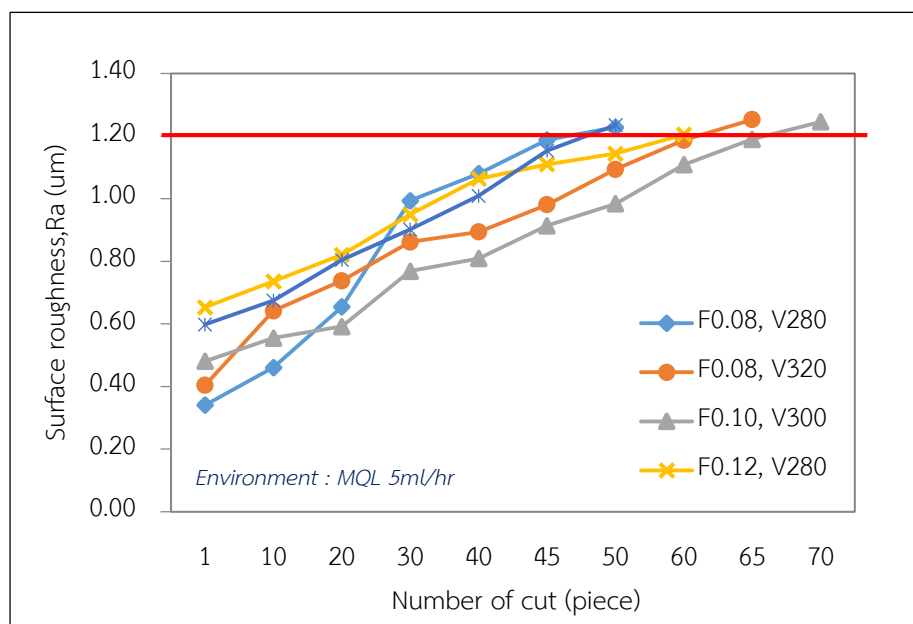
จากการทดลองจากตารางที่ 4.1 นำมาพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) กับการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น โดยใช้ปริมาณสารหล่อเย็นที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ซึ่งสามารถแจกแจงออกมาเป็น 3 กราฟ ด้านล่าง



รูปที่ 4.9 ความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น โดยใช้ปริมาณ MQL 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

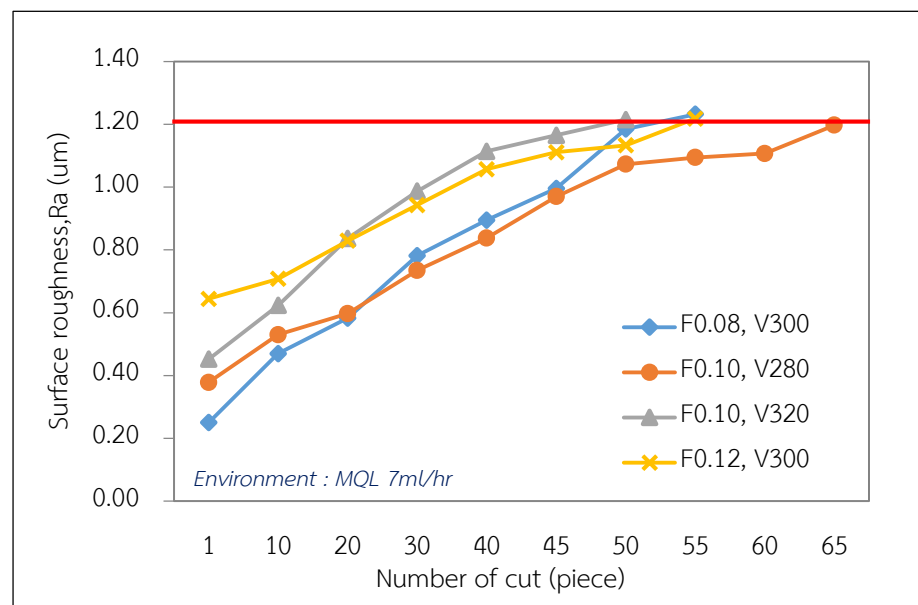
จากรูปที่ 4.9 กราฟแสดงความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น โดยใช้ปริมาณ MQL 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยเงื่อนไขการตัดที่มีอัตราการป้อนตัดและความเร็วตัดแตกต่างกัน ซึ่งผลจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าในระยะเริ่มต้นการใช้มีดตัดใหม่การสึกหรออย่างน้อย ค่าความขรุขระผิวอยู่ในระดับต่ำ เมื่อมีการเพิ่มจำนวนชิ้นงานการตัดไปเรื่อยๆ อัตราการสึกหรอของมีดตัดเริ่มมีขนาดโตขึ้น ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวอยู่ในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนชิ้นในการตัด ไปจนถึงชิ้นที่ 45 ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยเริ่มแตะเส้นควบคุมที่ 1.2 ไมโครเมตร จึงหยุดทำการทดลองและเปลี่ยนมีดอันใหม่ ซึ่งจากผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ว่า การใช้ปริมาณสารหล่อเย็นอาจจะน้อยเกินไป ส่งผลให้การตัดมีลักษณะคล้ายกับการตัดแห้ง อุณหภูมิในการตัดสูง อัตราการสึกหรอของมีดตัดเร็ว อีกทั้งจะเห็นได้ว่าเงื่อนไขการตัดที่ด้อยที่สุดคือ อัตราการป้อนตัดที่ 0.12 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความเร็วในการตัดที่ 300 เมตรต่อนาที และเงื่อนไขการตัดที่ให้ค่าดีที่สุดสำหรับโดยใช้ปริมาณ MQL 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง คือ อัตราการป้อนตัดที่ 0.10 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความเร็วในการตัดที่ 280 เมตรต่อนาที ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่กล่าวมาข้างต้น

จากรูปที่ 4.10 กราฟแสดงความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น โดยใช้ปริมาณ MQL 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยเงื่อนไขการตัดที่มีอัตราการป้อนตัดและความเร็วตัดแตกต่างกัน ซึ่งผลจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าในระยะเริ่มต้นการใช้มีดตัดใหม่การสึกหรอยังน้อย ค่าความขรุขระผิวอยู่ในระดับต่ำ เมื่อมีการเพิ่มจำนวนชิ้นงานการตัดไปเรื่อยๆ อัตราการสึกหรอของมีดตัดเริ่มมีขนาดโตขึ้น ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวอยู่ในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนชิ้นในการตัด ไปจนถึงชิ้นที่ 50 ค่า ความขรุขระผิวเฉลี่ยเริ่มแตะเส้นควบคุมที่ 1.2 ไมโครเมตร จึงหยุดทำการทดลองและเปลี่ยนมีดอันใหม่สำหรับบางเงื่อนไข และสำหรับบางเงื่อนไขก็สามารถกลึงต่อไปได้เรื่อยๆจนถึงตัวที่ 65 โดยประมาณ ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองก่อนหน้า มีการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นที่เพิ่มขึ้น จาก 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เป็น 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง สามารถอธิบายได้ว่า การใช้ปริมาณสารหล่อเย็นที่เพียงพอ และเหมาะสมกับเงื่อนไขการตัด ส่งผลให้อุณหภูมิในการตัดที่เหมาะสม อีกทั้งสารหล่อเย็นสามารถเข้าไปช่วยลดการเสียดสีของมีดตัดกับชิ้นงาน ช่วยชะลออัตราการสึกหรอของมีดตัด ให้สึกหรอช้าลง ทำให้ค่าความขรุขระของชิ้นงานค่อยๆโตขึ้น หรือเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จึงสามารถทำให้สามารถใช้มีดตัดได้ยืนยาวขึ้นนั่นเอง จะเห็นได้ว่าเงื่อนไขการตัดที่ให้ค่าดีที่สุดสำหรับโดยใช้ปริมาณ MQL 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง คือ อัตราการป้อนตัดที่ 0.10 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความเร็วในการตัดที่ 300 เมตรต่อนาที



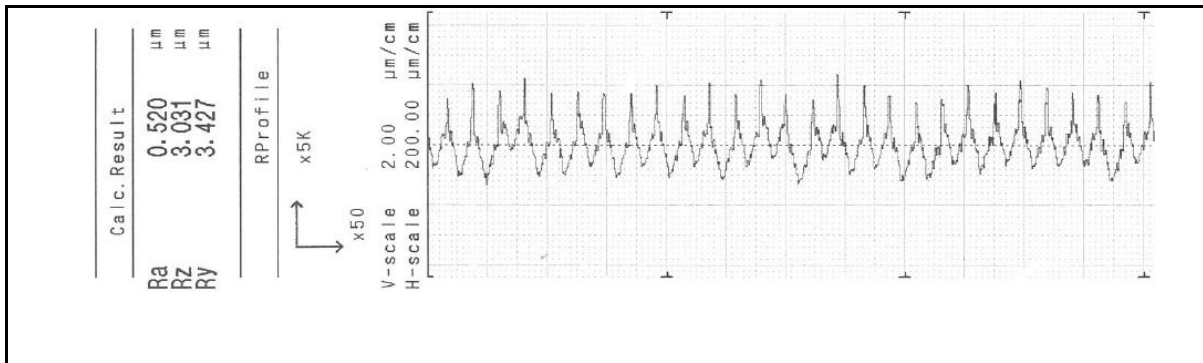
รูปที่ 4.10 ความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น โดยใช้ปริมาณ MQL 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4.11 กราฟแสดงความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปร์ยสารหล่อเย็น โดยใช้ปริมาณ MQL 7 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง โดยเงื่อนไขการตัดที่มีอัตราการป้อนตัดและความเร็วตัดแตกต่างกัน ซึ่งผลจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าในระยะเริ่มต้นการใช้มีดตัดใหม่การสึกหรออย่างน้อย ค่าความขรุขระผิวอยู่ในระดับต่ำ เมื่อมีการเพิ่มจำนวนชิ้นงานการตัดไปเรื่อยๆ อัตราการสึกหรอของมีดตัดเริ่มมีขนาดโตขึ้น ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวอยู่ในระดับที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนชิ้นในการตัด ไปจนถึงชิ้นที่ 50 ค่า ความขรุขระผิวเฉลี่ยเริ่มแตะเส้นควบคุมที่ 1.2 ไมโครเมตร จึงหยุดทำการทดลองและเปลี่ยนมีดอันใหม่สำหรับบางเงื่อนไข และสำหรับบางเงื่อนไขก็สามารถกลึงต่อไปได้เรื่อยๆจนถึงตัวที่ 65 โดยประมาณ ซึ่งจากผลการทดลองนี้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองก่อนหน้า มีการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นที่เพิ่มขึ้น จาก 5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เป็น 7 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งผลที่ได้มีลักษณะเดียวกับกราฟรูปที่ 4.10 สามารถอธิบายได้ว่า การใช้ปริมาณสารหล่อเย็นที่เพียงพอ และเหมาะสมกับเงื่อนไขการตัด ส่งผลให้อุณหภูมิในการตัดที่เหมาะสม อีกทั้งสารหล่อเย็นสามารถเข้าไปช่วยลดการเสียดสีของมีดตัดกับชิ้นงาน ช่วยชะลออัตราการสึกหรอของมีดตัด ให้สึกหรอช้าลง ทำให้ค่าความขรุขระของชิ้นงานค่อยๆโตขึ้น หรือเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จึงสามารถทำให้สามารถใช้มีดตัดได้ยืนยาวขึ้นนั่นเอง จะเห็นได้ว่าเงื่อนไขการตัดที่ให้ค่าดีที่สุดสำหรับโดยใช้ปริมาณ MQL 7 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง คือ อัตราการป้อนตัดที่ 0.10 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ความเร็วในการตัดที่ 280 เมตรต่ออนาที ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่กล่าวมาข้างต้น

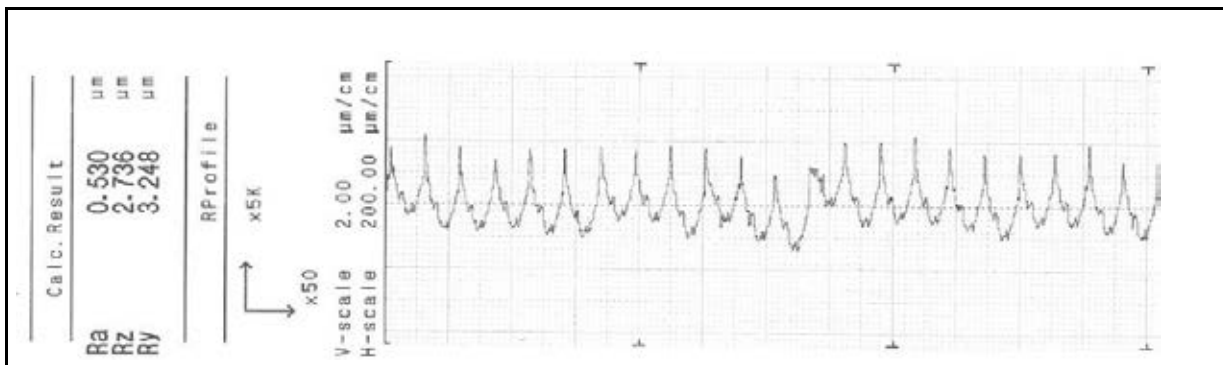


รูปที่ 4.11 ความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปร์ยสารหล่อเย็น โดยใช้ปริมาณ MQL 7 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

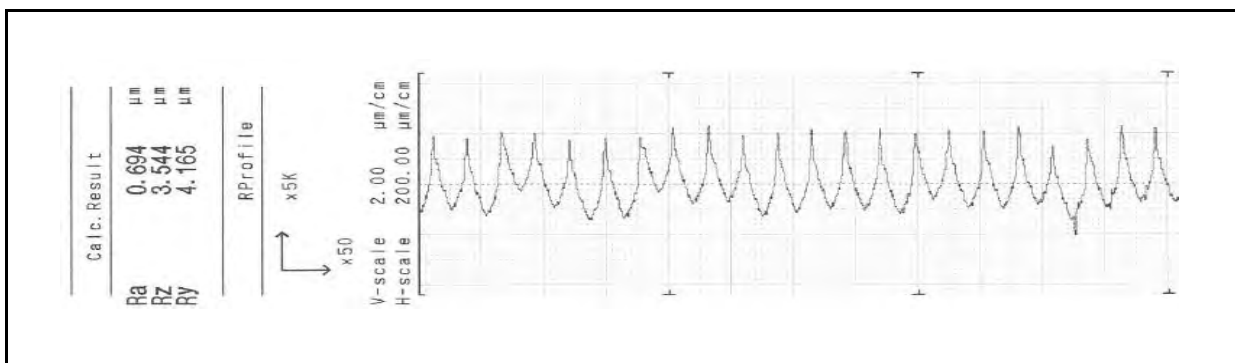
จากกราฟการทดลองทั้ง 3 กราฟข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า การใช้ปริมาณการตัดที่เหมาะสมสามารถชะลออัตราการสึกหรอของมีดตัด ทำให้ค่าความขรุขระผิวของชิ้นงานค่อยๆเพิ่มขึ้น



โปรไฟล์ความขรุขระผิว ภายใต้เงื่อนไขการตัดอัตราป้อนตัด 0.08 มิลลิเมตร/รอบ ปริมาณสารหล่อเย็น 5 มิลลิลิตร/ชั่วโมง และความตด 300 เมตร/นาที



โปรไฟล์ความขรุขระผิว ภายใต้เงื่อนไขการตัดอัตราป้อนตัด 0.10 มิลลิเมตร/รอบ ปริมาณสารหล่อเย็น 5 มิลลิลิตร/ชั่วโมง และความตด 300 เมตร/นาที



โปรไฟล์ความขรุขระผิว ภายใต้เงื่อนไขการตัดอัตราป้อนตัด 0.12 มิลลิเมตร/รอบ ปริมาณสารหล่อเย็น 5 มิลลิลิตร/ชั่วโมง และความตด 300 เมตร/นาที

จากรูปโปรไฟล์ความขรุขระผิวจะ โดยการเปรียบเทียบอัตราการป้อนตัดที่ต่างกัน โดยให้ค่าความตัดที่ 300 เมตร/นาทีก และ ปริมาณสารหล่อเย็นที่ 5 มิลลิลิตร/ชั่วโมงเป็นค่าคงที่ จะเห็นได้ว่าในช่วงเริ่มต้นที่อัตราการป้อนตัดต่างกัน อัตราการป้อนตัดที่ต่ำให้ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยที่ต่ำด้วย แต่เมื่อมีจำนวนการตัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความขรุขระผิวเฉลี่ย ต่างไปจากเดิม ซึ่งค่าอัตราการป้อนตัดที่เหมาะสม ความเร็วตัด และปริมาณสารหล่อเย็นที่เหมาะสม ส่งผลให้ได้ค่าความขรุขระผิวที่ดีด้วยเช่นกัน

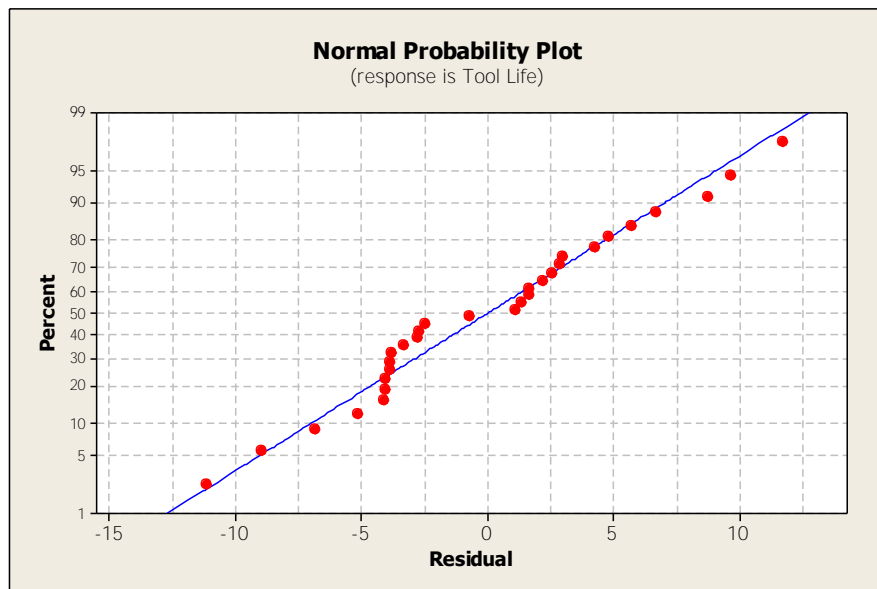
4.2.2 การวิเคราะห์ผลตอบอายุการใช้งานของมีดตัด

การวิเคราะห์ผลการทดลองของอายุการใช้งานมีดตัดด้วย ANOVA จะต้องวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลก่อน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กรณี คือ

- 1) การทดสอบการกระจายแบบปกติ
- 2) การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล
- 3) การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของอายุการใช้งานของมีดตัด

