

การพัฒนาความสามารถในการตัดสำหรับกระบวนการกัดเหล็กกล้าโดยการ
ประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุดเพื่อกระบวนการตัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมบน
เครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์

Development of the Machinability for the Milling Processes of Steel by Utilizing the
Minimal Quantity Lubrication (MQL) for the Environmentally Friendly Cutting
Process on CNC Machining Center

โดย

สมเกียรติ ตั้งจิตติตเจริญ Dr. Eng. (Kobe University)

โครงการวิจัยเลขที่ 109G-IE-2552
ทุนงบประมาณแผ่นดินปี 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพฯ
กุมภาพันธ์ 2553

รายงานการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรม ฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ ๖๕๔๒๒๑๐๐๑๑๐๐๒๕_๑๒๑๐๐๑๐๙๐๐_๑๓๒๑๑๑๐๐๒๕

การพัฒนาความสามารถในการตัดสำหรับกระบวนการกัดเหล็กกล้าโดยการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็น
น้อยที่สุดเพื่อกระบวนการตัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมบนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์

Development of the Machinability for the Milling Processes of Steel by Utilizing the Minimal Quantity
Lubrication (MQL) for the Environmentally Friendly Cutting Process on CNC Machining Center

คณะผู้วิจัย

- | | |
|---------------------|-----------------|
| 1. มศ.ดร. สมเกียรติ | ตั้งจิตสิตเจริญ |
| 2. อ.อังกุมาลิน | เสนจันทร์ฉวีไชย |
| 3. มศ.ดร.วิภาวี | ธรรมภรณ์พิลาศ |
| 4. รศ.ดำรงค์ | ทวีแสงสกุลไทย |
| 5. รศ.สุทัศน์ | รัตนเกื้อกังวาน |
| 6. นาย ชาญณรงค์ | รุ่งเรือง |
| 7. น.ส. ดวงตา | ละเอียดดี |

หน่วยงานที่สังกัด

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนทุนวิจัยโดย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ.....2552.....

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทคัดย่อ.....	ท
Abstract.....	ธ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	2
1.4 ขอบเขตของการทดลอง.....	3
1.5 การดำเนินงานวิจัย.....	3
1.6 เกณฑ์การเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม.....	5
1.7 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง.....	5
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8

เลขหมู่	๙๗
	๖๕'15
เลขทะเบียน	๐146๘๗
วัน, เดือน, ปี	๒๗๖.๑.๕๓

บทที่ 2.....	9
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 ความเร็วมือสำเร็จ.....	9
2.2 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการตัด.....	10
2.3 การสึกหรอของมีดตัด.....	12
2.4 อายุของเครื่องมือตัด.....	13
บทที่ 3.....	20
การตัดแบบแห้ง.....	20
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับความเร็วของมือชิ้นงาน.....	20
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับขนาดความสึกหรอของมีดกัด.....	23
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความสึกหรอของมีดกัดกับความหนามือ.....	27
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัด.....	29
3.5 ปัจจัยจากเงื่อนไขการตัดต่าง ๆ.....	34
3.6 สรุปผลการทดลองและปัญหาที่เกิดขึ้น.....	38
บทที่ 4.....	39
การตัดแบบเปียก.....	39
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความสึกหรอของมีดกัดกับความหนามือ.....	39
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับขนาดความสึกหรอของมีดกัด.....	43

4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความลึกหรือของมีดกัดกับความหยาบผิว.....	45
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัด.....	46
4.5	ปัจจัยจากเงื่อนไขการตัดต่าง ๆ	49
4.6	สรุปผลการทดลอง.....	53
บทที่ 5.....		55
การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น.....		55
5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความลึกหรือของมีดกัดกับความหยาบผิว.....	55
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับขนาดความลึกหรือของมีดกัด.....	59
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความลึกหรือของมีดกัดกับความหยาบผิว.....	61
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัด.....	63
5.5	ปัจจัยจากเงื่อนไขการตัดต่างๆ	66
5.6	สรุปผลการทดลอง.....	70
บทที่ 6.....		71
การตรวจวัดสารปนเปื้อนของสารหล่อเย็นในอากาศที่เกิดจากกระบวนการตัด.....		71
6.1	การตรวจวัดอนุภาคสารปนเปื้อนจากการตัดแบบเปียก.....	71
6.2	การตรวจวัดอนุภาคสารปนเปื้อนจากการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น.....	73
6.3	สรุปผลการทดลอง.....	75
บทที่ 7.....		76

การเปรียบเทียบต้นทุนมีดตัดและสารหล่อเย็นจากกระบวนการตัด.....	76
7.1 ต้นทุนมีดตัด	76
7.2 ต้นทุนสารหล่อเย็น	82
7.3 ต้นทุนรวม.....	86
บทที่ 8.....	88
สรุปผลงานวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	88
8.3 สรุปผลงานวิจัย.....	88
8.4 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	90
ภาคผนวก.....	91
เอกสารอ้างอิง.....	92

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 รูปเงื่อนไรสำหรับการทดลอง.....	4
ตารางที่ 2.1 รูปแบบการชำรุดของมิดตัด.....	12
ตารางที่ 2.2 กลไกการสึกหรอของมิดตัด	13
ตารางที่ 7.1 อายุของมิดตัดหรือเวลาในการตัดเมื่อค่าความสึกหรอของมิดตัดหับอลเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร .	79
ตารางที่ 7.2 จำนวนของมิดตัดหับอลที่ใช้ในเวลา 1,000 ชั่วโมง	80
ตารางที่ 7.3 ต้นทุนของมิดตัดหับอลที่เงื่อนไรการตัดต่าง ๆ ด้วยวิธีการแบบเปียก แบบสเปรย์ และแบบแห้ง	81
ตารางที่ 7.4 การใช้สารหล่อเย็นสำหรับวิธีการตัดแบบเปียก แบบสเปรย์ และแบบแห้ง.....	82
ตารางที่ 7.5 ปริมาณการใช้สารหล่อเย็นและราคาต้นทุนสารหล่อเย็น เวลา 1000 ชั่วโมง.....	84
ตารางที่ 7.6 ต้นทุนสารหล่อเย็นที่ชั่วโมงการตัดทั้งหมด 1,000 ชั่วโมง ด้วยวิธีการตัดแบบเปียก แบบสเปรย์และแบบแห้ง	85
ตารางที่ 7.7 ต้นทุนรวม ที่ชั่วโมงการตัดทั้งหมด 1,000 ชั่วโมง ด้วยวิธีการตัดแบบเปียก แบบสเปรย์และแบบแห้ง	86

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 แสดงการติดตั้งไดนาโมมิเตอร์สำหรับการวัดและวิเคราะห์แรงตัด	6
ภาพที่ 1.2 แสดงการติดตั้งไดนาโมมิเตอร์สำหรับการวัดและวิเคราะห์แรงตัดบนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ และการติดตั้งเครื่อง Aerodynamic particle sizer spectrometer เพื่อตรวจวัดปริมาณสารปนเปื้อนในอากาศจากกระบวนการตัด	6
ภาพที่ 1.3 แสดงจุดวัดปริมาณสารปนเปื้อนในอากาศด้วยเครื่อง Aerodynamic particle sizer spectrometer จากเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์	7
ภาพที่ 2.1 รายละเอียดของผิวชิ้นงาน	9
ภาพที่ 2.2 บริเวณที่เกิดความร้อนขณะตัด	11
ภาพที่ 2.3 ลัดส่วนความร้อนที่เกิดขึ้นขณะตัด	11
ภาพที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรอยสึกหรบนผิวคายและเวลาที่ใช้ในการตัด	14
ภาพที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยابผิวของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน	20
ภาพที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยابผิวของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน	20
ภาพที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยابผิวของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน	21
ภาพที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยابผิว (Ra) ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร	21

ภาพที่ 3.5 เปรียบเทียบความหนาผิวของชิ้นงานที่ความลึกตัดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน.....	22
ภาพที่ 3.6 เปรียบเทียบความหนาผิวของชิ้นงานที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตรที่ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	23
ภาพที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อน ตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร.....	23
ภาพที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อน ตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร.....	24
ภาพที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อน ตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร.....	24
ภาพที่ 3.10 ภาพถ่ายขนาดความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร.....	24
ภาพที่ 3.11 ภาพถ่ายขนาดความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อน ตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร.....	25
ภาพที่ 3.12 ภาพถ่ายขนาดความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อน ตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร.....	25
ภาพที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร.....	26
ภาพที่ 3.14 เปรียบเทียบความลึกหรือของมีดกัดที่ความลึกตัดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน.....	26
ภาพที่ 3.15 เปรียบเทียบความลึกหรือของมีดกัดที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	27

ภาพที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือของมีดกัดกับความหนาของผิวของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร.....	28
ภาพที่ 3.17 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือของมีดกัดกับความหนาของผิวของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน.....	28
ภาพที่ 3.18 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือของมีดกัดกับความหนาของผิวของการตัดแบบแห้ง ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	29
ภาพที่ 3.19 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร.....	30
ภาพที่ 3.20 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร.....	30
ภาพที่ 3.21 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร.....	30
ภาพที่ 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน X, F_x ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร.....	31
ภาพที่ 3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน Y, F_y ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร.....	32
ภาพที่ 3.24 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน Z, F_z ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร.....	32
ภาพที่ 3.25 เปรียบเทียบแรงตัดในแนวแกน X, F_x ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน.....	33

ภาพที่ 3.26 เปรียบเทียบแรงตัดในแนวแกน Y, F_y ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน.....	33
ภาพที่ 3.27 เปรียบเทียบแรงตัดในแนวแกน Z, F_z ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน.....	33
ภาพที่ 3.28 เปรียบเทียบแรงตัดในแนวแกน Z, F_z ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	34
ภาพที่ 3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (R_a) ของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที.....	35
ภาพที่ 3.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (R_a) ของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร.....	35
ภาพที่ 3.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขนาดความลึกหรือของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที.....	36
ภาพที่ 3.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที.....	37
ภาพที่ 3.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที.....	37
ภาพที่ 3.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที.....	37
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบเปียก ที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน.....	39

ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน	40
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน	40
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร	40
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร	41
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของชิ้นงานที่อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ	42
ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบภาพถ่ายขนาดความลึกหรือของมีดกัดของที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร	42
ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบความหยาบผิวของชิ้นงานของการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร	43
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร	43
ภาพที่ 4.10 ภาพถ่ายขนาดความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร	44
ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความลึกหรือของมีดกัดของที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร	44

ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหระของมีดกัดกับความหนาของใบของการตัดแบบเบี่ยงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร..... 45

ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหระของมีดกัดกับความหนาของใบของการตัดแบบเบี่ยง ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ..... 46

ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหระของมีดกัดกับความหนาของใบของการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ..... 46

ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบเบี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร..... 47

ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบเบี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร..... 47

ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบเบี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร..... 47

ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน X, F_x ของการตัดแบบเบี่ยงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร..... 48

ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน Y, F_y ของการตัดแบบเบี่ยงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร..... 48

ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน Z, F_z ของการตัดแบบเบี่ยงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร..... 49

ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหนาของใบ (R_a) ของการตัดแบบเบี่ยง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที..... 50

ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบเปียก ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที.....	50
ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบเปียก ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร.....	50
ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขนาดความลึกหระของการตัดแบบเปียก ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที.....	51
ภาพที่ 4.25 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการตัดกับความลึกหระของมีดกัดที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ.....	51
ภาพที่ 4.26 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการตัดกับความหยาบผิวของชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ.....	52
ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบเปียก ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที.....	52
ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบเปียก ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที.....	53
ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบเปียก ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที.....	53
ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน.....	55
ภาพที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน.....	56

ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน.....	56
ภาพที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร	56
ภาพที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร	57
ภาพที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของชิ้นงานที่อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	58
ภาพที่ 5.7 เปรียบเทียบภาพถ่ายขนาดความลึกหรือของมีดกัดของ ก) การตัดแบบแห้ง และ ข) การตัดแบบเปียก ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร.....	58
ภาพที่ 5.8 เปรียบเทียบความหยาบผิวของชิ้นงานของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร.....	59
ภาพที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร	59
ภาพที่ 5.10 ภาพถ่ายขนาดความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร.....	60
ภาพที่ 5.11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความลึกหรือของมีดกัดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร.....	60
ภาพที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือของมีดกัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร.....	61

ภาพที่ 5.13 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือของมีดกัดกับความหนาผิวของการตัดแบบ
สเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ 62

ภาพที่ 5.14 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือของมีดกัดกับความหนาผิวที่อัตราการป้อนตัด
0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ 62

ภาพที่ 5.15 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อ
เย็นที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร 63

ภาพที่ 5.16 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อ
เย็นที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร 63

ภาพที่ 5.17 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อ
เย็นที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร 64

ภาพที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน X, F_x ของการตัดแบบสเปรย์ของสาร
หล่อเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร 65

ภาพที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน Y, F_y ของการตัดแบบสเปรย์ของสาร
หล่อเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร 65

ภาพที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน Z, F_z ของการตัดแบบสเปรย์ของสาร
หล่อเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร 65

ภาพที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหนาผิว (R_a) ของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อ
เย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5
มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที 66

ภาพที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหนาผิว (R_a) ของการตัดแบบสเปรย์ของสาร
หล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5
มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที 67

ภาพที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (Ra) ของการตัดสเปร์ย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3 มิลลิเมตร	67
ภาพที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขนาดความลึกหระของการตัดแบบสเปร์ย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที	68
ภาพที่ 5.25 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการตัดกับความลึกหระของมีดกัดที่เงื่อนไขการ ตัดต่าง ๆ	68
ภาพที่ 5.26 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการตัดกับความหยาบผิวของชิ้นงานที่เงื่อนไข การตัดต่าง ๆ	68
ภาพที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบสเปร์ย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็ว รอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที	69
ภาพที่ 5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบสเปร์ย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็ว รอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที	69
ภาพที่ 5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบสเปร์ย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็ว รอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที	70
ภาพที่ 6.1 เปรียบเทียบผลการวัดอนุภาคสารปนเปื้อนจากการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที ความลึกการตัด 0.3 มิลลิเมตร ที่ระยะเวลาการตัด 60 นาที	71
ภาพที่ 6.2 เปรียบเทียบผลการวัดอนุภาคสารปนเปื้อนจากการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ที่ระยะเวลาการตัด 60 นาที	72
ภาพที่ 6.3 เปรียบเทียบผลการวัดอนุภาคสารปนเปื้อนจากการตัดแบบสเปร์ย์ของสารหล่อเย็นที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ที่ระยะเวลาการตัด 60 นาที	73

- ภาพที่ 6.4 เปรียบเทียบผลการวัดอนุภาคสารปนเปื้อนจากการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที ที่ระยะเวลาการตัด 60 นาที 74
- ภาพที่ 6.5 เปรียบเทียบผลการวัดอนุภาคสารปนเปื้อนที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร ที่ระยะเวลาการตัด 60 นาที..... 75

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี พ.ศ. ๒๕๕๒ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้เห็นความสำคัญของงานวิจัยนี้ และได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยมาตลอด

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อต้องการตรวจติดตามเงื่อนไขการตัดของการตัดแบบแห้ง แบบเปียก และแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น เพื่อให้ได้เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมสำหรับการตัดแห้งกล้าคาร์บอน ด้วยมีดกัดแบบหัวบอล โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณา คือ ความหยابผิวของชิ้นงาน อายุของมีดตัด การใช้สารหล่อเย็น และต้นทุนของสารหล่อเย็นและมีดกัด

การตรวจติดตามภายในกระบวนการถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวัดแรงตัดในขณะที่ทำการตัดเฉือน เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการสึกหรอของมีดตัด ความหยابผิว เงื่อนไขการตัด และแรงตัด

ความสัมพันธ์ของการสึกหรอของมีดตัด ความหยابผิว และแรงตัด ที่ได้จากผลการทดลอง มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ความหยابผิวและการสึกหรอของมีดตัดสามารถอธิบายได้ด้วยแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัด สำหรับต้นทุนของการตัดคำนวณจากต้นทุนของมีดตัดและสารหล่อเย็น

เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมที่ได้การทดลองโดยพิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนด การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน และความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร จะให้ต้นทุนของเครื่องมือตัดต่ำสุดเมื่อเทียบกับเงื่อนไขการตัดแบบแห้งและแบบเปียก

Abstract

The aim of this research is to monitor the cutting conditions with the dry cutting, the wet cutting, and the mist cutting to obtain the proper cutting condition for the plain carbon steel with the ball end milling based on the consideration of the surface roughness of the machined parts, the life of the cutting tools, the use of the cutting fluids, and the cutting costs of cutting fluids and cutting tools.

The in-processes monitoring of cutting conditions is utilized to measure the cutting forces during the ball-end milling process in order to examine and analyze the relation of the tool wear, the surface roughness, the cutting condition and the cutting force.

The experimentally obtained results of the relations of the tool wear, the surface roughness, and cutting force are correspondent with the same trend. The phenomena of surface roughness and tool wear can be explained well by the in-process cutting forces. The cutting cost is calculated from the costs of cutting tool and cutting fluid.

The experimentally obtained proper cutting condition is determined based on the experimental results, which is the mist cutting of the spindle speed 10,000 rpm, the feed rate 0.01 mm/tooth, and the depth of cut 0.5 mm. The cutting cost of the mist cutting is the lowest as compared to others.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ปัจจุบันวัสดุประเภทเหล็กกล้า ได้ถูกนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนสำคัญต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะชิ้นส่วนประกอบสำหรับรถยนต์ ไม่ว่าจะเป็นตัวถังรถยนต์ชิ้นส่วนประกอบภายในเครื่องยนต์ต่าง ๆ แม้พิมพ์ฉีดพลาสติกและชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ กระบวนการกัดเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในการตัดชิ้นรูปวัสดุดังกล่าวให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามการสึกหรอของมีดตัดยังเป็นปัญหาหลักในกระบวนการกัดชิ้นรูปชิ้นงาน เนื่องจากการสึกหรอของมีดตัดไม่เพียงส่งผลกระทบต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานแต่ยังทำให้ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานไม่ได้ตามที่ต้องการซึ่งทำให้เกิดอัตราการผลิตต่ำ เนื่องจากการหยุดเครื่องเพื่อเปลี่ยนมีดตัดใหม่

การใช้สารหล่อเย็น (Cutting fluid) เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อช่วยให้กระบวนการตัดชิ้นส่วนดังกล่าวดีขึ้นและได้คุณภาพตามที่ต้องการ โดยสารหล่อเย็นจะช่วยลดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในขณะตัดรวมถึงลดอัตราการสึกหรอและเพิ่มอายุการใช้งานของมีดตัดได้อีกด้วย

จากเหตุผลทางด้านต้นทุนและปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่นับวันจะทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น ทำให้มีการพยายามใช้ปริมาณสารหล่อเย็นต่ำที่สุด (Minimal Quantity Lubrication, MQL) เพื่อกระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหรือการใช้เทคโนโลยีสะอาดในระหว่างกระบวนการตัดเพิ่มมากขึ้น เพื่อลดปริมาณการใช้สารหล่อเย็นและลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย อนึ่งการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นต่ำที่สุดในขณะตัดชิ้นงานยังสามารถช่วยให้สารหล่อเย็นเข้าถึงบริเวณที่เกิดความร้อนจากการตัดได้ดีกว่าวิธีปกติ (Flooding or wet cutting) เศษโลหะจึงไม่หลอมติดมีดตัดทำให้ประสิทธิภาพในการตัดสูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธีปกติ มีผลงานวิจัยมากมายที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารหล่อเย็นและได้พัฒนาวิธีการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด

อย่างไรก็ตามวิธีการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นต่ำที่สุดมีหลายแบบในกระบวนการตัดซึ่งให้ผลการตัดที่แตกต่างกัน เนื่องจากประสิทธิภาพของการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นต่ำที่สุดจะใช้ได้ดีขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน ชนิดของมีดตัด ชนิดของสารหล่อเย็นและวิธีการใช้ เครื่องจักรที่ใช้ พารามิเตอร์ในการตัด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นต่ำที่สุดแบบต่าง ๆ เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมสำหรับการตัดเหล็กกล้า

เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสูงและเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับกระบวนการตัดชิ้นรูปให้สูงขึ้น ดังนั้นในการหาเงื่อนไขตัดที่เหมาะสมของเหล็กกล้ากับการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดจะถูกนำไปทดลองตัดบน

เครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ การประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นต่ำที่สุดในงานวิจัยนี้ คือ การใช้สเปรย์ของสารหล่อเย็น แรงตัดที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการตัดจะถูกตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดแรงตัดไดนาโมมิเตอร์ เพื่อตรวจสอบความสามารถในการตัดชิ้นงานเมื่อใช้การตัดแบบแห้ง แบบเปียก แบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น โดยเครื่องมือตรวจวัดปริมาณละอองสารหล่อเย็นในอากาศถูกนำมาใช้ เพื่อตรวจวัดปริมาณสารหล่อเย็นที่กระจายตัวอยู่ในบรรยากาศขณะตัดชิ้นงาน เพื่อตรวจสอบและศึกษาวิธีการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นให้เหมาะสมต่อสภาพการทำงาน โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและปริมาณสารปนเปื้อนในอากาศ

เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมจะถูกพิจารณาจากข้อมูล ความเร็วผิวของชิ้นงานกัด อัตราการสึกหรอของมีดตัด ปริมาณสารหล่อเย็นในอากาศตรงตำแหน่งที่ทำงาน ต้นทุนเครื่องมือตัดและแรงตัดที่เกิดขึ้น

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

คุณภาพของชิ้นส่วนไม่ได้ตามความต้องการ มีการซ่อมแซมสูงทำให้เสียเวลาในการซ่อมแซม ส่งผลต่อกระบวนการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เหล่านั้น และทำให้อัตราการผลิตต่ำ สาเหตุเนื่องจากขาดเทคโนโลยีในการตัดที่ถูกต้อง ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้เสนอระบบการตรวจติดตามภายในกระบวนการตัด โดยใช้เครื่องมือวัดแรงตัดไดนาโมมิเตอร์เข้ามาช่วยตรวจวัดสัญญาณจากแรงตัดที่เกิดขึ้น และนำแรงตัดที่ตรวจจับได้มาวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงในระหว่างกระบวนการตัดจริง

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อแก้ปัญหาชิ้นส่วนที่ตัดขึ้นรูปแล้วไม่ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการก่อนที่จะถูกนำไปประกอบ เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการตัดงานให้ดีขึ้น โดยการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการตัดเหล็กกล้ากับการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นเทคโนโลยีสะอาด โดยมีการประยุกต์ใช้ระบบการตรวจติดตามภายในกระบวนการตัดเข้ามาช่วยวิเคราะห์ผลจากกระบวนการตัดด้วยเซ็นเซอร์วัดแรง และใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนอันเนื่องมาจากการสึกหรอของมีดตัดและการเปลี่ยนมีดตัดบ่อย

1.4 ขอบเขตของการทดลอง

กระบวนการตัดจะเป็นการตัดเหล็กกล้าบนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ ด้วยมีดตัด มีดกัดชนิดหัวบอล

1.5 การดำเนินงานวิจัย

ระบบการตรวจติดตามเชิงปัญญาถูกนำมาใช้ในกระบวนการตัดสำหรับชิ้นส่วน โดยใช้เครื่องมือวัดแรงตัดไดนาโมมิเตอร์ช่วยในการตรวจวัดแรงตัดที่เกิดขึ้น และนำแรงตัดที่วัดได้มาวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดของเสียในขณะทำการตัด ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียสามารถอธิบายได้จากแรงตัดที่เกิดขึ้นและสามารถแก้อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียได้โดยดูจากแรงตัดที่เกิดขึ้น

การใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้นำมาช่วยในการพัฒนาคุณภาพของชิ้นงานและแก้ปัญหาจากสารปนเปื้อนในอากาศ และรวมถึงต้นทุนของสารหล่อเย็นและการบำบัดน้ำเสีย

เครื่องมือวัดแรงตัดไดนาโมมิเตอร์จะถูกติดตั้งอยู่บนซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ เพื่อตรวจวัดแรงตัดที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการตัดจริง โดยจะเปรียบเทียบการตัดแบบปัจจุบันและการตัดโดยใช้ ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด แรงตัดที่วัดได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนไขการตัดที่หลากหลายเพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมที่สุดต่อวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วน โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกคือความเรียบผิวของ ชิ้นงาน ความกลมของชิ้นงาน รูปร่างของชิ้นงาน อัตราการสึกหรอของมีดตัด อายุเครื่องมือตัด แรงตัดที่เกิดขึ้น และปริมาณสารหล่อเย็นในอากาศ

สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

สำหรับการทดลองเลือกเงื่อนไขการตัดที่ใช้ช่วงความเร็วรอบ 8,000, 10,000, 12,000 รอบ/นาที อัตราป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน และความลึกตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นช่วงพารามิเตอร์ที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป

โดยนำผลที่ได้ของทั้ง 3 แบบ คือ แบบแห้ง แบบเปียก และแบบสเปรย์สารหล่อเย็น (ที่ความดัน 0.5 MPa) มาเปรียบเทียบกัน เพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป ตารางที่ 1.1 แสดงเงื่อนไขทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1.1 สรุปเงื่อนไขสำหรับการทดลอง

เงื่อนไข	แบบแห้ง			แบบเปียก			แบบสเปรย์สารหล่อเย็น (ที่ความดัน 0.5 MPa)		
	0.01	0.03		0.01	0.03		0.01	0.03	
อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตร/ฟัน)	0.01	0.03		0.01	0.03		0.01	0.03	
ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	8,000	10,000	12,000	8,000	10,000	12,000	8,000	10,000	12,000
ความลึกการตัด (มิลลิเมตร)	0.3	0.5		0.3	0.5		0.3	0.5	

1.5.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ศึกษาและตรวจสอบปัจจัยในกระบวนการกัดเหล็กกล้าที่คาดว่าจะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน
2. ออกแบบการทดลองและกำหนดเงื่อนไขการตัดที่คาดว่าจะมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานเหล็กกล้า รวมถึงการออกแบบติดตั้งเครื่องมือตรวจปริมาณสารหล่อเย็นที่ ปนเปื้อนอยู่ในอากาศและเครื่องมือวัดแรงตัดไดนาโมมิเตอร์
3. ทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยและวิเคราะห์ผลการตัดสำหรับเงื่อนไขการตัดแบบไม่ใช้สารหล่อเย็นหรือการตัดแบบแห้ง (Dry cutting) บนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์สำหรับชิ้นงานเหล็กกล้า
4. ทำรายงานสรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมถึงข้อเสนอแนะในการตัดแบบแห้งบนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์สำหรับชิ้นงานเหล็กกล้า
5. ทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยและวิเคราะห์ผลการตัดสำหรับเงื่อนไขการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นต่ำที่สุด (MQL) และเงื่อนไขการตัดแบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน หรือเรียกว่า การตัดแบบเปียก (Wet cutting) บนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์สำหรับชิ้นงานเหล็กกล้า
6. ทำรายงานสรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองรวมถึงข้อเสนอแนะในการตัดแบบใช้สารหล่อเย็นต่ำที่สุดและแบบเปียกบนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์สำหรับชิ้นงานเหล็กกล้า

7. วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมระหว่างการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นต่ำที่สุด การตัดแบบแห้ง และการตัดแบบเปียก โดยพิจารณาจากค่าความเย็บผิว การสึกหรอของมีดตัด ปริมาณสารหล่อเย็นที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ ต้นทุนสารหล่อเย็น และความสามารถในการตัดชิ้นงานเหล็กกล้า
8. ทำรายงานเพื่อสรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ผลรวมถึงข้อเสนอแนะในส่วนของเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์สำหรับการตัดชิ้นงานเหล็กกล้า เพื่อนำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นได้ในกระบวนการตัด โดยการประยุกต์ใช้การตรวจติดตามภายในกระบวนการตัดไปใช้จริงในโรงงานผลิตชิ้นส่วน

1.6 เกณฑ์การเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสม

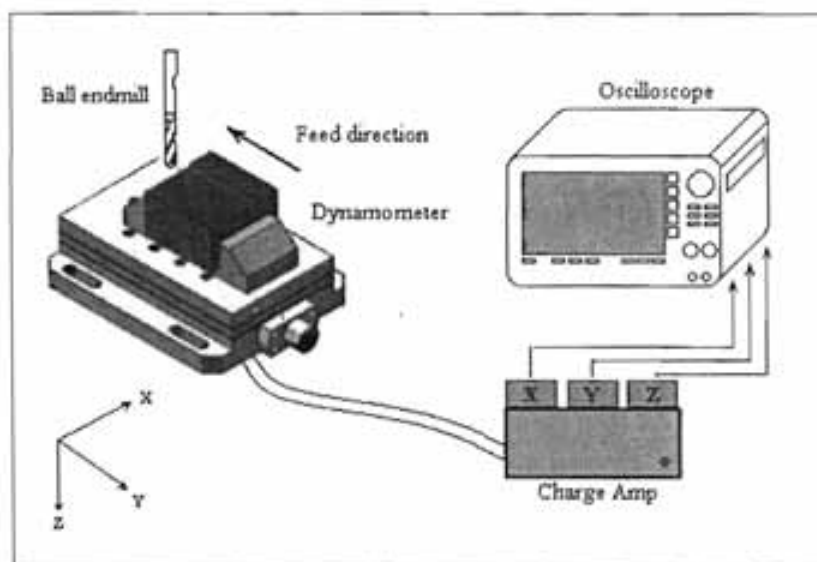
1. อายุการใช้งานของมีดตัดจะกำหนดจากการสึกหรอบนผิวหลบ (Flank wear) ที่ขนาดของการสึกหรอ 0.2 มิลลิเมตร
2. ปริมาณความหนาแน่นมากที่สุดที่ยอมรับได้ของสารหล่อเย็นในอากาศต้องต่ำกว่า 10 ตัว/ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.7 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

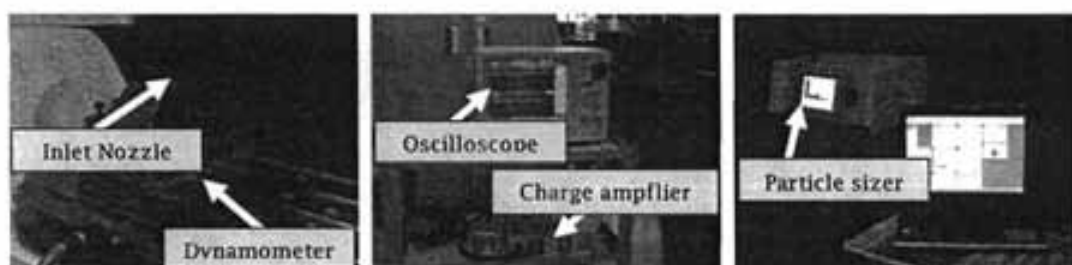
1.7.1 การเตรียมเครื่องมือวัดแรงตัดสำหรับการตัด

การเตรียมเครื่องมือวัดแรงตัดสำหรับการตัดในระหว่างกระบวนการตัดสามารถอธิบายได้ดังนี้

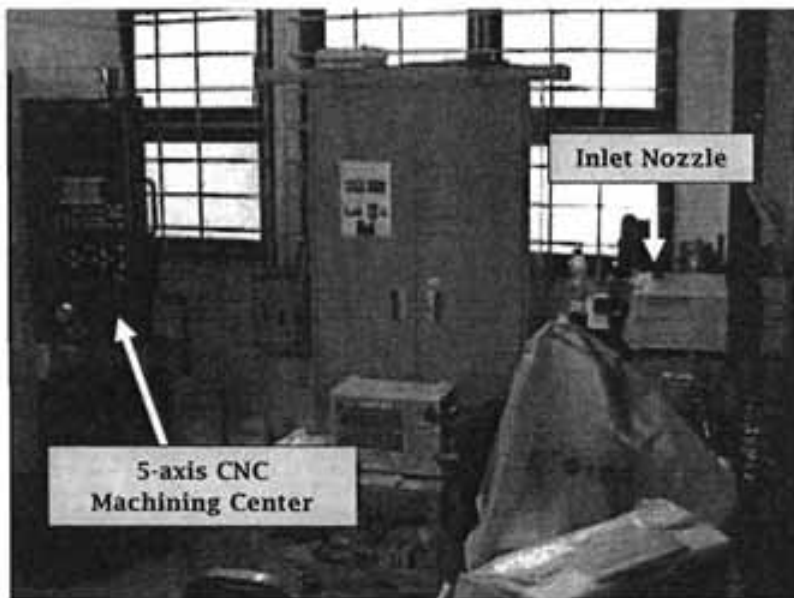
1. ติดตั้งไดนาโมมิเตอร์ที่โต๊ะงานของเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์
2. ต่อสายเซนเซอร์ของไดนาโมมิเตอร์เข้ากับ Charge amplifier
3. ต่อสายเข้าเครื่องวัด High speed oscilloscope recorder
4. ติดตั้งเครื่อง Aerodynamic particle sizer spectrometer



ภาพที่ 1.1 การติดตั้งไดนาโมมิเตอร์สำหรับการวัดและวิเคราะห์แรงตัด



ภาพที่ 1.2 การติดตั้งไดนาโมมิเตอร์สำหรับการวัดและวิเคราะห์แรงตัดบนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์และการติดตั้งเครื่อง Aerodynamic particle sizer spectrometer เพื่อตรวจวัดปริมาณสารปนเปื้อนในอากาศจากกระบวนการตัด



ภาพที่ 1.3 แสดงจุดวัดปริมาณสารปนเปื้อนในอากาศด้วยเครื่อง Aerodynamic particle sizer spectrometer จากเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์

1.7.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ชนิด 5 แกน ยี่ห้อ MAZAK รุ่น Variaxis 500-5X
2. เครื่อง Oscilloscope ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DL750
3. ไดนาโมมิเตอร์ ยี่ห้อ Kistler Type 9257B
4. สารหล่อเย็น ยี่ห้อ Castrol clearedge EP 690
5. Charge amplifier ยี่ห้อ Kistler Type 5073
6. Surface roughness tester ยี่ห้อ TSK รุ่น Surfcom 1400D-12
7. Aerodynamic particle sizer spectrometer ยี่ห้อ TSI Model 3321
8. Microscope ยี่ห้อ KEYENCE Model VHX 600

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

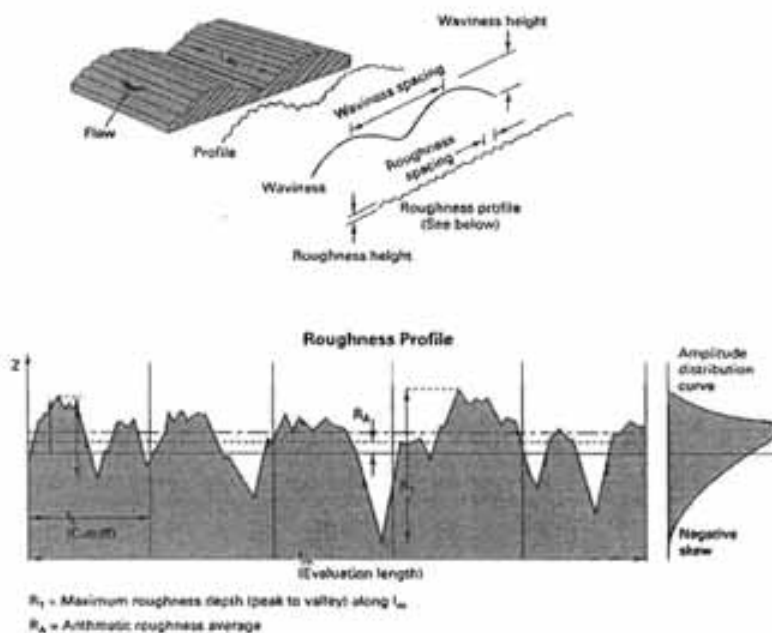
บทความวิชาการ 2 ฉบับ นักวิจัยจำนวน 2 คน คู่มือการตัดโดยใช้สารหล่อเย็นที่น้อยที่สุดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีตรวจติดตามภายในกระบวนการตัดบนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซนเตอร์ และสามารถนำเทคโนโลยีนี้ไปพัฒนาเครื่องซีเอ็นซีให้เป็นเครื่องกลอัจฉริยะต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเรียบผิวสำเร็จ (Surface Finish)

กระบวนการตัดถูกนำมาใช้เพื่อผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะและขนาดตามที่ต้องการ โดยการเอาเนื้อของชิ้นงานที่เกินจากที่ต้องการออกในรูปแบบของเศษโลหะ (Chip) ผิวชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ลักษณะของผิวสำเร็จจะแสดงในรูปของคุณสมบัติที่จะกล่าวดังต่อไปนี้ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 รายละเอียดของผิวชิ้นงาน [13]

1. ความเรียบหรือความขรุขระ (Roughness) จะประกอบไปด้วยช่องว่างขนาดเล็กและละเอียดที่ชิดกันหลาย ๆ ช่อง สาเหตุหลักเกิดจากรอยที่เหลือไว้จากการตัด ความสูงเฉลี่ยหรือความลึกเฉลี่ยบนชิ้นงานซึ่งแสดงถึงความขรุขระผิวถูกวัดจากการกำหนดช่วงความยาวหนึ่ง ๆ ที่เรียกว่า "cutoff length" หรือ "roughness sampling length"

2. รอยคลื่น (Waviness) ประกอบไปด้วยรอยขรุขระบนชิ้นงานซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า roughness sampling length (ประมาณ 1 ไมครอน) สาเหตุเกิดจากการสั่นหรือมีรอยตำหนิบนชิ้นงานที่เกิดจากรบกวนในการตัดและอุณหภูมิในการตัดมากเกินไป

3. รอยตำหนิยาว (Lay) เป็นรอยตำหนิที่เป็นทิศทางยาว มักจะขึ้นในทิศทางของชิ้นงานมีดตัดรวมทั้งการเคลื่อนที่ระหว่างชิ้นงานและเครื่องมือ

4. ตำหนิผิวหน้า (Surface Flaw) เป็นรอยตำหนิที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม สาเหตุเกิดมาจาก รอยตำหนิที่มีมาแต่แรกแล้ว เช่น รอยร้าว ฟองอากาศ

5. ผิวสำเร็จ (Surface finish) มีความสำคัญต่อการสวมประกอบและการจัดวางของชิ้นงาน การสวมประกอบและการจัดวางต่าง ๆ จะเกิดขึ้นได้ก็ต้องอาศัยการทาสีหรือทำตำหนิเข้าช่วย บางทีก็ใช้เป็นลักษณะก๊าซหรือของไหลไหลผ่าน บางทีก็ใช้สายตาดูโดยอาศัยความมั่นใจของชิ้นงาน บางทีก็ใช้แสงที่มีคุณสมบัติการสะท้อนได้สูง

ความเรียบผิวสำเร็จมีผลมาจากพารามิเตอร์ในการตัดหลายอย่างซึ่งรวมถึงรูปทรงของมีดตัด รูปทรงของชิ้นงาน ความแข็งแรงของเครื่องจักร วัสดุชิ้นงาน ปัจจัยในการตัด และวัสดุมีดตัด โดยทั่วไปแล้ว ค่าความหยาบผิวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ของอัตราการป้อนตัดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีดกัดได้ ซึ่งค่าความหยาบผิวทางทฤษฎีสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Ri = \frac{0.125f^2}{\left(\frac{D}{2}\right) \pm \left(\frac{f}{\pi}\right)} \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ f คือ อัตราการป้อนตัด (มิลลิเมตร/ฟัน)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมีดกัด (มิลลิเมตร)

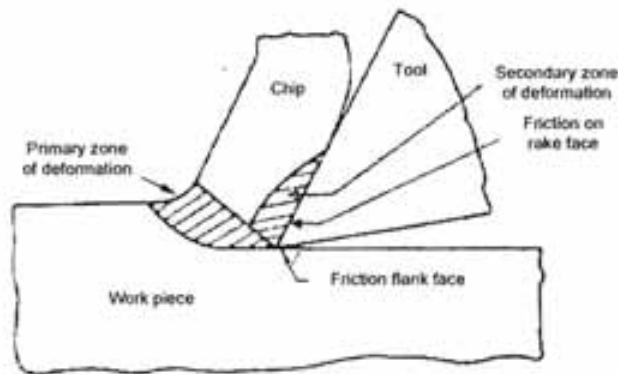
n คือ จำนวนฟันของดอกกัด

โดยที่เครื่องหมาย + หมายถึงการกัดแบบ Up milling และเครื่องหมาย - หมายถึงการกัดแบบ Down milling

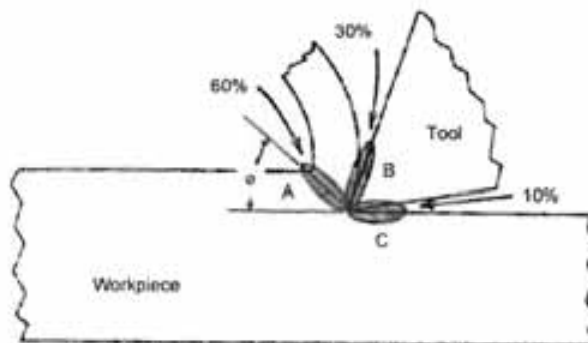
2.2 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการตัด (Cutting Temperature)

กระบวนการตัดโลหะจะทำให้บริเวณการตัดที่ 1 และ 2 เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) ผลกระทบจากการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกจะทำให้เกิดความร้อนบริเวณการตัดที่ 2 เป็นการ

เสียดสีของเศษโลหะบนผิวคายของมีดตัด ส่วนบริเวณการตัดที่ 3 คือการเสียดสีระหว่างชิ้นงานกับผิวหอบ แหล่งที่มาของความร้อนสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.2 และภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 บริเวณที่เกิดความร้อนขณะตัด [5]



ภาพที่ 2.3 สัดส่วนความร้อนที่เกิดขึ้นขณะตัด [4]

จากพลังงานที่ใช้ไปในกระบวนการตัดโลหะพบว่า 60% จะถูกใช้ในการเปลี่ยนรูปบริเวณการตัดลำดับที่ 1 และการตัดลำดับที่ 2 อีก 30% จะเสียพลังงานไปในรูปแรงเสียดทานที่เกิดบนผิวคาย อีก 10% จะเสียรูปในรูปแรงเสียดทานที่เกิดบนผิวหอบ

2.3 การสึกหรอของมีดตัด (Tool Wear)

ในการตัดชิ้นงาน มีดตัดจะต้องทนต่อแรงและอุณหภูมิที่สูงในระหว่างการตัด ถ้าแรงในการตัดมากเกินไปจะทำให้มีดตัดหักได้ หรือถ้าอุณหภูมิตัดสูงเกินไปก็จะทำให้มีดตัดอ่อนและเสื่อมได้เร็วเช่นเดียวกัน เทคโนโลยีด้านมีดตัดจะให้ความสำคัญกับประเด็นหลัก 2 ประการคือ เรื่องวัสดุที่ใช้ทำมีดตัดและรูปร่างของมีดตัด ทั้งนี้ก็เพื่อให้อายุการใช้งานของมีดตัดนานขึ้น ในด้านวัสดุของมีดตัดนั้นจะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาวัสดุที่สามารถทนทานต่อแรง อุณหภูมิ และการสึกหรอในกระบวนการตัด ส่วนในด้านรูปร่างของเครื่องมือตัดจะพัฒนาเกี่ยวกับการหารูปร่างที่เหมาะสมของมีดตัดสำหรับวัสดุของมีดตัด และสำหรับกระบวนการตัดความเสียหายของมีดตัดเกิดขึ้นได้ด้วยสาเหตุหลัก ๆ 3 อย่าง ดังตารางที่ 2.1 โดยทั่วไปแล้ว การสึกหรอของมีดตัดจะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป (Gradual wear) ซึ่งกลไกต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการสึกหรอบริเวณผิวสัมผัสระหว่างมีดตัดกับเศษกลึงโลหะ และบริเวณผิวสัมผัสระหว่างมีดตัดกับผิวชิ้นงานในระหว่างการตัด

ตารางที่ 2.1 รูปแบบการชำรุดของมีดตัด

รูปแบบการเสียหาย	สาเหตุ	ผลลัพธ์
1. Fracture failure	แรงในการตัดมากเกินไป	เครื่องมือตัดแตกทันที
2. Temperature failure	อุณหภูมิในการตัดสูง	เครื่องมือตัดจะอ่อนและเสียรูป จนทำให้ความคมของมีดตัดลดลง
3. Gradual wear	เกิดการสึกหรอของคมตัด	เนื้อมีดตัดจะหายไปบางส่วน ทำให้ประสิทธิภาพในการตัดลดลง เกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว สุดท้ายแล้วความเสียหายก็จะคล้ายกับความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิ

กลไกต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการสึกหรอบริเวณผิวสัมผัสระหว่างมีดตัดกับเศษโลหะ และบริเวณผิวสัมผัสระหว่างมีดตัดกับผิวชิ้นงานในระหว่างการตัด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งกลไกการสึกหรอทั้ง 5 แบบจะเกิดได้เร็วยิ่งขึ้นในสภาวะที่ใช้ความเร็วในการตัดสูง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลไกการสึกหรอแบบ Diffusion และ Chemical reaction จะยิ่งเกิดง่ายที่อุณหภูมิสูง

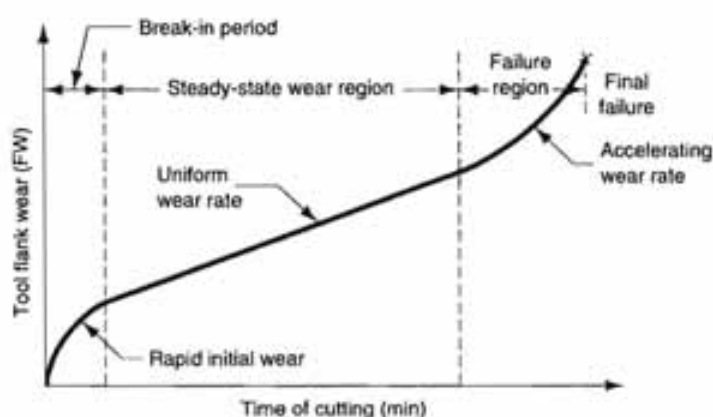
ตารางที่ 2.2 กลไกการสึกหรอของมีดตัด

กลไก	สาเหตุ	ผล
Abrasion	อนุภาคที่แข็งของชิ้นงานจะทำให้บางส่วนเครื่องมือตัด ค่อย ๆ หลุดติดออกมา	ทำให้เกิดรอยสึกหรอบนผิว หลบและผิวคาย
Adhesion	โลหะสองอย่างถูกทำให้ติดกันภายใต้ความดันและ อุณหภูมิที่สูง	เกิดรอยสึกหรอบริเวณผิวคาย
Diffusion	เกิดการแลกเปลี่ยนอะตอมกันระหว่างผิวหน้าของวัสดุ 2 ชนิด อะตอมของมีดตัดจะหายไป ความแข็งแรงลดลง ทำให้ง่าย ต่อการเกิดกลไก abrasion และ adhesion	เกิดรอยสึกหรอบริเวณผิวคาย
Chemical reaction	ความเร็วตัดสูงและอุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ทำให้เครื่องมือตัดอ่อนลง	เกิดรอยสึกหรอบริเวณผิวคาย
Plastic deformation	เกิดอุณหภูมิที่สูงบริเวณคมตัด คมตัดจะเริ่มเปลี่ยน รูปแบบพลาสติก ทำให้ง่ายต่อการเกิดกลไก abrasion	เกิดรอยสึกหรอบริเวณผิวหลบ

2.4 อายุของเครื่องมือตัด (Tool Life)

อายุเครื่องมือตัด หมายถึง เวลาตัดโดยนับจากเครื่องมือเริ่มต้นใช้งานโดยที่เครื่องมือตัดไม่เคยใช้งานมาก่อนบนชิ้นงานชนิดเดียวและในสภาวะเดียวกัน จนกระทั่งไม่สามารถใช้เครื่องมือตัดนั้นต่อไปได้ ในขณะที่กำลังทำการตัดจะเกิดกลไกการสึกหรอต่าง ๆ บนมีดตัด ซึ่งจะมีอัตราที่เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอของมีดตัดกับระยะเวลาในการตัดแสดงดังภาพที่ 2.4 ซึ่งความสัมพันธ์ในรูปจะแสดงถึงรอยสึกหรอบนผิวหลบ (Frank wear) ส่วนรอยสึกหรอบนผิวคาย (Crater wear) ก็เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกัน ช่วงของการสึกหรอสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังภาพที่ 2.4

ในกระบวนการตัดจะพบว่าการใช้เครื่องมือตัดไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเสียหาย แล้วค่อยนำกลับมาลับคมตัดใหม่เป็นสิ่งที่ไม่สมควรทำ เพราะถ้ามีตัดแตกแล้วการลับคมตัดให้คมเหมือนเดิมจะทำได้ยากกว่าปกติ และคุณภาพของชิ้นงานก็จะออกมาไม่ดีด้วย ดังนั้นจึงได้ใช้เกณฑ์ในการตัดไว้ดังนี้คือ



ภาพที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรอยสึกหรบนิวคายและเวลาที่ใช้ในการตัด [2]

มีงานวิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาถึงเงื่อนไขการตัดโดยใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยเหล่านั้นไม่ได้นำแนวคิดของการตรวจติดตามในกระบวนการตัดเข้ามาประยุกต์ใช้ด้วย เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการสึกหรอของมีดตัด ความเรียบผิว และอุณหภูมิในการตัด ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ได้นำเสนอในรูปแบบที่ต่างกัน ดังต่อไปนี้

T. Thepsonthi, M. Hamdi, และ K. Mitsui ทำการศึกษาการกัดชิ้นงานเหล็กเครื่องมือที่ผ่านการชุบแข็ง เพื่อศึกษาถึงผลลัพธ์ของการใช้วิธีการหล่อเย็นแบบ pulse-jet เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหล่อเย็นแบบเปียกและการตัดแบบแห้ง โดยใช้ มีดกัดชนิดหัวบอล ชนิด insert carbide จากการศึกษาพบว่า การตัดโดยใช้วิธีการหล่อเย็นแบบ pulse-jet ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีการหล่อเย็นแบบเปียกและการตัดแบบแห้ง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ประสิทธิภาพของวิธีการหล่อเย็นแบบ pulse-jet ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีการหล่อเย็นแบบเปียกและการตัดแบบแห้ง ในเทอมของผิวงานสำเร็จและการสึกหรอของเครื่องมือตัด กล่าวคือ วิธีการหล่อเย็นแบบ pulse-jet จะให้ผิวงานสำเร็จที่เรียบกว่าการวิธีการหล่อเย็นแบบเปียกและการตัดแบบแห้ง ในขณะที่อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดก็ยาวนานกว่าด้วย

2. วิธีการหล่อเย็นแบบ pulse-jet เหมาะกับการตัดที่ความเร็วรอบสูง (High speed end milling) เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้ของวิธีการหล่อเย็นแบบ pulse-jet ให้ประสิทธิภาพของที่ดีกว่าวิธีการหล่อเย็นแบบเปียกที่ความเร็วตัดสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเทอมของการสึกหรอของเครื่องมือตัด
3. วิธีการหล่อเย็นแบบเปียกส่งผลกระทบต่ออัตราการสึกหรอของเครื่องมือตัด แต่ให้ผลลัพธ์ของความเรียบผิวที่ดี

S. Tangjitsitcharoen ได้ทำการศึกษาเพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมสำหรับการกลึงเหล็กกล้า (Plain carbon steel) ด้วยมีดตัดคาร์ไบด์ โดยการติดตั้งไดนาโมมิเตอร์เพื่อตรวจวัดแรงตัดภายในกระบวนการตัด ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดในเงื่อนไขการตัดแบบต่าง ๆ จากผลการศึกษาพบว่า ความเรียบผิวและการสึกหรอของมีดตัดสามารถอธิบายได้ด้วยแรงตัดที่เกิดขึ้น

T.L. Ginta, A.K.M.N. Amin, H.C.D.M. Radzi, และ M.A. Lajis ศึกษาการพยากรณ์อายุของมีดตัดด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบในงานกัดไทเทเนียมอัลลอย ด้วยมีดตัดคาร์ไบด์ชนิดมีเคลือบผิว (Uncoated carbide insert) ภายใต้เงื่อนไขการตัดแบบแห้ง โดยการประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบส่วนประสมกลางขนาดเล็ก ในแบบจำลองของอายุของมีดตัดเพื่อหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของ ความเร็วตัด ความลึกตัด และอัตราป้อนตัด โดยการใช้การสึกหรอของผิวหลบเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาอายุของมีดตัด จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า

1. วิธีการออกแบบส่วนประสมกลางขนาดเล็ก สามารถใช้เป็นเทคนิคในการประเมินค่าอายุของมีดตัดในงานกัดไทเทเนียมอัลลอย ภายใต้เงื่อนไขการตัดแบบแห้งได้ดี
2. ในแบบจำลองอายุของมีดตัด พบว่าความเร็วตัดเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่ออายุของมีดตัดตามด้วยอัตราป้อนตัด และความลึกตัด ตามลำดับ เมื่อปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้อายุของมีดตัดลดลง
3. จากแบบจำลองอายุของมีดตัดลำดับที่หนึ่ง พบว่าความเร็วตัดจะส่งผลกระทบต่ออายุมีดตัดมากที่สุด กล่าวคือ เมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น อายุของมีดตัดก็จะสั้นลง
4. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองลำดับที่สอง แสดงให้เห็นว่าอันตรกิริยาและค่ากำลังสองมีนัยสำคัญทางสถิติ

N.R. Dhar, M. Kamruzzaman, และ M. Ahmed ทำการศึกษาบทบาทของการกลึงเหล็กกล้า AISI-4340 ด้วยวิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดต่ออัตราการสึกหรอของมีดตัดคาร์ไบด์ชนิดมีเคลือบผิว (Uncoated carbide

insert) และความเรียบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วการตัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่าง ๆ กัน โดยการเปรียบเทียบกับวิธีการตัดแบบแห้งและแบบเปียก ผลจากการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดสามารถลดอัตราการสึกหรอของมีดตัดและความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณการตัดได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สมรรถนะของการตัดด้วยวิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด ดีกว่าวิธีการตัดแบบแห้งและแบบเปียก เพราะการตัดด้วยวิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดสามารถลดอุณหภูมิขณะตัดได้ดีกว่า ซึ่งทำให้คมตัดของมีดตัดที่เสียดสีกับเศษโลหะสึกหรอได้ช้าลง
2. วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด ช่วยลดการสึกหรอของมีดตัดและเพิ่มอายุของมีดตัด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตัดแบบแห้งและแบบเปียก
3. วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดทำให้คุณภาพของชิ้นงานสำเร็จดีขึ้น เนื่องจากการสึกหรอของมีดตัดลดลง อัตราการสึกหรอของมีดตัดลดลงนอกจากจะทำให้อายุของมีดตัดเพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้ผลผลิตของการกลึงเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากสามารถตัดชิ้นงานด้วยความเร็วมากขึ้น