4.2.2.1 การทดสอบการกระจายแบบปกติ

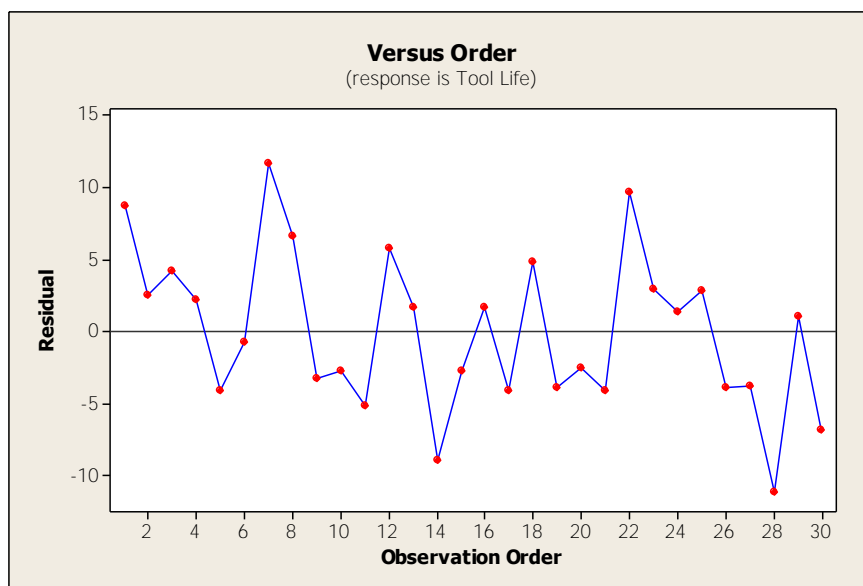
การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยการใช้ค่าส่วนตกค้าง (Residual) ที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามากกับค่าความน่าจะเป็นสะสม $P_k = (k-1/2)/n$ เพื่อนำมาสร้าง Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้างกับความน่าจะเป็นสะสม โดยที่ค่าความน่าจะเป็นสะสมอยู่บนแนวแกนตั้ง ส่วนแนวแกนนอนจะเป็นค่าส่วนตกค้าง การทดสอบการกระจายแบบปกติของอายุการใช้งานของมีดตัด แสดงได้ดังรูปที่ 4.12 จากการพิจารณาค่าส่วนตกค้างกับค่าความน่าจะเป็นสะสม พบว่าค่าส่วนตกค้างมีแนวโน้มที่จะเป็นเส้นตรง ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.12 Normal Probability Plot ของข้อมูลอายุการใช้งานของมีดตัด

4.2.2.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันหรือไม่ เป็นการทดลองถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) โดยการใช้ค่าส่วนตกค้าง และลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลมาสร้างแผนภูมิ ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแนวแกนตั้ง และลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลอยู่บนแนวแกนนอน การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.13 จากการพิจารณาค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลนี้ ไม่พบว่าค่าส่วนตกค้างมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น ลดลง หรือมีการเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักร ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระเพียงพอที่จะทำการวิเคราะห์ต่อไป

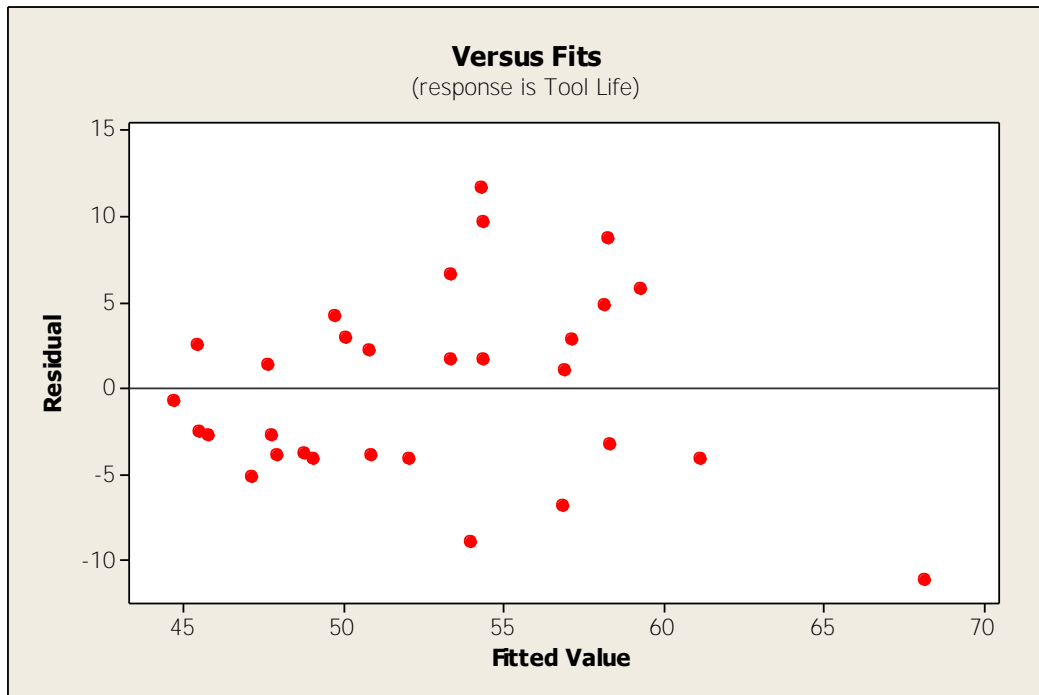


รูปที่ 4.13 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลอายุการใช้งานของมีดตัด

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่ากราฟของ Residual ไม่มีรูปแบบแน่นอนหรือมีการกระจัดกระจาย แสดงว่าข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน

4.2.2.3 การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของอายุการใช้งานของมีดตัด

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยใช้ข้อมูลส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ในที่นี้คือค่าความหยาบผิว (R_a) ที่ถูกทำนาย (Predicted Response) มาสร้างแผนภูมิ ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแนวแกนตั้ง และค่าที่ถูกฟิตอยู่บนแนวแกนนอน การทดสอบความเป็นอิสระของอายุการใช้งานของมีดตัดแสดงดังรูปที่ 4.14 จากการพิจารณาค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตนี้ไม่พบว่ามีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และไม่มีความสัมพันธ์กับเวลาที่คงอยู่ที่ถูกทำนาย ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงตัวเพียงพอที่จะทำการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 4.14 กราฟทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของอายุการใช้งานของมีดตัด

จากรูปที่ 4.14 จากการพิจารณาค่า Residual และ Fit value พบว่า กราฟไม่มีลักษณะของการลู่เข้าหรือลู่ออก และไม่มีรูปแบบปรากฏให้เห็น แสดงว่าข้อมูลมีความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของข้อมูล

4.2.2.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของอายุการใช้งานของมีดตัด

โดยการพิจารณาจากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของความเรียบผิวเฉลี่ย ซึ่งใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลลัพธ์จากโปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4.5

4.2.2.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองของอายุการใช้งานมีดตัด

จากผลการทดลองที่แสดงค่าในตารางที่ 4.1 สามารถนำมาใช้สำหรับการประมาณพื้นผิวผลตอบสนองสำหรับอายุการใช้งานมีดตัด โดยใช้สมการความสัมพันธ์อันดับสอง (Second-Order Model) ดัง สมการที่ 4.3

$$\text{Tool Life} = \beta_0 + \beta_{11}(f) + \beta_{12}(v) + \beta_{13}(q) + \beta_{14}(f^2) + \beta_{15}(v^2) + \beta_{16}(q^2) + \beta_{17}(fv) + \beta_{18}(vq) + \beta_{19}(fq) \quad (4.3)$$

โดยที่ β คือ ค่าสัมประสิทธิ์ f v และ q คือ ตัวแปรอิสระที่ถูกเข้ารหัสประกอบไปด้วยอัตราป้อนตัด (f) ความเร็วตัด (v) และปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น(q)

เมื่อนำตัวแปรอิสระ ได้แก่ อัตราป้อนตัด ความเร็วตัด และปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น ซึ่งอยู่ในรูปของตัวแปรที่ถูกเข้ารหัส (Coded variable) เพื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) โดยใช้โปรแกรม Minitab มาช่วยในการวิเคราะห์จะได้ค่าประมาณของค่าสัมประสิทธิ์สำหรับพารามิเตอร์ของแบบจำลองการถดถอย ดังแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าประมาณพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์การถดถอยสำหรับอายุการใช้งานมีดตัด

Estimated Regression Coefficients for Tool Life				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	61.8333	1.4762	41.887	0.000
Block	0.6333	0.6602	0.959	0.349
Feed	0.5625	0.9040	0.622	0.541
Speed	-1.3125	0.9040	-1.452	0.163
Quantity	5.6250	0.9040	6.222	0.000
Feed*Feed	-6.6667	1.3306	-5.010	0.000
Speed*Speed	-3.9167	1.3306	-2.943	0.008
Quantity*Quantity	-6.6667	1.3306	-4.916	0.000
Feed*Speed	-5.2500	1.2784	-4.107	0.001
Feed*Quantity	0.1250	1.2784	0.098	0.923
Speed*Quantity	-2.8750	1.2784	-2.249	0.037
S = 3.61594 PRESS = 603.220				
R-Sq = 95.81% R-Sq(pred) = 65.54% R-Sq(adj) = 78.34%				

จากตารางที่ 4.5 ค่าประมาณสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระจากการวิเคราะห์การถดถอยจะได้สมการจำลองสำหรับการพยากรณ์อายุการใช้งานมีดตัด คือ

$$\text{Tool Life} = 61.8333 + 0.6333f - 1.3125v + 5.6250q - 6.6667f^2 - 3.9167v^2 - 6.5417q^2 - 5.2500fv + 0.1250fq - 2.8750vq \quad (4.4)$$

จากตารางที่ 4.5 ได้แสดงค่าสถิติที่ใช้ตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยรายตัว พบว่าค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น (Linear coefficient) คือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด และ

ปริมาณสารหล่อเย็น ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นโค้ง (Quadratic coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตรากิริยา (Interaction coefficient) เท่านั้นที่ต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P < 0.05$) เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 95.81% นั่นคือความแปรปรวนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการมีเพียง 4.19% เท่านั้น อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีบางปัจจัยที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขรุขระผิว แต่ก็ไม่ได้ตัดออกจากสมการพยากรณ์อายุการใช้งานมีดตัด เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ก็ยังคงมีผลต่ออายุการใช้งานมีดตัด ด้วยเช่นกัน รวมทั้งการตัดออกปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลให้ความแม่นยำในการพยากรณ์ลดลง

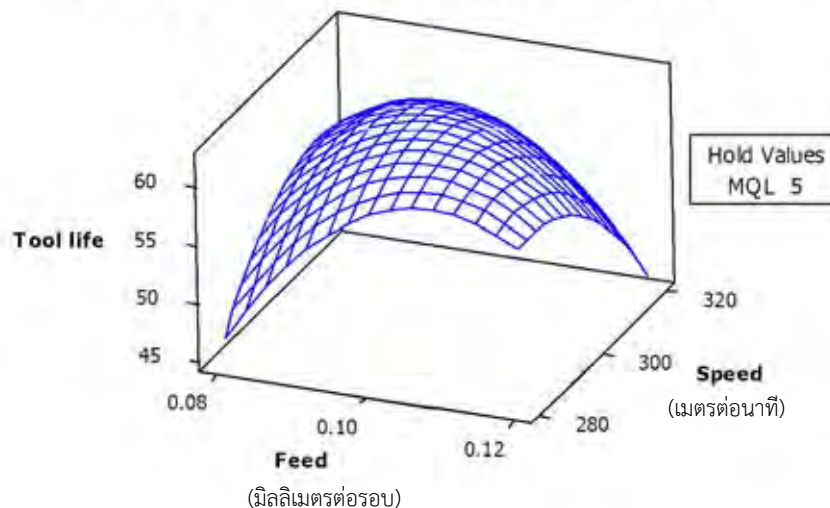
จากสมการพยากรณ์อายุการใช้งานมีดตัด ที่ 4.4 สังเกตได้ว่าแต่ละพารามิเตอร์มีค่าสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างกัน กล่าวคือค่าสัมประสิทธิ์สามารถบ่งบอกได้ทั้งขนาดและทิศทางในการส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดตัด สำหรับพารามิเตอร์นั้นๆ โดยสัมประสิทธิ์ที่มีค่าบวกจะส่งผลให้พารามิเตอร์นั้นส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดตัด ในลักษณะแปรผันตรง แต่ถ้าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์นั้นมีค่าลบก็จะส่งผลต่อความขรุขระผิวเฉลี่ยในลักษณะแปรผกผัน ส่วนค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์จะบ่งบอกถึงขนาดที่จะส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดตัด ถ้ามีค่ามากก็จะส่งผลมากต่ออายุการใช้งานมีดตัด ซึ่งก็จะเป็นไปในทำนองเดียวกับการทดสอบทางสถิติว่าพารามิเตอร์นั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนพารามิเตอร์ที่มีค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ไม่มากนักหมายความว่าส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดตัด เฉลี่ยน้อยหรืออาจไม่ส่งผลต่ออายุการใช้งานมีดตัด อย่างมีนัยสำคัญในการทดสอบทางสถิติ ซึ่งจากสมการจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์ของความเร็วดัดมีค่าเป็นลบ สามารถตีความหมายได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วดัดขึ้นอายุการใช้งานมีดตัด มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากที่ความเร็วดัดสูงมีผลให้อุณหภูมิมีดสูง ทำให้ใช้แรงในการตัดน้อยลง จากผลของเนื้อวัสดุอ่อนนุ่มจึงตัดง่ายขึ้น มีผลให้อายุการใช้งานมีดตัด ลดลง แต่ขณะที่สัมประสิทธิ์ของอัตราป้อนตัดมีค่าเป็นบวก นั่นคือเมื่ออัตราป้อนตัดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอายุการใช้งานมีดตัด เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับอายุการใช้งานมีดตัด

Analysis of Variance for Tool Life						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	012.03	12.03	12.033	0.92	0.349
Regression	9	1489.84	1489.84	165.538	12.66	0.000
Linear	3	538.87	538.87	179.625	13.74	0.541
Square	3	664.22	664.22	221.406	16.93	0.000
Interaction	3	286.75	286.75	95.583	7.31	0.002
Residual Error	19	248.43	248.43	13.075		
Lack-of-Fit	15	187.09	178.09	12.473	0.81	0.660
Pure Error	4	61.33	61.33	15.333		
Total	29	1750.30				

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับฟังก์ชันพื้นผิวผลตอบลำดับที่สองของอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด ANOVA ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์วิธีนี้จำเป็นสำหรับการตรวจสอบความสำคัญและความเหมาะสมของสมการพหุนามลำดับที่สอง [9] เนื่องจาก P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 และด้วยเหตุนี้รูปแบบสมการของอายุการใช้งานเครื่องมือจึงค่อนข้างเพียงพอ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า ปัจจัย ความเร็วตัด, อัตราป้อน และปริมาตรการสเปรย์สารหล่อเย็น MQL มีผลต่ออายุการใช้งานของมีดตัด อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีการทดสอบค่า lack of fit คือ 0.81 ซึ่งมีความหมายว่า ว่าสมการที่ได้มีความแม่นยำเพียงพอในการพยากรณ์อายุการใช้งานของมีดตัด ที่ระดับนัยสำคัญ 95% นี้เป็นเพราะรูปแบบที่พอดีระบุว่าข้อมูลการทดลองมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงค่า R^2 เท่ากับ 85% เป็นที่น่าพอใจเพื่อยืนยันความสำคัญของแบบจำลอง เครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์แสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนอง ถ้าค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกพื้นผิวผลตอบจะเพิ่มขึ้น แต่ค่าสัมประสิทธิ์เป็นพื้นผิวผลตอบที่ลดลง [10]

Surface Plot of Tool life vs Speed, Feed

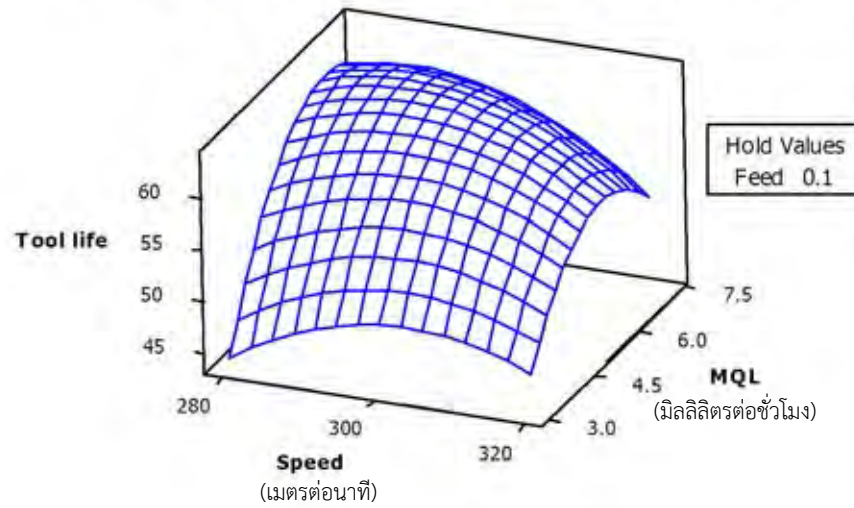


รูปที่ 4.15 พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของอายุการใช้งานมีดตัด อัตราการป้อนตัด และความเร็วตัด

จากรูปที่ 4.15 พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของอายุการใช้งานมีดตัด อัตราการป้อนตัด และความเร็วตัด ทำให้เข้าใจได้ว่า จากสมการที่ 4.4 แสดงให้เห็นพื้นผิวตอบสนองของอายุการใช้งานที่ใช้พารามิเตอร์ของเครื่องมือตัดตามสมรรถนะของความเร็วในการตัดและอัตราป้อน ที่อัตราการสเปรย์สารหล่อเย็นปริมาณ 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดเพิ่มขึ้นและลดลงในอัตราป้อนที่สูงขึ้น อายุการใช้งานของเครื่องมือลดลงในขณะที่ความเร็วในการตัดเพิ่มขึ้น

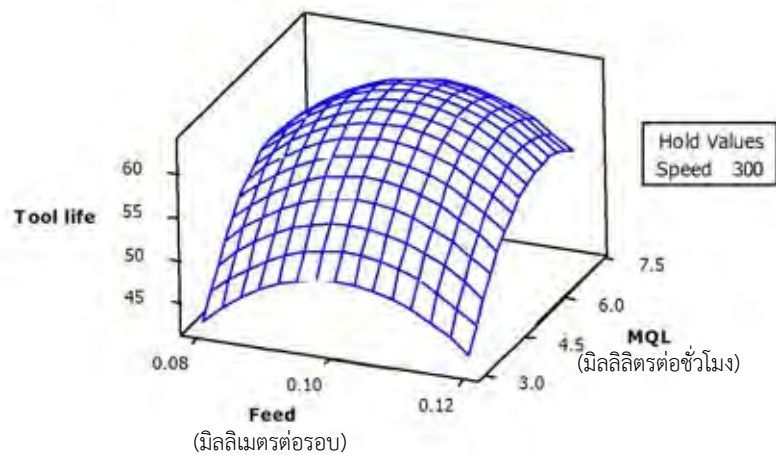
จากรูปที่ 4.16 พื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) แสดงระดับของอายุการใช้งานมีดตัด อัตราการป้อนตัด และความเร็วตัด แสดงให้เห็นชัดเจนว่าเมื่อปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็นปริมาณเพิ่มขึ้นอายุการใช้งานของเครื่องมือเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจากรูปที่ 4.17 ก็เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของสารหล่อเย็น ที่ช่วยลดอุณหภูมิขณะตัด ปรับปรุงคุณภาพของความขรุขระผิวชิ้นงาน และช่วยยืดอายุการใช้งานของมีดตัด