N.R. Dhar, M.W. Islam, S. Isla, และ M.A.H. Mithu ได้ทำการศึกษาผลกระทบของวิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดต่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะตัด รูปร่างของเศษโลหะและความเรียบผิวของชิ้นงาน ในกระบวนการกลึงเหล็กกล้า AISI-1040 ด้วยมีดมีดคาร์ไบด์ (Uncoated carbide insert) โดยการเปรียบเทียบกับวิธีการตัดแบบแห้งและแบบเปียกด้วยน้ำมันหล่อเย็น พบว่าผลจากการใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดสามารถลดอุณหภูมิขณะตัด เพิ่มความเรียบผิวของชิ้นงานได้ ทั้งนี้ขึ้นกับความเร็วรอบการตัดและอัตราการป้อนชิ้นงาน ดังนั้น การใช้ปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุดอย่างถูกวิธี นอกจากจะช่วยเพิ่มความสามารถในการตัดแล้วยังช่วยสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีในการทำงานด้วย

B. Ozcelik และ M. Sustarsic ได้ทำการศึกษารูปแบบทางสถิติเพื่อนำมาประมาณค่าความเรียบผิวในงานกัดภายใต้เงื่อนไขการตัดแบบเปียก โดยการพิจารณาตัวแปรของความเร็วรอบ อัตราการป้อนตัด ความลึกตัด และความกว้างตัด แบบจำลองอันดับที่หนึ่งและอันดับที่สองถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาผลลัพธ์ของการทดลองด้วยการใช้การออกแบบส่วนประสมกลาง (CCD) จากการศึกษาพบว่าปัจจัยสำคัญของอันดับที่ได้เป็น ระยะเวลาทำงานรวมจะมีค่าสูงสุด และตามด้วยความลึกตัด ความกว้างตัด ความเร็วรอบ ตามลำดับ โดยที่อัตราป้อนมีอันดับต่ำสุด

J.F. Kelly และ M.G. Cotterell ได้ทำการทดสอบวิธีการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อหาสภาวะการตัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจาะชิ้นงานประเภทอลูมิเนียมหล่อ โดยได้แนะนำว่าการหล่อเย็นระหว่างการเจาะควรใช้แบบปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด ปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ในกระบวนการเจาะด้วยวิธีนี้จะใช้ปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับการหล่อเย็นแบบเปียก จากงานวิจัยพบว่าการจัดวางตำแหน่งของหัวฉีด ปริมาณสารหล่อเย็น และความดันของสารหล่อเย็นที่เหมาะสมจะทำให้อายุการใช้งานของมีดตัดยาวนานขึ้น

S. Dolinšek, B. Šuštaršič, และ J. Kopac ได้ทำการศึกษากลไกการสึกหรอของเครื่องมือตัดในกระบวนการตัดความเร็วสูง ด้วยการตัดเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็งที่มีความแข็งมากกว่า 50 HRC. พบว่ากระบวนการเกิดออกไซด์ของสารเคลือบผิวและชิ้นงานเป็นหนึ่งในกลไกหลักที่เป็นสาเหตุของการสึกหรอของมีดกัด และการหลอมติดกันระหว่างเศษตัดกับผิวหน้าของมีดตัดเป็นสาเหตุของการสึกหรอของผิวหน้าของมีดตัด เมื่อสารเคลือบที่ปลายมีดตัดถูกทำลายการสึกหรอก็ยิ่งเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันก็ส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความเรียบผิวของชิ้นงาน

B. Yalcin, A.E. Özgür และ M. Koru ทำการศึกษามลกระทบของวิธีการใช้สารหล่อเย็นต่อความเรียบผิว และการสึกหรอของมีดตัดระหว่างทำการขึ้นรูปชิ้นงานที่เป็นวัสดุชนิดอ่อน กระบวนการกัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ กระบวนการกัดแบบแห้ง (Dry milling) กระบวนการกัดแบบใช้ลมเย็น (Air cooling milling) และกระบวนการกัดแบบใช้สารหล่อเย็น (Fluid cooling milling) พารามิเตอร์ที่เหมาะสมถูกเลือกขึ้นมาให้สอดคล้องกับความแข็งของชิ้นงานซึ่งอ้างอิงได้จากแคคตาสิค การสึกหรอของมีดตัดและคุณภาพของผิวชิ้นงานถูกวัดไว้ในเวลาการขึ้นรูปตั้งแต่ 10 นาทีถึง 30 นาที ของกระบวนการกัดทั้ง 3 แบบ ผลที่ได้ค่าความเรียบผิวของกระบวนการกัดแบบใช้ลมเย็นให้ค่าที่ต่ำกว่ากระบวนการกัดแบบแห้งและให้ค่าที่สูงกว่ากระบวนการกัดแบบใช้สารหล่อเย็น ค่าการสึกหรอของมีดตัด (Flank wear, V_f) สำหรับกระบวนการกัดแบบใช้ลมเย็นได้ค่าที่ใกล้เคียงกับกระบวนการกัดแบบใช้สารหล่อเย็นที่เงื่อนไขกัดเดียวกัน แต่ค่าการสึกหรอของมีดตัดสำหรับกระบวนการกัดแบบแห้งนั้นมีค่าอยู่เหนือค่าวิกฤตเกือบทั้งหมด ซึ่งมากกว่าแบบใช้สารหล่อเย็นและแบบใช้ลมเย็น

R. Kovacevic, C. Cherukuthota และ M. Mazurkiewicz ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการตัดชิ้นงานเหล็กขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและการเสียดสีระหว่างมีดตัดกับเศษโลหะที่สัมผัสกัน การใช้ น้ำแรงดันสูง (High pressure waterjet) ร่วมกับสารหล่อเย็นนั้นถูกนำมาประยุกต์ใช้และทำการศึกษากับเงื่อนไขตัดที่สนใจ อุณหภูมิและการเสียดสีในกระบวนการกัดชิ้นงาน โดยการศึกษาในครั้งนี้ใช้วิธีน้ำแรงดันสูงทั้งหมด 2 วิธี คือ การพ่นน้ำโดยตรงไปที่จุดที่มีดตัดและเศษโลหะสัมผัสกันผ่านทางรูของมีดตัดที่หน้ามุมคาย (Rake face) และ

การพ่นน้ำไปที่จุดสัมผัสของมีดตัดกับเศษโลหะโดยใช้หัวฉีดจากด้านนอก (External nozzle) ประสิทธิภาพของวิธีทั้ง 2 นี้จะประเมินได้จาก แรงในการตัด ผิวสำเร็จ รูปแบบของเศษโลหะและการสึกหรอของมีดตัด

D.K. Sarma และ U.S. Dixit ทำการเปรียบเทียบความสามารถของเครื่องมือที่ทำจากวัสดุเซรามิกผสม (Mixed oxide ceramic) กระบวนการกลึงแบบแห้งกับแบบเป่าลมเย็น อันดับแรกทำการศึกษาวรรณคดีเตอร์ในช่วงของกระบวนการเกี่ยวกับการกลึงแบบแห้งซึ่งผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ เส้นโค้งของความเรียบผิวและอายุของมีดตัดถูกสร้างขึ้นจากโครงข่ายประสาทเทียม การศึกษาการกลึงแบบเป่าลมเย็นได้ทำต่อไปอีกโดยใช้เงื่อนไขการกลึงแบบแห้งมีผลของอายุมีดตัดออกมาไม่ดี โดยพิจารณาความสึกหรอของมีดตัด ความเรียบผิว แรงในการตัด และความสิ้นเปลืองขณะทำการกลึงด้วย สังเกตได้ว่าการกลึงแบบใช้เป่าลมเย็นจะช่วยลดการสึกหรอของมีดตัดเมื่อใช้ความเร็วในการตัดสูง ที่การกลึงด้วยความเร็วในการตัดสูง สำหรับการกลึงแบบแห้งให้ผลที่ไม่น่าพอใจ แต่สำหรับการกลึงแบบเป่าลมเย็นนั้น ให้ความเรียบผิวที่ดีและลดการสึกหรอของมีดตัด

Seref Aykut, Eyup Bagci, Aykut Kentil และ Osman Yazicioglu ได้ทำการศึกษเกี่ยวกับโลหะอัลลอยฐานโคบอลต์ (Cobalt base superalloy) ที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการทำงานที่ต้องการความทนทาน ความสามารถในการทนการกัดกร่อน และการทนความร้อนสูง เป้าหมายของการศึกษาคือเพื่อดูผลกระทบของเงื่อนไขการตัด (ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกการตัด) เทียบกับความสึกหรอของเครื่องมือตัด, ลักษณะการเกิดเศษโลหะ และแรงตัดในการกัดปาดหน้าของมีดมีดที่ทำจากโลหะอัลลอยฐานโคบอลต์ ทั้งแบบที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิว เพื่อให้บรรลุผลที่ต้องการจึงทำการทดลองในการตัดทั้งหมด 90 การทดลองซึ่งแตกต่างกันไปตามความเร็วตัด อัตราป้อน และ ความลึกตัดภายใต้เงื่อนไขการตัดแบบแห้ง การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของกรรมวิธีการตัดซึ่งถูกกำหนดโดยการใช้วิธีการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (General full factorial design) รูปแบบการเกิดเศษโลหะ แรงตัด และการสึกหรอของมีดตัดจะถูกเปรียบเทียบกับการใช้มีดมีด PVD แบบเคลือบผิวและแบบไม่เคลือบผิวซึ่งทำมาจากเหล็กแข็งที่ขึ้นอยู่กับความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกตัด จากผลการทดลองพบว่าแรงในการตัดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับอัตราป้อนและความลึกตัดเพิ่มขึ้น แต่ความเร็วตัดมีผลกระทบกับแรงตัด

K.H.W. Seah, X. Li และ K.S. Lee ได้เสนอแย้งกับความเชื่อเดิม ๆ ว่าการใช้สารหล่อเย็นไม่ได้ทำให้อายุของมีดตัดนานขึ้นเสมอไป ข้อเท็จจริงที่พบกัน คือ ผลจากการใช้สารหล่อเย็นจะช่วยลดการสึกหรอบริเวณผิวคายได้บ้างเล็กน้อย และอาจจะช่วยทำให้ตำแหน่งของการสึกหรอบริเวณผิวคาย เลื่อนตำแหน่งออกจากปลายของมีดตัด ซึ่งจะทำให้อายุสึกหรอสึกขึ้นและเสถียรลง จนทำให้ความแข็งแรงของมีดตัดลดลงมาก การใช้สารหล่อเย็น

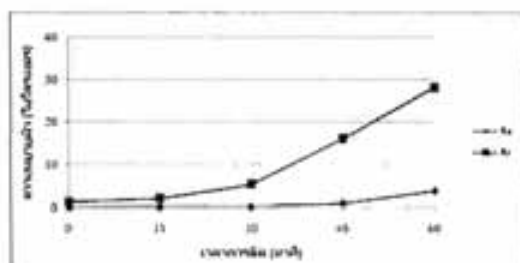
โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วตัดสูง ๆ ก็จะทำให้การสึกหรอบริเวณผิวหลบ เพิ่มขึ้นเช่นกัน ภายใต้สภาวะบางอย่างนั้น การใช้สารหล่อเย็นก็อาจจะเป็นสาเหตุให้อัตราการสึกหรอของมีดตัดมีค่ามากกว่าการไม่ใช้สารหล่อเย็นเลยก็ได้

บทที่ 3

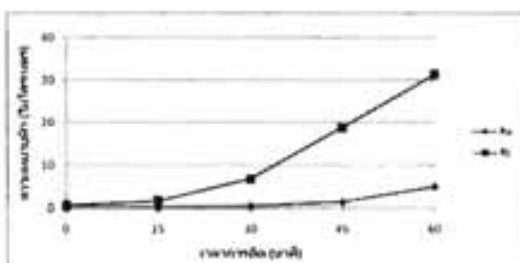
การตัดแบบแห้ง

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับความเรียบของผิวชิ้นงาน

จากภาพที่ 3.1 ถึงภาพที่ 3.3 จะพบว่าค่าความหยาบผิวมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการตัดนานขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของการสึกหรอของมีดกัดชนิดหัวบอล สามารถอธิบายได้ว่าที่เวลาการตัดที่ยาวนานขึ้น การสึกหรอของมีดกัดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการสึกหรอที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าการสึกหรอของมีดกัดที่บริเวณผิวหลบส่วนปลายคมตัด (Central wear) ของมีดกัดชนิดหัวบอล เมื่อการสึกหรอมีขนาดเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

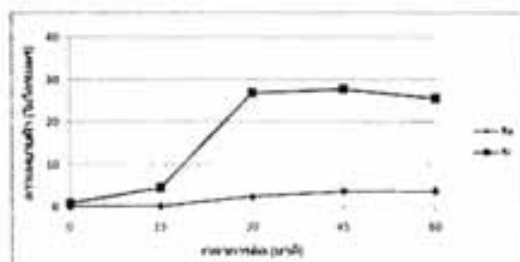


ก) ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

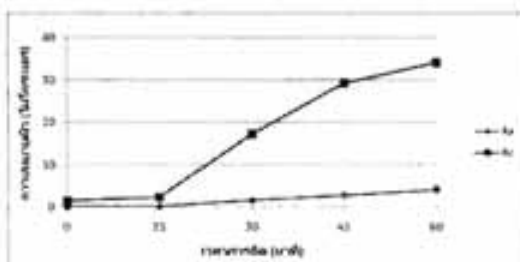


ข) ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

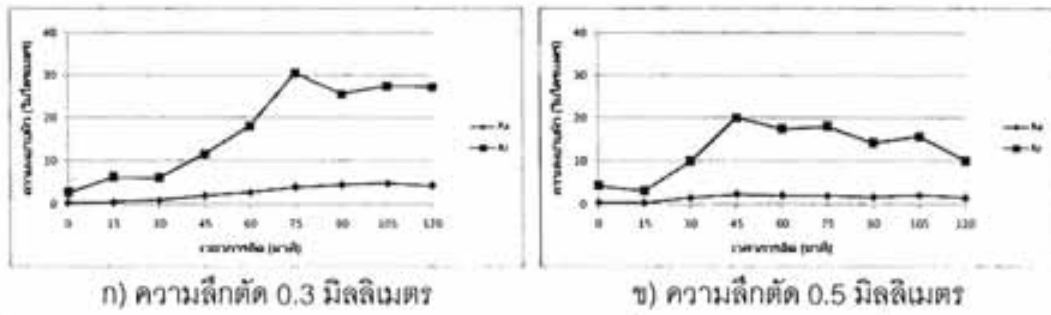


ก) ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร



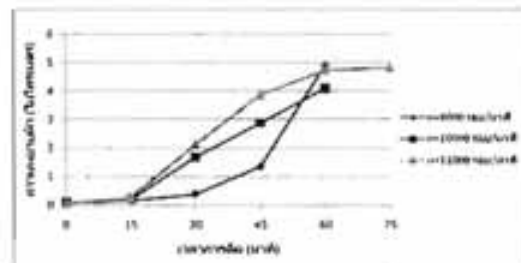
ข) ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน



ภาพที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

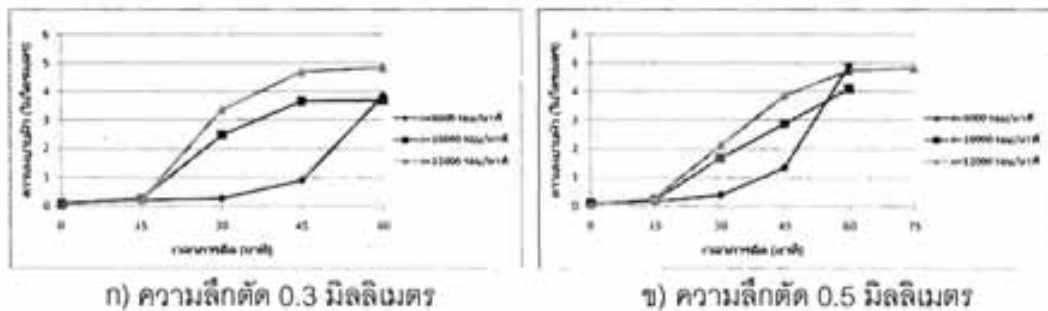
ภาพที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบในการตัดที่ต่างกัน พบว่าในช่วงเวลาตัดที่ 15 นาทีแรกค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากอัตราการสึกหรอยังต่ำอยู่ แต่เมื่อเวลาการตัดที่ยาวนานยิ่งขึ้นจะพบว่ายิ่งความเร็วตัดสูงขึ้น ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานก็จะยิ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้นและจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการตัดที่ยาวนานขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า ความเร็วตัดที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นที่บริเวณการตัดเฉือน ทำให้ผิวเคลือบของมิดกัคชนิดหีบอบอล เกิดการเสียหาย จึงส่งผลให้มีมิดกัคชนิดหีบอบอล เกิดการสึกหรอมากยิ่งขึ้น เมื่ออัตราการสึกหรอเพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลโดยตรงต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน



ภาพที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

เมื่อทำการตัดในขณะที่มิดกัคชนิดหีบอบอลยังใหม่ ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานจะมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมิดกัคชนิดหีบอบอลยังใหม่อยู่คมตัดมิดกัคยังคงมีความคมอยู่ แต่เมื่อระยะเวลาในการตัดนานขึ้น แนวโน้มของความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิวจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกล่าวคือ ความเร็วรอบที่สูงขึ้นและระยะเวลาในการตัดที่ยาวนานขึ้นจะให้ค่าความหยาบผิวที่เพิ่มขึ้นด้วย

ภาพที่ 3.5 เปรียบเทียบค่าความหนาผิวของชิ้นงานที่ความลึกตัดที่แตกต่างกัน คือ ที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตรและ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะพบว่าค่าความหนาผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้นหลังจากนาที่ที่ 15 เป็นต้นไป เนื่องจากอัตราการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าความหนาผิวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และที่ความเร็วรอบสูง (ที่ความเร็วรอบ 10,000 และ 12,000 รอบ/นาที) ที่ระยะเวลาการตัดที่เท่ากันจะพบว่าความลึกตัดที่ 0.5 มิลลิเมตร จะให้ค่าความหนาผิวที่น้อยกว่า เนื่องจากที่ความลึกตัดที่มากกว่าจะมีอุณหภูมิเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นที่การตัดเฉือนสูง ซึ่งอุณหภูมิที่สูงจะทำให้ชิ้นงานเกิดการอ่อนตัวทำให้ทำการตัดเฉือนออกได้ง่าย จึงให้ผิวสำเร็จที่ตึกกว่า

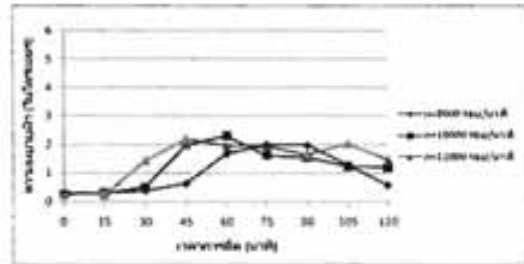
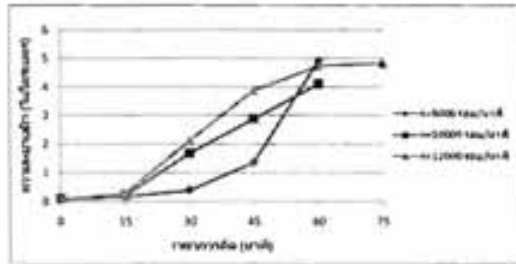


ภาพที่ 3.5 เปรียบเทียบความหนาผิวของชิ้นงานที่ความลึกตัดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 3.6 เปรียบเทียบค่าความหนาผิวของชิ้นงานที่อัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน คือ ที่อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟันและ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ตามลำดับ จะพบว่าค่าความหนาผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้นหลังจากนาที่ที่ 15 เป็นต้นไป เนื่องจากอัตราการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าความหนาผิวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาที่อัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน จะพบว่าเมื่ออัตราการป้อนตัดเพิ่มขึ้นอายุการใช้งานของมีดกัดยาวนานขึ้น นั่นคืออัตราการสึกหรอของมีดกัดลดลงนั่นเอง ดังนั้นเมื่ออัตราการสึกหรอลดลงจึงทำให้ค่าความหนาผิวของชิ้นงานมีค่าลดลงตามไปด้วย

การที่อัตราการสึกหรอของมีดกัดที่อัตราการป้อนตัดที่ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ต่ำกว่าอัตราการป้อนตัดที่ 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน นั้นสามารถอธิบายได้ 2 ประการ [7] คือ อัตราการป้อนตัดที่สูงขึ้นทำให้พื้นที่ในการตัดของคมมีดกัดเข้าตัดชิ้นงานมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้มีพื้นที่ในการระบายความร้อนมากขึ้น ซึ่งความร้อนดังกล่าวจะถูกถ่ายเทไปกับเศษโลหะที่ถูกตัดออกไป จึงส่งผลให้อายุการใช้งานของมีดกัดที่ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ยาวนานกว่าอัตราการป้อนตัดที่ 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

อีกเหตุผลประการหนึ่งคือ เนื่องจากการสึกหรอแบบการสึกหรอของมีดกัดที่บริเวณผิวหลบส่วนปลายคมตัดซึ่งช่วยลดรอยการบิ่นตัดที่ตกค้างอยู่บนผิวชิ้นงานหลังในขณะตัด จึงทำให้ความหยาบผิวของชิ้นงานมีค่าลดลงตามไปด้วย



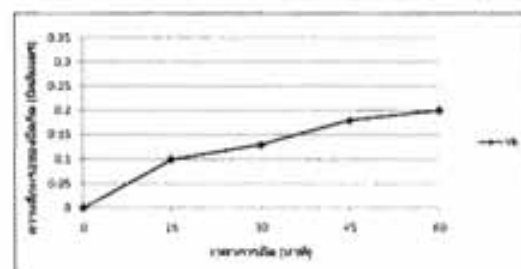
ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

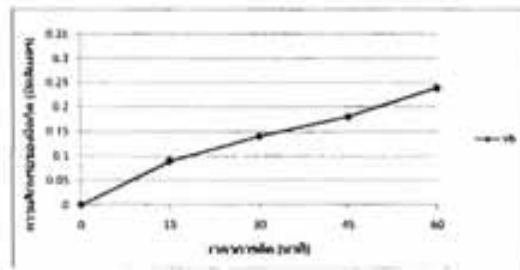
ภาพที่ 3.6 เปรียบเทียบความหยาบผิวของชิ้นงานที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตรที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับขนาดความสึกหรอของมีดกัด

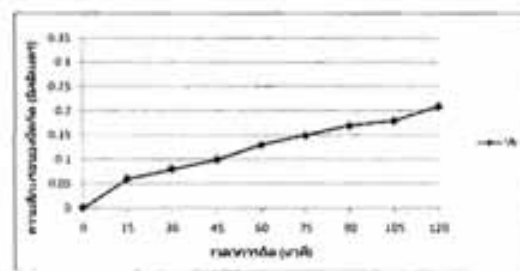
ผลการทดลองและภาพถ่ายแสดงความสึกหรอของ มีดกัดชนิดหัวบอล ที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 3.6 ถึงภาพที่ 3.11 แสดงให้เห็นถึงขนาดการสึกหรอของ มีดกัดชนิดหัวบอล เพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการตัดเพิ่มมากขึ้น โดยมีอัตราการสึกหรอที่ค่อนข้างจะสูงในช่วงแรก (ช่วง 15 นาทีแรก) เมื่อทำการตัดไประยะหนึ่งอัตราการสึกหรอค่อย ๆ ลดลง



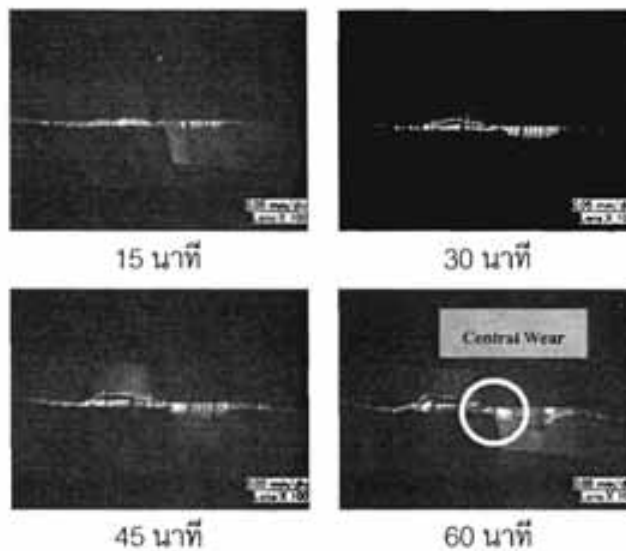
ภาพที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความสึกหรอของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อน ตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร



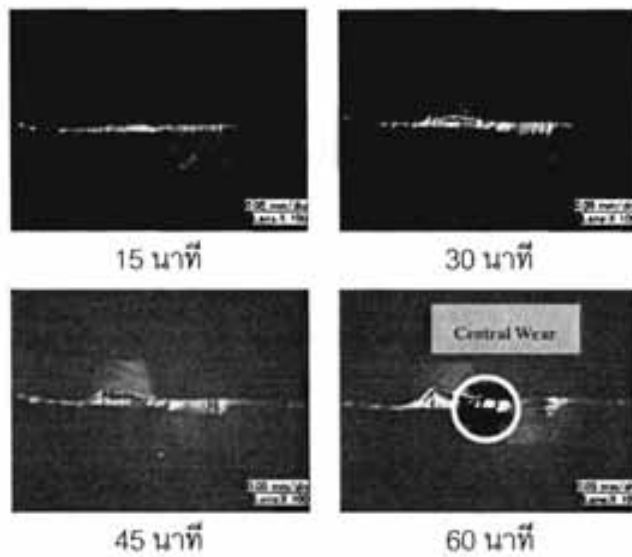
ภาพที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อน ตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร



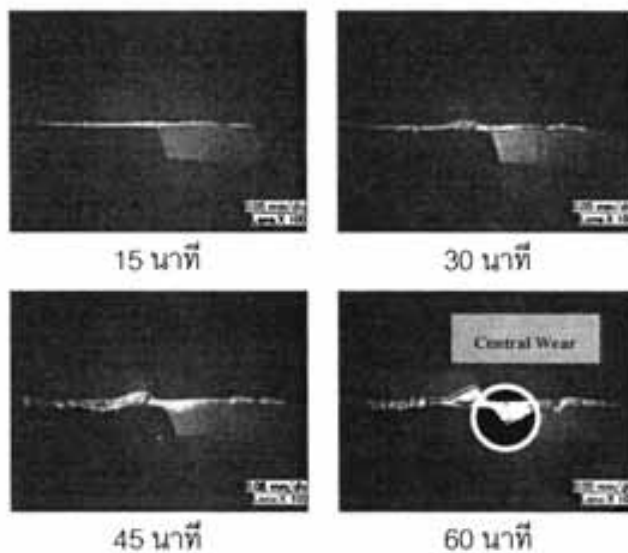
ภาพที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อน ตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.10 ภาพถ่ายขนาดความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร



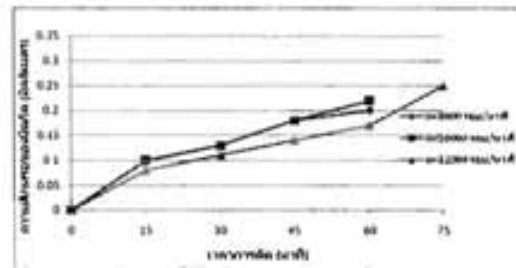
ภาพที่ 3.11 ภาพถ่ายขนาดความลึกหระของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที
อัตราการป้อน ตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.12 ภาพถ่ายขนาดความลึกหระของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที
อัตราการป้อน ตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

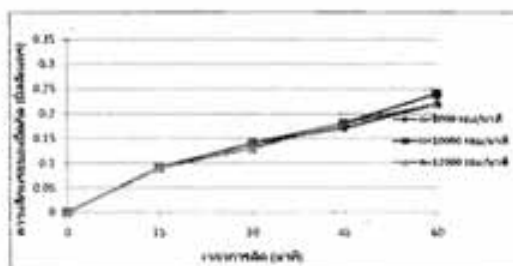
ภาพที่ 3.13 แสดงให้เห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบที่แตกต่างกัน ความลึกหระของมีดกัดชนิดหัวบอล ที่ความเร็วรอบที่ 8,000 และ 10,000 รอบ/นาที จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่ความเร็วรอบที่ 12,000 รอบ/นาที จะให้ค่าลึกหระที่ต่ำกว่า สามารถอธิบายได้ว่า ที่ความเร็วรอบสูง ๆ (High speed) จะเกิดการหล่อลื่น

แบบเสมือน (Virtual coolant) ซึ่งจะช่วยให้การสึกหรอของมีดกัดแบบหัวบอลลดลงจึงทำให้อัตราการสึกหรอที่ความเร็วรอบสูงต่ำกว่าที่ความเร็วรอบต่ำ ๆ และจากภาพที่ 3.13 ที่ความเร็วรอบสูงจะให้อายุการใช้งานของมีดกัดชนิดหัวบอลยาวนานขึ้น เนื่องจากผลของการหล่อลื่นแบบเสมือน

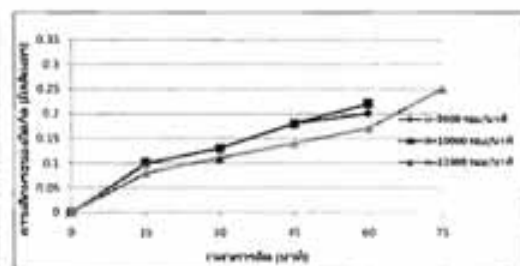


ภาพที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความสึกหรอของมีดกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.14 เปรียบเทียบความสึกหรอของมีดกัดชนิดหัวบอลที่ความลึกตัดที่แตกต่างกัน คือ ที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตรและ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะพบว่าความสึกหรอค่อนข้างเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน นั่นคือในช่วง 15 นาทีแรก อัตราการสึกหรอจะค่อนข้างสูง และหลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง โดยที่ความลึกตัดที่ 0.3 มิลลิเมตร อัตราการสึกหรอไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก ในขณะที่ความลึกตัดที่ 0.5 มิลลิเมตร จะเห็นความแตกต่างของการสึกหรอได้อย่างชัดเจนที่ความเร็วรอบที่สูงที่ 12,000 รอบ/นาที มีอัตราการสึกหรอต่ำสุด ซึ่งเหตุผลดังที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น



ก) ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร



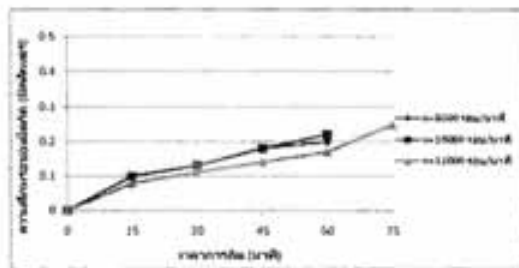
ข) ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.14 เปรียบเทียบความสึกหรอของมีดกัดที่ความลึกตัดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

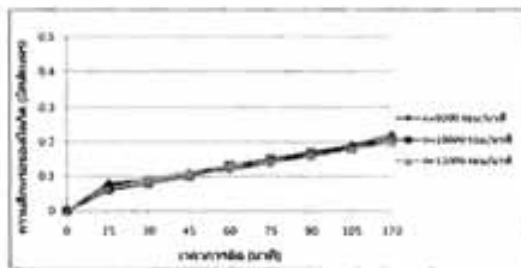
เมื่อเปรียบเทียบความสึกหรอของมิดกัศชนิดหัวบอลที่ความลึกตัดทั้ง 2 ค่า จะพบว่าที่ระยะเวลาในการตัดที่เท่ากัน ความลึกตัดที่ 0.5 มิลลิเมตร จะมีการสึกหรอที่ต่ำกว่าความลึกตัดที่ 0.3 มิลลิเมตร เนื่องจากที่ความลึกตัดที่มากกว่าทำให้อุณหภูมิในขณะตัดสูงและเกิดการตัดเฉือนง่าย จึงทำให้มิดกัศชนิดหัวบอลมีอัตราความสึกหรอที่ต่ำไปด้วย

ภาพที่ 3.15 เปรียบเทียบความสึกหรอของมิดกัศชนิดหัวบอลที่อัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน คือ ที่อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟันและ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ตามลำดับ จะพบว่าความสึกหรอค่อนข้างเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน นั่นคือในช่วง 15 นาทีแรก ซึ่งอัตราการสึกหรอจะค่อนข้างสูง และหลังจากนั้นจะอัตราการสึกหรอค่อนข้างคงที่ โดยที่อัตราการป้อนตัดที่ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน จะให้อัตราการสึกหรอในแต่ละความเร็วยกเว้นไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ในขณะที่อัตราการป้อนตัดที่ 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน จะเห็นความแตกต่างของการสึกหรอได้อย่างชัดเจนที่ความเร็วรอบที่สูงที่ 12,000 รอบ/นาที มีอัตราการสึกหรอต่ำสุดซึ่งเหตุผลดังที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น

และเมื่อพิจารณาที่อายุการใช้งานของมิดกัศที่อัตราการป้อนตัดต่างกัน จะพบว่าที่อัตราการป้อนตัดที่สูงกว่าจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า และที่ระยะเวลาการตัดที่เท่ากันอัตราการสึกหรอของมิดกัศก็ต่ำกว่าด้วย



ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

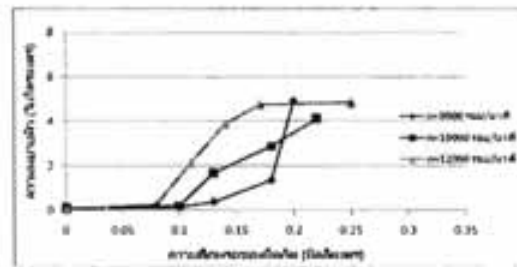


ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 3.15 เปรียบเทียบความสึกหรอของมิดกัศที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

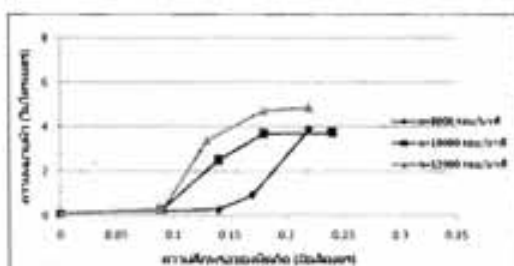
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความสึกหรอของมิดกัศกับความหนายผิว

ภาพที่ 3.16 แสดงให้เห็นถึงความสึกหรอของมิดกัศชนิดหัวบอลเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนายผิวที่ได้ จากรูปจะพบว่าเมื่อขนาดการสึกหรอของมิดกัศชนิดหัวบอลเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ค่าความหนายผิวที่เพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่ช่วงเริ่มต้นจะมีค่าความหนายผิวที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากในตอนเริ่มต้นมิดกัศชนิดหัวบอลยังใหม่อยู่เพราะยังไม่ได้ใช้งานคมตัดของมิดกัศชนิดหัวบอลยังมีความคมอยู่ จึงทำให้ค่าความหนายผิวที่ได้ใกล้เคียงกัน และเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งค่าความหนายผิวจะเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการสึกหรอของคมตัด

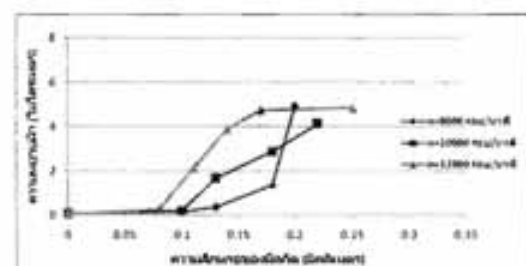


ภาพที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหอรของมีดกัดกับความหนาผิวของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.17 เปรียบเทียบความลึกหอรของมีดกัดชนิดหัวบอลเพิ่มขึ้นกับค่าความหนาผิวที่ได้ ที่ความลึกตัดที่แตกต่างกัน คือ ที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตรและ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากรูปจะพบว่าที่ความลึกตัดทั้งสองระดับ มีความสัมพันธ์ของความลึกหอรกับความหนาผิวเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ ในช่วงแรกของการตัด ค่าความหนาผิวของชิ้นงานที่ได้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน เมื่อขนาดการลึกหอรของ มีดกัดชนิดหัวบอลเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ค่าความหนาผิวที่เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อการลึกหอรเพิ่มขึ้นไปจนถึงค่า ๆ หนึ่ง (ประมาณ 0.2 มิลลิเมตร) ค่าความหนาผิวจะค่อย ๆ ลดลง ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากการลึกหอรของมีดกัดที่บริเวณผิวหลบส่วนปลายคมตัดของมีดกัดชนิดหัวบอล มีขนาดเพิ่มมากขึ้นจึงช่วยลดรอยการป้อนของมีดกัดชนิดหัวบอลที่อยู่บนผิวชิ้นงานจึงทำให้ค่าความหนาผิวลดลง เนื่องจากขนาดที่ใหญ่ขึ้นการลึกหอรของมีดกัดที่บริเวณผิวหลบส่วนปลายคมตัด อย่างไรก็ตามความเรียบผิวปรากฏที่มองเห็นก็จะมีลักษณะไม่เรียบและขรุขระถึงแม้ว่าจะให้ค่าความหนาผิวที่ต่ำก็ตาม



ก) ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

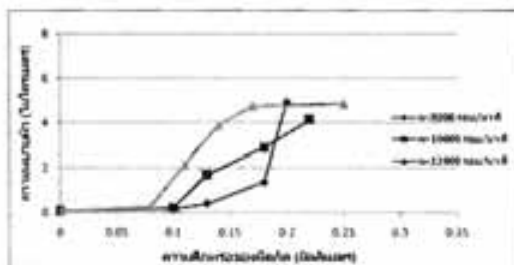


ข) ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

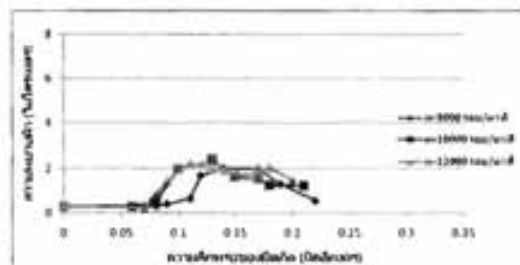
ภาพที่ 3.17 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหอรของมีดกัดกับความหนาผิวของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 3.16 เปรียบเทียบความสึกหรอของ มีดกัดชนิดหัวบอล ที่เพิ่มขึ้นกับค่าความหนาผิวที่ได้ที่อัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน คือ ที่อัตราการป้อนตัดที่ 0.01 มิลลิเมตร/ฟันและ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ตามลำดับ จากรูปจะพบว่าที่อัตราการป้อนตัดทั้งสองค่า มีความสัมพันธ์ของความสึกหรอกับความหนาผิวเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ ในช่วงแรกของการตัด ค่าความหนาผิวของชิ้นงานที่ได้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อขนาดการสึกหรอของ มีดกัดชนิดหัวบอล เพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ค่าความหนาผิวที่เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อการสึกหรอเพิ่มขึ้นไปจนถึงค่า ๆ หนึ่ง ค่าความหนาผิวจะค่อย ๆ ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราการป้อนตัดที่ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน จะเห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งค่าความหนาผิวมีแนวโน้มลดลงที่ความสึกหรอของ มีดกัดชนิดหัวบอล ที่ประมาณ 0.13 มิลลิเมตร เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ได้กล่าวไปข้างต้นแล้ว ในภาพที่ 3.6 เนื่องจากการสึกหรอของมีดกัดที่บริเวณผิวหลบส่วนปลายคมตัดของมีดกัดชนิดหัวบอล มีขนาดเพิ่มมากขึ้นจึงช่วยลดรอยการป้อนของ มีดกัดชนิดหัวบอล ที่อยู่บนผิวชิ้นงานจึงทำให้ค่าความหนาผิวลดลง เนื่องจากขนาดที่ใหญ่ขึ้นของการสึกหรอของมีดกัดที่บริเวณผิวหลบส่วนปลายคมตัด อย่างไรก็ตามความเรียบผิวปรากฏที่มองเห็นก็จะมีลักษณะไม่เรียบและขรุขระถึงแม้ว่าจะให้ค่าความหนาผิวที่ต่ำก็ตาม



ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน



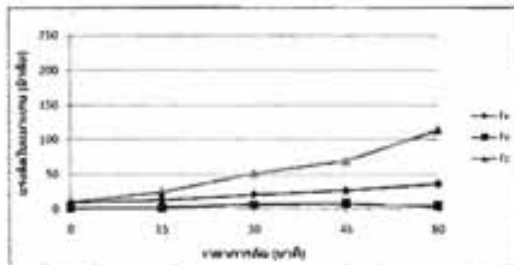
ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 3.18 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความสึกหรอของมีดกัดกับความหนาผิวของการตัดแบบแห้ง ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

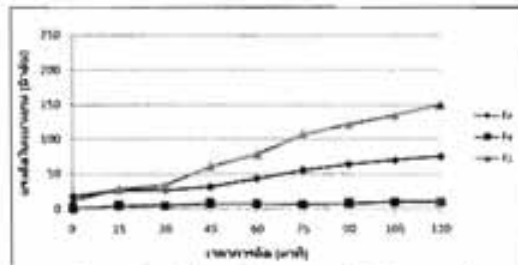
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัด

ภาพที่ 3.19 ถึงภาพที่ 3.21 เปรียบเทียบระยะเวลาในการตัดกับแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการตัดในเงื่อนไขต่าง ๆ จากรูปจะพบว่าที่ความเร็วรอบต่าง ๆ แรงในแนวแกน Z, F_z ซึ่งเป็นทิศทางการเคลื่อนที่ตัดลึกของเครื่องมือตัดจะมีค่าสูงสุด และแรงในแนวแกน X, F_x จะมีค่ารองมาจากแนวแกน Z, F_z ซึ่งแรงในแนวแกน X, F_x นี้เป็นการเคลื่อนที่เข้าไปทำการตัดเฉือนของคมตัดเข้าตัดชิ้นงาน ดังนั้นจึงทำให้แนวแกนนี้เกิดแรงตัดสูงตามไปด้วย ในขณะที่แรงในแนวแกน Y, F_y มีค่าต่ำที่สุดและในแนวแกนนี้เป็นแนวแกนที่ใช้เป็น

ทิศทางในการป้อนตัดชิ้นงาน ซึ่งแรงตัดในแนวแกน Y , F_y ที่เกิดต่ำสุดเนื่องมาจากความกว้างตัดในการทดลองมีค่าต่ำ คือมีค่า 1.2 มิลลิเมตร

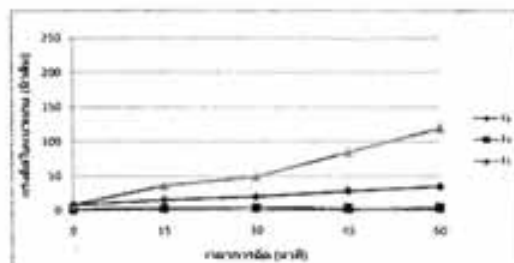


ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

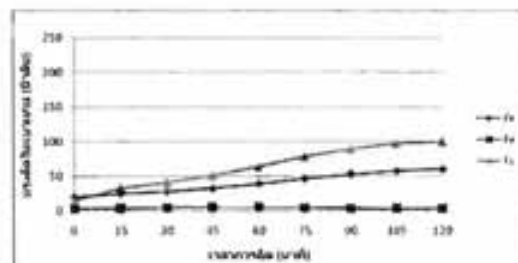


ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 3.19 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

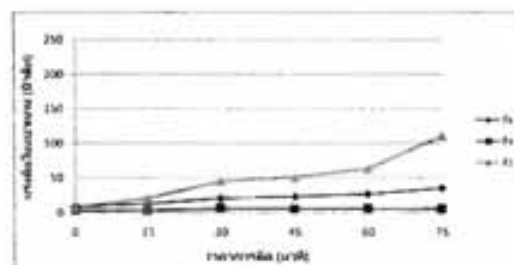


ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

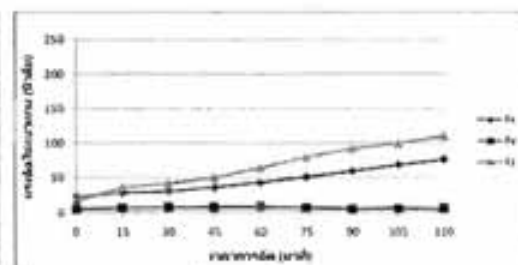


ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 3.20 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร



ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน



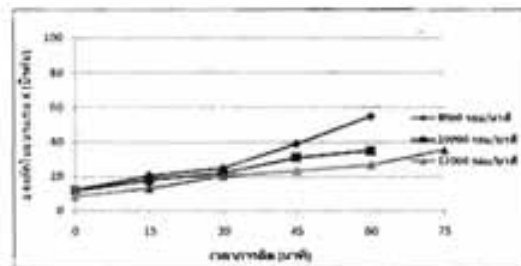
ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 3.21 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

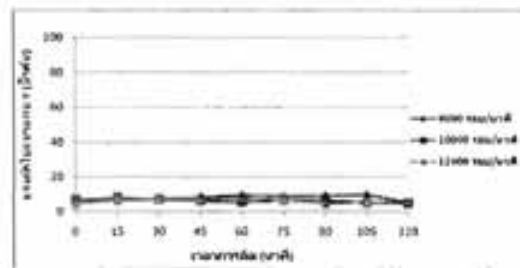
ภาพที่ 3.19 ถึงภาพที่ 3.21 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับแรงตัดที่เกิดขึ้น จะพบว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาในการตัดชิ้นงานที่เท่ากัน ที่ความเร็วรอบสูงขึ้นจะทำให้แรงตัดที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิบริเวณการตัดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการอ่อนตัวทำให้การตัดง่ายขึ้นแรงตัดจึงมีค่าลดลง

จากภาพข้างต้นเมื่อทำการเปรียบเทียบในแนวแกนเดียวกันในขณะที่ทำการตัดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ จากรูปจะพบว่าแรงในทั้ง 3 แนวแกนแรงตัดในแนวแกน Z, Fz จะมีค่าที่สูงกว่าแรงตัดในแนวแกนอื่น และที่ความเร็วรอบที่สูงแรงตัดที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่ลดลง ดังเหตุผลที่ได้อธิบายแล้วข้างต้น

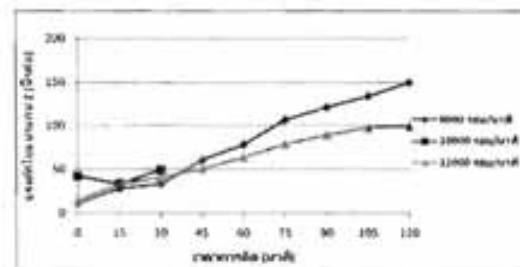
เมื่อพิจารณาที่อัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกันจะพบว่า ค่าอัตราการป้อนตัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงตัดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าอัตราการป้อนตัดที่ต่ำ และที่ความลึกตัดที่แตกต่างกัน ความลึกตัดที่เพิ่มขึ้นแรงตัดที่เกิดขึ้นก็จะมีค่าน้อยกว่าความลึกตัดที่น้อยกว่าในระยะเวลาการตัดที่เท่ากัน สามารถอธิบายได้ว่า อัตราการป้อนตัดและความลึกตัดที่สูงขึ้น จะให้พื้นที่ในการตัดของคมมีดกัดเข้าตัดชิ้นงานมากขึ้นด้วย ซึ่งทำให้มีพื้นที่ในการระบายความร้อนมากขึ้นในขณะที่ตัดออกมากับเศษโลหะได้ดีกว่าอัตราการป้อนตัดและความลึกตัดที่ต่ำ ดังนั้นคมมีดกัดจึงเกิดการสึกหรอช้าและส่งผลให้แรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัดต่ำกว่าที่อัตราการป้อนตัดและความลึกตัดที่ต่ำ



ภาพที่ 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน X, Fx ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

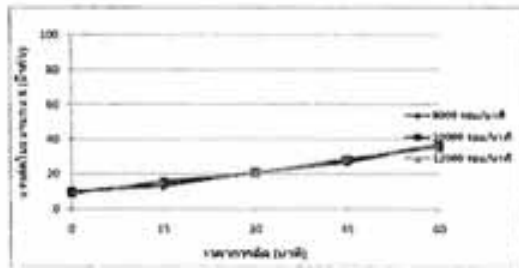


ภาพที่ 3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน Y, F_y ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

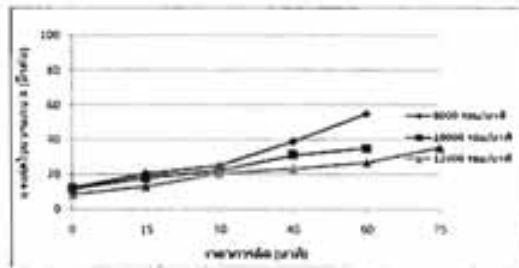


ภาพที่ 3.24 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน Z, F_z ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.22 ถึงภาพที่ 3.24 เปรียบเทียบแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการตัดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ที่ความลึกตัดที่แตกต่างกัน คือ ที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากรูปจะพบว่าที่ความลึกตัดที่ 0.3 มิลลิเมตร แรงตัดทั้ง 3 แนวแกนที่ความเร็วรอบที่ต่างกันมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่แรงตัดในแนวแกน Z, F_z จะมีค่าที่สูงกว่าแรงตัดในแนวแกนอื่น ในขณะที่ความลึกตัดที่ 0.5 มิลลิเมตร จะเห็นความแตกต่างของแรงตัดที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนตั้งแต่นาทีที่ 45 เป็นต้นไป อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาในการตัดที่เท่ากัน แรงตัดที่เกิดขึ้นของทั้ง 2 ระดับความลึกตัดมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งตามหลักการแล้วที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ควรจะมีแรงตัดเกิดขึ้นสูงกว่า สามารถอธิบายได้ว่า พื้นผิวสัมผัสในการตัดที่มากกว่าทำให้มีอุณหภูมิสูงที่บริเวณการตัดเฉือนของการตัดที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร เมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ชิ้นงานเกิดการอ่อนตัว ทำให้แรงที่ต้องใช้ในการตัดเฉือนลดต่ำลงและอัตราการสึกหรอของมีดกัดชนิดหัวบซล ต่ำลงด้วย

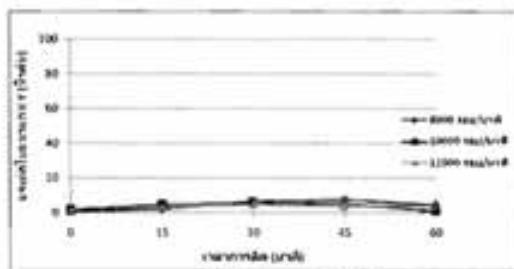


ก) ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

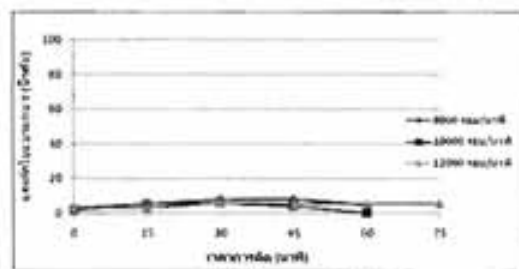


ข) ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.25 เปรียบเทียบแรงตัดในแนวแกน X, F_x ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

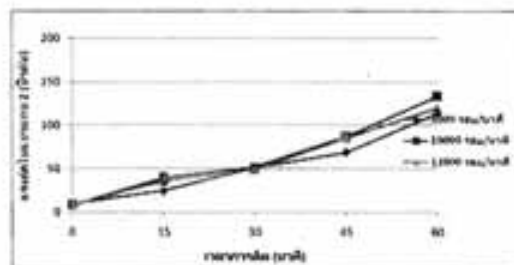


ก) ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

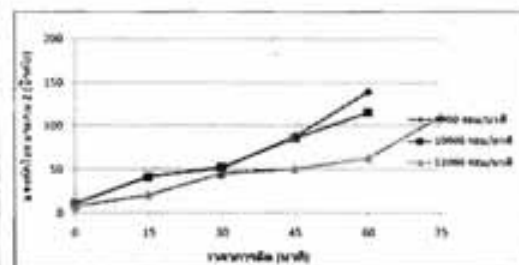


ข) ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.26 เปรียบเทียบแรงตัดในแนวแกน Y, F_y ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน



ก) ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร



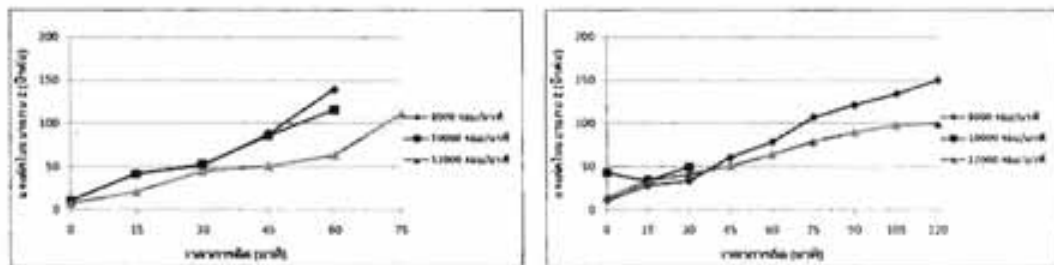
ข) ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.27 เปรียบเทียบแรงตัดในแนวแกน Z, F_z ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

จากภาพที่ 3.25 ถึงภาพที่ 3.27 เปรียบเทียบแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัดทั้ง 3 แกนตามลำดับ ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ โดยที่ความลึกตัดและอัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน คือ ที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร และ 0.3 มิลลิเมตร และอัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน และ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ตามลำดับ จากรูปจะพบว่าที่อัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน แรงตัดที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อความเร็ว

รอบในการตัดสูงขึ้น แรงตัดจะมีค่าลดลง ดังเหตุผลที่ได้อธิบายแล้วข้างต้น และเมื่อพิจารณาที่ความลึกตัดที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการตัดที่เท่ากัน จะพบว่า แรงตัดที่เกิดขึ้นของทั้ง 2 ระดับความลึกตัดมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งตามหลักการแล้วที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ควรจะมีแรงตัดเกิดขึ้นสูงกว่า ซึ่งเหตุผลดังอธิบายแล้วข้างต้น

ภาพที่ 3.28 เปรียบเทียบแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการตัดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ที่ความลึกตัด อัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน คือ ที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตรและ 0.3 มิลลิเมตร และอัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน และ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ตามลำดับ จากรูปจะพบว่าที่อัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน แรงตัดที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อความเร็วรอบในการตัดสูงขึ้น แรงตัดจะมีค่าลดลง ดังเหตุผลที่ได้อธิบายแล้วข้างต้น และเมื่อพิจารณาที่ความลึกตัดที่แตกต่างกันที่ระยะเวลาการตัดที่เท่ากัน จะพบว่า แรงตัดที่เกิดขึ้นของทั้ง 2 ระดับความลึกตัดมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งตามหลักการแล้วที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ควรจะมีแรงตัดเกิดขึ้นสูงกว่า ซึ่งเหตุผลดังอธิบายแล้วข้างต้น