Surface Plot of Tool life vs MQL, Speed

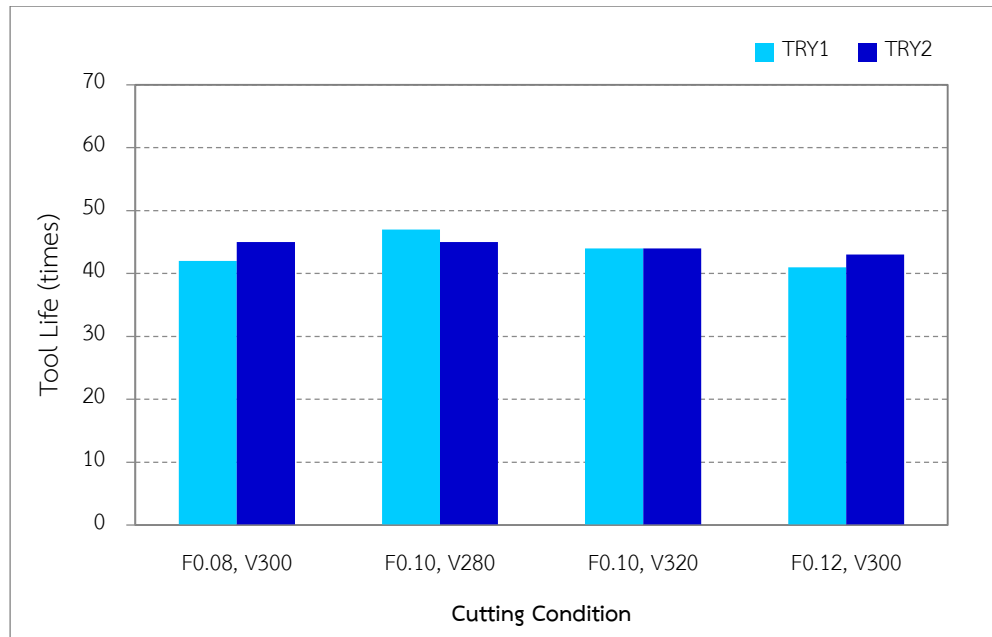


รูปที่ 4.16 พื้นผิวผลตอบแทน (Surface Plot) แสดงระดับของอายุการใช้งานมีดตัด อัตราการป้อนตัด และความเร็วตัด

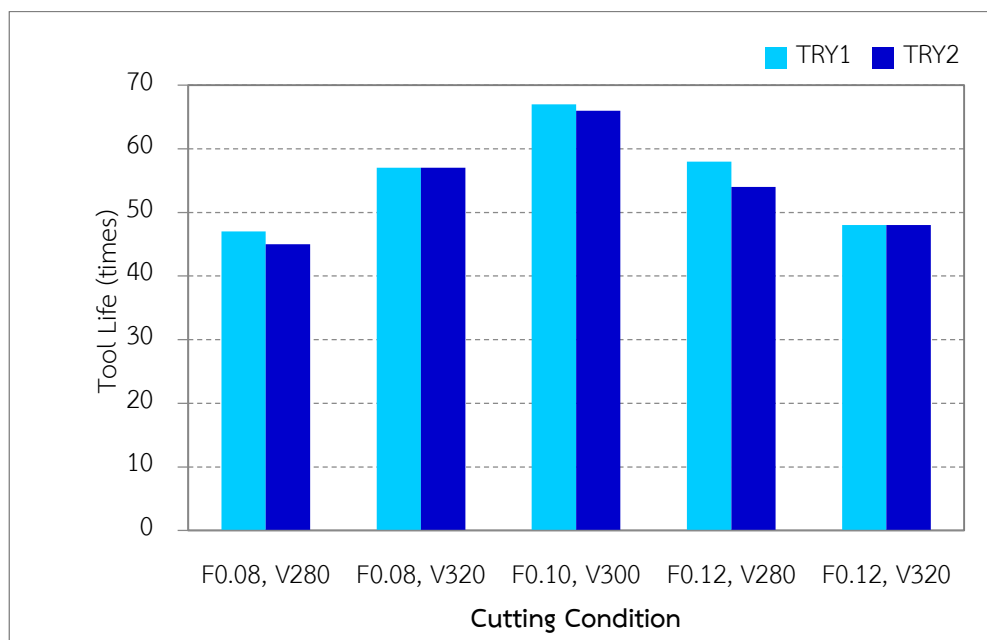
Surface Plot of Tool life vs MQL, Feed



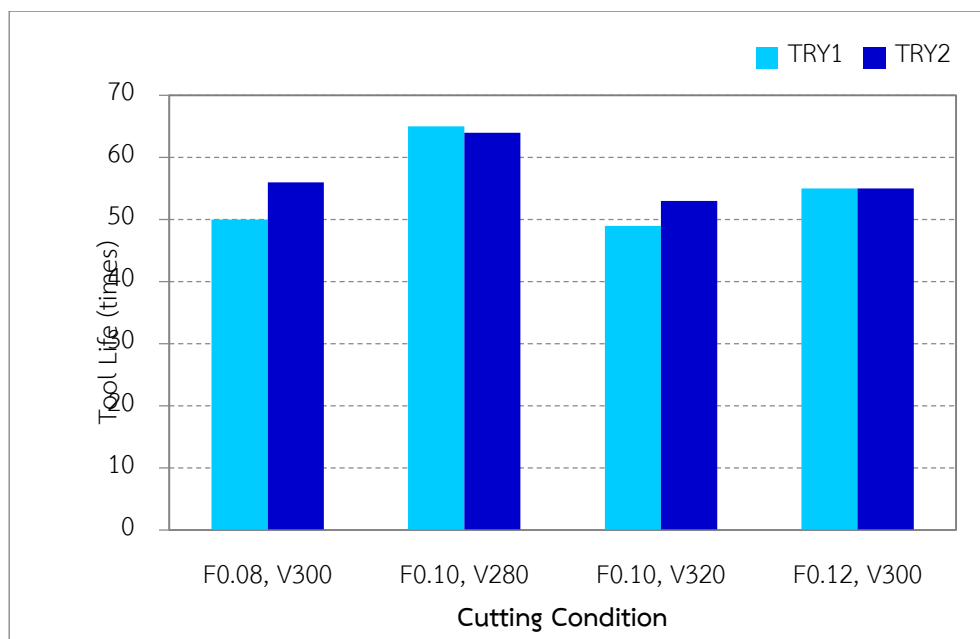
รูปที่ 4.17 พื้นผิวผลตอบแทน (Surface Plot) แสดงระดับของอายุการใช้งานมีดตัด อัตราการป้อนตัด และปริมาณการใช้สารหล่อเย็น



รูปที่ 4.18 อายุการใช้งานมีดตัด ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น 3 มิลลิเมตรต่อ ชั่วโมง



รูปที่ 4.19 อายุการใช้งานมีดตัด ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น 5 มิลลิเมตรต่อ ชั่วโมง



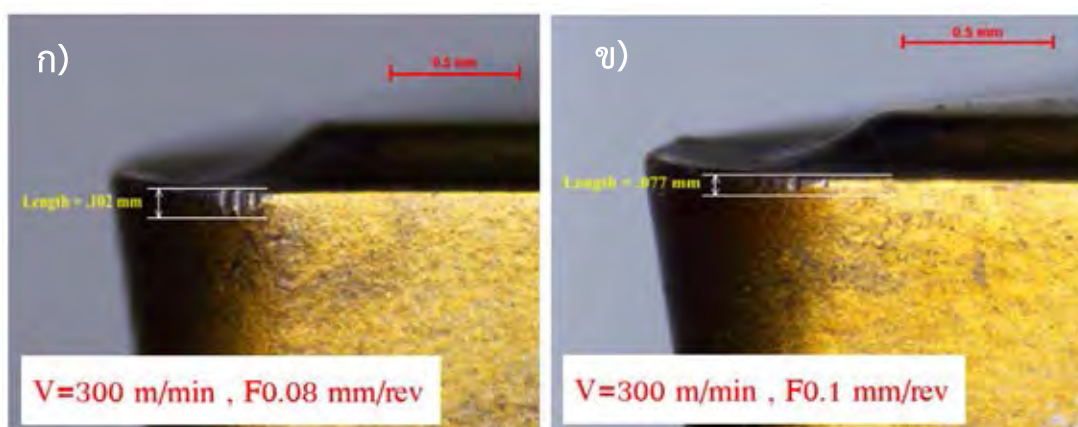
รูปที่ 4.20 อายุการใช้งานมีดตัด ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปร์ยสารหล่อเย็น 7 มิลลิตรต่อ ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.18 - 4.20 แสดงอายุการใช้งานมีดตัด ภายใต้เงื่อนไขการกลึงตัดแบบสเปร์ยสารหล่อเย็น 3 5 และ 7 มิลลิตรต่อชั่วโมง ข้อมูลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดโดยการสเปร์ยสารหล่อเย็น 7 มิลลิตรต่อชั่วโมง ให้อายุมีดตัดต่ำสุด ทุกเงื่อนไขการตัด ซึ่งเข้าใจได้ว่า ปริมาณสารหล่อเย็นที่น้อยเกินไป หรือแทบจะไม่ใช่สารหล่อเย็นเลยส่งผลให้มีดตัดเกิดความเสียหายเร็วขึ้น ทำให้ค่าความขรุขระผิวแย่งลงทำให้อายุการใช้งานมีดตัดสั้น ในทางกลับกันจะเห็นว่าอายุการใช้งานของเครื่องมือที่มีค่าสูงสุด คืออัตราการไหล 5 มิลลิตรต่อชั่วโมง และ 7 มิลลิตรต่อชั่วโมง ในสภาวะที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขการตัดด้วยความเร็วในการตัดและอัตราการป้อนตัด ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับการวิจัยการทดลองเชิงทดลองเกี่ยวกับผลกระทบของ MQL ในการกลึงเหล็กกล้า AISI 1040 [12]

4.3 การสึกหรอของมีดตัด (Tool Wear)

โดยทั่วไปขนาดการสึกหรอของมีดตัดส่งผลต่อการใช้งานของมีดตัด เพราะเมื่อขนาดของการสึกหรอของมีดตัดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความขรุขระผิวชิ้นงานแย่ลง นั่นคือค่าความขรุขระผิวมีค่าสูงขึ้น ถ้าหากว่าค่าความขรุขระผิวสูงเกินกว่าที่กำหนด นั่นหมายความว่า มีดตัดนั้นไม่สามารถนำมาใช้งานได้ อีก หรือหมดอายุการใช้งาน นั้นเอง

โดยทั่วไปแล้วหากเพิ่มค่าอัตราการป้อนตัดและค่าความลึกตัดในการตัด เมื่อมีดตัดเกิดการสึกหรอ พื้นที่สัมผัสระหว่างคมมีดและชิ้นงานมีขนาดใหญ่มากขึ้นทำให้การตัดชิ้นงานทำได้ยากขึ้น มีแนวโน้มเกิดการสั่นสะเทือน จะทำให้ผิวชิ้นงานขรุขระ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า แรงป้อนตัดในทิศอัตราการป้อนตัดส่งผลต่อค่าความขรุขระของชิ้นงาน ด้วยเหตุผลนี้การป้อนตัด จึงมีผลกระทบต่อขนาดการสึกหรอของมีดตัด ซึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุชิ้นงาน เงื่อนไขการตัดต่างๆ

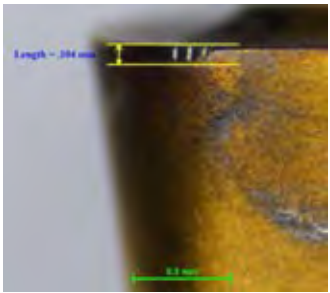
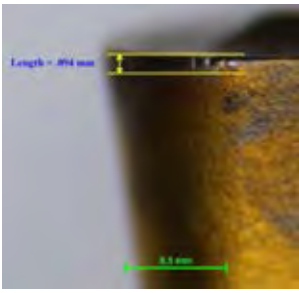
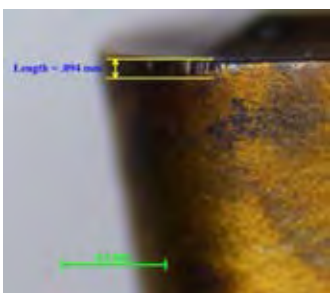
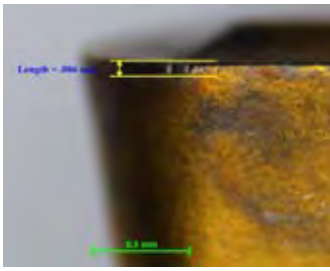
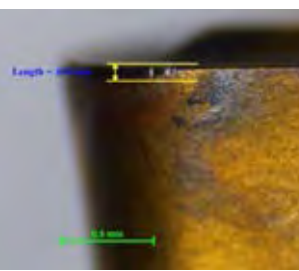
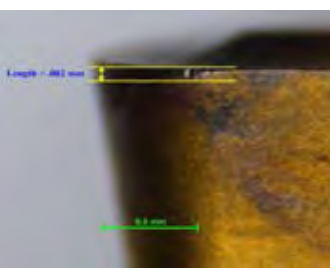
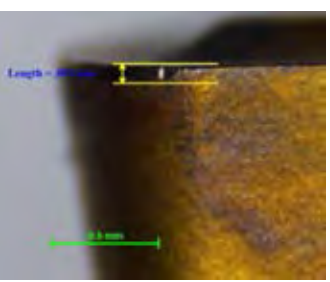
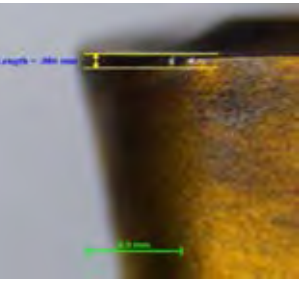
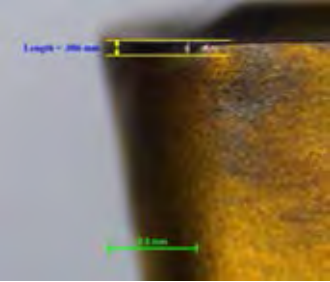


รูปที่ 4.21 การสึกหรอของมีดตัดที่อายุการใช้งานมีดตัดตัดชิ้นงานจำนวน 40 ชิ้น ก) การตัดแบบเปียก ข) การตัดด้วย MQL

จากรูปที่ 4.24 เป็นการเปรียบเทียบการสึกหรอที่เกิดขึ้นในการตัดระหว่างการตัดแบบเปียก และการตัดด้วย MQL ก) การตัดแบบเปียกเป็นการตัดแบบเดิมที่ใช้ก่อนปรับปรุง ด้วยเงื่อนไขการตัดด้วยความเร็วรอบที่ 300 เมตรต่อนาที และ อัตราการป้อนตัดที่ 0.08 มิลลิเมตรต่อรอบ เทียบกับ ข) การตัดด้วย MQL เป็นการตัดที่นำมาใช้ปรับปรุง โดยใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลอง โดยใช้การตัดด้วยความเร็วรอบที่ 300 เมตรต่อนาที อัตราการป้อนตัดที่ 0.10 มิลลิเมตรต่อรอบ และ ปริมาณสารหล่อเย็น 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าการตัดด้วย MQL ช่วยลดการสึกหรอของมีดตัดได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับการตัดแบบเปียก โดยการตัดแบบเปียกเมื่อใช้งานมีดตัดตัดชิ้นงานไปจำนวน 40 ชิ้น จะเกิดการสึกหรอของมีดตัดขนาดใหญ่ วัดค่าได้ประมาณ 0.102 มิลลิเมตร ในลักษณะเดียวกัน การตัดด้วย MQL จะเกิดการสึกหรอของมีดตัดที่มีขนาดเล็กและให้ค่าต่ำกว่าซึ่ง

วัดค่าได้ประมาณ 0.077 มิลลิเมตร แต่อย่างไรก็ตาม เงื่อนไขการตัดที่นำมาเปรียบเทียบนั้น ไม่ได้มาจากเงื่อนไขเดียวกันทุกค่า ซึ่งมีค่าอัตราการป้อนตัดที่ต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาจากทฤษฎีแล้ว การตัดด้วยอัตราการป้อนตัดที่น้อยกว่า จะมีแนวโน้มการสึกหรอของมิตตัดที่น้อยกว่าด้วยเช่นกัน แต่การสึกหรอของมิต รูป ข) ให้ค่าความสึกหรอของมิตตัดที่ต่ำกว่า ทั้งที่ใช้อัตราการป้อนตัดที่สูงกว่า ซึ่งสามารถเข้าใจได้ว่า แม้ว่าจะใช้อัตราการป้อนตัดที่สูงขึ้น แต่เมื่อตัดด้วย MQL นั้นช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของมิตตัด ช่วยให้ชะลอการสึกหรอของมิตตัด ทำให้สามารถตัดชิ้นงานได้ยืดยาวขึ้น

ตารางที่ 4.7 การสึกหรอด้านข้างความตดของเม็ดมิตกลึงที่ขนาดต่างๆ

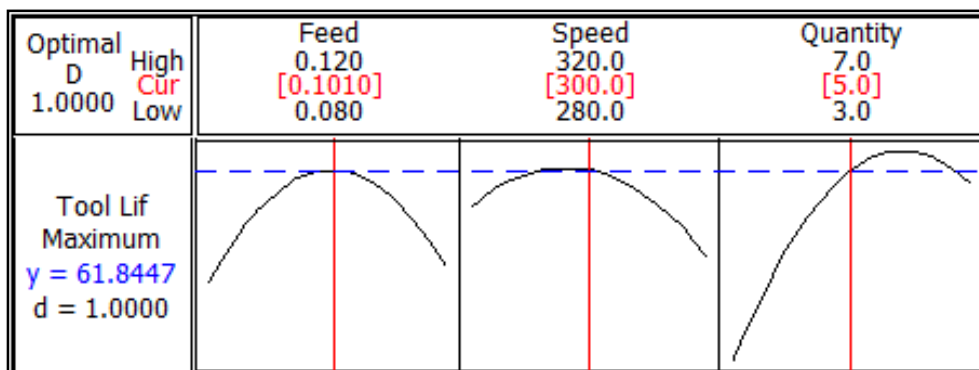
Feed	MQL : 3 มิลลิตร/ชั่วโมง	MQL : 5 มิลลิตร/ชั่วโมง	MQL : 7 มิลลิตร/ชั่วโมง
0.08			
0.1			
0.12			

ความเร็วตัดคงที่ 300 เมตร/นาที

จากตาราง 4.7 การสึกหรอด้านข้างของเม็ดมิดที่ขนาดต่างๆ นั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเงื่อนไขการตัดที่ต่างกันจะให้ผลของการสึกหรอของเม็ดตัดที่ต่างกันด้วย จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ความเร็วตัดคงที่ โดยมีการเปลี่ยนค่าของ อัตราการป้อนตัด และ ปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น พบว่า อัตราการป้อนตัดที่ต่ำส่งผลให้การสึกหรอของเม็ดตัดที่สูงกว่าขึ้น จากตารางจะเห็นได้ว่าอัตราการป้อนตัดที่ค่า 0.08 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าการการสึกหรอของเม็ดตัดที่สูงกว่าอัตราการป้อนตัด ที่ 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ และ 0.12 มิลลิเมตรต่อรอบ ที่มีค่าสูงกว่าอีกด้วย

สารหล่อเย็นเป็นตัวช่วยที่ชะลออัตราการสึกหรอด้านข้างของเม็ดมิด จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็นที่เพิ่มขึ้น ค่าการสึกหรอของเม็ดตัดก็มีแนวโน้มลดลงด้วยเช่นกัน จะรูปเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณสารหล่อเย็นที่ 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง กับ 7 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อัตราการป้อนตัดทั้ง 3 เงื่อนไข พบว่าการการใช้สารหล่อเย็น ที่ 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ช่วยชะลอการสึกหรอของเม็ดตัดได้ดีกว่าการใช้สารหล่อเย็น 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง นั้นหมายความว่า การใช้สารหล่อเย็นสามารถช่วยชะลอการสึกหรอของเม็ดตัดได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้นในบทที่ 3

4.4 เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสม



รูปที่ 4.22 เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสม

จากรูปที่ 4.22 การใช้ปริมาณสารหล่อเย็นมีผลต่ออายุการใช้งานเม็ดตัด จะเห็นได้ว่าการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นที่ 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงให้อายุการใช้งานเม็ดตัดน้อยที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณสารหล่อเย็นขึ้นที่ 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ช่วยให้อายุการใช้งานของเม็ดตัดสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของสารหล่อเย็นที่ช่วยยืดอายุการใช้งานของเม็ดตัด แต่ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มปริมาณสารหล่อเย็นให้มากขึ้นเป็น 7 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง อายุการใช้งานของเม็ดกลับมีแนวโน้มที่ต่ำลงกว่าการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นที่ 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งจากปรากฏการณ์ดังกล่าว สามารถเข้าใจได้ว่า การใช้ปริมาณสารหล่อเย็นในปริมาณที่เหมาะสมจะให้อายุการใช้งานเม็ดตัดที่ยาวที่สุด และจากการที่เพิ่มปริมาณสารหล่อ

เย็นให้มากขึ้นแต่กลับให้อายุการใช้งานมีดตัดที่สั้นกว่าเดิม ซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้าในลักษณะเดียวกัน โดยการสเปรย์สารหล่อเย็นที่ 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณสารหล่อเย็นค่อนข้างน้อยอนุภาค (partical) ของสารหล่อเย็นที่ปนออกไประหว่างมีดตัดและชิ้นจึงไม่ครอบคลุมส่งผลให้อายุมีดตัดค่อนข้างสั้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของสารหล่อเย็น เป็น 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ด้วยปริมาณสารหล่อเย็นที่เพียงพอ ทำให้ได้ขนาดของอนุภาคที่เหมาะสมสามารถสเปรย์สะสมองสารหล่อเย็นไปยังตำแหน่งการตัดสามารถได้ครอบคลุมบริเวณการตัดและมิดตัด ทำให้อายุการใช้งานมีดตัดที่สูงสุด แต่สำหรับปริมาณของสารหล่อเย็นที่ 7 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงนั้น เนื่องจากมีปริมาณของสารหล่อเย็นมากที่สุด ทำให้เกิดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นเมื่อสเปรย์ละอองน้ำมันไปยังตำแหน่งการตัดทำให้เกิดการกระจายออก ในลักษณะปากแตรที่เป็นวงกว้างกว่า เมื่อเทียบกับปริมาณที่ 3 และ 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ทำปริมาณสารหล่อเย็นที่สเปรย์ไปยังเฉพาะตำแหน่งการตัดลดลง ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้แนวโน้มของอายุการใช้งานมีดตัดลดลงด้วยเช่นกัน

ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ในการตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น สิ่งซึ่งส่งผลต่อผลตอบที่ทำการศึกษา สามารถอธิบายได้โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimization ซึ่งเป็นการใช้ฟังก์ชันในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยและยังเป็นการใช้ฟังก์ชันที่วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability; D) โดยที่ค่าความพึงพอใจของผลตอบมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ซึ่งถ้า D ให้ค่าเป็น 1 นั้นหมายความว่า ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ โดยในการพิจารณาเลือกเงื่อนไขการตัดจะเลือกจากเงื่อนไขที่ให้ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบสูงสุด การเพิ่มประสิทธิภาพการตอบสนองเพื่อตรวจสอบสถานะการตัดที่เหมาะสมสำหรับอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดเพื่อให้อายุการใช้งานที่สูงสุดและการใช้สารหล่อเย็นแบบสเปรย์น้อยที่สุด จากผลการทดลองพบว่าปัจจัย 3 ประการ นี้มีผลต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือตัดและใช้สารหล่อเย็น MQL น้อยที่สุด ผลกระทบหลักจากปริมาณสารหล่อเย็นแตกต่างกันคือ ถ้าหากใช้ปริมาณการสเปรย์น้อยจนเกินไป ส่งผลให้มีอุณหภูมิในการตัดสูงเกินไปคล้ายกับสภาพของการตัดแบบแห้ง แต่ถ้าหากใช้มากเกินไปก็เป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในกระบวนการ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของพารามิเตอร์กระบวนการขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิวและแรงเฉือน [13] ปริมาณของสารหล่อเย็น แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ผกผันระหว่าง 2 ปัจจัยคืออัตราการป้อน (feed) และความเร็วในการตัด (Cutting Speed) หากอยู่ในสถานะของและอัตราการป้อนตัดเร็วสูงอาจทำให้ระยะเวลาการตัดสั้นลงและปริมาณน้ำมันหล่อลื่นน้อยลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าเงื่อนไขของอัตราการป้อนตัดที่ความเร็วต่ำสามารถนำไปสู่เวลาเวลาที่นานขึ้นส่งผลให้ปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นสูง อัตราการไหลสัมพันธ์กับปริมาณสารหล่อลื่นและความสัมพันธ์โดยตรง ดังนั้นการกำหนดคุณสมบัติของการตรวจวัดระหว่างอายุการใช้งานและปริมาณน้ำมันหล่อลื่นขั้นต่ำจึงสรุปได้ว่า

การตัดที่เหมาะสมที่สุดคือปริมาณการใช้สารหล่อเย็น (MQL) 5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ที่อัตราการป้อน 0.10 มิลลิเมตรต่อรอบ และความเร็วในการตัด 300 เมตรต่อนาที ภายใต้ค่าความสัมพันธ์ของเงื่อนไขการตัดกับผลตอบที่ทำการศึกษา ค่าความพึงพอใจรวมของผลตอบอยู่ที่ระดับ 100% ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่สูงสุดของ ระดับความพึงพอใจ

4.5 การเปรียบเทียบต้นทุน

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาวิธีการตัดแบบเสปร์รี่ใช้สเปรย์พ่นสารหล่อเย็น (MQL) โดยใช้แรงดันลม (air pressure) 0.5 Mpa หรือ 5 บาร์ โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารหล่อเย็นที่แตกต่างกัน ทั้งหมด 3 ค่า โดยทั้ง 3 ค่า โดยทั้ง 3 ค่านี้ จะมีเงื่อนไขการตัด ที่เหมือนกันทั้งหมด นอกจากคุณภาพชิ้นงานที่พิจารณาค่าความขรุขระผิวแล้ว ค่าใช้จ่าย หรือต้นทุนที่ใช้ก็เป็นสิ่งที่นำมาพิจารณาว่าวิธีการตัดที่เงื่อนไขใด มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้มากที่สุด โดยต้นทุนที่สนใจนั้น จะแบ่งเป็น 2 หัวข้อหลัก ซึ่งแต่ละหัวข้อ เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อกระบวนการ ได้แก่ ต้นทุนที่เกิดจากการใช้มีดตัด และต้นทุนที่เกิดจากการใช้สารหล่อเย็น โดยต้นทุนรวมนั้น (total Cost) ที่แสดงให้เห็นจะเป็นต้นทุนที่เกิดจากต้นทุนใน 2 หัวข้อที่กล่าวมานี้ ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนรวม} &= \text{ต้นทุนมีดตัด} + \text{ต้นทุนสารหล่อเย็น} & (4.5) \\ (\text{Total Cost}) & \quad (\text{Tool Cost}) \quad \quad (\text{Lubricant Cost}) \end{aligned}$$

จากสมการดังกล่าว สามารถอธิบายรายละเอียดต้นทุน ในหัวข้อถัดไป

4.5.1 ต้นทุนมีดตัด (Tool Cost)

ต้นทุนมีดตัด คือ ต้นทุนที่เกิดจากการใช้มีดตัดในการกลึงชิ้นงาน ซึ่งมีดตัดขณะอยู่ในกระบวนการกลึงตามเงื่อนไขที่ได้ตั้งไว้ โดยพิจารณา อายุมีดตัดว่ายังสามารถใช้งานได้หรือไม่ ตามข้อกำหนดความความขรุขระของชิ้นงานกรณีศึกษา ความขรุขระผิวชิ้นงานเฉลี่ย (Ra) ไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร ซึ่งต้นทุนมีดตัดนั้น เกิดจากจำนวนของมีดตัดที่ใช้ในการกลึงจนครบอายุการใช้งาน นำมาคูณด้วยราคาของมีดตัด ซึ่งสามารถเขียนได้เป็นสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ต้นทุนมีดตัด (Tool Cost)} = \text{จำนวนของมีดตัด} \times \text{ราคาของมีดตัด} \quad (4.6)$$

จากสมการดังกล่าวข้างต้น จำนวนการใช้งานของมีดตัด จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการหาต้นทุนของมีดตัด การหาต้นทุนของมีดตัดนั้น ก่อนอื่นจะต้องทราบก่อนว่าจะต้องเปลี่ยนมีดตัดเมื่อไหร่ หรือมีดตัดนั้นมีอายุการใช้งานยืนยาวแค่ไหน หรือสามารถตัดชิ้นงานได้จำนวนกี่ชิ้น เพื่อจะได้ทำการเปลี่ยนมีดตัดใหม่ โดยทั่วไปแล้วจะยังไม่ทราบอายุการใช้งานมีดตัดที่ชัดเจน เพราะในการตัดแต่ละครั้งจะมีเงื่อนไขการตัดที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของมีดตัดที่ต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำการพิจารณาจากค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน (R_a) ในการทดลองนี้ มีข้อกำหนดของชิ้นงานไว้ที่ไม่เกิน 1.2 ไมโครเมตร หากเกินนี้ต้องทำการเปลี่ยนมีดตัด จากการทดลองจะทำการเก็บข้อมูลของค่าความขรุขระผิวของชิ้นงานไว้ทุก 5 ชิ้น จนกว่าค่าความขรุขระผิวของชิ้นงานจะเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ จึงจะหยุดการตัดในเงื่อนไขนั้น

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง สามารถนำมาพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน (Roughness average, R_a) ได้ ด้วยวิธีสมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression) เมื่อเทียบกับจำนวนชิ้นงานในการตัด (N) สำหรับเงื่อนไขการตัดใดๆ โดยเงื่อนไขการกลึงของการทดลองมีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนตัด (f) ความเร็วตัด (v) และปริมาณการใช้สารหล่อเย็น (q) สามารถนำมาใช้คำนวณ หาค่าโดยใช้สมการพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวชิ้นงานดังสมการที่ 4.1 ที่กล่าวมาแล้ว และจากรูปแบบสมการถดถอยพหุคูณข้างต้น สามารถเขียนโดยใส่ตัวแปรต่างๆ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขการกลึง อายุการใช้งานมีดตัดที่ได้จากจำนวนชิ้นงาน และค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยของชิ้นงานดังสมการที่ 4.2

4.5.2 ต้นทุนสารหล่อเย็น (Lubricant Cost)

ต้นทุนสารหล่อเย็น คือ ต้นทุนที่เกิดจากการใช้สารหล่อเย็น ซึ่งจะเป็นการใช้แล้วหมดไปไม่สามารถนำมาใช้ซ้ำ หรือ นำมาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้อีก เนื่องจากการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดของงานวิจัยนี้ เป็นสเปรย์ละอองน้ำมัน หรือละอองของสารหล่อเย็น ไปยังตำแหน่งการตัด โดยจะสเปรย์ละอองสารหล่อเย็นขณะการกลึงชิ้นงานเท่านั้น ซึ่งต้นทุนสารหล่อเย็น นั้น เกิดจากจำนวนของมีดตัดที่ใช้แล้วหมดไป นำมาคูณด้วยราคาของสารหล่อเย็น ซึ่งสามารถเขียนได้เป็นสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ต้นทุนสารหล่อเย็น} = \text{ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้} \times \text{ราคาของสารหล่อเย็น} \quad (4.7)$$

ตารางที่ 4.8 อายุของมิตัดหรือจำนวนชิ้นงานที่ใช้ถึงจนถึงค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 ไมโครเมตร

ปริมาณการสเปรย์สาร หล่อเย็น MQL (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตรต่อรอบ)	ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)	จำนวนมิตัด (ชิ้น)
3	0.08	300	45
	0.10	280	47
	0.10	320	44
	0.12	300	43
5	0.08	280	45
	0.08	320	57
	0.10	300	67
	0.12	280	58
	0.12	320	48
7	0.08	300	56
	0.10	280	65
	0.10	320	53
	0.12	300	55

จากตารางที่ 4.8 แสดงอายุของมิตัดหรือจำนวนชิ้นงานที่ใช้ถึงจนถึงค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 ไมโครเมตร ซึ่งจะต้องเปลี่ยนมิตัดอันใหม่ เพื่อให้ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จากจำนวนที่ใช้ในการตัดที่แสดงในตารางจะเห็นได้ว่าทุกๆ เงื่อนไขการตัด การใช้ปริมาณสารหล่อเย็นที่ 3 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นการสเปรย์ที่แทบจะไม่ใช่สารหล่อเย็นเลยนั้น ได้จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการตัดหรืออายุการใช้งานของมิตัดน้อยกว่า การใช้ปริมาณสารหล่อเย็น 5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และ 7 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวนี้ จึงกล่าวได้ว่า สารหล่อเย็นมีผลต่ออายุของมิตัดซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการทดลอง [Somkiat ,2010] วิธีการตัด

แบบแห้ง หรือ การตัดแบบไม่ใช้สารหล่อเย็นนั้น เวลาในการตัดที่จะต้องทำการเปลี่ยนมีดตัดหัวบอล หรืออายุของมีดตัดหัวบอลมีค่าต่ำกว่าวิธีการตัดแบบเปียก และวิธีการตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น

จากจำนวนในการตัดที่จะต้องทำการเปลี่ยนมีดตัด สามารถคำนวณหาจำนวนของมีดตัดที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ คิดเปรียบเทียบกับที่ 60,000 ชิ้น ในการกลึงชิ้นงาน หรือประมาณ 3 เดือน อ้างอิงจาก ยอดการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา โดยคำนึงถึงอายุการอายุของสารหล่อเย็น กล่าวได้ว่าเมื่อใช้สารหล่อเย็นแบบเดิมครบ 3 เดือน จะทำการเปลี่ยนสารหล่อเย็นใหม่ทั้งหมด และสำหรับการใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุดแบบสเปรย์สารหล่อเย็น จะมีการเติมสารหล่อเย็นใหม่ เนื่องจากในช่วงในรอบเวลา 3 เดือน หรือการกลึงชิ้นงานไปประมาณ 60,000 ชิ้นนั้นสารหล่อเย็นจะถูกใช้ไปประมาณ 1 ลิตร หรือเกือบหมดขวดพอดี ดังนั้นจำนวนของมีดตัดที่ต้องใช้ในเวลาที่กำหนด สามารถแสดงค่าได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 จำนวนของมิตตัดที่ใช้ในการตัดชิ้นงานจำนวน 60,000 ชิ้น

ปริมาณการสเปรย์ สารหล่อเย็น MQL (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตรต่อรอบ)	ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)	จำนวนมิตตัด (ชิ้น)
3	0.08	300	445
	0.10	280	426
	0.10	320	455
	0.12	300	466
5	0.08	280	445
	0.08	320	351
	0.10	300	299
	0.12	280	345
	0.12	320	417
7	0.08	300	358
	0.10	280	308
	0.10	320	378
	0.12	300	364

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นว่าที่วิธีการตัดโดยใช้ปริมาณสารหล่อเย็น 3 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง มีอายุของมิตตัดต่ำจำนวนของมิตตัดที่ใช้ก็จะมากกว่าเมื่อเทียบกับการกลึงตัดที่ใช้ปริมาณสารหล่อเย็น 5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และปริมาณสารหล่อเย็น 7 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีอายุของมิตตัดมากกว่าจากจำนวนของมิตตัด

ในตารางได้แสดงไว้แล้ว สามารถนำมาคำนวณหาต้นทุนมิตตัดได้ตาม สมการที่ (4.6) โดยราคาของมิตตัดที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 80 บาทต่อชิ้น

ตารางที่ 4.10 ต้นทุนของมิดดัดที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ด้วยวิธีการตัดโดยใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด

ปริมาณการ สเปรย์สารหล่อ เย็น MQL (มิลลิเมตรต่อ ชั่วโมง)	อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตรต่อรอบ)	ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)	ต้นทุนของมิดดัด (บาท)
3	0.08	300	35,600
	0.10	280	34,080
	0.10	320	36,400
	0.12	300	37,280
5	0.08	280	35,600
	0.08	320	28,080
	0.10	300	23,920
	0.12	280	27,600
	0.12	320	33,360
7	0.08	300	28,640
	0.10	280	24,640
	0.10	320	30,240
	0.12	300	29,120

จากตารางที่ 4.10 แสดงต้นทุนมิดดัดที่เงื่อนไขต่างๆ จะเห็นว่าต้นทุนของมิดดัดแปรผันตามจำนวนของมิดดัดที่ใช้กึ่ง ทำให้ต้นทุนของมิดดัดที่ใช้ปริมาณสารหล่อเย็น 3 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง มีต้นทุนสูงกว่าการใช้ปริมาณสารหล่อเย็น 5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และ ใช้ปริมาณสารหล่อเย็น 7 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนแต่ละเงื่อนไข จะเห็นได้ว่าต้นทุนของมิดดัดของการใช้การใช้ปริมาณสารหล่อเย็น 5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงนั้นมีต้นทุนที่ต่ำที่สุด คือ (23,920) บาท ซึ่งในขณะที่ใช้ปริมาณสารหล่อเย็น 3 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

นั้นมีต้นทุนที่ต่ำที่สุด คือ (34,080) บาท และ การใช้ปริมาณสารหล่อเย็น 7 มิลลิเมตรต่อ ชั่วโมงนั้นมีต้นทุนที่ต่ำที่สุด คือ (24,640) บาท

อย่างไรก็ตามการพิจารณาด้านทุนรวมของการตัดนั้น จำเป็นจะต้องคำนึงถึงต้นทุนของสารหล่อเย็นด้วย ดังนั้นในจุดนี้จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าวิธีการตัดแบบใดมีต้นทุนที่ต่ำที่สุด หัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงต้นทุนของสารหล่อเย็นที่ใช้ในการตัดแต่ละเงื่อนไขด้วย

ต้นทุนของสารหล่อเย็น (Lubricant Cost) การลดปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ในกระบวนการกลึง เป็นวัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยฉบับนี้ เนื่องจากกระบวนการผลิตในปัจจุบัน การกลึงชิ้นส่วนของอุตสาหกรรมยานยนต์มีการใช้สารหล่อเย็น หรือน้ำคูลแลนท์เป็นจำนวนมาก เป็นสาเหตุให้เกิดการปนเปื้อนในอากาศ และน้ำเสียที่มีปริมาณมากขึ้นด้วย เหตุนี้ผู้วิจัยจึงต้องการเสนอวิธีการกลึงโดยใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้กับชิ้นงานที่ผลิตในกระบวนการกลึงชิ้นงาน โดยใช้วิธีการพ่นละอองสารหล่อเย็นด้วยการใช้แรงดัน เรียกว่า การกลึงแบบสเปรย์สารหล่อเย็น ซึ่งปริมาณการใช้สารหล่อเย็นนั้น แต่ละเงื่อนไขการตัดจะใช้เวลาในการตัดที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความเร็วตัด และ อัตราป้อนตัดด้วย ดังนั้นปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน จำนวน 60,000 ชิ้น ในตารางที่ 4.11 ได้แสดงไว้