ก) ความลึกตัด 0.5 มม. อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ข) ความลึกตัด 0.3 มม. อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 3.28 เปรียบเทียบแรงตัดในแนวแกน Z, Fz ของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

3.5 ปัจจัยจากเงื่อนไขการตัดต่างๆ

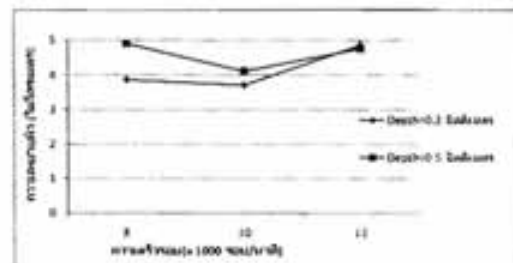
จากภาพที่ 3.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่อัตราป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร ที่ระยะเวลาในการตัดที่ 60 นาที พบว่า ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที จะมีค่าความหยาบผิวที่ต่ำที่สุดของทั้งสองระดับความลึกตัด และเมื่อพิจารณาที่ระดับความลึกที่แตกต่างกัน จะพบว่าที่ความลึกตัดที่ 0.3 มิลลิเมตร จะให้ค่าความหยาบผิวที่ต่ำกว่าที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความลึกตัดที่ 0.5 มิลลิเมตรและอัตราการป้อนตัดที่ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ที่ระยะเวลาในการตัดที่ 90 นาที ดังภาพที่ 3.30 จะเห็นว่าที่ความลึกตัดที่ 0.5 มิลลิเมตรและอัตราการป้อนตัด

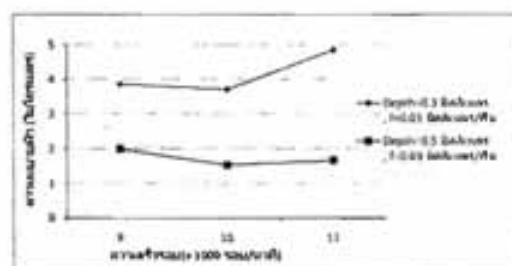
ที่ 0.03 มิลลิเมตร/พื้นที่ จะมีค่าความหยาบผิวที่ต่ำกว่าที่ความลึกตัดที่ 0.3 มิลลิเมตรและที่อัตราการป้อนตัดที่ 0.01 มิลลิเมตร/พื้นที่ อย่างชัดเจน เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวไปแล้วข้างต้นทำให้การสึกหรอของมีดกัดมีอัตราที่ต่ำลงด้วย ดังแสดงในภาพที่ 3.31 จึงทำให้ได้ผิวชิ้นงานที่ดีกว่า

จากภาพที่ 3.31 จะพบว่าที่อัตราการป้อนตัดที่ 0.03 มิลลิเมตร/พื้นที่ มีอัตราการสึกหรอของมีดกัดที่มีค่าต่ำกว่าอัตราการป้อนตัดที่ 0.01 มิลลิเมตร/พื้นที่ ซึ่งเหตุผลดังกล่าวอธิบายมาแล้วก่อนหน้านี้ เมื่อเกิดการสึกหรอที่ต่ำก็ส่งผลให้แรงตัดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยตามไปด้วย

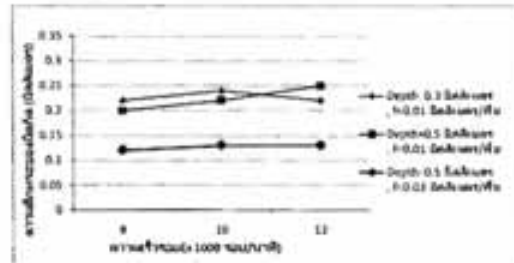
ในกรณีความเร็วรอบตัดที่ 8,000 รอบ/นาที มีค่าความหยาบผิวที่สูงกว่าที่ความเร็วรอบที่ 10,000 รอบ/นาที นั้นสามารถอธิบายได้ว่าที่ความเร็วรอบตัดทำให้การตัดเฉือนเป็นได้ยากขึ้นเนื่องจากว่าอุณหภูมิการตัดที่เกิดขึ้นอาจต่ำไม่เหมาะสม จึงทำให้ชิ้นงานมีความแข็งมากกว่าที่ความเร็วรอบที่ 10,000 และ 12,000 รอบ/นาที ส่งผลให้แรงตัดที่เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที สูงกว่าที่ความเร็วรอบ 10,000 และ 12,000 รอบ/นาทีด้วย



ภาพที่ 3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/พื้นที่ ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที



ภาพที่ 3.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/พื้นที่ ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร

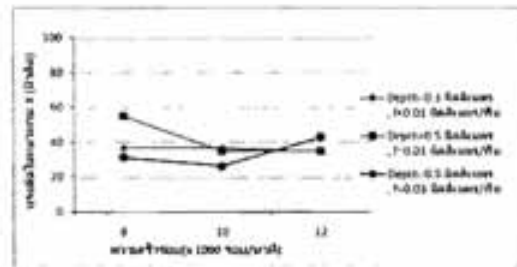


ภาพที่ 3.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขนาดความลึกหรือของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที

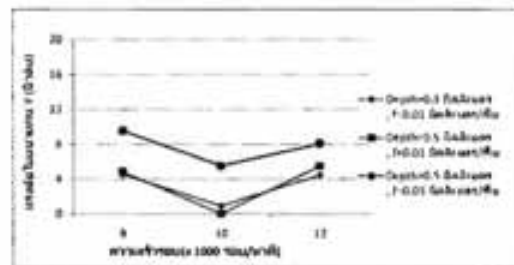
จากความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น พบว่าเมื่ออัตราการป้อนตัดเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้พื้นที่การเข้าตัดของมีดกัดสูงขึ้น ดังนั้นแรงตัดที่เกิดขึ้นก็จะสูงตามไปด้วยเนื่องมาจากพื้นที่การตัดที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มอัตราป้อนตัด ในทางกลับกันถ้าอัตราป้อนตัดต่ำลงแรงตัดก็จะต่ำลง เพราะพื้นที่การตัดต่ำลง ผิวงานก็จะเรียบมากขึ้นไปด้วย

ในกรณีของความลึกการตัด ถ้าความลึกการตัดมากถึงแม้มีดกัดจะเกิดความสึกหรอต่ำกว่าแต่แรงที่เกิดขึ้นในระหว่างการตัดจะมีความมากกว่า ด้วยเหตุนี้เองการตัดที่ใช้ความลึกการตัดมาก ส่วนใหญ่มักจะได้ความเรียบผิวของชิ้นงานไม่ค่อยดี อันเนื่องมาจากเกิดการสั่นในระหว่างการตัด

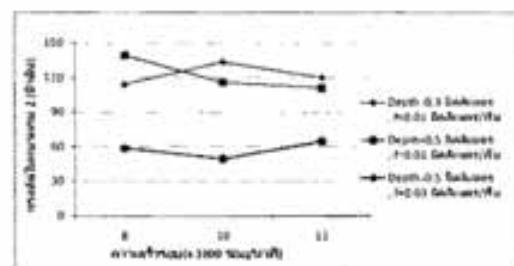
ภาพที่ 3.32 ถึงภาพที่ 3.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดที่เกิดขึ้น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ซึ่งจะพบว่า ที่ความเร็วรอบที่ 10,000 รอบ/นาที จะมีแรงตัดที่เกิดขึ้นต่ำสุด และเมื่อเพิ่มความลึกตัดและอัตราการป้อนที่สูงขึ้น แรงตัดก็จะมีค่าลดลง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในแนวแกน X, F_x และแกน Y, F_y ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวดังเหตุผลที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น



ภาพที่ 3.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที



ภาพที่ 3.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที



ภาพที่ 3.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที

แรงตัดที่วัดได้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อขนาดการสึกหรอของมิดมีแนวโน้มเริ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าความขรุขระของผิวชิ้นงานมีโอกาสสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นขนาดการสึกหรอของมิดตัดและค่าความขรุขระของผิวชิ้นงาน

สามารถคาดการณ์ได้จากแรงตัดที่วัดได้ในขณะตัดจริง โดยไม่จำเป็นต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อตรวจสอบขนาดการสึกหรอของมีดตัด

ดังนั้นการประยุกต์การตรวจติดตามในกระบวนการตัดโดยใช้แรงตัดที่วัดได้จากไดนาโมมิเตอร์สามารถนำมาอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในขณะทำการตัดจริง ซึ่งเป็นข้อดีและประโยชน์ของระบบการตรวจติดตามภายในกระบวนการตัด

3.6 สรุปผลการทดลองและปัญหาที่เกิดขึ้น

ระยะเวลาในการตัดนานขึ้นแนวโน้มของความเร็วยุบกับค่าความหนายับผิวจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกล่าวคือ ความเร็วยุบที่สูงขึ้นและระยะเวลาในการตัดที่ยาวนานขึ้นจะให้ค่าความหนายับผิวที่เพิ่มขึ้นด้วย

ที่ความเร็วยุบสูงจะให้อายุการใช้งานของ มีดกัดชนิดหัวบอลยาวนานขึ้น เนื่องมาจากผลของการหล่อลื่นแบบเสมือน

ที่ความลึกตัดที่มากกว่าจะมีอุณหภูมิเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นที่การตัดเฉือนสูง ซึ่งอุณหภูมิที่สูงจะทำให้ชิ้นงานเกิดการอ่อนตัวทำให้ทำการตัดเฉือนออกได้ง่าย จึงให้ผิวสำเร็จที่ดีกว่า

เนื่องจากที่ความลึกตัดที่มากกว่าทำให้อุณหภูมิในขณะตัดสูงและเกิดการตัดเฉือนง่าย จึงทำให้ มีดกัดชนิดหัวบอล มีอัตราความสึกหรอที่ต่ำไปด้วย

การสึกหรอของมีดกัดที่บริเวณผิวหลบส่วนปลายคมตัดของมีดกัดชนิดหัวบอล มีขนาดเพิ่มมากขึ้นจึงช่วยลบรอยการบิ่นของมีดกัดชนิดหัวบอล ที่อยู่บนผิวชิ้นงานจึงทำให้ค่าความหนายับผิวลดลง เนื่องจากขนาดที่ใหญ่ขึ้นของการสึกหรอของมีดกัดที่บริเวณผิวหลบส่วนปลายคมตัด อย่างไรก็ตามความเรียบผิวปรากฏที่มองเห็นก็จะมีลักษณะไม่เรียบและขรุขระถึงแม้ว่าจะให้ค่าความหนายับผิวที่ต่ำก็ตาม

ความเร็วยุบเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิบริเวณการตัดเฉือนเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการอ่อนตัวทำให้การตัดเฉือนง่ายขึ้นแรงตัดจึงมีค่าลดลง

บทที่ 4

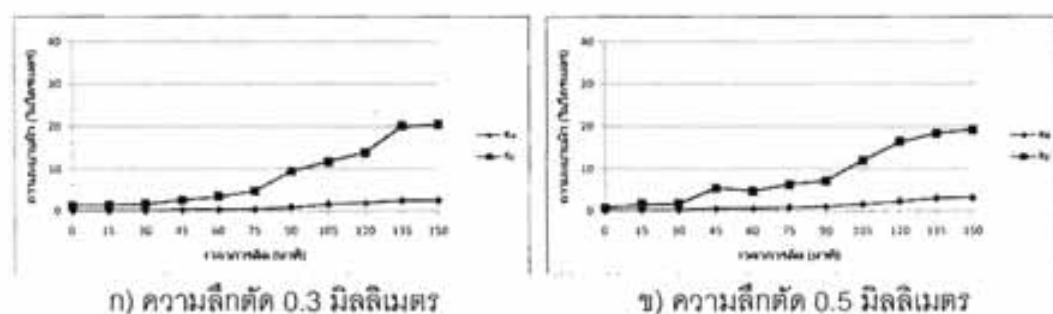
การตัดแบบเปียก

การตัดแบบเปียกเป็นการตัดที่นิยมใช้ตัดชิ้นงานกันโดยทั่วไปมากที่สุด ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดปริมาณการใช้สารหล่อเย็นในการตัด จึงต้องทำการทดลองเก็บผลเพื่อเปรียบเทียบกับ การตัดแบบแห้งและแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น

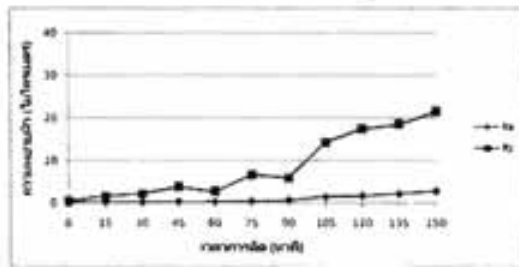
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความลึกหรือของมีดกัดกับความหยาบผิว

จากภาพที่ 4.1 ถึงภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการตัดกับค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบและอัตราการป้อนตัดต่าง ๆ จะพบว่าค่าความหยาบผิวมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการตัดนานขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของการสึกหรอของมีดกัดชนิดหัวบอล สามารถอธิบายได้ว่าที่เวลาการตัดที่ยาวนานขึ้น การสึกหรอของเครื่องมือตัดเพิ่มมากขึ้น

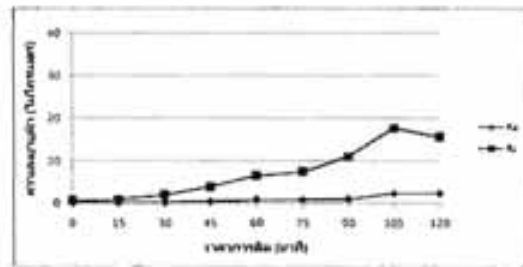
เมื่อเปรียบเทียบกับ การตัดแบบแห้งที่เงื่อนไขการตัดเดียวกัน พบว่าการตัดแบบเปียกจะให้ความหยาบผิวที่ต่ำกว่าและมีอายุการใช้งานของมีดกัดโดยรวมแล้วที่ยาวนานกว่า ดังภาพที่ 4.4 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า สารหล่อเย็นสามารถช่วยในการลดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ที่ทำการตัดเฉือน จึงช่วยลดการสึกหรอของมีดกัดทำให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานลดลง



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบเปียก ที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

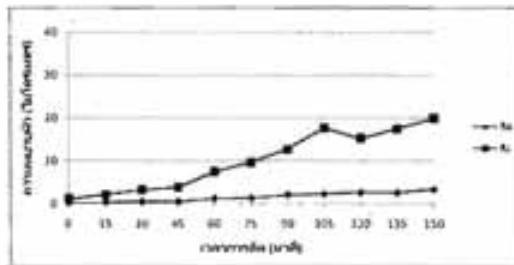


ก) ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

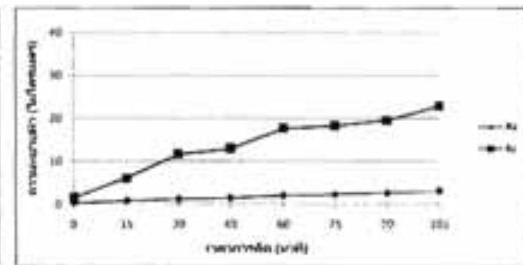


ข) ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

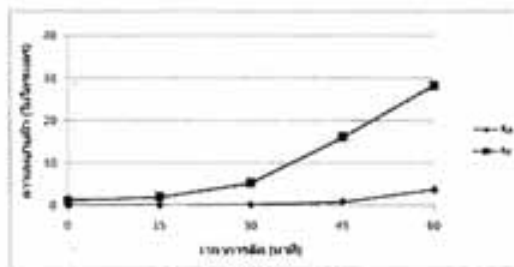


ก) ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

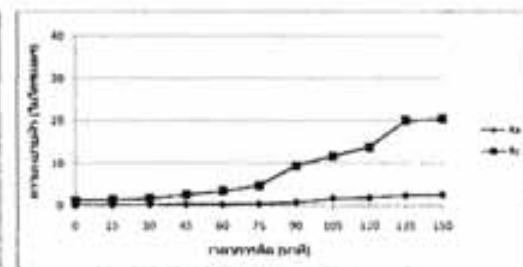


ข) ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบแห้ง ที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน



ก) การตัดแบบแห้ง



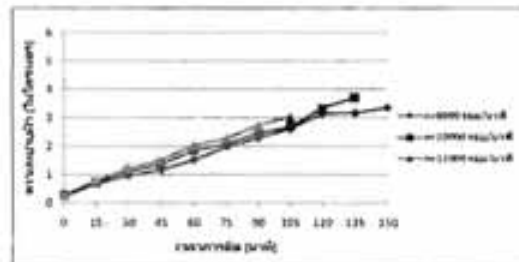
ข) การตัดแบบเปียก

ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบในการตัดที่ต่างกัน พบว่า ในช่วงเวลาตัดที่ 15 นาทีแรกค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากอัตราการสึกหรอยังต่ำอยู่ แต่เมื่อเวลาการตัดที่ยาวนานยิ่งขึ้นจะพบว่ายิ่งความเร็วตัดสูงขึ้น ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานก็จะยังมี

ค่าเพิ่มมากขึ้นและจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการตัดที่ยาวนานขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า ความเร็วตัดที่มากขึ้นจะทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นที่บริเวณการตัดเฉือน ทำให้ผิวเคลือบของ มีดกัดชนิดหัวบอล เกิดการเสียหาย จึงส่งผลให้ มีดกัดชนิดหัวบอล เกิดการสึกหรอมากยิ่งขึ้น เมื่ออัตราการสึกหรอเพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลโดยตรงต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน และที่ความเร็วรอบสูงพื้นที่การตัดเฉือนจะมีอุณหภูมิที่สูงด้วยในขณะเดียวกัน การเข้าถึงบริเวณดังกล่าวของสารหล่อเย็นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากความเร็วรอบที่สูงทำให้สารหล่อเย็นถูกตีกระเด็นออกจากพื้นที่การตัด จึงทำให้ประสิทธิภาพการหล่อเย็นของสารหล่อเย็นลดลง

เมื่อทำการตัดในขณะที่ มีดกัดชนิดหัวบอล ยังใหม่ ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานจะมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจาก มีดกัดชนิดหัวบอล ยังใหม่อยู่คมตัดของ มีดกัดชนิดหัวบอล ยังคงมีความคมอยู่ แต่เมื่อระยะเวลาในการตัดนานขึ้นแนวโน้มของความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิวจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกล่าวคือ ความเร็วรอบที่สูงขึ้นและระยะเวลาในการตัดที่ยาวนานขึ้นจะให้ค่าความหยาบผิวที่เพิ่มขึ้นด้วย

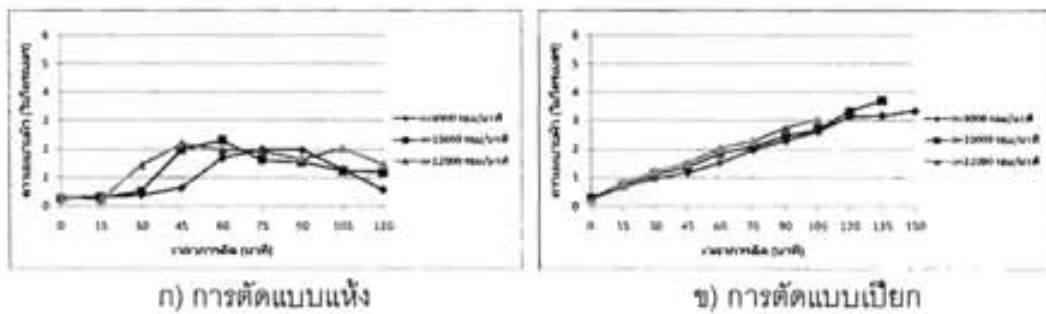


ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

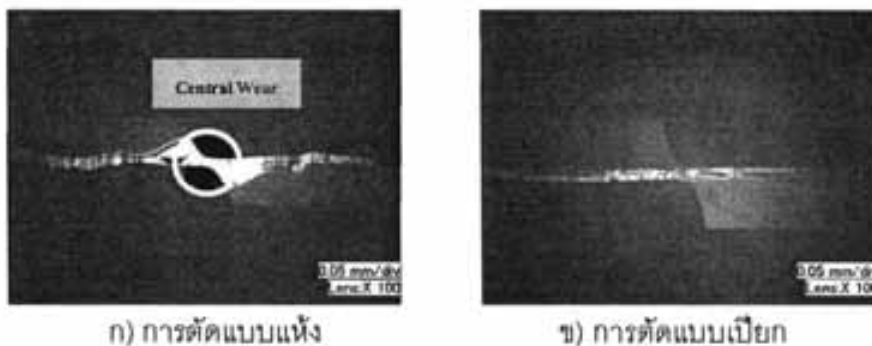
ภาพที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบในการตัดที่ต่างกันของการตัดแบบแห้งและแบบเปียก พบว่าที่ความเร็วรอบในการตัดสูงค่าความหยาบผิวก็สูงตามไปด้วย เนื่องจากที่ความเร็วรอบสูงจะเกิดความร้อนสูงขึ้น จึงส่งผลให้อัตราการสึกหรอของเครื่องมือตัดสูงตามไปด้วย จึงทำให้ค่าความหยาบผิวซึ่งแปรผันโดยตรงกับอัตราการสึกหรอจึงสูงขึ้นเช่นกัน ดังอธิบายมาแล้วข้างต้น

สำหรับค่าความหยาบผิวของการตัดแบบแห้งและแบบเปียกเมื่อเปรียบเทียบกันพบว่า เมื่อระยะเวลาการตัดยาวนานขึ้นค่าความหยาบผิวของชิ้นงานของการตัดแบบแห้งมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่การตัดแบบเปียกค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า ในกรณีของการตัดแบบแห้งจะเกิดการสึกหรอของมีดกัดที่บริเวณผิวหลบส่วนปลายคมตัดขึ้น ซึ่งการสึกหรอบริเวณดังกล่าวจะมีผลต่อค่าความหยาบผิวโดยตรง ดังนั้นเมื่อระยะเวลาในการตัดยาวนานขึ้นอัตราการสึกหรอเพิ่มมากขึ้น จึงช่วยลบบรอยการป้อนของมีด

กัตที่อยู่บนผิวชิ้นงานจึงทำให้ค่าความหยาบผิวลดลง เนื่องจากขนาดที่ใหญ่ขึ้นการสึกหรอของมีดกัตที่บริเวณผิวหลบส่วนปลายคมตัด ดังอธิบายมาแล้วข้างต้นในส่วนของ การตัดแบบแห้ง ส่วนการตัดแบบเปียกการสึกหรอของมีดกัตที่บริเวณผิวหลบส่วนปลายคมตัดจะเกิดขึ้นน้อยมาก จึงไม่เกิดปรากฏการณ์ดังเช่นการตัดแบบแห้ง ดังนั้นค่าความหยาบผิวของการตัดแบบเปียกจึงมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งการสึกหรอของมีดกัตของการตัดแบบแห้งและแบบเปียกแสดงดังภาพที่ 4.7

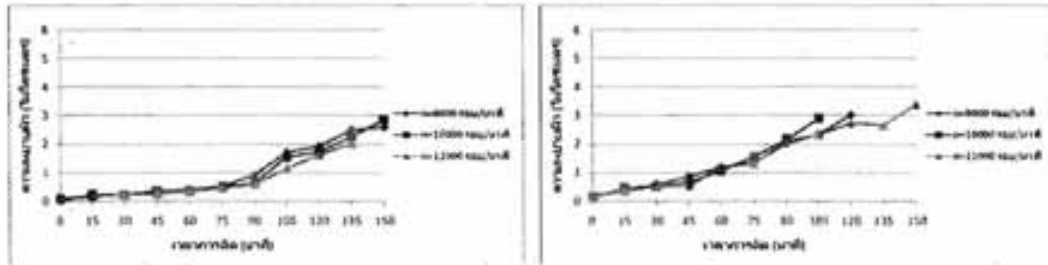


ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของชิ้นงานที่อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ



ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบภาพถ่ายขนาดความลึกของมีดกัตของที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่อัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน คือ ที่อัตราการป้อนตัดที่ 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน และ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ตามลำดับ จะพบว่าค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน จะมีค่าสูงกว่าอัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน เนื่องจากเมื่ออัตราการป้อนตัดเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้การเคลื่อนที่ตัดเร็วขึ้นและระยะในการเคลื่อนที่ตัดต่อฟันก็จะสูงขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ได้ค่าความหยาบผิวสูงขึ้นตามไปด้วย



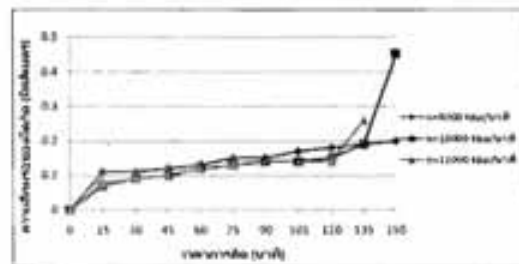
ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

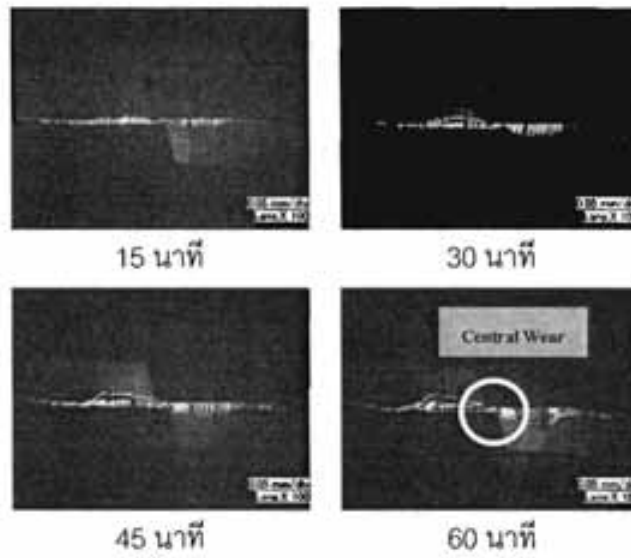
ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบความหนาผิวของชิ้นงานของการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับขนาดความลึกหรือของมีดกัด

ผลการทดลองและภาพถ่ายแสดงความลึกหรือของ มีดกัดชนิดหัวบอล ที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4.9 และภาพที่ 4.10 เนื่องจากกลไกการสึกหรอเป็นลักษณะเดียวกันกับการตัดแบบแห้ง ดังนั้นในที่นี้จะแสดงเพียงบางเงื่อนไขการตัด เพื่อให้เห็นถึงขนาดการสึกหรอของ มีดกัดชนิดหัวบอล เพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการตัดเพิ่มมากขึ้น โดยมีอัตราการสึกหรอที่ค่อนข้างจะสูงในช่วงแรก (ช่วง 15 นาทีแรก) เมื่อทำการตัดไประยะหนึ่งอัตราการสึกหรอค่อย ๆ ลดลงเช่นเดียวกับการตัดแบบแห้ง

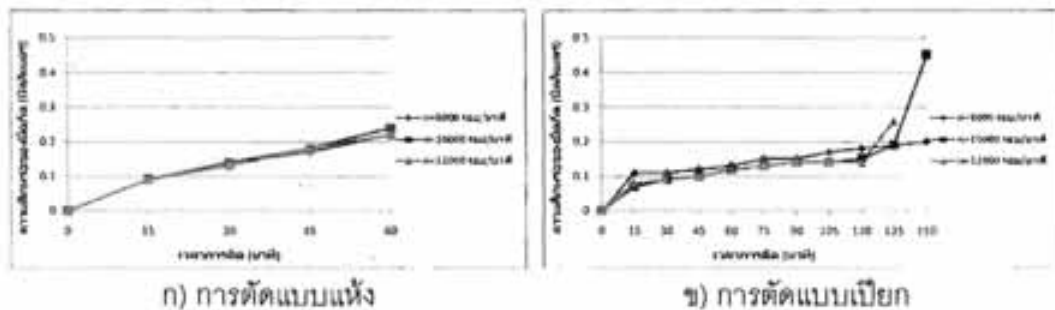


ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความลึกหรือของมีดกัดของการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.10 ภาพถ่ายขนาดความลึกหระของมิตกัดของการตัดแบบแห้งที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

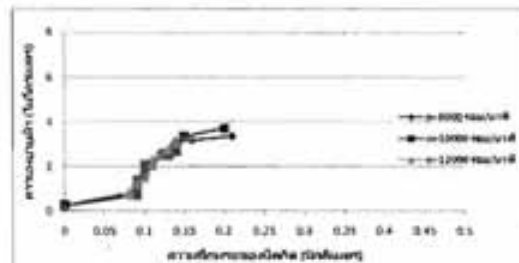
ภาพที่ 4.11 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของมิตกัดของการตัดแบบแห้งกับแบบเปียกที่เงื่อนไขการตัดเดียวกัน จะพบว่าที่ระยะเวลาการตัดที่เท่ากัน การตัดแบบเปียกจะมีอัตราการสึกหรอที่ต่ำกว่าการตัดแบบแห้ง และเมื่อพิจารณาถึงอายุการใช้งานของมิตกัดของการตัดแบบแห้งและแบบเปียก พบว่าการตัดแบบเปียกจะมีอายุการใช้งานของมิตกัดที่ยาวนานกว่าการตัดแบบแห้ง ซึ่งเหตุผลดังได้อธิบายมาแล้วก่อนหน้านี้



ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความสึกหรอของมิตกัดของที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

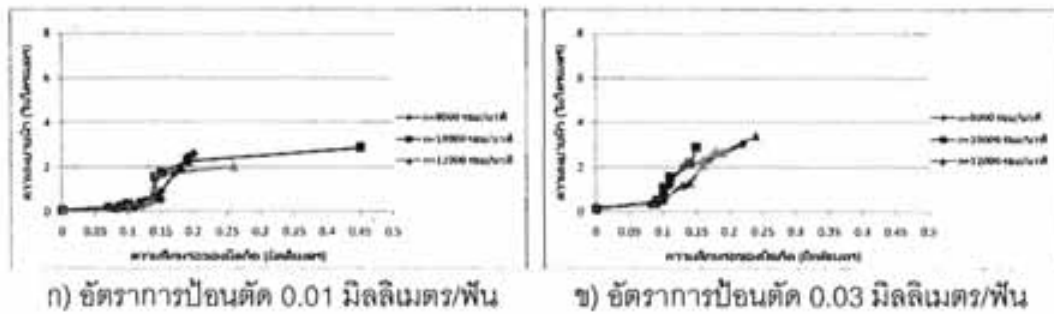
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความลึกหรือของมีดกัดกับความหนาผิว

ภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงความลึกหรือของมีดกัดชนิดหัวบอล เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนาผิวที่ได้ จากรูปจะพบว่าเมื่อขนาดการสึกหรือของมีดกัดชนิดหัวบอล เพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ค่าความหนาผิวที่เพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับการสึกหรือของการตัดแบบแห้ง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงผลของความเร็วยรอบที่แตกต่างกันต่อการสึกหรือของมีดกัด พบว่าความเร็วยรอบไม่มีผลต่ออัตราการสึกหรือของมีดกัดสำหรับการตัดแบบเปียก เนื่องจากผลของสารหล่อเย็นช่วยลดความร้อนบริเวณที่ทำการตัดเฉือน ทำให้การสึกหรือของมีดกัดลดลง

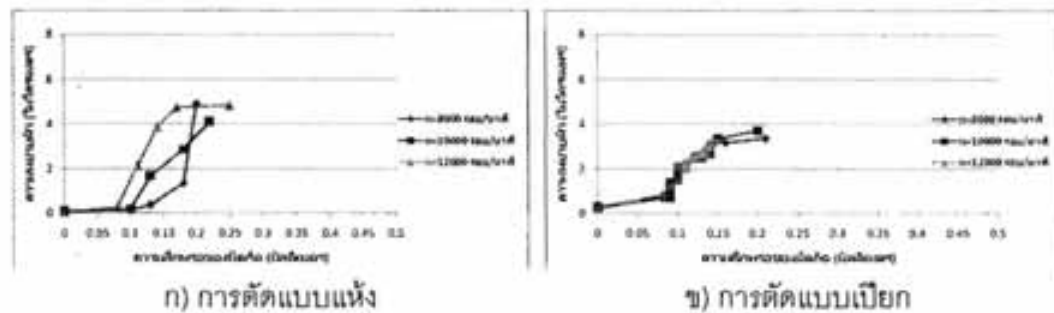


ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือของมีดกัดกับความหนาผิวของการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับผลของอัตราการป้อนตัดที่ส่งผลต่อค่าความหนาผิวของชิ้นงาน พบว่าเมื่ออัตราการป้อนตัดเพิ่มขึ้น ค่าความหนาผิวของชิ้นงานก็จะสูงตามไปด้วย แสดงดังภาพที่ 4.13 โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนที่ค่าความลึกหรือประมาณ 0.15 มิลลิเมตร ซึ่งเหตุผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราการป้อนตัดส่งผลให้ค่าความหนาผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีความหนาผิว (สมการที่ 2.1) ดังได้อธิบายแล้วก่อนหน้านี้ และเมื่อพิจารณาเปรียบการตัดแบบแห้งกับแบบเปียกที่เงื่อนไขการตัดที่เหมือนกัน พบว่าความเร็วยรอบที่แตกต่างกันของการตัดแบบแห้งจะส่งผลต่อค่าความหนาผิวของชิ้นงานซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4.14 จึงอาจกล่าวได้ว่าความเร็วยรอบมีผลต่อค่าความหนาผิวของชิ้นงานของการตัดแบบแห้ง ในขณะที่การตัดแบบเปียกความเร็วยรอบที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่าความหนาผิวของชิ้นงาน ดังเหตุผลที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น



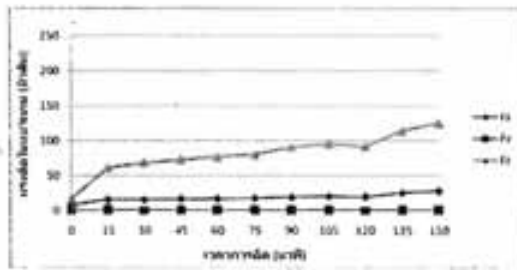
ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหราชอาณาจักรของมีดกัดกับความหนาผิวของการตัดแบบเบี่ยง ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ



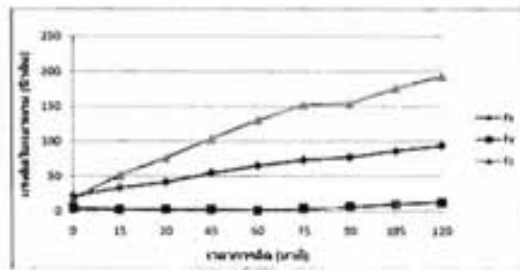
ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหราชอาณาจักรของมีดกัดกับความหนาผิวของอัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/พิน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัด

ภาพที่ 4.15 ถึงภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบระยะเวลาในการตัดกับแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการตัด ในเงื่อนไขต่าง ๆ จากรูปจะพบว่าที่ความเร็วรอบต่าง ๆ แรงในแนวแกน Z, Fz ซึ่งเป็นทิศทางการเคลื่อนที่ตัด ลึกของเครื่องมือตัดจะมีค่าสูงสุด และแรงในแนวแกน X, Fx จะมีค่ารองมาจากแนวแกน Z, Fz ซึ่งแรงในแนวแกน X, Fx นี้เป็นการเคลื่อนที่เข้าไปทำการตัดเอียงของคมตัดเข้าตัดชิ้นงาน ดังนั้นจึงทำให้แนวแกนนี้เกิดแรงตัดสูงตามไปด้วย ในขณะที่แรงในแนวแกน Y, Fy มีค่าต่ำที่สุดและในแนวแกนนี้เป็นแนวแกนที่ใช้เป็นทิศทางในการป้อนตัดชิ้นงาน ซึ่งแรงตัดในแนวแกน Y, Fy ที่เกิดต่ำสุดเนื่องมาจากความกว้างตัดในการทดลองมีค่าต่ำ คือมีค่า 1.2 มิลลิเมตร ซึ่งลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นของการตัดแบบเปียกมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการตัดแบบแห้ง

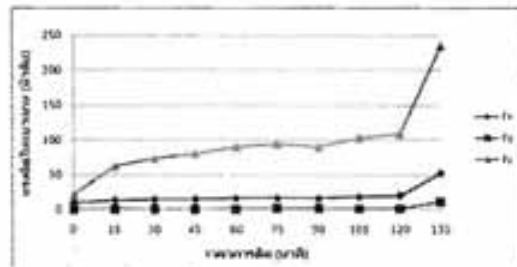


ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

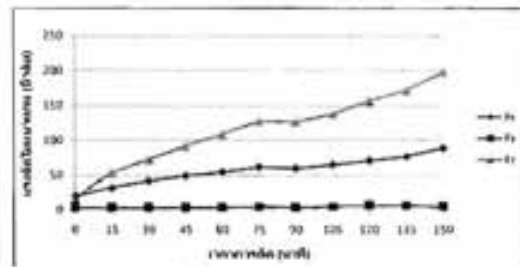


ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบเบี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

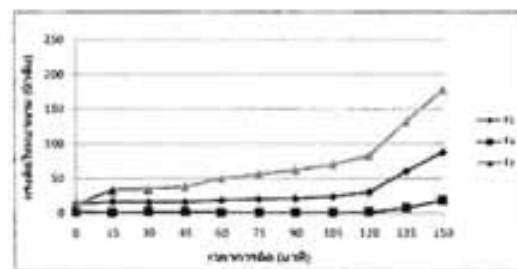


ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

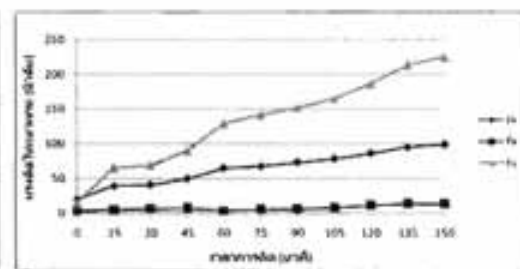


ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบเบี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร



ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน



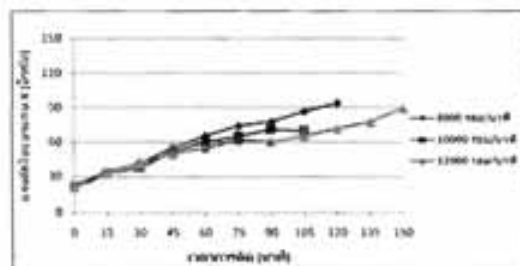
ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบเบี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

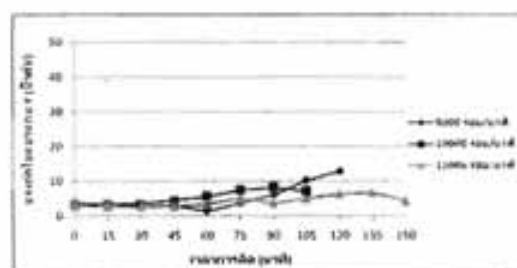
จากภาพจะพบว่าเมื่อพิจารณาที่อัตราการป้อนตัดที่ต่างกัน พบว่าเมื่ออัตราป้อนสูงขึ้นแรงในการตัดเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแตกต่างกับในกรณีของการตัดแบบแห้ง นั่นคือเมื่ออัตราการป้อนตัดเพิ่มขึ้นแรงตัดที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลง สาเหตุที่เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนตัดของการตัดแบบเบี่ยงแล้วแรงตัดที่เกิดขึ้นเพิ่มสูงขึ้น

สามารถอธิบายได้ว่า อัตราการป้อนตัดและความลึกตัดที่สูงขึ้น จะให้พื้นที่ในการตัดของคมมีดกัดเข้าตัด ชิ้นงานมากขึ้นด้วย ซึ่งทำให้มีพื้นที่ในการระบายความร้อนมากขึ้นในขณะที่ตัดออกมากับเศษโลหะได้ดีกว่า อัตราการป้อนตัดและความลึกตัดที่ต่ำ ดังนั้นคมมีดกัดจึงเกิดการสึกหรอช้าและส่งผลให้แรงตัดที่เกิดขึ้น ในขณะที่ตัดต่ำกว่าที่อัตราการป้อนตัดและความลึกตัดที่ต่ำ แต่เนื่องจากการตัดแบบเปียกมีสารหล่อเย็นซึมเข้าไปที่พื้นที่การตัดเฉือน ทำให้บริเวณดังกล่าวแทนที่จะมีความร้อนเหมาะสมที่จะตัดแต่ทำให้เกิดการเย็นตัวลง เมื่อวัสดุแข็งแข็งและทำให้ตัดยากส่งผลให้คมตัดมีโอกาสสึกหรอได้ง่าย ทำให้การตัดเฉือนต้องใช้แรงในการตัดสูงขึ้น

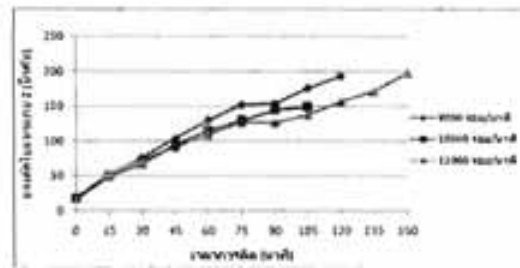
ภาพที่ 4.18 ถึงภาพที่ 4.20 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับแรงตัดที่เกิดขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบในแนวแกนเดียวกันในขณะที่ทำการตัดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ จากรูปจะพบว่าแรงในทั้ง 3 แนวแกนแรงตัดในแนวแกน Z, F_z จะมีค่าที่สูงกว่าแรงตัดในแนวแกนอื่น และที่ความเร็วรอบที่สูงแรงตัดที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่ลดลง ดังเหตุผลที่ได้อธิบายแล้วในส่วนของการตัดแบบแห้ง



ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน X, F_x ของการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน Y, F_y ของการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

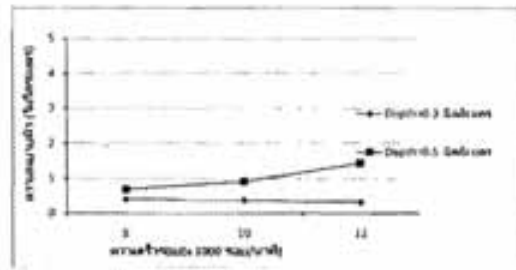


ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน Z, Fz ของการตัดแบบเปียกด้วยความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

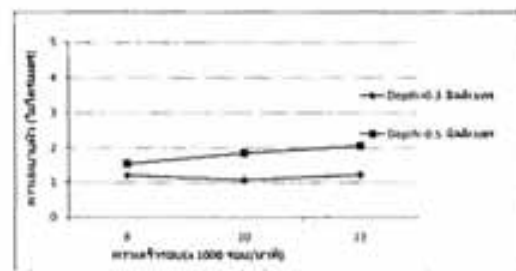
4.5 ปัจจัยจากเงื่อนไขการตัดต่างๆ

ภาพที่ 4.21 และภาพที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่อัตราป้อนตัด 0.01 และ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน และที่ความลึกตัด 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตรตามลำดับระยะเวลาในการตัดที่ 60 นาที พบว่าที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตรจะมีค่าความหยาบผิวที่ต่ำกว่าที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตรทั้งสองอัตราการป้อนตัด สามารถอธิบายได้ว่าที่ความลึกในการตัดสูงจะทำให้มีโอกาสในการสั่นขณะทำการตัดสูงขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อเกิดการสั่นจึงทำให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

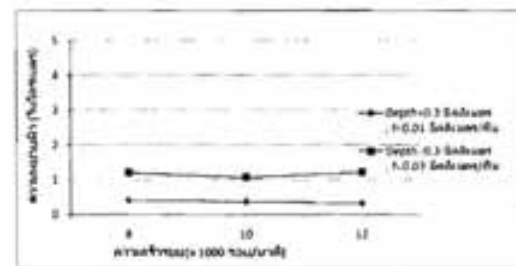
ภาพที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับความหยาบผิวของชิ้นงาน ที่อัตราการป้อนตัดที่แตกต่าง คือ อัตราการป้อนตัดที่ 0.01 และ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร พบว่าที่อัตราการป้อนตัดที่ต่ำจะให้ความหยาบผิวที่ต่ำกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีความหยาบผิวของชิ้นงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ เมื่อพิจารณาที่อัตราการป้อนตัดที่ 0.01 มิลลิเมตร เมื่อความเร็วรอบในการตัดสูงขึ้น ค่าความหยาบผิวมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นจะทำให้บริเวณพื้นที่ตัดเฉือนเกิดอุณหภูมิสูง จึงส่งผลให้บริเวณเนื้อโลหะบริเวณนั้นเกิดการอ่อนตัวทำให้การตัดเฉือนง่ายขึ้น เมื่อการตัดเฉือนง่ายจะส่งผลให้ผิวชิ้นงานที่ได้มีค่าความหยาบผิวที่ต่ำด้วย



ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบเบี่ยง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที



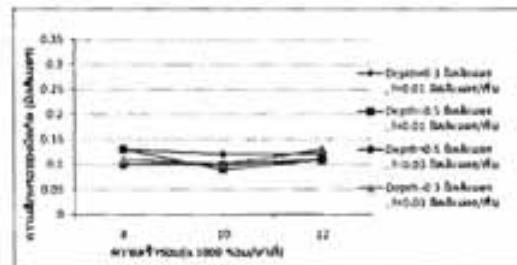
ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบเบี่ยง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที



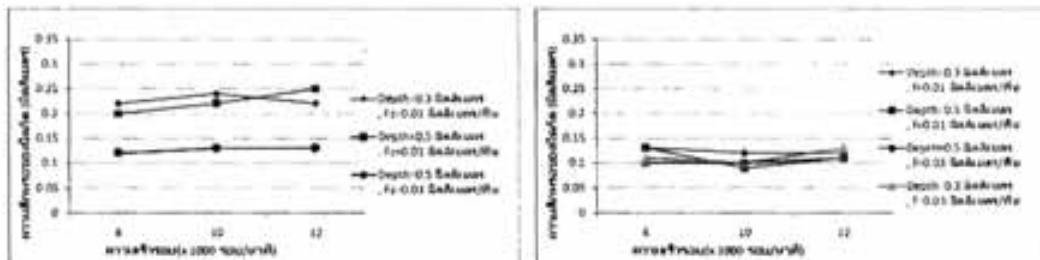
ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบเบี่ยง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขนาดความลึกหรือของมีดกัดที่อัตราป้อนตัด 0.01 และ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน และที่ความลึกตัด 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตรตามลำดับ ระยะเวลาในการตัดที่ 60 นาที พบว่าขนาดความลึกหรือของมีดกัดมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ

การตัดแบบแห้ง ดังภาพที่ 4.25 พบว่าอัตราการสึกหรอของมิดกัตแบบเปียกจะมีค่าต่ำกว่าการตัดแบบแห้ง ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า สารหล่อเย็นสามารถช่วยในการลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดและช่วยในการยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด เมื่ออัตราการสึกหรอของเครื่องมือตัดต่ำก็ส่งผลโดยตรงต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน นั่นคือจะทำให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานต่ำไปด้วย และนอกจากนี้ผลของสารหล่อเย็นที่ใช้อย่างช่วยให้อุณหภูมิบริเวณที่ทำการตัดเฉือนมีความเหมาะสมกว่าการตัดแบบแห้งซึ่งไม่มีสารหล่อเย็นช่วยจึงทำให้เกิดความร้อนสูง ส่งผลให้เกิดความสึกหรอสูงตามไปด้วย ซึ่งภาพที่ 4.26 เป็นการเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานของการตัดแบบแห้งกับการตัดแบบเปียก



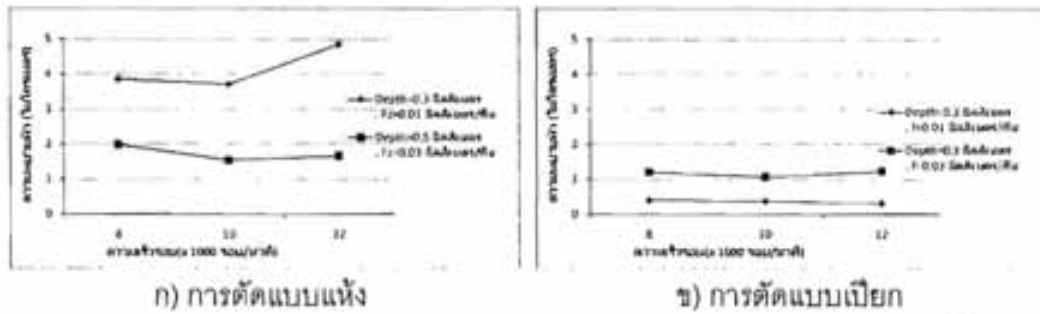
ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขนาดความสึกหรอของการตัดแบบเปียก ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที



ก) การตัดแบบแห้ง

ข) การตัดแบบเปียก

ภาพที่ 4.25 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการตัดกับความสึกหรอของมิดกัตที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ



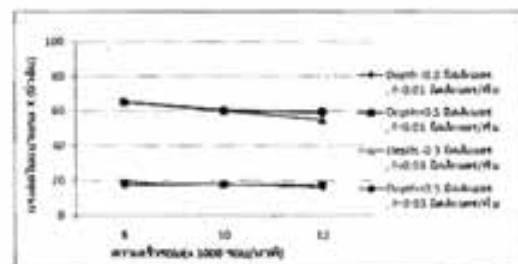
ก) การตัดแบบแห้ง

ข) การตัดแบบเปียก

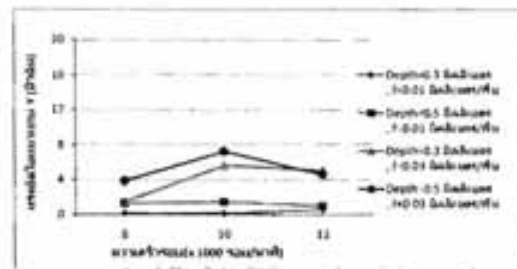
ภาพที่ 4.26 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการตัดกับความหนายืดของชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ

ภาพที่ 4.27 ถึงภาพที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดที่เกิดขึ้น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ซึ่งจะพบว่า ที่อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน จะเกิดแรงตัดที่สูงกว่าที่อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ทั้งสามแนวแกน สามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออัตราการป้อนตัดสูงขึ้นการเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือนของมีดกัดมีมากขึ้น จึงทำให้มีพื้นที่ในการตัดเฉือนสูงตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อพื้นที่ในการตัดเฉือนสูงก็ส่งผลให้เกิดแรงตัดสูงด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาที่อัตราการป้อนตัดที่เท่ากัน พบว่าที่ความลึกตัดที่ต่างกัน คือ ที่ความลึกตัด 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร แรงตัดที่เกิดขึ้นค่อนข้างที่จะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าผลของการใช้สารหล่อเย็นฉีดไปยังบริเวณที่ทำการตัดเฉือน ทำให้ที่ความลึกตัดที่สูงกว่าแทนที่จะมีความร้อนเหมาะสมที่จะตัดทำให้การตัดเฉือนทำได้ง่าย กลายเป็นสารหล่อเย็นทำให้บริเวณดังกล่าวเย็นตัวลงเร็วกว่าปกติ จึงทำให้แรงตัดที่เกิดขึ้นไม่ต่างกับที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

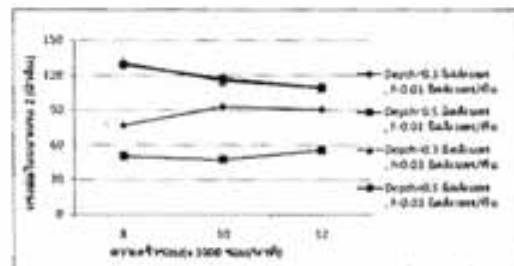
อีกเหตุผลหนึ่งคือ พื้นที่การตัดของความลึกตัด 0.5 จะทำให้การระบายความร้อนได้ดีกว่าความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร ทำให้มีดตัดสึกหรอช้ากว่าจึงส่งผลให้แรงคัตน้อยลงไปด้วย



ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบเปียก ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที



ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบเบี่ยง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที



ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบเบี่ยง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที

4.6 สรุปผลการทดลอง

ระยะเวลาในการตัดนานขึ้นแนวโน้มของความเร็วยรอบกับค่าความหยาบผิวจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกล่าวคือ ความเร็วยรอบที่สูงขึ้นและระยะเวลาในการตัดที่ยาวนานขึ้นจะให้ค่าความหยาบผิวที่เพิ่มขึ้นด้วย

ความเร็วยรอบที่สูงขึ้นจะส่งผลให้อายุการใช้งานของมีดกัดมีแนวโน้มสั้นลง เนื่องจากที่ความเร็วยรอบที่สูงจะทำให้ความสามารถในการหล่อลื่นหล่อเย็นของสารหล่อเย็นน้อยลง เนื่องจากที่ความเร็วยรอบสูงสารหล่อเย็นเข้าไปยังบริเวณการเกิดการตัดเฉือนได้ยากทำให้ประสิทธิภาพในการหล่อลื่นหล่อเย็นลดลง

อัตราการป้อนตัดที่สูงทำให้การเคลื่อนที่เข้าตัดเนื้อโลหะสูงขึ้นทำให้แรงตัดเพิ่มสูงขึ้น และความลึกตัดที่สูงกว่าจะมีอุณหภูมิเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นที่การตัดเฉือนสูง แต่เมื่อได้รับการหล่อเย็นจากสารหล่อเย็นทำให้เกิด

การเย็นตัวลง ทำให้การตัดเจียนทำได้ยากขึ้นและแรงตัดที่มากขึ้นด้วย จึงส่งผลให้มีว่สำเร็จที่ต่ำกว่าที่ความลึกตัดต่ำ

สารหล่อเย็นสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของมีดกัดยาวนานขึ้น เนื่องจากผลของการช่วยในการลดความร้อนในขณะที่ทำการตัดเจียน และนอกจากนี้ยังช่วยในการหล่อลื่น จึงทำให้อายุการใช้งานของมีดกัดยาวนานขึ้น

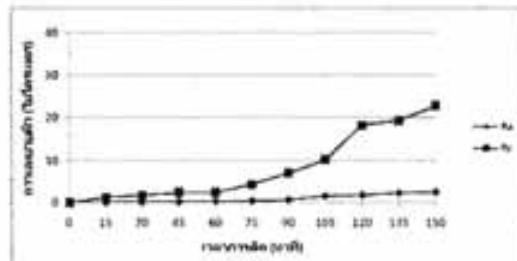
บทที่ 5

การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น

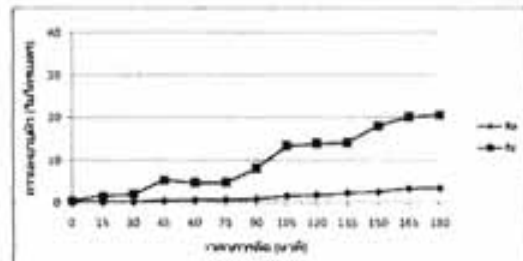
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความลึกหรือของมีดกัดกับความหนามผิว