ตารางที่ 4.11 ปริมาณการใช้สารหล่อเย็นในการตัดชิ้นงานจำนวน 60,000 ชิ้น

ปริมาณการสเปรย์ สารหล่อเย็น MQL (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตรต่อ รอบ)	ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)	เวลาในการตัด (วินาทีต่อชิ้น)	ปริมาณสาร หล่อเย็น (ลิตร)
3	0.08	300	15	0.75
	0.10	280	13	0.65
	0.10	320	11	0.55
	0.12	300	10	0.50
5	0.08	280	16	1.33
	0.08	320	14	1.17
	0.10	300	12	1.00
	0.12	280	11	0.92
	0.12	320	9	0.75
7	0.08	300	15	1.75
	0.10	280	13	1.52
	0.10	320	11	1.28
	0.12	300	10	1.17

จากตารางที่ 4.11 สามารถนำมาคำนวณหาต้นทุนการใช้สารหล่อเย็น ได้ตามสมการที่ (4.7) โดยราคาของสารหล่อเย็นที่ในการทดลองเท่ากับ 1,175 บาทต่อลิตร มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.12 ต้นทุนของสารหล่อเย็น (MQL) ในการตัดชิ้นงานจำนวน 60,000 ชิ้น

ปริมาณการสเปรย์ สารหล่อเย็น MQL (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตรต่อรอบ)	ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)	ต้นทุนของสารหล่อเย็น (บาท)
3	0.08	300	881.25
	0.10	280	763.75
	0.10	320	646.25
	0.12	300	587.50
5	0.08	280	1,566.67
	0.08	320	1,370.83
	0.10	300	1,175.00
	0.12	280	1,077.08
	0.12	320	881.25
7	0.08	300	2,056.25
	0.10	280	1,782.08
	0.10	320	1,507.92
	0.12	300	1,370.83

จากตารางที่ 4.12 สามารถนำมาคำนวณต้นทุนของสารหล่อเย็นที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน จำนวน 60,000 ชิ้น ซึ่งจะเห็นว่าต้นทุนการใช้สารหล่อเย็น เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างปริมาณที่ใช้ที่แตกต่างกัน เนื่องจากการสเปรย์สารหล่อเย็นเป็นแบบใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถนำมาใช้ซ้ำได้อีก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้ปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น MQL ที่น้อยที่สุดและเวลาที่เร็วที่สุดส่งผลให้ต้นทุนของสารหล่อเย็นต่ำที่สุด

จากต้นทุนที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด สามารถนำมาคำนวณหาต้นทุนรวมของการตัดในแต่ละเงื่อนไขการตัดในหัวข้อถัดไป

4.5.3 ต้นทุนรวม (Total Cost)

จากสมการที่ (4.5) เป็นการคำนวณหาต้นทุนรวมของการใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด โดยพิจารณาจากต้นทุนของมิดตัดและต้นทุนของสารหล่อเย็นที่ใช้ในการตัด ในแต่ละเงื่อนไขการตัด จากตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.12 เป็นการคำนวณต้นทุนของมิดตัด และต้นทุนของสารหล่อเย็นตามลำดับ ดังนั้นในหัวข้อต่อไปนี้จะแสดงต้นทุนรวม โดยพิจารณาที่การตัดชิ้นงาน จำนวน 60,000 ชิ้น

ตารางที่ 4.13 ต้นทุนรวม ที่จำนวนการตัดทั้งหมด 60,000 ชิ้น

ปริมาณการสเปร์ยสาร หล่อเย็น MQL (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)	อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตรต่อรอบ)	ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)	ต้นทุนรวม (บาท)
3	0.08	300	36,481
	0.10	280	34,843
	0.10	320	37,046
	0.12	300	37,867
5	0.08	280	37,166
	0.08	320	29,450
	0.10	300	25,095
	0.12	280	28,677
	0.12	320	34,241
7	0.08	300	30,696
	0.10	280	26,422
	0.10	320	31,747
	0.12	300	30,490

จากตารางที่ 4.13 แสดงต้นทุนรวมด้วยวิธีการตัดโดยใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุดในปริมาณที่แตกต่างกัน ที่ปริมาณ 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และ 7 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดย

เปรียบเทียบที่การกลิ้งชิ้นงาน 60,000 ชิ้น พบว่าการตัดที่ให้ต้นทุนต่ำที่สุด คือ การสเปรย์สารหล่อเย็นในปริมาณ 5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ที่เงื่อนไขการตัดด้วยอัตราป้อนตัด 1.0 มิลลิเมตรต่อรอบ และความเร็วตัด 300 เมตรต่อนาที ซึ่งจะให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 25,095 บาท ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมที่สุด ที่ได้กล่าวมาข้างต้น

4.6 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุน หมายถึง ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการ เท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี หรือกล่าวได้ว่าการลงทุนไม่มีกำไรและไม่ขาดทุนนั่นเอง ระยะเวลาคืนทุนเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน เป็นการประเมินคร่าวๆ และรวดเร็วเหมาะกับเม็ดเงินลงทุนจำนวนไม่มากหรือ กล่าวได้ว่าเป็นระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสม จากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับมูลค่าในการลงทุนทั้งหมด โครงการใดที่มี ระยะเวลาลงทุนยิ่งสั้นยิ่งมีความต้องการสูง เนื่องจากสามารถนำเงินที่คืนทุนไปลงทุนในกิจการอื่นๆ ได้ ระยะเวลาคืนทุนที่นิยมใช้จะเป็นแบบวิธีระยะคืนทุนแบบง่าย (simple payback period) ซึ่งเป็นวิธีคิดง่ายๆ โดยระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณจาก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{มูลค่าในการลงทุนรวม}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิสะสมรายปี}} \quad (4.8)$$

เพื่อที่จะหาผลตอบแทนสุทธิสะสมรายปี ดังนั้นเริ่มแรกจะต้องพิจารณาถึงผลตอบแทนในแต่ละเดือน ซึ่งจะต้องนำค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นก่อนปรับปรุง นั่นคือ ค่าใช้จ่าย หรือต้นทุนในการผลิต หรือการกลิ้งโดยใช้สารหล่อเย็นแบบเปียก (Coolant) เทียบกับ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นหลังจากปรับปรุง นั่นคือ ค่าใช้จ่าย หรือต้นทุนในการผลิตที่เกิดจากการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุดในกระบวนการกลิ้ง หรือ การกลิ้งโดยใช้สารหล่อเย็นสเปรย์สารหล่อเย็น (MQL) เพื่อนำมาหาค่าผลต่างที่เกิดขึ้นจาก 2 เทคนิคนี้

การทดลองจะพิจารณาด้านทุนที่เกี่ยวข้องหลักในกระบวนการมาทำการพิจารณาเรื่องต้นทุนการผลิตซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกันระหว่างการผลิตแบบใช้สารหล่อเย็นแบบเปียก และการผลิตการผลิตโดยใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด (MQL) โดยวิธีการสเปรย์สารหล่อเย็น

โดยหัวข้อต้นทุนที่นำมาพิจารณาและใช้คำนวณหาต้นทุนรวมทั้งหมด 6 หัวข้อ ซึ่งวิธีการคำนวณจะระบุอยู่ในภาคผนวก ซึ่งทั้ง 6 หัว มีดังต่อไปนี้

1. ต้นทุนมีดตัด คือต้นทุนที่เกิดจากการใช้มีดตัดชิ้นงาน ซึ่งจะคิดรวมที่ยอดผลิต 60,000 ชิ้น หรือ ระยะเวลา 3 เดือน ซึ่งจะง่ายในการนำมาพิจารณาเทียบกับหัวข้ออื่นๆ เนื่องจาก สารหล่อเย็นแบบเปียกจะมีอายุการใช้งาน 3 เดือน อีกทั้งอายุการใช้งานมีดเพิ่มขึ้นจากเดิม 40 ครั้ง โดยใช้สารหล่อเย็นแบบเปียก เพิ่มขึ้นเป็น 60 ครั้ง เมื่อตัดด้วยการสเปรย์สารหล่อเย็น จึงทำให้ต้นทุนมีความแตกต่างกัน อีกทั้งเมื่อเทียบกันแล้ว ทำให้รู้ว่าใช้ต้นทุนมีดตัดจากการตัดแบบสเปรย์ถูกกว่าต้นทุนแบบเปียก 50%

2. ต้นทุนสารหล่อเย็น เนื่องจากวิธีการทั้ง 2 แบบ ค่อยข้างมีความแตกต่างกัน ซึ่ง การตัดแบบเปียก สารหล่อเย็น จะถูกนำมาวนใช้ไปเรื่อยๆจนครบ 3 เดือน แล้วจึงทำการถ่ายออกแล้วเปลี่ยนใหม่ ซึ่งในระหว่างเดือนจะมีการเติมน้ำและน้ำมันลงไปเพิ่มเพื่อรักษาระดับ และความเข้มข้นของสารหล่อเย็นให้อยู่ค่าที่กำหนด แต่สำหรับเทคนิคการตัดด้วยการสเปรย์สารหล่อเย็นนั้น จะมีความแตกต่างออกไป คือจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก เป็นการใช้แล้วหมดไป แต่ปริมาณที่ใช้สเปรย์นั้น น้อยมาก เพียงแค่ 5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ใน 3 เดือน หรือ การตัดชิ้นงาน 60,000 ชิ้นนั้น ใช้สารหล่อเย็นเพียงแค่ 1 ลิตร เท่านั้น

3. ค่าใช้จ่าย Electric Pump เนื่องด้วยทั้งสองเทคนิค ใช้ปั๊มในการจ่ายสารหล่อเย็นเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่ขนาดและกำลังของปั๊มทำให้ค่าใช้จ่ายต่างกัน โดยปั๊มที่ใช้กับการตัดแบบเปียกจะเป็นปั๊มขนาดใหญ่ เพื่อใช้ในการหมุนเวียนและจ่ายสารหล่อเย็นในกระบวนการ แต่สำหรับเทคนิคการตัดด้วยการสเปรย์สารหล่อเย็นนั้นเป็นปั๊มขนาดเล็กเพื่อจ่ายละอองสารหล่อเย็นไปยังมีดตัด

4. ค่าใช้จ่ายของเครื่องเป่าลม ใช้เฉพาะการตัดด้วยสารหล่อเย็นแบบเปียกเท่านั้น เนื่องจากหลังตัดจะมีน้ำยาหล่อเย็นติดตามขอบชิ้นงาน ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องเป่าเพื่อกำจัดสารหล่อเย็นออกจากชิ้นงานก่อนแล้วจึงส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไป แต่เทคนิคการตัดด้วยการสเปรย์สารหล่อเย็นนั้นไม่ต้องใช้เพราะเป็นการตัดกึ่งแห้งอยู่แล้ว ชิ้นงานหลังตัดจึงส่งต่อกระบวนการถัดไปได้เลย

5. ค่ากำจัดสารหล่อเย็น มีเฉพาะการตัดด้วยสารหล่อเย็นแบบเปียกเท่านั้น เมื่อสารหล่อเย็นแบบเปียกใช้ครบ 3 เดือน ซึ่งหมายถึง หมดสภาพการใช้งาน จึงต้องส่งกำจัด เนื่องจากเป็นข้อกำหนดทางกฎหมายแต่สำหรับเทคนิคการตัดด้วยการสเปรย์สารหล่อเย็น เป็นการใช้แล้วหมดไปจึงไม่มีค่ากำจัดเกิดขึ้น

6. ค่ากระบวนการผลิต เป็นการคำนวณจากการผลิตที่ไม่คงที่ (Running Cost) เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงเรื่องเวลาการผลิต ทำให้ต้นทุนในกระบวนการต่างกันด้วย เนื่องจากเวลาในการผลิตต่างกันต้นทุนในกระบวนการจึงต่างกันด้วย การตัดแบบเปียกใช้เวลาในการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น (Cycle time) 30 วินาที แต่เมื่อใช้การตัดด้วยการสเปรย์สารหล่อเย็น เวลาลดลงเหลือ 24 วินาที จึงทำให้ค่ากระบวนการต่างกัน

จากต้นทุนการผลิตทั้ง 6 หัวข้อ ที่นำมาเปรียบเทียบต้นทุนรวมระหว่างการกลึงโดยใช้สารหล่อเย็นแบบเปียก และ การกลึงโดยใช้สารหล่อเย็นสเปรย์สารหล่อเย็น แสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบต้นทุนรวม จำนวนการตัดทั้งหมด 60,000 ชิ้น หรือ 3 เดือน

	รายการ	หล่อเย็นแบบเปียก	MQL
①	อายุการใช้งานมีดตัด (ครั้งต่อเม็ด)	40	60
②	ยอดการผลิต 3 เดือน	60,000	60,000
③	จำนวนมีดตัด (เม็ด) ②/①	1,500	1,000
④	Cycle time	30	24
⑤	ค่าเดินเครื่อง (Running Cost) (บาท/วินาที)	0.02	0.02
⑥	ค่าแรงพนักงาน (บาท/วินาที)	0.06	0.06
⑦	ราคามีดตัด (บาท)	80	80
⑧	ต้นทุนมีดตัด ③×⑦	120,000	80,000
⑨	ต้นทุนสารหล่อเย็น (60,000 ชิ้น หรือ 3 เดือน)	5,250	1,175
⑩	ค่าใช้จ่าย Electric Pump	2,451	1,503
⑪	ค่าใช้จ่ายของเครื่องเป่าลมหลังกลึง	11,472	0
⑫	ค่ากำจัดสารหล่อเย็น	675	0
⑬	ค่ากระบวนการผลิต	144,000	115,200
⑭	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (1 เดือน)	283,848	197,878

จากตารางจะเห็นว่าจากเทคนิคการหล่อเย็นทั้งสองชนิดหลังจากคำนวณแล้วค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการดำเนินงาน (คำนวณสำหรับการผลิตที่ 60,000 ชิ้น หรือระยะเวลา 3 เดือน) แสดงไว้ในตารางที่ 4.14 นั้น โดยค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการกลึงโดยใช้สารหล่อเย็นแบบเปียก ประมาณ 283,848 บาท และ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการกลึงโดยใช้สารหล่อเย็นสเปรย์สารหล่อเย็น (MQL) ประมาณ 197,878 บาท ซึ่งผลต่างที่เกิดขึ้นในรอบ 3 เดือน คือ 85,970บาท นั้นหมายความว่า การกลึงโดยการสเปรย์สารหล่อเย็น (MQL) สามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตลงได้ 28,656 บาทต่อเดือน

และเห็นได้ชัดว่าต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมดลดลงเมื่อใช้เทคนิคการหล่อเย็นด้วย MQL ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งหมดของMQL ลดลง 30% ของการกลึงแบบเปียก

ซึ่งจากโรงงานกรณีศึกษาที่ต้องการติดตั้งระบบ MQL ใช้กับเครื่องกลึง ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตลงได้ 28,656 บาทต่อเดือน หรือ 343,876 บาทต่อปี โดยมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบดังกล่าวเป็นเงิน 350,000 บาท ซึ่งสามารถคำนวณหา ระยะคืนทุนอย่างง่าย จากสมการที่ 4.8

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = 343,876 / 350,000 = 1.017 \text{ ปี หรือ } 1 \text{ ปี } 7 \text{ วัน หรือ}$$

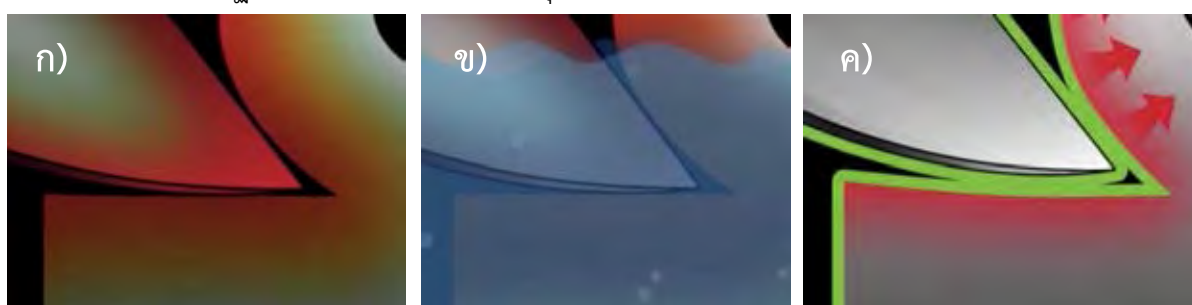
พิจารณาจากตาราง

ตารางที่ 4.15 ระยะเวลาคืนทุน

เดือน	การลงทุนเบื้องต้น (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิสะสม (บาท)
0	350000	-350000	-350001
1		343876	-6125
2		343876	337751

ตำแหน่งที่ผลตอบแทนสุทธิเป็น 0 คือ
ระยะคืนทุน เท่ากับ 1 ปี 7 วัน

เพิ่มเติมปรากฏการณ์ของ MQL ทำให้ต้นทุนต่ำกว่าการตัดแบบเปียก



รูปที่ 4.24 ภาพจำลองการตัดชิ้นงาน ก) การตัดแบบแห้ง ข) การตัดแบบเปียก ค)การตัดด้วย MQL

จากภาพ สามารถทำให้เข้าใจการตัดทั้ง 3 แบบได้ง่ายขึ้น รูปแรก ก) การตัดแบบแห้ง เห็นได้ชัดว่าการตัดแบบแห้ง โดยไม่ใช้สารหล่อเย็นนั้นทำให้เกิดความร้อนทั้งชิ้นงานและมิตตัด และเมื่อใช้งานมิตตัดชิ้นงานอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดความร้อนสะสม ส่งผลให้มิตตัดเกิดความเสียหายจนหมด

สภาพการใช้งาน จึงไม่เหมาะกับการใช้งานหนักเนื่องจากอายุมีดตัดสั้น เกิดเวลาสูญเสียในการหยุดเครื่องจักรเพื่อเปลี่ยนมีดตัด อีกทั้งได้ผลผลิตที่ต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ ข) การตัดแบบเปียก เป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากช่วยให้อายุมีดตัดยืดยาวขึ้นกว่าการตัดแบบแห้ง ซึ่งลักษณะการใช้งานเป็นในลักษณะการนำน้ำยาหล่อเย็นอาบบนชิ้นงานและมีดตัด ซึ่งช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการตัดและแรงเสียดทานที่เกิดระหว่างผิวสัมผัสของมีดตัดกับเศษโลหะและมีดตัดกับชิ้นงาน และยังช่วยจัดเศษโลหะที่เกิดระหว่างการตัด ช่วยลดอุณหภูมิของชิ้นงานขณะตัด สำหรับวิธีสุดท้าย ค) การตัดด้วย MQL นั้นเป็นการนำทั้ง 2 วิธีแรกที่ถูกกล่าวมาพัฒนาร่วมกัน ทั้งแบบแห้งและแบบเปียก จนได้มาถึงวิธีการใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด ที่เป็นการตัดแบบกึ่งแห้งแต่ได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าทั้งการตัดแบบแห้งและแบบเปียก เนื่องจากเป็นการสเปรย์สารหล่อเย็น หรือละอองน้ำมันไปยังบริเวณตำแหน่งตัดโดยตรง ซึ่งละอองน้ำมันดังกล่าว จะไปเคลือบผิวที่ทำการตัดทั้งมีดตัดและผิวชิ้นงาน ทำให้ลดความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการตัด และแรงเสียดทานที่เกิดระหว่างผิวสัมผัสของมีดตัดกับเศษโลหะและมีดตัดกับชิ้นงาน อีกทั้งละอองน้ำมันที่ปนออกไปจะไปทำหน้าที่เหมือนฟิล์มเคลือบบริเวณปลายมีดตัด จึงช่วยรักษา และคงสภาพของมีดตัดให้สึกหรอช้าลง จึงทำให้สามารถตัดชิ้นงานได้ยาวนานขึ้น ซึ่งในปัจจุบันการตัดด้วย MQL จึงเริ่มนิยามใช้มากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีกว่าการตัดแบบเปียก อีกทั้งสามารถยืดอายุมีดตัดให้ยาวนานขึ้นกว่าการตัดแบบเปียก ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลง อีกทั้งผลผลิตที่มากขึ้นด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เหล็กเกรด SAPH370 เพื่อศึกษาอิทธิพลของอายุการใช้งานสูงสุดโดยใช้ตัวแปร 3 ตัวแปรคืออัตราป้อนความเร็วในการตัดและปริมาณการหล่อเย็นภายใต้การตัดแบบ MQL โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุดในการกลึงชิ้นงานดรัมไฮคัลช โดยอายุการใช้งานของมีดตัดจะกำหนดจากความขรุขระผิวของชิ้นงาน (Roughness) ที่ขนาดของความขรุขระผิวต้องไม่เกิน Ra 1.2 ไมโครเมตร ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้น้อยที่สุด ผลรวมค่าใช้จ่าย โดยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบสนองด้วยการออกแบบการทดลองแบบบล็อก-เบห์นเคน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยการตัดที่มีผลต่อความขรุขระผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน และอายุการใช้งานของมีดตัด ในการตัด ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด และปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมที่สุด

5.1 สรุปผลการวิจัย

- 1) งานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดสภาวะการตัดตามบริษัทผู้ผลิตตั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ อัตราป้อนตัด 0.08- 0.12/รอบ ความเร็วตัด 150-350 เมตร/นาที โดยใช้วิธีการหล่อเย็น แบบ MQL คือการสเปรย์สารหล่อเย็นชนิดน้ำมันสกัดจากพืช ระดับปริมาณ 3, 5, 7 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง
- 2) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อทุกผลตอบคือ ความอัตราการป้อนตัด และ ปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น ซึ่งพบว่าอัตราการป้อนตัดที่เหมาะสมคือ 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ จะให้ความสามารถในการตัดที่ดี มีค่าผลตอบต่ำ สำหรับปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น ที่ 5 และ 7 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ให้ผลที่ดีพอๆกัน แต่หากยังใช้ปริมาณมากค่าใช้จ่ายก็เพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน
- 3) เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองคือ อัตราป้อนตัด 0.10 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วตัด 300 เมตร/นาที และปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น ที่ 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งให้ผลตอบต่างๆอยู่ในเกณฑ์ดีโดยค่าความพึงพอใจรวมของ

ผลตอบอยู่ที่ระดับ 100% อีกทั้งเงื่อนไขดังกล่าวยังให้ต้นทุนต่ำที่สุด เท่ากับ 25,095 บาท โดยเปรียบเทียบที่การกลึงชิ้นงาน 60,000 ชิ้น

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

1) จากการทดลองพบว่าอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดในกระบวนการกลึงของ SAPH370 สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการตัดแบบเปียก (สภาพแวดล้อมปัจจุบัน) การตัดโดยสเปรย์สารหล่อเย็น MQL ให้ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยผิวชิ้นงานที่ลดลง ซึ่งจะช่วยให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัด ซึ่งปัจจุบันในกระบวนการตัดแบบเปียก มีอายุการใช้งานเครื่องมือตัด อยู่ที่ 40 ครั้ง หลังจากเปลี่ยนมาใช้การตัดโดยสเปรย์สารหล่อเย็น MQL อายุการใช้งานเครื่องมือตัด อยู่ที่ 60 ครั้ง ซึ่งสามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดได้ 50% ด้วย การตัดโดยสเปรย์สารหล่อเย็น MQL

2) การใช้เทคนิค MQL มาแทนที่การตัดเปียก ทำให้ระยะเวลาในการกลึงทั้งหมดลดลง 20% จากเวลาในการกลึงลดลง 1 วินาที เนื่องจากอัตราการป้อนตัดเพิ่มขึ้นจาก 0.08 มิลลิเมตรต่อรอบ เป็น 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ และเวลาในการทำความสะอาดด้วยลมเป่ายังลดลงจาก 10 วินาทีเป็น 5 วินาที จะได้เวลาในการทำงานทั้งหมดจะลดลงจาก 30 วินาทีเป็น 24 วินาที นอกเหนือจากนี้เวลาสูญเสียจากการเปลี่ยนเครื่องมือตัดลดลงจาก 23 ครั้ง เป็น 15 ครั้ง โดยประมาณ

3) ระยะคืนทุน ของการติดตั้งระบบการปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น อยู่ที่ 1 ปี 7 วัน โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ลดลงหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ โดยการประยุกต์ใช้การตัดโดยใช้ปริมาณการสเปรย์สารหล่อเย็น ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการกลึงโดยใช้สารหล่อเย็นแบบเปียก ประมาณ 94,616 บาท/เดือน และ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการกลึงโดยใช้สารหล่อเย็นสเปรย์สารหล่อเย็น (MQL) ประมาณ 65,960 บาท/เดือน ซึ่งผลต่างที่เกิดขึ้น คือ 28,656 บาท นั้นหมายความว่า การกลึงโดยใช้สารหล่อเย็นสเปรย์สารหล่อเย็น (MQL) สามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตลงได้ 28,656 บาทต่อเดือน หรือลดลง 30% ของการกลึงแบบเปียก

4) นอกเหนือจากนี้ ยังช่วยปรับปรุงการด้านการเพิ่มผลผลิต ลดเวลาในการเปลี่ยนเครื่องมือตัดใหม่ลดเวลาในการตัด และลดระยะเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน การกลึงขึ้นภายใต้เทคนิค MQL ทำให้สภาพแวดล้อมการทำงานที่สะอาด เป็นการผลิตที่เป็นมิตรต่อคนและสิ่งแวดล้อม

5.3 ข้อจำกัดในการวิจัย

สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสม จำเป็นต้องใช้ชิ้นงานและมิดตัดเป็นจำนวนมาก ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายที่เกิดจากชิ้นงานและมิดตัดในการทดลองแต่ละครั้งค่อนข้างสูง โดยแต่ละการทดลองจะใช้ชิ้นงานจำนวน 60 ตัว ราคาตัวละ 80 บาท คิดเป็น 6,800 บาท และค่ามิดตัด 80 บาท คิดเป็นเงินประมาณ 6,880 บาทต่อการทดลอง ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อการศึกษาพารามิเตอร์ในการตัดที่เหมาะสม โดยการประยุกต์วิธีการหล่อเย็นโดยใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด ดังนั้นในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะทำการทดลองในแต่ละเงื่อนไขซ้ำเพียงแค่ 1 ครั้ง เท่านั้น รวมเป็น 30 ครั้ง

สำหรับการทดลองนี้ แรกเริ่มในการนำเสนอหัวข้อในโครงร่างวิทยานิพนธ์ ได้เสนอเงื่อนไข ความเร็วตัด ที่ 3 ระดับ ได้แก่ 220 240 และ 260 เมตรต่อนาที เนื่องจากต้องการใช้ค่าความเร็วตัดที่ไม่สูงมากนัก และอยู่ค่ากลางๆ ที่อยู่ในช่วงความเร็วตัดที่ผู้ผลิตมิดตัดแนะนำ ตั้งแต่ 180-340 เมตรต่อนาที เพราะค่าความความเร็วตัดส่งผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงาน ถ้าใช้ความเร็วมากเกินไปอุณหภูมิตัดก็จะสูงตามไปด้วย ส่งผลให้เม็ดมิดเกิดความเสียหายเร็วขึ้น จึงมีผลให้ค่าความขรุขระผิวแย่งลง แต่เนื่องจากเงื่อนไขการตัดเดิมที่โรงงานกรณีศึกษาใช้ อยู่ที่ค่าความเร็วตัด 300 เมตรต่อนาที หากมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วตัด ให้ค่าลดลงค่อนข้างมาก จะส่งผลต่อความเร็วในการผลิต ซึ่งถ้าใช้ค่าความเร็วตัดต่ำลงทำให้เวลาในการผลิตมากขึ้น ส่งผลให้ยอดการผลิตลดลง จึงไม่ได้รับอนุญาตให้ทำการทดลอง ที่ความเร็วตัดดังกล่าว เพราะมีผลต่อยอดการผลิต ดังนั้นจึงต้องพิจารณาความเร็วตัดที่ใช้ในปัจจุบัน และได้พิจารณาความเร็วตัดค่าใหม่ให้มีความเหมาะสมทั้งเงื่อนไขการตัดชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษา จึงได้เสนอความเร็วตัด โดยกำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับ คือ 280 300 และ 320 เมตรต่อนาที

5.4 ข้อเสนอแนะ

- 1) ในการศึกษาเรื่องการตัด ควรศึกษาเพิ่มเติมเรื่องอุณหภูมิในการตัด และแรงที่ใช้ในการตัด เพราะจะทำให้ทราบพฤติกรรมการตัดได้มากขึ้น
- 2) เนื่องจากการทดลองในงานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแบบบล็อก-เบห์นเคน เพราะต้องการลดต้นทุน ดังนั้นสำหรับการวิจัยต่อ อาจจะลองประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองชนิดอื่นแทน

รายการอ้างอิง

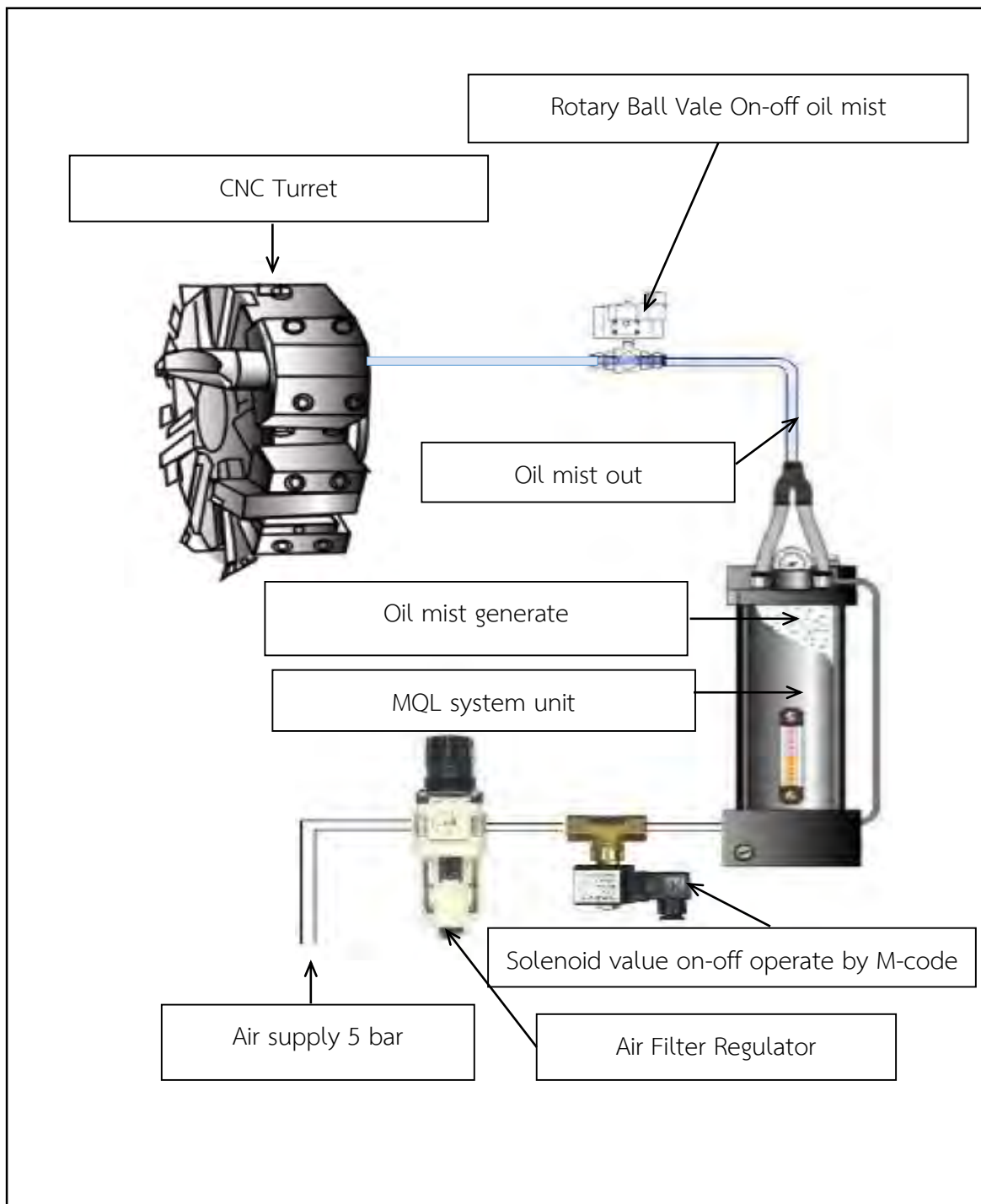
- [1] Dhar, N.R., Islam, M.W., Islam, S., Mithu, M.A.H., (2006) The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel. *J. Mater. Process. Technol.* 171, 93-99.
- [2] N.R. Dhar, M. Kamruzzaman, and Mahiuddin Ahmed, Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Tool Wear and Surface Roughness in Turning AISI-4340 Steel. *Journal of Material Processing Technology*. Volume 172, 2006, Page 299-304.
- [3] P. Leskover, J. Grum, The metallurgical aspect of machining, *Ann. CIRP* 35 (1986) 537–550.
- [4] K. Weinert¹ (1), I. Inasaki² (1), J. W. Sutherland³ (2), T. Wakabayashi⁴ Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication
- [5] F. Klocke, G. Eisennblätter, Dry cutting, *Ann. CIRP* 46 (1997)519–526.,
- [6] G. Byrne, E. Scholta, Environmentally clean machining processes—astrategic approach, *Ann. CIRP* 42 (1) (1993) 471–474.]
- [7] M. Sokovic, K. Mijanovic, Ecological aspects of the cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes, *JMPT* 109 (1–2) (2001) 181–189.
- [8] Dhar, N.R., Ahmed, M.T., Islam, S., 2007. An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 47, 748e753.
- [9] Mikell P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 2nd ed., USA: John Wiley & Sons, 2004.
- [10] Somkiat Tangjitsitcharoen. Monitoring of dry cutting and applications of cutting fluid. *Journal of Engineering Tribology* 224 (2010) : 209-219.
- [11] Moriwaki, T., Shibasaka, T., and Somkiat, T. Development of in-process tool wear monitoring system for CNC turning. *International Journal of Japan Society of Mechanical Engineers* 47 (2004) : 933-938.

- [12] สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ. เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมการผลิตขั้น สูง. 2551.
- [13] Groover, M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing. 2nd Edition. USA : John Wiley & Son, 2004.
- [14] Juneja, B. L., and Sekhon, G. S. Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tool. 1st Edition. India : Wiley Eastern, 1987.
- [15] ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่ง
- [16] Tangjitsitcharoen, S. In-Process Investigation of Turning Process Applied With and Without Cutting Fluid. Journal of mechanical engineering 6 (2009) : 85-102.
- [17] Thepsonthi, T., Hamdi, M., and Mitsui, K. Investigation into Minimal-Cutting-Fluid Application in High-Speed Milling of Hardened Steel Using Carbide Mills. International Journal of Machine Tools & Manufacture 49 (2009) : 156–162.
- [18] ปิยะ ศิริธรรมปิติ. การศึกษาพารามิเตอร์ของกระบวนการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอนบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยการประยุกต์ใช้วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [19] ชาญณรงค์ รุ่งเรือง, อิทธิพลของการใช้สารหล่อเย็นของกระบวนการตัดเหล็กกล้าโดยใช้ใบมีดกัดหัวบอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- [20] Tangjitsitcharoen, S., Rungruang, C., and Laiaddee, D. Monitoring of Dry Cutting and Applications of Cutting Fluid for Ball End Milling. Journal of Industrial Engineering and Management Systems 9. (2010): 242-250.
- [21] Tangjitsitcharoen, S., Arayaphitaya, S., and Thongprasert, S. In-Process Monitoring and Prediction of Surface Roughness on CNC Turning by using Response Surface Analysis. Proceeding of the 36th International MATADOR Conference (2010): 213-216.
- [23] Somkiat Tangjitsitcharoen, Pavarit Keeratiparadorn, (2012) A Study of Relation Between Surface Roughness and Dynamic Cutting Force on CNC Turning Machine

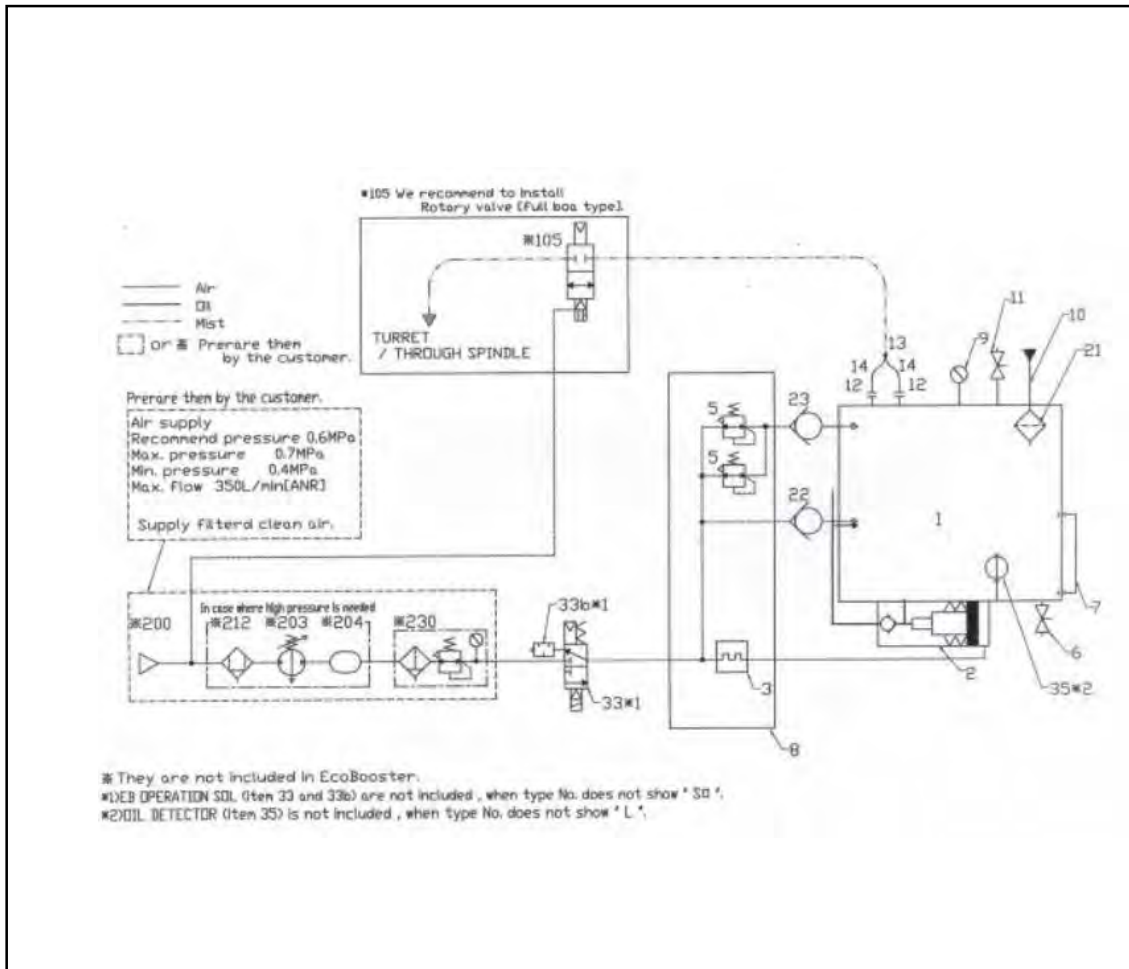
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลองสำหรับผลตอบต่างๆ



ระบบการทำงานของการใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด (MQL)



แผนภาพระบบการทำงานของการใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด (MQL)

การตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ทั้งหมด 30 การทดลอง

Run Order	1	2	3	4	5	6
Feed (mm/rev)	0.1	0.12	0.12	0.1	0.08	0.1
Speed (m/min)	300	320	280	320	320	320
MQL (mL/hr.)	5	5	5	7	5	3
Number	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)
1	0.530	0.531	0.653	0.495	0.404	0.424
5	0.549	0.641	0.695	0.551	0.523	0.515
10	0.568	0.751	0.736	0.607	0.642	0.605
15	0.586	0.800	0.779	0.692	0.690	0.655
20	0.604	0.848	0.821	0.777	0.738	0.704
25	0.713	0.903	0.886	0.852	0.750	0.833
30	0.821	0.958	0.950	0.927	0.762	0.961
35	0.842	1.062	1.007	0.983	0.778	1.073
40	0.862	1.166	1.064	1.039	0.794	1.184
45	0.908	1.183	1.110	1.065	0.841	1.202
50	0.968	1.203	1.144	1.164	0.994	
55	1.033		1.205	1.214	1.117	
60	1.099				1.253	
65	1.169					
70	1.212					
End of life (pcs.)	67	48	54	53	57	44
End of Ra (mm)	1.192	1.193	1.186	1.191	1.177	1.197

การตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ทั้งหมด 30 การทดลอง (ต่อ)

RunOrder	7	8	9	10	11	12
Feed (mm/rev)	0.1	0.1	0.12	0.08	0.08	0.1
Speed (m/min)	300	300	300	280	300	280
MQL (ml/hr.)	5	5	7	5	3	7
Number	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)
1	0.346	0.517	0.584	0.326	0.320	0.378
5	0.367	0.606	0.623	0.498	0.523	0.454
10	0.387	0.694	0.661	0.669	0.726	0.530
15	0.449	0.704	0.683	0.865	0.854	0.564
20	0.511	0.713	0.704	1.060	0.982	0.597
25	0.626	0.805	0.721	1.033	1.011	0.666
30	0.740	0.897	0.737	1.006	1.039	0.735
35	0.848	0.938	0.799	1.083	1.083	0.787
40	0.956	0.979	0.861	1.159	1.126	0.838
45	0.985	1.101	1.025	1.271	1.256	0.970
50	1.012	1.160	1.117			1.073
55	1.051	1.161	1.178			1.094
60	1.086	1.195	1.211			1.107
65	1.163	1.226				1.197
70	1.215					
End of life (pcs.)	66	60	55	43	42	65
End of Ra (mm)	1.183	1.195	1.178	1.178	1.177	1.197

การตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ทั้งหมด 30 การทดลอง (ต่อ)

Run Order	13	14	15	16	17	18
Feed (mm/rev)	0.08	0.12	0.1	0.1	0.08	0.1
Speed (m/min)	300	300	280	300	280	300
MQL (ml/hr.)	7	3	3	5	5	5
Number	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)
1	0.313	0.553	0.390	0.561	0.410	0.553
5	0.380	0.595	0.572	0.628	0.436	0.595
10	0.446	0.636	0.753	0.694	0.461	0.636
15	0.502	0.679	0.852	0.704	0.558	0.679
20	0.558	0.721	0.951	0.713	0.655	0.721
25	0.637	0.786	1.008	0.805	0.825	0.786
30	0.716	0.850	1.064	0.897	0.994	0.850
35	0.836	0.907	1.088	0.938	1.037	0.857
40	0.955	0.964	1.112	0.979	1.080	0.864
45	1.029	1.194	1.196	1.161	1.188	0.862
50	1.103			1.180	1.228	0.844
55	1.131			1.195		0.914
60	1.230			1.226		1.188
65						1.211
70						
End of life (pcs.)	56	45	45	55	45	63
End of Ra (mm)	1.191	1.194	1.196	1.195	1.188	1.193

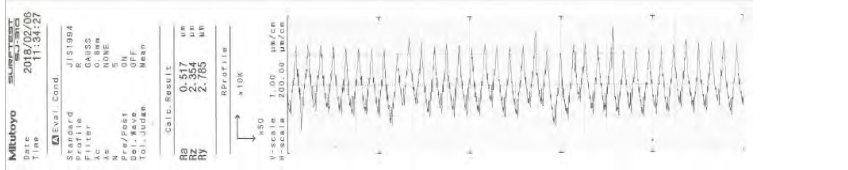
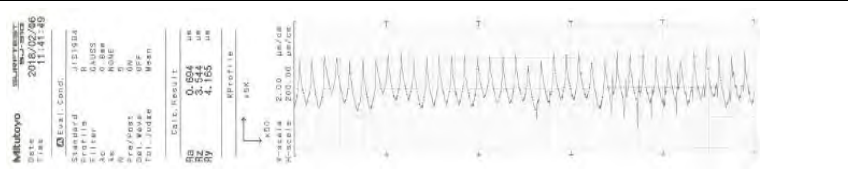
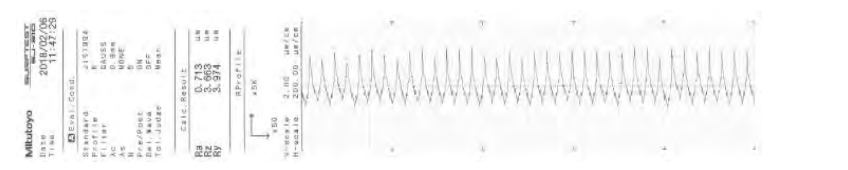

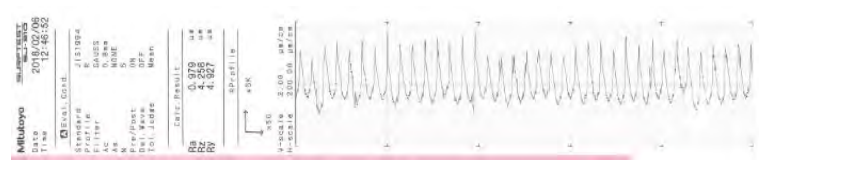
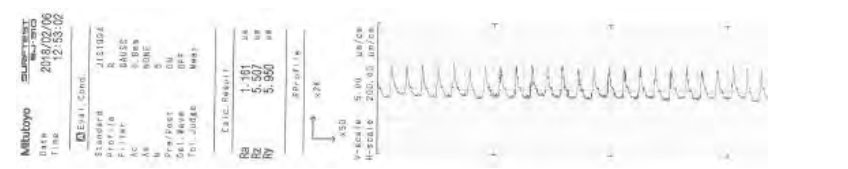
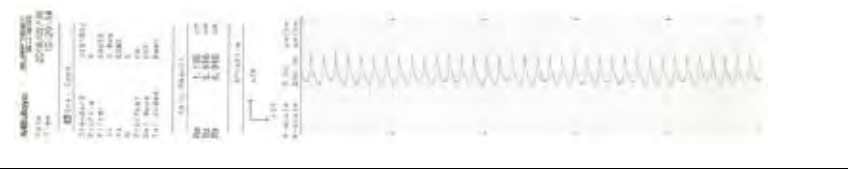
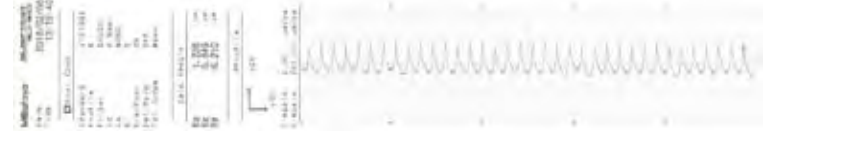
การตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ทั้งหมด 30 การทดลอง (ต่อ)

Run Order	19	20	21	22	23	24
Feed (mm/rev)	0.1	0.12	0.12	0.1	0.12	0.1
Speed (m/min)	320	300	320	280	300	320
MQL (ml/hr.)	3	3	5	7	7	7
Number	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)
1	0.400	0.596	0.598	0.313	0.644	0.452
5	0.434	0.731	0.637	0.380	0.676	0.538
10	0.468	0.865	0.675	0.446	0.708	0.623
15	0.622	0.903	0.740	0.502	0.769	0.730
20	0.776	0.941	0.805	0.558	0.829	0.837
25	0.890	1.030	0.854	0.637	0.886	0.912
30	1.003	1.119	0.902	0.716	0.943	0.987
35	1.056	1.142	0.956	0.836	1.000	1.051
40	1.108	1.165	1.009	0.955	1.057	1.114
45	1.224	1.239	1.154	1.029	1.111	1.165
50			1.235	1.103	1.133	1.215
55				1.131	1.218	
60				1.177		
65				1.213		
70						
End of life (pcs.)	44	43	48	64	53	49
End of Ra (mm)	1.19	1.177	1.191	1.198	1.186	1.194

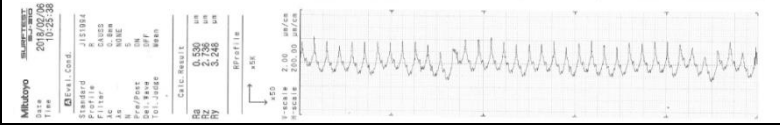

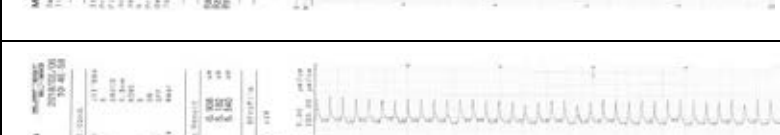
การตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ ทั้งหมด 30 การทดลอง (ต่อ)

RunOrder	25	26	27	28	29	30
Feed (mm/rev)	0.1	0.1	0.08	0.08	0.12	0.08
Speed (m/min)	300	280	300	320	280	300
MQL (ml/hr)	5	3	3	5	5	7
Number	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)	Ra (mm)
1	0.481	0.378	0.317	0.484	0.565	0.250
5	0.518	0.488	0.469	0.612	0.545	0.360
10	0.555	0.597	0.620	0.739	0.525	0.470
15	0.574	0.666	0.765	0.729	0.595	0.527
20	0.592	0.735	0.909	0.719	0.665	0.583
25	0.681	0.787	0.898	0.749	0.768	0.683
30	0.769	0.838	0.887	0.778	0.870	0.782
35	0.829	0.938	0.987	0.703	0.882	0.839
40	0.889	1.037	1.087	0.627	0.894	0.895
45	0.934	1.107	1.200	0.815	0.983	0.996
50	0.984	1.261		1.129	1.024	1.185
55	1.109			1.083	1.149	1.232
60	1.190			1.226	1.211	
65	1.246					
70						
End of life (pcs.)	60	47	45	57	58	50
End of Ra (mm)	1.19	1.194	1.2	1.183	1.194	1.185

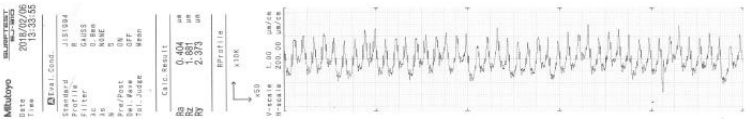

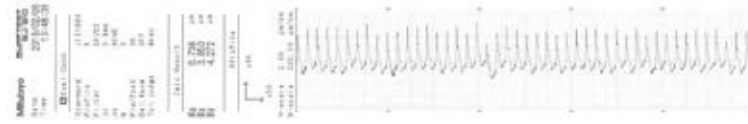
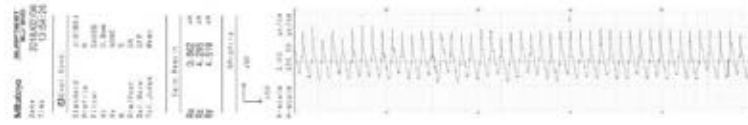
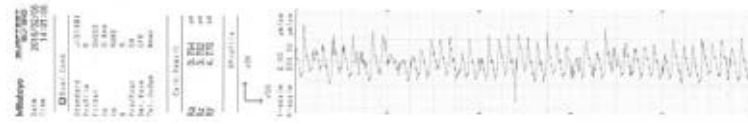
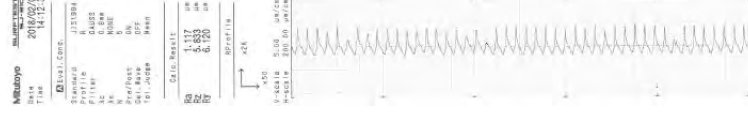
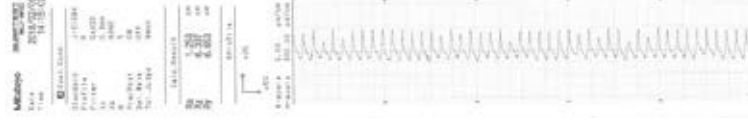
รูปไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ

การทดลองที่ 1	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
ตัวที่	0.1	320	5
1			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
สุดท้าย			

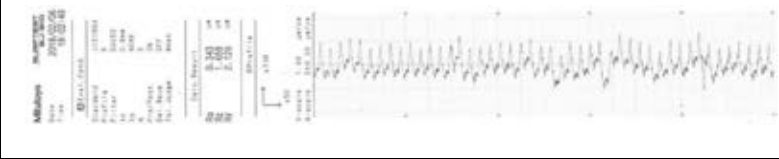
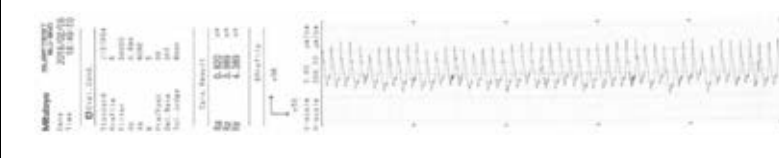
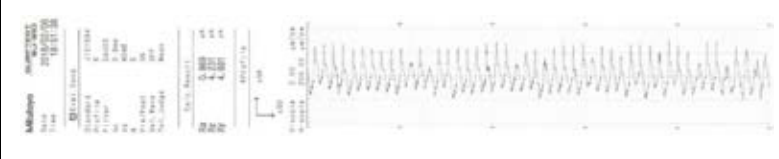

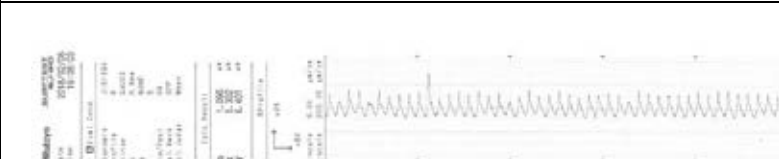
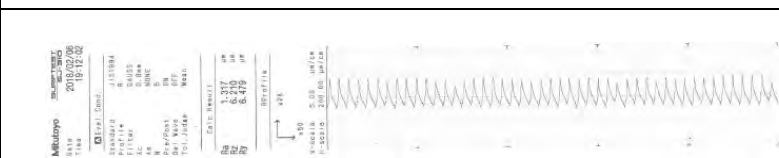
รูปไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
2			
ตัวที่	0.10	320	5
1			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
65			
สุดท้าย			


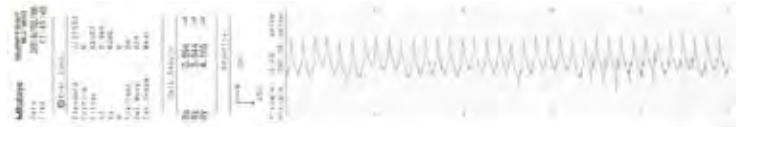

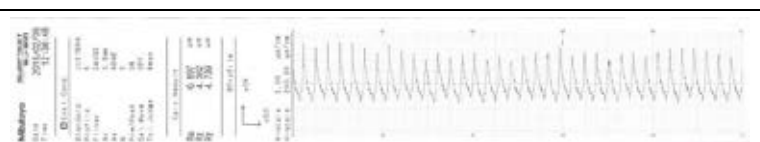
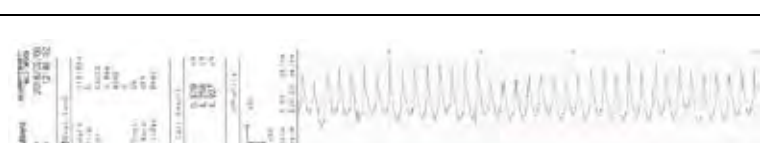
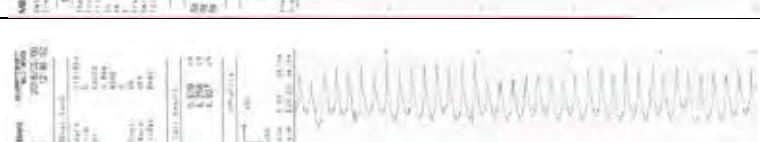
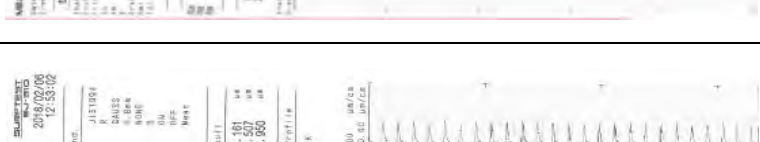

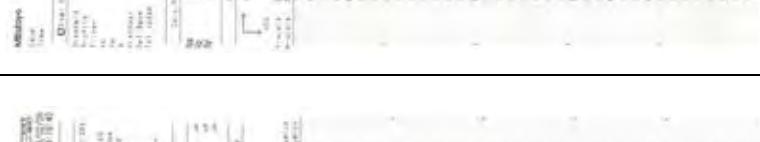
รูปไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
3			
ตัวที่	0.08	300	7
1			
10			
20			
30			
40			
50			
สุดท้าย			

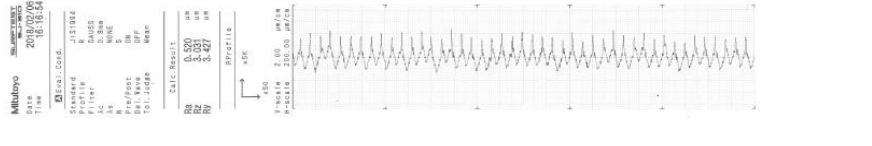
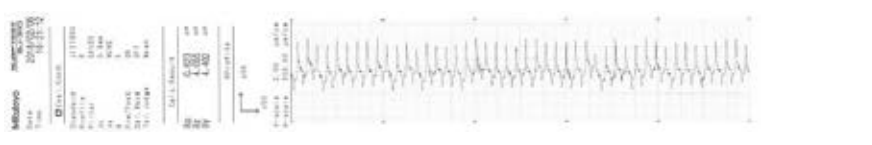
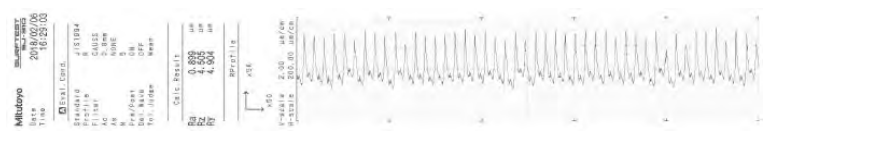

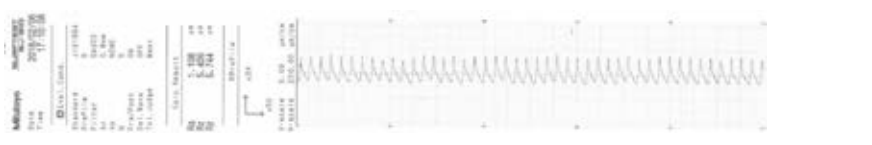

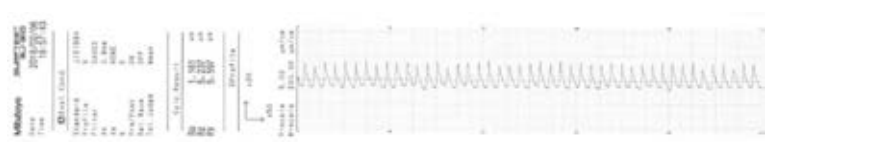
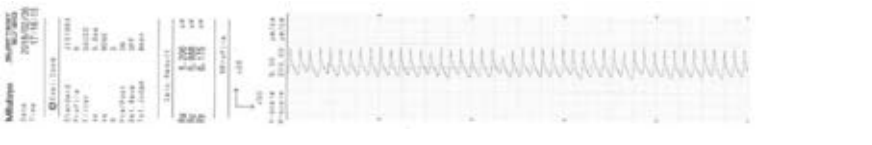
รูปโฟรไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ ใช้ (มล/ชม)
4			
ตัวที่	0.08	300	7
1			
10			
20			
30			
40			
สุดท้าย			





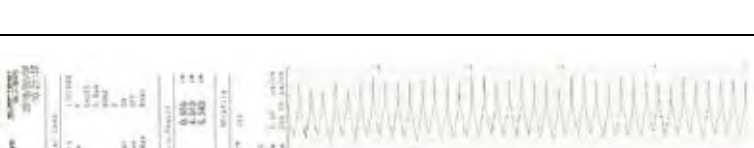
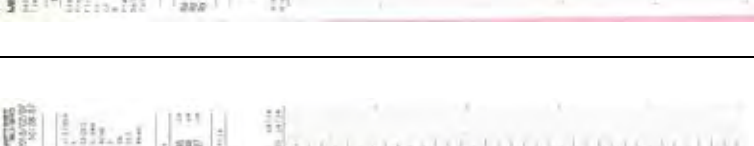
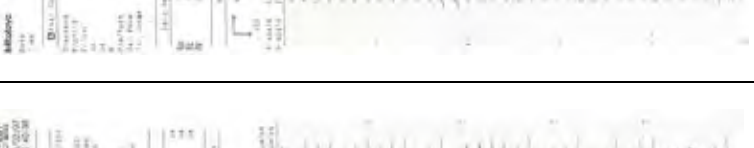
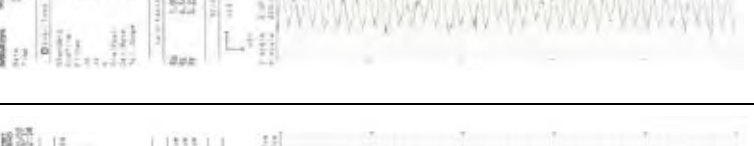
รูปไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อ เย็นที่ใช้ (มล/ชม)
5			
ตัวที่	0.10	300	5
1			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
65			
สุดท้าย			

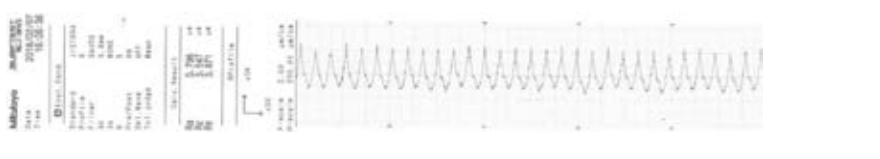
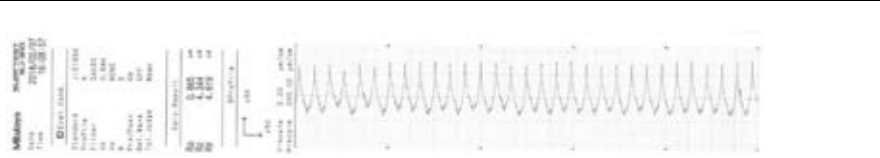
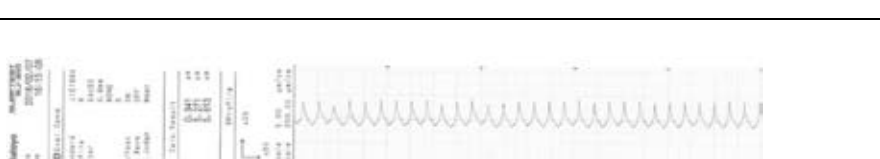
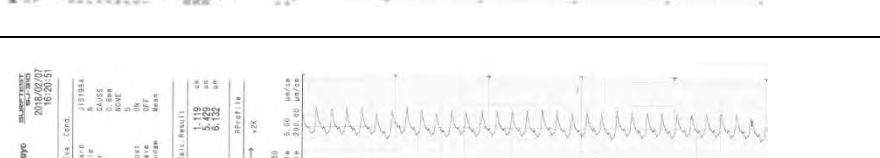
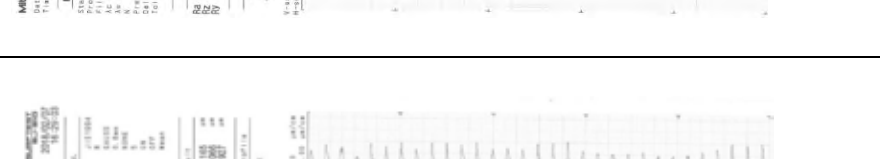
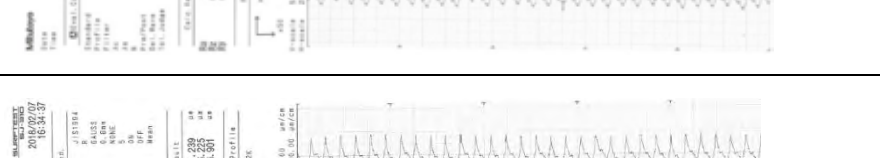
รูปโปรไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่ 6	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
ตัวที่	0.08	300	7
1			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
สุดท้าย			

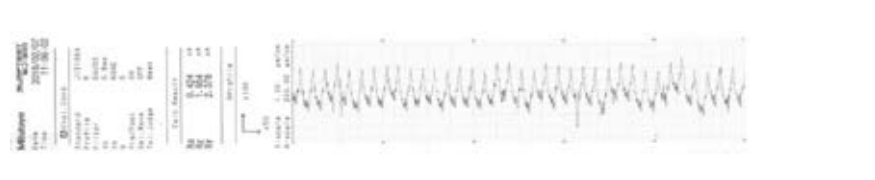

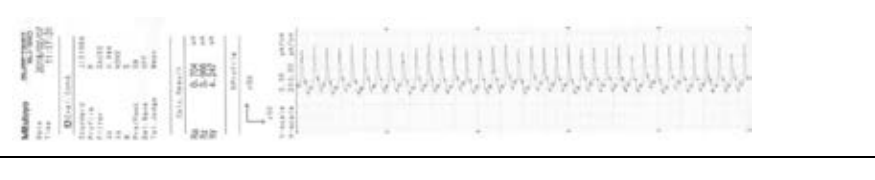
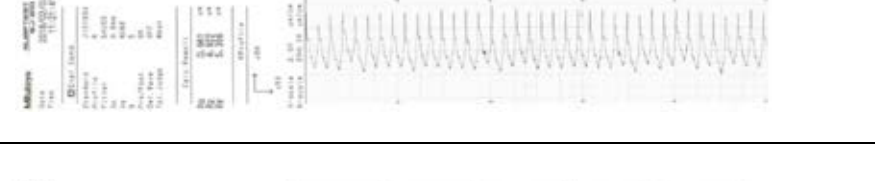
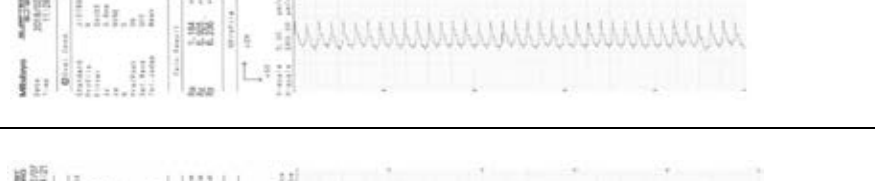
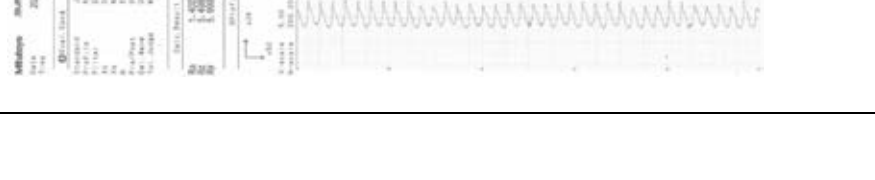
รูปโปรไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
7			
ตัวที่	0.10	300	5
1			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
สุดท้าย			


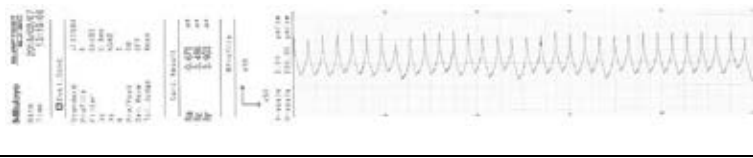
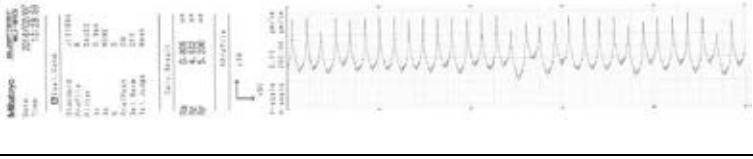
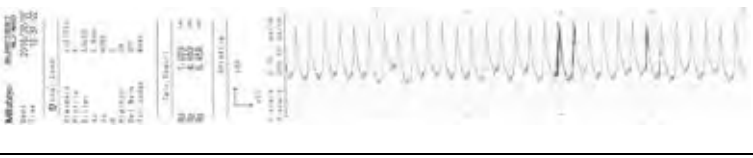

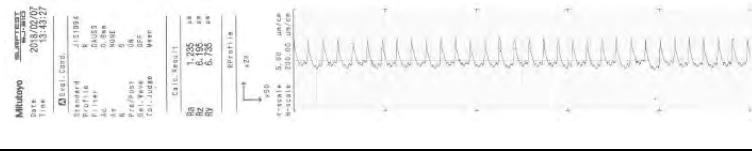
รูปไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
8	(มม./รอบ)	(ม./นาที)	(มล/ชม)
ตัวที่	0.12	300	3
1			
10			
20			
30			
40			
สุดท้าย			

รูปโปรไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
9	(มม./รอบ)	(ม./นาที)	(มล/ชม)
ตัวที่	0.10	280	3
1			
10			
20			
30			
40			
สุดท้าย			

รูปไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
10	(มม./รอบ)	(ม./นาที)	(มล/ชม)
ตัวที่	0.12	300	3
1			
10			
20			
30			
40			
สุดท้าย			



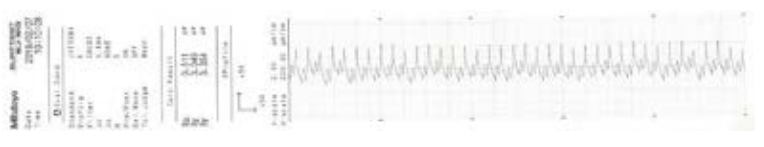
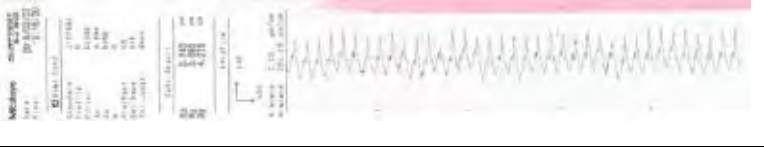

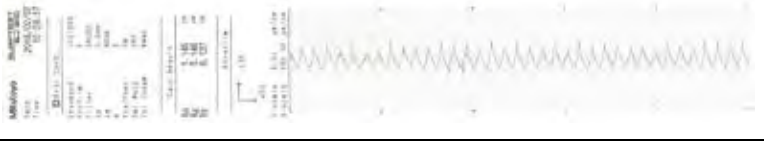
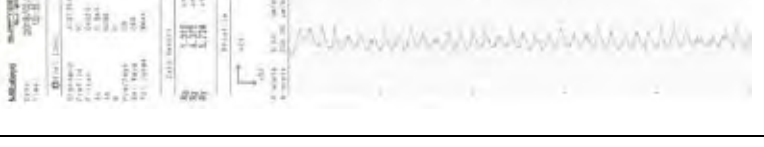

รูปโฟรไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
11	(มม./รอบ)	(ม./นาที)	(มล/ชม)
ตัวที่	0.12	280	5
1			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
สุดท้าย			


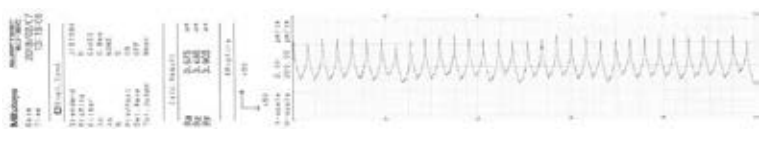
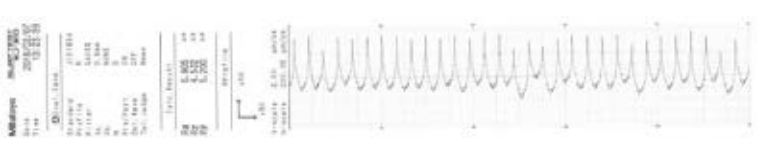
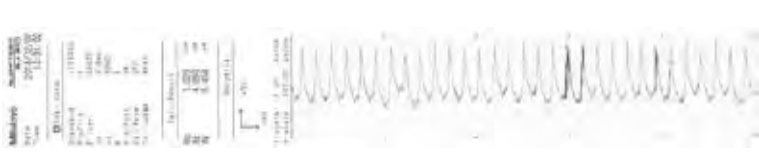

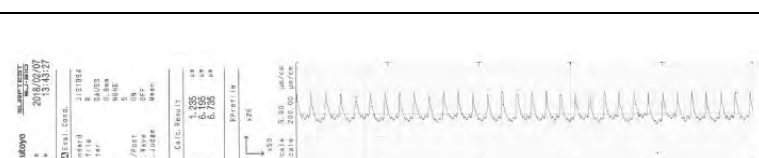
รูปโฟรไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
12	(มม./รอบ)	(ม./นาที)	(มล/ชม)
ตัวที่	0.12	320	5
1			
10			
20			
30			
40			
สุดท้าย			

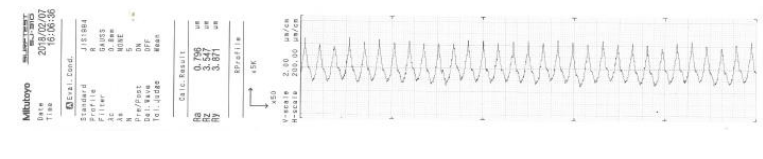
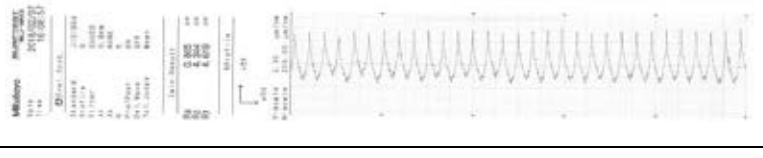
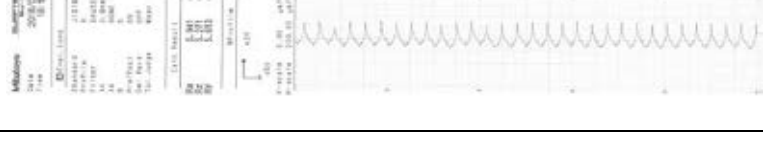


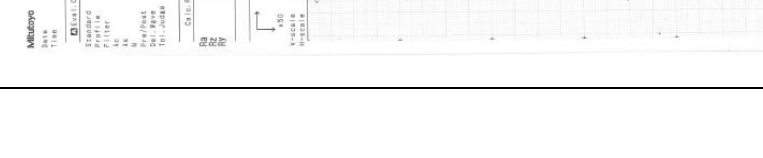
รูปโปรไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
13	(มม./รอบ)	(ม./นาที)	(มล/ชม)
ตัวที่	0.08	320	5
1			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
สุดท้าย			

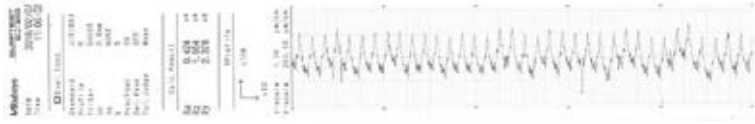


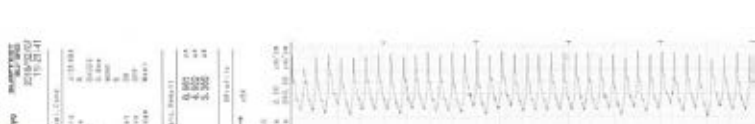
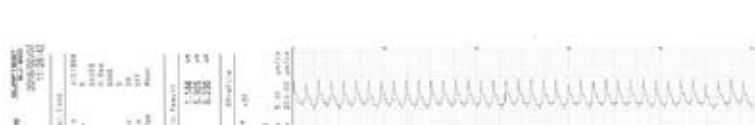
รูปไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
14	(มม./รอบ)	(ม./นาที)	(มล/ชม)
ตัวที่	0.12	280	7
1			
10			
20			
30			
40			
สุดท้าย			

รูปไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
15			
ตัวที่	0.12	300	3
1			
10			
20			
30			
40			
สุดท้าย			

รูปโฟรไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
16	(มม./รอบ)	(ม./นาที)	(มล/ชม)
ตัวที่	0.12	320	5
1			
10			
20			
30			
สุดท้าย			

รูปไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
17	(มม./รอบ)	(ม./นาที)	(มล/ชม)
ตัวที่	0.10	300	5
1			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
สุดท้าย			

รูปโฟรไฟล์ (Profile) ของค่าความขรุขระผิว ของการตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่างๆ (ต่อ)

การทดลองที่	อัตราการป้อนตัด (มม./รอบ)	ความเร็วตัด (ม./นาที)	ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ (มล/ชม)
18	(มม./รอบ)	(ม./นาที)	(มล/ชม)
ตัวที่	0.10	320	7
1			
10			
20			
30			
40			
สุดท้าย			

บรรณานุกรม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณัฐรดา ขำจิ้น
วัน เดือน ปี เกิด	4 พฤษภาคม 2531
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
ที่อยู่ปัจจุบัน	22 หมู่ 2 ตำบล ท่าประจະ อำเภอ ชะอวด จังหวัด นครศรีธรรมราช 80180
ผลงานตีพิมพ์	Application of Minimum Quantity Lubrication for Drum High Clutch in Turning Process