จากภาพที่ 5.1 ถึงภาพที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการตัดกับค่าความหนามผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบและอัตราการป้อนตัดต่าง ๆ จะพบว่าค่าความหนามผิวมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการตัดนานขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของการสึกหรอของมีดกัด สามารถอธิบายได้ว่าที่เวลาการตัดที่ยาวนานขึ้น การสึกหรอของเครื่องมือตัดเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับการตัดแบบแห้งและแบบเปียก

เมื่อเปรียบเทียบกับ การตัดแบบแห้งที่เงื่อนไขการตัดเดียวกัน พบว่าการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น จะให้ความหนามผิวดำกว่าและมีอายุการใช้งานของมีดกัดโดยรวมแล้วที่ยาวนานกว่า แสดงดังภาพที่ 5.4 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า สเปรย์ของสารหล่อเย็นสามารถช่วยในการลดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ที่ทำการตัดเฉือน จึงช่วยลดการสึกหรอของมีดกัดทำให้ค่าความหนามผิวลดลงไปด้วย เนื่องจากความหนามผิวแปรผันตามค่าความลึกหรือของมีดกัด นั่นคือเมื่อมีดกัดเกิดการสึกหรอมากก็จะทำให้ได้ค่าความหนามผิวที่สูง เมื่อมีการสึกหรอที่ต่ำก็จะส่งผลให้อายุการใช้งานของมีดกัดยาวนานขึ้นด้วย



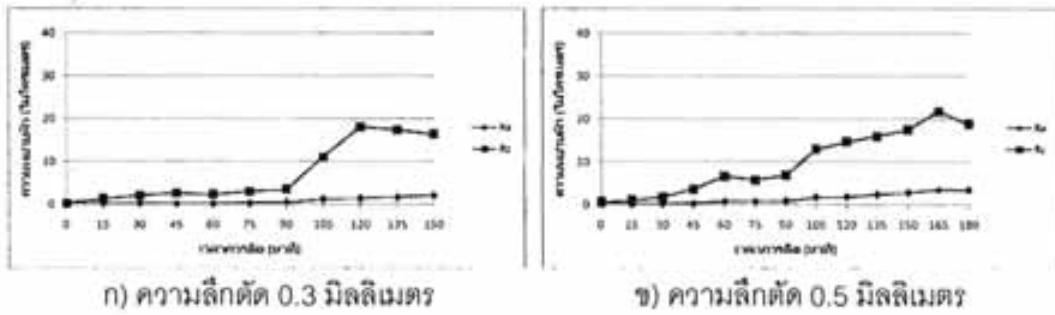
ก) ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร



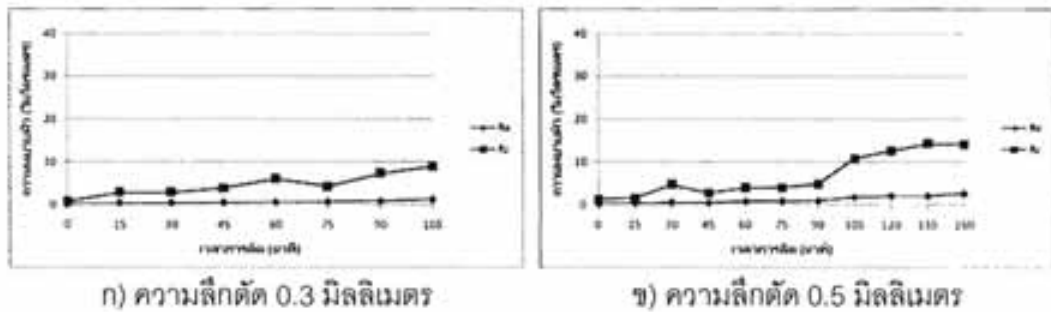
ข) ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหนามผิวของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่

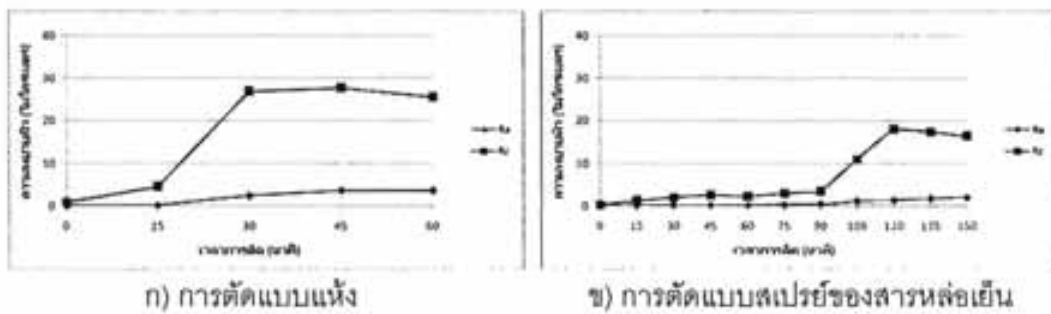
ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน



ภาพที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน



ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

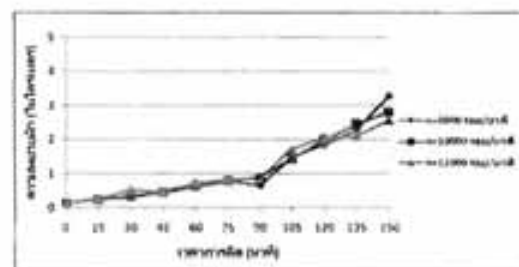


ภาพที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

ภาพที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบในการตัดที่ต่างกัน พบว่าเมื่อเวลาการตัดที่ยาวนานยิ่งขึ้นค่าความหยาบผิวของชิ้นงานก็จะยิ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้นและจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการตัดที่ยาวนานขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังจากนาทีที่ 90 ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมีอัตรา

เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนทั้งสามอัตราความเร็วรอบ สามารถอธิบายได้ว่า ระยะเวลาในการตัดยาวนานขึ้นทำให้ ความสึกหรอของมีดกัดเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้มีดกัดเกิดการสึกหรอมากยิ่งขึ้น เมื่ออัตราการสึกหรอเพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลโดยตรงต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

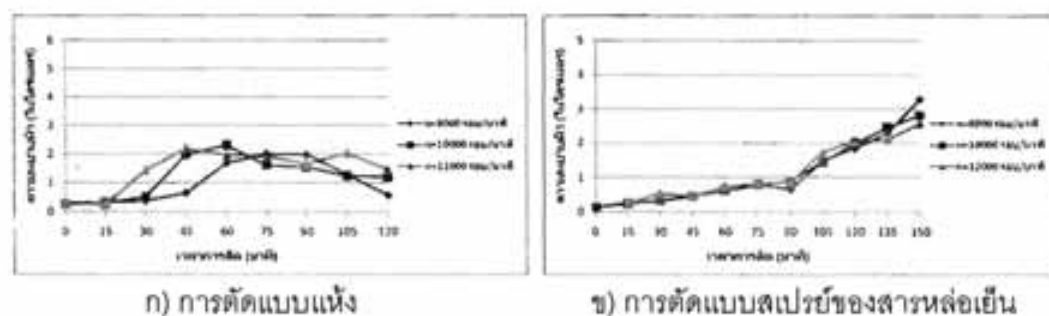
เมื่อทำการตัดในขณะที่มีดกัดยังใหม่ ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานจะมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีดกัด ยังใหม่อยู่คมตัดของมีดกัดยังคงมีความคมอยู่ ดังจะเห็นได้จากภาพจะพบว่าในช่วง 90 นาทีแรกค่าความ หยาบผิวก่อนข้างจะต่ำ เหตุผลหนึ่งที่ค่าความหยาบผิวก่อนข้างจะต่ำคือ การใช้สเปรย์ของสารหล่อเย็นช่วยใน การตัด เนื่องจากสเปรย์ของสารหล่อเย็นถูกฉีดด้วยแรงดันที่ 5 บาร์ [7] ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อลื่น/ หล่อเย็น โดยที่ละอองของสารหล่อเย็นเข้าถึงยังบริเวณที่ทำการตัดเฉือนทำให้บริเวณดังกล่าวอุณหภูมิลดลง ส่งผลให้การสึกหรอของมีดกัดลดลงด้วย อย่างไรก็ตามที่ความเร็วรอบที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อค่าความหยาบ ผิวของชิ้นงานซึ่งอาจจะเป็นผลของการหล่อเย็นแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นนั่นเอง



ภาพที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิว (R_a) ของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ความเร็วรอบในการตัดที่ต่างกันของการ ตัดแบบแห้งและแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น พบว่าเมื่อระยะเวลาการตัดยาวนานขึ้นค่าความหยาบผิวของ ชิ้นงานของการตัดแบบแห้งมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นค่าความหยาบผิวของ ชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า ในกรณีของการตัดแบบแห้งจะเกิดการสึกหรอของมีดกัดที่บริเวณผิว หลบส่วนปลายคมตัดขึ้น ซึ่งการสึกหรอบริเวณดังกล่าวจะมีผลต่อค่าความหยาบผิวโดยตรง ดังนั้นเมื่อ ระยะเวลาในการตัดยาวนานขึ้นอัตราการสึกหรอเพิ่มมากขึ้น จึงช่วยลบรอยการป้อนของมีดกัดที่อยู่บน ผิวชิ้นงานจึงทำให้ค่าความหยาบผิวลดลง เนื่องจากขนาดที่ใหญ่ขึ้นของการสึกหรอของมีดกัดที่บริเวณผิว หลบส่วนปลายคมตัด ดังอธิบายมาแล้วข้างต้นในส่วนของการตัดแบบแห้ง ส่วนการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น การสึกหรอของมีดกัดที่บริเวณผิวหลบส่วนปลายคมตัดขึ้นเกิดขึ้นน้อยมาก จึงไม่เกิดปรากฏการณ์ดังเช่นการ

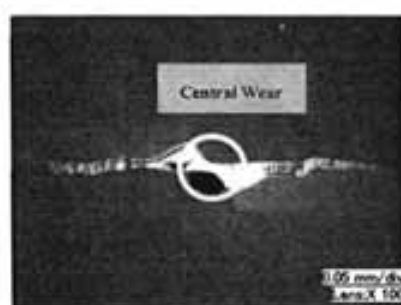
ตัดแบบแห้ง ดังนั้นค่าความหยาบผิวของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นจึงมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งการสึกหรอของมีดกัดของการตัดแบบแห้งและแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นแสดงดังภาพที่ 5.7



ก) การตัดแบบแห้ง

ข) การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น

ภาพที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความหยาบผิวของชิ้นงานที่อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ



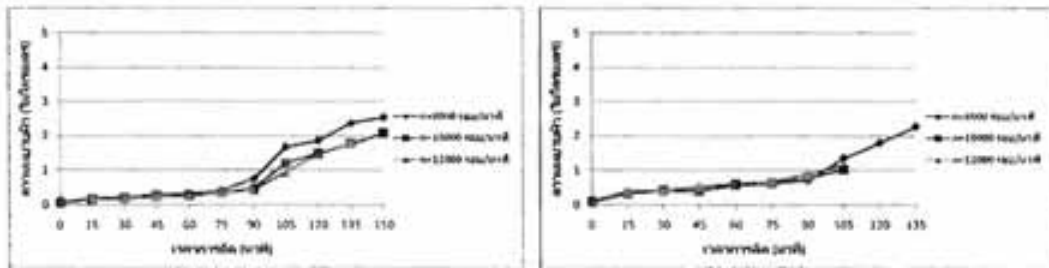
ก) การตัดแบบแห้ง



ข) การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น

ภาพที่ 5.7 เปรียบเทียบภาพถ่ายขนาดความลึกของมีดกัดของ ก) การตัดแบบแห้ง และ ข) การตัดแบบเปียก ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 5.8 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่อัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน คือ ที่อัตราการป้อนตัดที่ 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน และ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ตามลำดับ จะพบว่าค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน จะมีค่าสูงกว่าอัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นไปตามทฤษฎีของความหยาบผิวของชิ้นงาน ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จากทฤษฎีของค่าความหยาบผิว (สมการที่ 2.1) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้



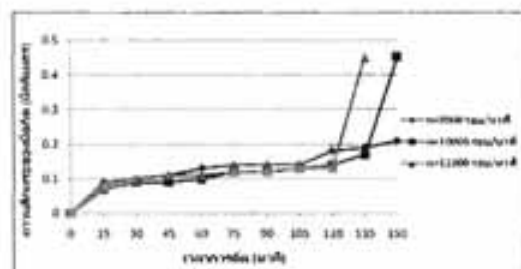
ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

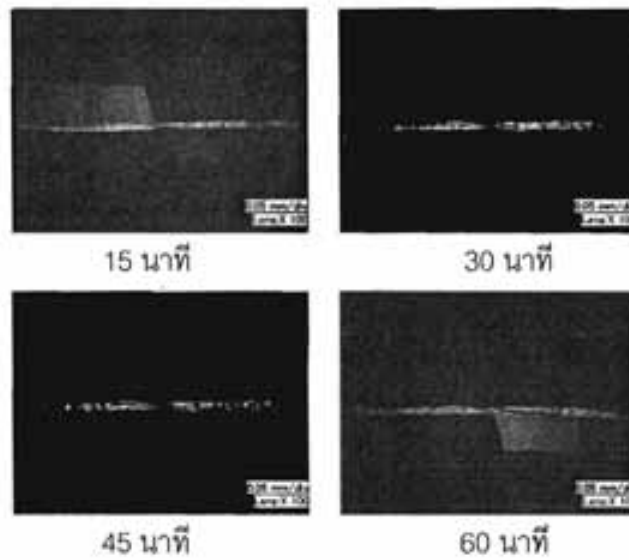
ภาพที่ 5.8 เปรียบเทียบความหยาบผิวของชิ้นงานของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับขนาดความลึกหรือของมิดกัต

ผลการทดลองและภาพถ่ายแสดงความลึกหรือของมิดกัตที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 5.9 และภาพที่ 5.10 เนื่องจากกลไกการสึกหรอเป็นลักษณะเดียวกันกับการตัดแบบแห้ง ดังนั้นในที่นี้จะแสดงเพียงบางเงื่อนไขการตัด เพื่อให้เห็นถึงขนาดการสึกหรอของมิดกัตเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการตัดเพิ่มมากขึ้น โดยมีอัตราการสึกหรอที่ค่อนข้างจะสูงในช่วงแรก (ช่วง 15 นาทีแรก) เมื่อทำการตัดไประยะหนึ่งอัตราการสึกหรอค่อย ๆ ลดลงเช่นเดียวกับการตัดแบบแห้ง และนอกจากนี้ที่ความเร็วรอบสูงขึ้นไปจะทำให้อายุการใช้งานของมิดกัตสั้นลง เนื่องจากที่ความเร็วรอบสูงจะเกิดอุณหภูมิสูงขึ้นด้วยเช่นกันทำให้ผิวเคลือบของมิดกัตเกิดการเสียหายได้เร็วขึ้น ส่งผลให้อายุการใช้งานของมิดกัตสั้นลง

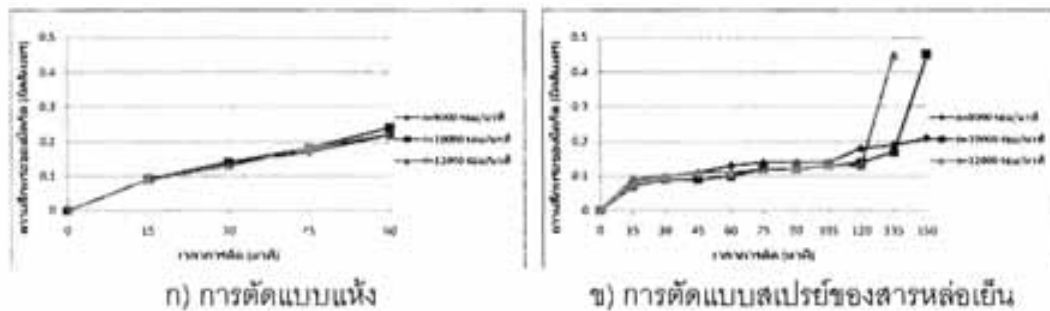


ภาพที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความลึกหรือของมิดกัตของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 5.10 ภาพถ่ายขนาดความลึกหรือของมิดกัตของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

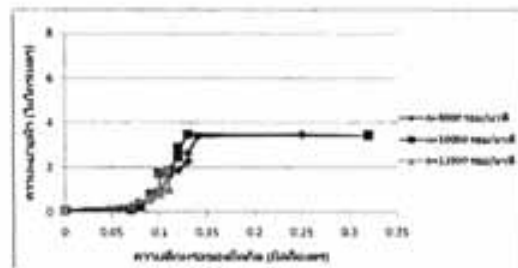
ภาพที่ 5.11 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของมิดกัตของการตัดแบบแห้งกับแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่เงื่อนไขการตัดเดียวกัน จะพบว่าที่ระยะเวลาการตัดที่เท่ากัน การตัดแบบเปียกจะมีอัตราการสึกหรอที่ต่ำกว่าการตัดแบบแห้ง และเมื่อพิจารณาถึงอายุการใช้งานของมิดกัตของการตัดแบบแห้งและแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น พบว่าการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นจะมีอายุการใช้งานของมิดกัตที่ยาวนานกว่าการตัดแบบแห้ง ซึ่งเหตุผลดังได้อธิบายมาแล้วก่อนหน้านี้



ภาพที่ 5.11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตัดกับความสึกหรอของมิดกัตที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความลึกหรือของมีดกัดกับความหนาผิว

ภาพที่ 5.12 แสดงให้เห็นถึงความลึกหรือของมีดกัด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนาผิวที่ได้ จากรูปจะพบว่าเมื่อขนาดการสึกหรอของมีดกัด เพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ค่าความหนาผิวที่เพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับการสึกหรอของการตัดแบบแห้ง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงผลของความเร็วรอบที่แตกต่างกันต่อการสึกหรอของมีดกัด พบว่าความเร็วรอบไม่มีผลต่ออัตราการสึกหรอของมีดกัดสำหรับการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น เนื่องจากผลของสเปรย์ของสารหล่อเย็นช่วยลดความร้อนบริเวณที่ทำการตัดเฉือน ทำให้การสึกหรอของมีดกัดลดลง

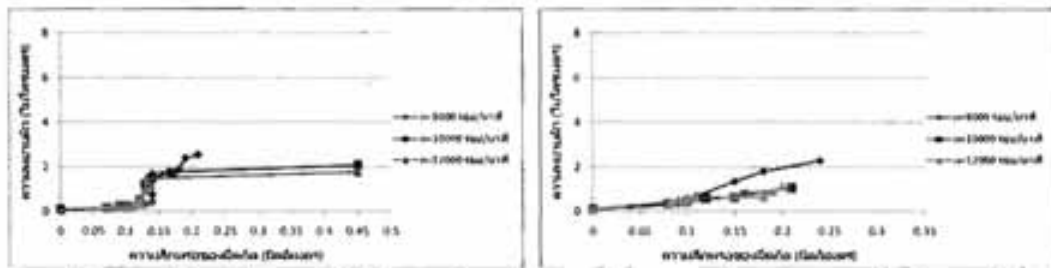


ภาพที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือของมีดกัดกับความหนาผิวของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับผลของอัตราการป้อนตัดที่ส่งผลต่อค่าความหนาผิวของชิ้นงาน พบว่าเมื่ออัตราการป้อนตัดเพิ่มขึ้น ค่าความหนาผิวของชิ้นงานก็จะสูงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามค่าความหนาผิวของชิ้นงานจะมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน (แสดงดังภาพที่ 5.13) ในช่วงที่มีการสึกหรอค่อนข้างต่ำคือประมาณ 0.12 มิลลิเมตร แต่เมื่อการสึกหรอเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นพบว่าที่อัตราการป้อนตัดที่สูงขึ้นให้ค่าความหนาผิวที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อความเร็วรอบต่างกัน โดยที่ความเร็วรอบต่ำจะให้ค่าความหนาผิวที่สูงกว่า ในขณะที่อัตราการป้อนต่ำ ความเร็วรอบที่แตกต่างกันจะมีค่าความหนาผิวของชิ้นงานไม่ค่อยแตกต่างกัน ซึ่งที่อัตราป้อนที่ต่างกันจะให้ค่าความหนาผิวที่แตกต่างกันตามทฤษฎีของความหนาผิวดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ส่วนที่อัตราการป้อนตัดที่สูงที่ความเร็วรอบที่แตกต่างกัน จะได้ค่าความเรียบผิวที่แตกต่างกันนั้นสามารถอธิบายได้ว่า ที่ความเร็วรอบในการตัดต่ำความสามารถในการหล่อเย็นของสารหล่อเย็นของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นดีกว่าที่ความเร็วรอบสูง เพราะละอองของสารหล่อเย็นสามารถแทรกตัวเข้าไปยัง

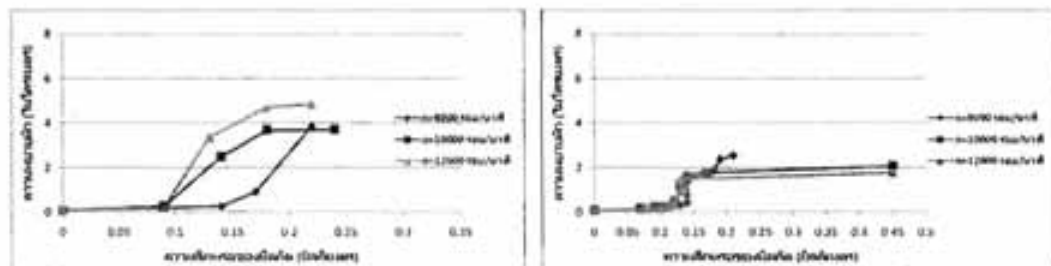
บริเวณที่ทำการตัดเฉือนได้ดีกว่า ทำให้บริเวณดังกล่าวเกิดการเย็นตัวเร็วขึ้นทำให้การตัดเฉือนเป็นไปได้อย่าง
 ส่งผลให้มีค่าความหนาผิวที่สูงกว่า ในขณะที่ความเร็วรอบสูงละอองจะถูกพัดพาออกจากบริเวณที่ทำการตัด
 เฉือนได้ดีกว่า จึงทำให้อุณหภูมิที่บริเวณดังกล่าวยังสูงอยู่ทำให้ชิ้นงานเกิดการอ่อนตัวสูงกว่า ส่งผลให้การตัด
 เฉือนทำได้ง่ายจึงทำให้ได้ค่าความหนาผิวที่ต่ำกว่า และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการตัดแบบแห้งกับแบบสเปรย์
 ของสารหล่อเย็นที่เงื่อนไขการตัดที่เหมือนกัน พบว่าความเร็วรอบที่แตกต่างกันของการตัดแบบแห้งจะส่งผลต่อ
 ค่าความหนาผิวของชิ้นงานซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 5.14 จึงอาจกล่าวได้ว่าความเร็วรอบมีผลต่อค่า
 ความหนาผิวของชิ้นงานของการตัดแบบแห้ง ในขณะที่การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นความเร็วรอบที่
 ต่างกันไม่มีผลต่อค่าความหนาผิวของชิ้นงาน ดังเหตุผลที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น



ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 5.13 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหระของมีดกัดกับความหนาผิวของการตัดแบบ
 สเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ



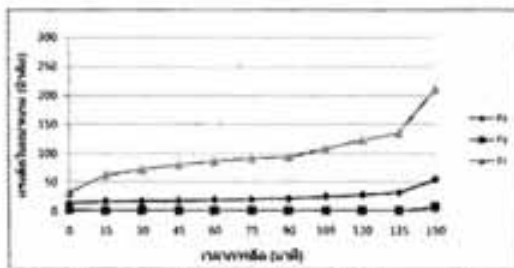
ก) การตัดแบบแห้ง

ข) การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น

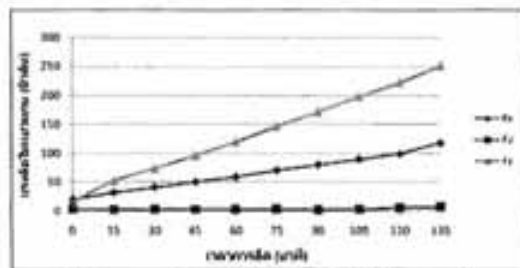
ภาพที่ 5.14 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหระของมีดกัดกับความหนาผิวที่อัตราการป้อนตัด
 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัด

ภาพที่ 5.15 ถึงภาพที่ 5.17 เปรียบเทียบระยะเวลาในการตัดกับแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะทำการตัดในเงื่อนไขต่าง ๆ จากรูปจะพบว่าที่ความเร็วรอบต่าง ๆ แรงในแนวแกน Z, Fz ซึ่งเป็นทิศทางการเคลื่อนที่ตัดลึกของเครื่องมือตัดจะมีค่าสูงสุด และแรงในแนวแกน X, Fx จะมีค่ารองมาจากแนวแกน Z, Fz ซึ่งแรงในแนวแกน X, Fx นี้เป็นการเคลื่อนที่เข้าไปทำการตัดเฉือนของคมตัดเข้าตัดชิ้นงาน ดังนั้นจึงทำให้แนวแกนนี้เกิดแรงตัดสูงตามไปด้วย ในขณะที่แรงในแนวแกน Y, Fy มีค่าต่ำที่สุดและในแนวแกนนี้เป็นแนวแกนที่ใช้เป็นทิศทางในการป้อนตัดชิ้นงาน ซึ่งแรงตัดในแนวแกน Y, Fy ที่เกิดต่ำสุดเนื่องมาจากความกว้างตัดในการทดลองมีค่าต่ำ คือมีค่า 1.2 มิลลิเมตร ซึ่งลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการตัดแบบแห้งและการตัดแบบเปียก

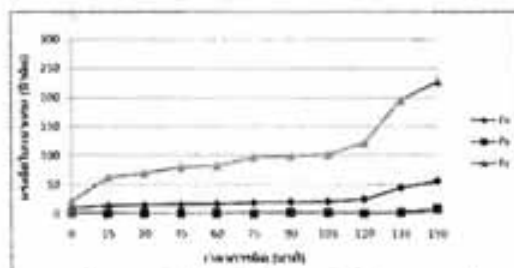


ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

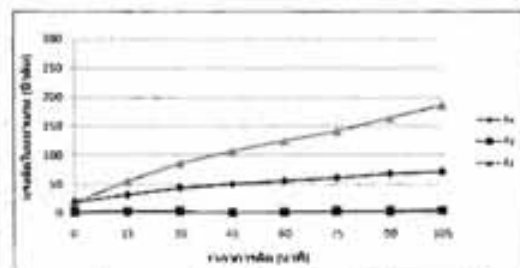


ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 5.15 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

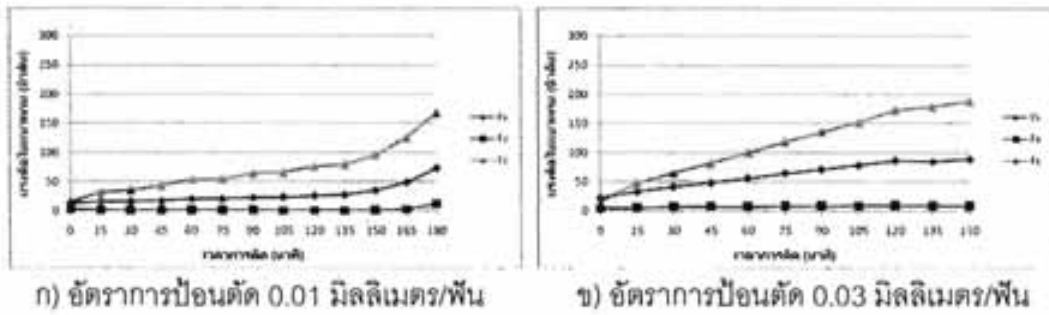


ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน



ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 5.16 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร



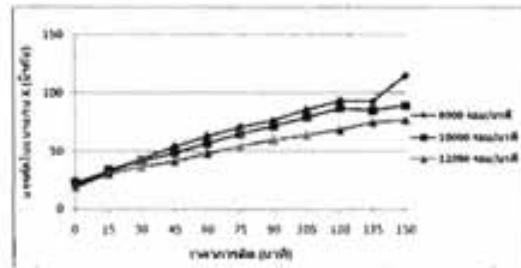
ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

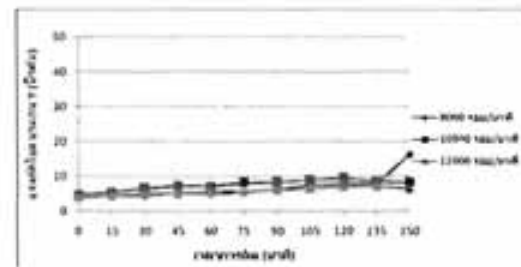
ภาพที่ 5.17 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

จากภาพจะพบว่าเมื่อพิจารณาที่อัตราการป้อนตัดที่ต่างกัน พบว่าเมื่ออัตราป้อนสูงขึ้นแรงในการตัดเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแตกต่างกับในกรณีของการตัดแบบแห้ง นั่นคือเมื่ออัตราการป้อนตัดเพิ่มขึ้นแรงตัดที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลง สาเหตุที่เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนตัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นแล้วแรงตัดที่เกิดขึ้นเพิ่มสูงขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนตัดสูงขึ้นจะทำให้อัตราการกำจัดเนื้อโลหะเพิ่มสูงขึ้นหรืออัตราการเข้าตัดเฉือนเนื้อโลหะของมีดกัดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้การระบายความร้อนออกมากับเศษตัดทำได้ดีกว่า และที่บริเวณพื้นที่ตัดเฉือนจะเกิดอุณหภูมิสูงแรงตัดควรจะน้อยเนื่องจากเนื้อวัสดุจะอ่อนตัว แต่เนื่องจากการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นมีสารหล่อเย็นฉีดละอองของสารหล่อเย็นเข้าไปที่พื้นที่การตัดเฉือน ทำให้บริเวณดังกล่าวแทนที่จะมีความร้อนเหมาะสมที่จะตัดแต่ทำให้เกิดการเย็นตัวลงเนื้อวัสดุจึงแข็งและทำให้ตัดยากส่งผลให้คมตัดมีโอกาสสึกหรอได้ง่าย ทำให้การตัดเฉือนต้องใช้แรงในการตัดสูงขึ้น ซึ่งเหตุผลดังกล่าวนี้ได้อธิบายมาแล้วในการตัดแบบเปียก

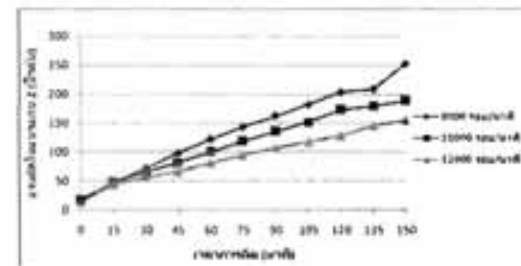
ภาพที่ 5.18 ถึงภาพที่ 5.20 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการตัดกับแรงตัดที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบในแนวแกนเดียวกันในขณะที่ทำการตัดที่ความเร็วรอบต่าง ๆ จากรูปจะพบว่าแรงในทั้ง 3 แนวแกนแรงตัดในแนวแกน Z, Fz จะมีค่าที่สูงกว่าแรงตัดในแนวแกนอื่น และที่ความเร็วรอบที่สูงแรงตัดที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่ลดลง ดังเหตุผลที่ได้อธิบายแล้วในส่วนของการตัดแบบแห้งและการตัดแบบเปียก



ภาพที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน X, F_x ของการตัดแบบสเปิร์ชของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร



ภาพที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน Y, F_y ของการตัดแบบสเปิร์ชของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

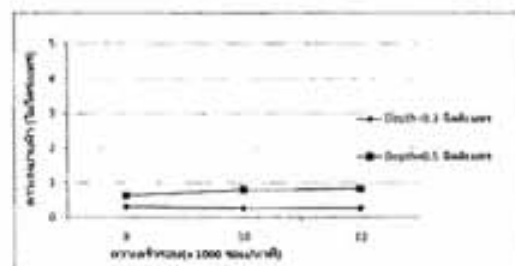


ภาพที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตัดกับแรงตัดในแนวแกน Z, F_z ของการตัดแบบสเปิร์ชของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร

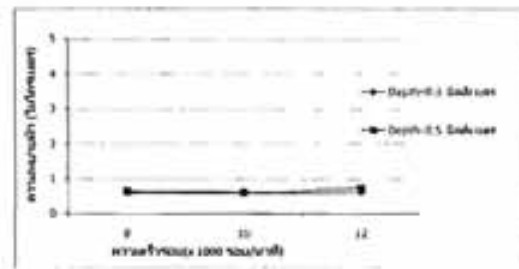
5.5 ปัจจัยจากเงื่อนไขการตัดต่างๆ

ภาพที่ 5.21 และภาพที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่อัตราการป้อนตัด 0.01 และ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน และที่ความลึกตัด 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ระยะเวลาในการตัดที่ 60 นาที พบว่าที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตรจะมีค่าความหยาบผิวที่ต่ำกว่าที่ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร ที่อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความลึกตัดต่ำจะให้ค่าความหยาบผิวที่ต่ำกว่าที่ความลึกตัดสูง สามารถอธิบายได้ว่าที่ความลึกในการตัดสูงจะทำให้มีโอกาสในการสั่นขณะทำการตัดสูงขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อเกิดการสั่นจึงทำให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ในขณะที่อัตราการป้อนตัดที่สูงค่าความหยาบผิวที่ได้ทั้งสองระดับความลึกมีค่าใกล้เคียงกัน สามารถอธิบายได้ด้วยการสั่นเช่นเดียวกัน เพราะเมื่ออัตราการป้อนตัดที่สูงขึ้นจะทำให้มีโอกาสในการสั่นเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน และในขณะเดียวกันที่ความลึกในการตัดที่สูงจะช่วยระบายความร้อนในขณะตัดได้ดีทำให้อุณหภูมิในการตัดที่เหมาะสมกว่าที่ความลึกในการต่ำ และเนื่องจากสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ช่วยด้วยจึงส่งผลให้ค่าความหยาบผิวที่ได้ไม่แตกต่างกัน

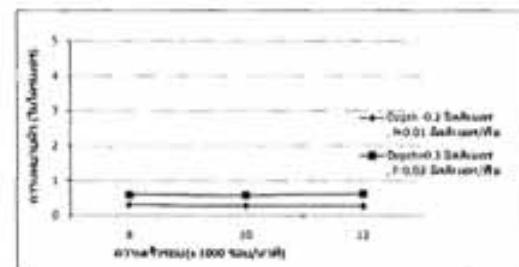
ภาพที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับความหยาบผิวของชิ้นงาน ที่อัตราการป้อนตัดที่แตกต่าง คือ อัตราการป้อนตัดที่ 0.01 และ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร พบว่าที่อัตราการป้อนตัดที่ต่ำจะให้ค่าความหยาบผิวที่ต่ำกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีความหยาบผิวของชิ้นงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ เมื่อพิจารณาที่อัตราการป้อนตัดที่ 0.01 มิลลิเมตร เมื่อความเร็วรอบในการตัดสูงขึ้น ค่าความหยาบผิวมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นจะทำให้บริเวณพื้นที่ตัดเฉือนเกิดอุณหภูมิสูง จึงส่งผลให้บริเวณเนื้อโลหะบริเวณนั้นเกิดการอ่อนตัวทำให้การตัดเฉือนง่ายขึ้น เมื่อการตัดเฉือนง่ายจะส่งผลให้ผิวชิ้นงานที่ได้มีค่าความหยาบผิวที่ต่ำด้วย



ภาพที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่างๆ อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที

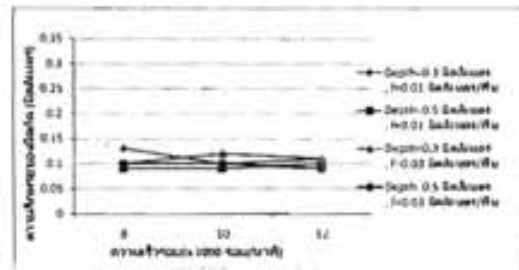


ภาพที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (Ra) ของการตัดแบบเสปร์ย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัดที่ 60 นาที

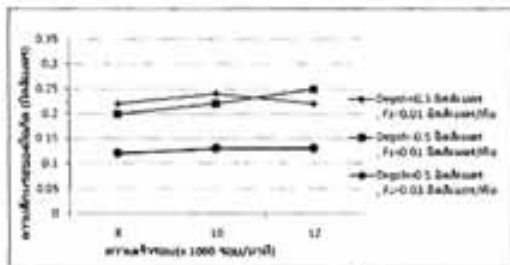


ภาพที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความหยาบผิว (Ra) ของการตัดเสปร์ย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3 มิลลิเมตร

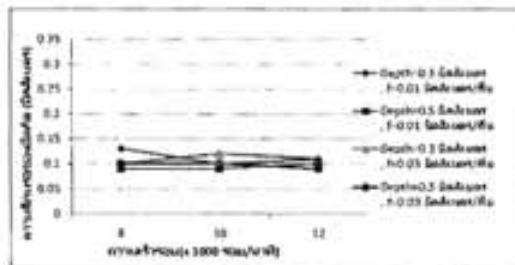
ภาพที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขนาดความลึกหรือของมีดกัดที่อัตราป้อนตัด 0.01 และ 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน และที่ความลึกตัด 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตรตามลำดับ ระยะเวลาในการตัดที่ 60 นาที พบว่าขนาดความลึกหรือของมีดกัดมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ การตัดแบบแห้ง ดังภาพที่ 5.25 พบว่าอัตราการสึกหรอของมีดกัดแบบเสปร์ย์ของสารหล่อเย็นจะมีค่าต่ำกว่า การตัดแบบแห้ง ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า การใช้เสปร์ย์ของสารหล่อเย็นสามารถช่วยในการลดการสึกหรอของ มีดกัดและช่วยในการยืดอายุการใช้งานของมีดกัด เมื่ออัตราการสึกหรอของมีดกัดต่ำก็ส่งผลโดยตรงต่อค่า ความหยาบผิวของชิ้นงาน นั่นคือจะทำให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานต่ำไปด้วย และนอกจากนี้ผลของสาร หล่อเย็นที่ใช้อย่างช่วยให้อุณหภูมิบริเวณที่ทำการตัดเฉือนมีความเหมาะสมกว่าการตัดแบบแห้งซึ่งไม่มีสารหล่อ เย็นช่วยจึงทำให้เกิดความร้อนสูง ส่งผลให้เกิดความสึกหรอสูงตามไปด้วย ซึ่งภาพที่ 5.26 เป็นการเปรียบเทียบค่า ความหยาบผิวของชิ้นงานของการตัดแบบแห้งกับการตัดแบบเสปร์ย์ของสารหล่อเย็น



ภาพที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขนาดความลึกหรือของของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกการตัด 0.3, 0.5 มิลลิเมตร เวลาตัด ที่ 60 นาที

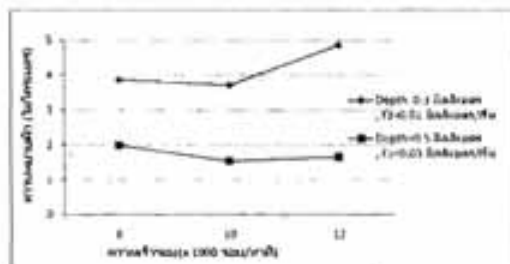


ก) การตัดแบบแห้ง

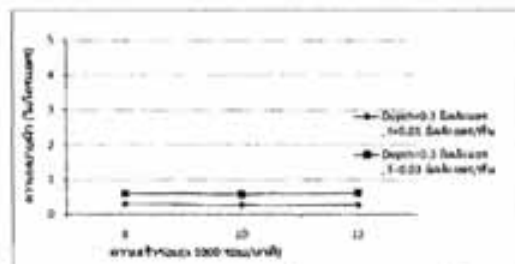


ข) การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น

ภาพที่ 5.25 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการตัดกับความลึกหรือของที่มีดกัดที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ



ก) การตัดแบบแห้ง

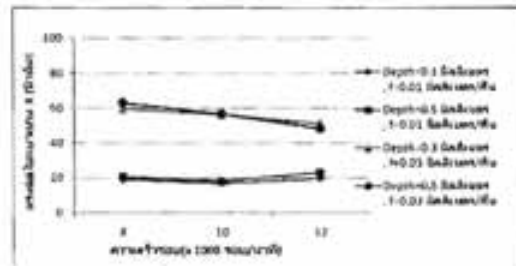


ข) การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น

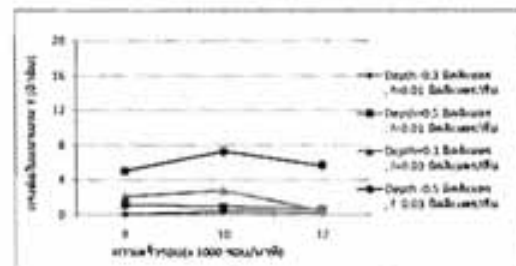
ภาพที่ 5.26 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบในการตัดกับความหนาผิวของชิ้นงานที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ

ภาพที่ 5.27 ถึงภาพที่ 5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดที่เกิดขึ้น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ซึ่งจะพบว่า ที่อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน จะเกิดแรงตัดที่สูงกว่าที่อัตราการป้อนตัด

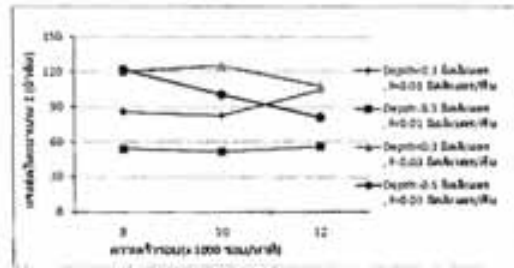
0.01 มิลลิเมตร/พื้นที่สามแนวแกน สามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออัตราการป้อนตัดสูงขึ้นการเคลื่อนที่เข้าตัดเฉือนของมีดกัดมีมากขึ้น จึงทำให้มีพื้นที่ในการตัดเฉือนสูงตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อพื้นที่ในการตัดเฉือนสูงก็ส่งผลให้เกิดแรงตัดสูงด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาที่อัตราการป้อนตัดที่เท่ากัน พบว่าที่ความลึกตัดที่ต่างกัน คือที่ความลึกตัด 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร แรงตัดที่เกิดขึ้นค่อนข้างที่จะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าผลของการใช้สารหล่อเย็นฉีดไปยังบริเวณที่ทำการตัดเฉือน ทำให้ที่ความลึกตัดที่สูงกว่าแทนที่จะมีความร้อนเหมาะสมที่จะตัดทำให้การตัดเฉือนทำได้ง่าย กลายเป็นสารหล่อเย็นทำให้บริเวณดังกล่าวเย็นตัวลงเร็วกว่าปกติ จึงทำให้แรงตัดที่เกิดขึ้นไม่ต่างกับที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร และนอกจากนี้พื้นที่การตัดของความลึกตัด 0.5 จะทำให้การระบายความร้อนได้ดีกว่าความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร ทำให้มีดตัดสึกหรอช้ากว่าจึงส่งผลให้แรงตัดน้อยลงไปด้วย ดังที่ได้อธิบายมาแล้วก่อนหน้านี้ในส่วนของการตัดแบบเปียก



ภาพที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/พื้นที่ เวลาตัดที่ 60 นาที



ภาพที่ 5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/พื้นที่ เวลาตัดที่ 60 นาที



ภาพที่ 5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงตัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ อัตราการป้อนตัด 0.01, 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน เวลาตัดที่ 60 นาที

5.6 สรุปผลการทดลอง

ระยะเวลาในการตัดนานขึ้นจะให้ค่าความหยابผิวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสึกหรอของมีดกัดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองจะเหมือนกับการตัดแบบแห้งและแบบเปียก

ความเร็วรอบที่สูงขึ้นจะส่งผลให้อายุการใช้งานของมีดกัดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากที่ความเร็วรอบสูงละอองของสารหล่อเย็นเข้าไปยังบริเวณการตัดเฉือนได้ยากทำให้ประสิทธิภาพในการหล่อลื่น/หล่อเย็นลดลง

อัตราการป้อนตัดที่สูงทำให้การเคลื่อนที่เข้าตัดเนื้อโลหะสูงขึ้นทำให้แรงตัดเพิ่มสูงขึ้น และความลึกตัดที่สูงกว่าจะมีอุณหภูมิเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นที่การตัดเฉือนสูง แต่เมื่อได้รับการหล่อเย็นจากสเปรย์ของสารหล่อเย็นทำให้เกิดการเย็นตัวลง ทำให้การตัดเฉือนทำได้ยากขึ้นและแรงตัดที่มากขึ้นด้วย และนอกจากนี้ความลึกตัดสูงจะทำให้มีโอกาสเกิดการสั่นในขณะตัดที่สูง จึงส่งผลให้ผิวสำเร็จที่แย่กว่าที่ความลึกตัดต่ำ

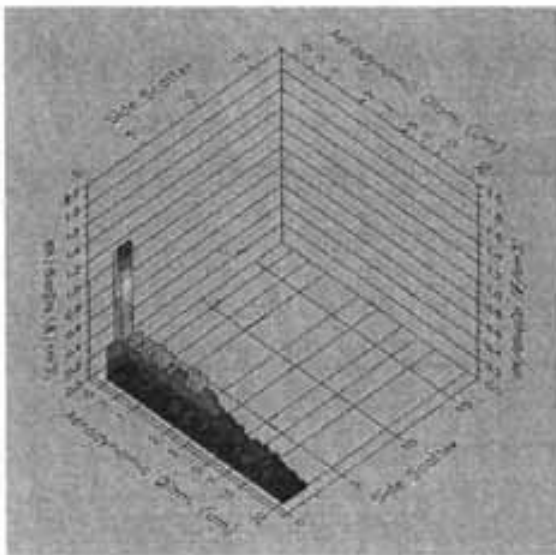
ละอองสารหล่อเย็นสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของมีดกัดยาวนานขึ้น เนื่องจากผลของการช่วยในการลดความร้อนในขณะที่ทำการตัดเฉือน และนอกจากนี้ยังช่วยในการหล่อลื่น จึงทำให้อายุการใช้งานของมีดกัดยาวนานขึ้น

บทที่ 6

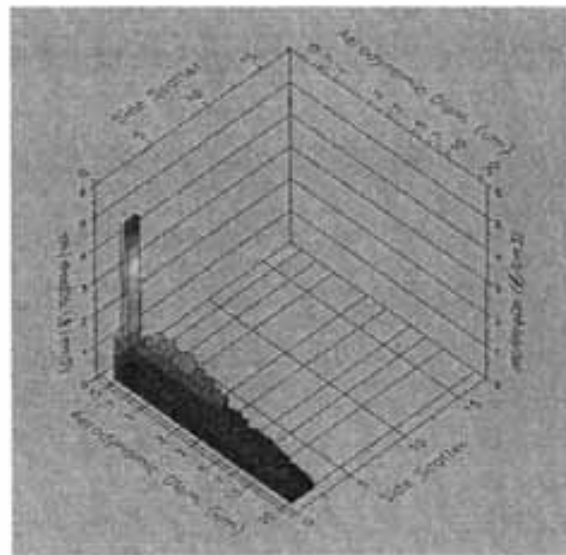
การตรวจวัดสารปนเปื้อนของสารหล่อเย็นในอากาศที่เกิดจากกระบวนการตัด

ผลการทดลองจากการตรวจวัดปริมาณสารปนเปื้อนในอากาศที่เกิดจากกระบวนการตัด ด้วยเครื่อง Aerodynamic particle sizer spectrometer ที่มีความสามารถวัดขนาดละอองสารหล่อเย็นเล็กที่สุดที่ 0.5 ไมโครเมตร ซึ่งในที่นี่จะพิจารณาที่การตัดแบบเปียกและแบบสปร์ยสารหล่อเย็นเท่านั้น เนื่องจากจะพิจารณาผลกระทบของสารหล่อเย็นที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่การปฏิบัติงานโดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมการทำงาน ดังนั้นการตัดแบบแห้งไม่มีการใช้สารหล่อเย็นจึงไม่ได้มีการพิจารณาในส่วนของสารปนเปื้อนของสารหล่อเย็น

6.1 การตรวจวัดอนุภาคสารปนเปื้อนจากการตัดแบบเปียก

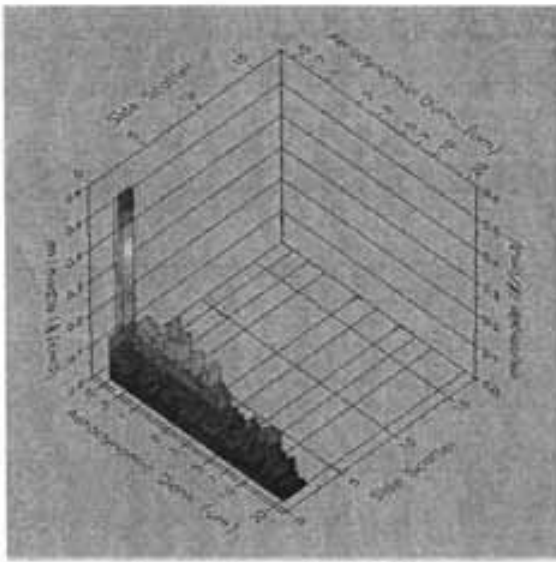


ก) อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน

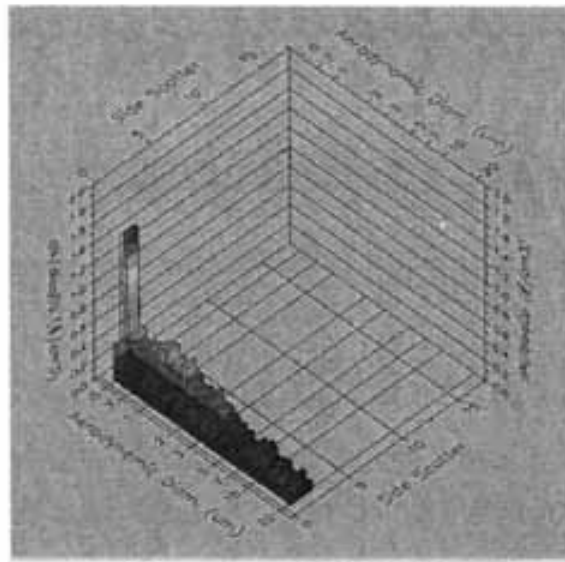


ข) อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน

ภาพที่ 6.1 เปรียบเทียบผลการวัดอนุภาคสารปนเปื้อนจากการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที ความลึกการตัด 0.3 มิลลิเมตร ที่ระยะเวลาการตัด 60 นาที



ก) ความลึกการตัด 0.3 มิลลิเมตร



ข) ความลึกการตัด 0.5 มิลลิเมตร

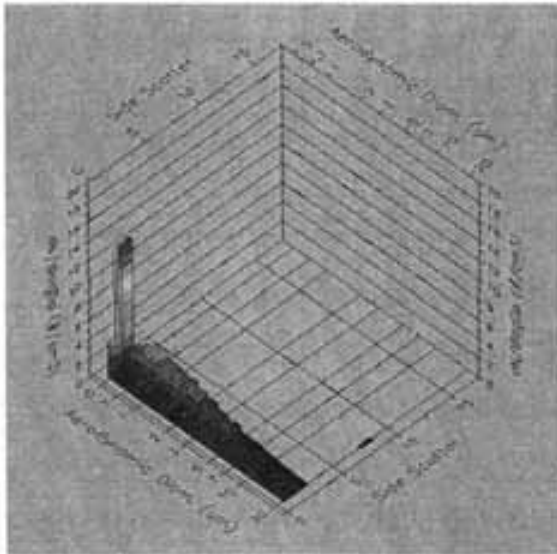
ภาพที่ 6.2 เปรียบเทียบผลการวัดอนุภาคสารปนเปื้อนจากการตัดแบบเปียกที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ที่ระยะเวลาการตัด 60 นาที

ภาพที่ 6.1 แสดงให้เห็นว่าในกระบวนการตัดแบบเปียกมีอนุภาคสารปนเปื้อนลอยปนเปื้อนอยู่ในอากาศ ซึ่งจากรูป 6.1 (ก) พบว่ามีปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคต่ำกว่า รูป 6.1 (ข) เนื่องจากการเพิ่มอัตราป้อนตัดจะส่งผลให้การแตกตัวและการกระจายตัวของสารหล่อเย็นดีขึ้น ซึ่งเห็นได้ชัดเจนที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแอโรไดนามิก 0.5 ไมโครเมตร ในรูป 6.1 (ข) จะสูงกว่า 6.1 (ก)

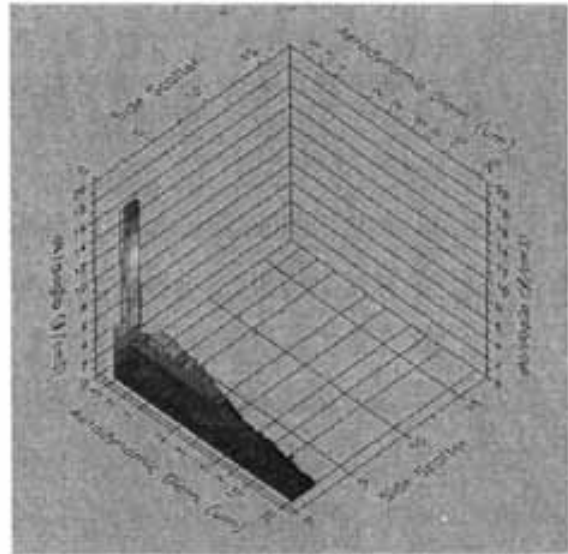
สำหรับการตัดที่ใช้ความลึกการตัดที่ต่ำลงมีผลทำให้การเกิดฝงโลหะปนเปื้อนในอากาศลดลงตามไปด้วย เนื่องจากการตัดที่ใช้ความลึกการตัดต่ำจะทำให้เกิดการแตกตัวของสารหล่อเย็นจากการตัดยาก ทำให้โอกาสเกิดเป็นละอองต่ำลงด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับ การตัดที่ความลึกการตัดที่มากกว่า และอีกกรณีหนึ่งคือ ที่ความลึกตัดสูงจะทำให้เศษโลหะมีโอกาสในการกระเด็นไปโดนสารหล่อเย็นเพิ่มมากขึ้นกว่าที่ความลึกตัดต่ำ ทำให้การเกิดละอองของสารหล่อเย็นสูงขึ้น ส่งผลให้มีความหนาแน่นของสารปนเปื้อนในอากาศสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสามารถแสดงภาพที่ 6.2

6.2 การตรวจวัดอนุภาคสารปนเปื้อนจากการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น

ภาพที่ 6.3 เปรียบเทียบผลการวัดอนุภาคสารปนเปื้อนในกระบวนการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบที่ต่างกัน พบว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นของสารปนเปื้อนเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากที่ความเร็วรอบสูงจะทำให้เกิดการแตกตัวของสารหล่อเย็นแล้วเกิดการกระจายตัวของอนุภาคของสารหล่อเย็นเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของอนุภาคสารปนเปื้อนสูงขึ้นไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของสารปนเปื้อนที่อัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน พบว่าที่อัตราการป้อนตัดที่สูงขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นของละอองสารหล่อเย็นเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับการตัดแบบเปียก ดังแสดงในภาพที่ 6.4 ซึ่งเหตุผลดังได้อธิบายมาแล้วข้างต้น

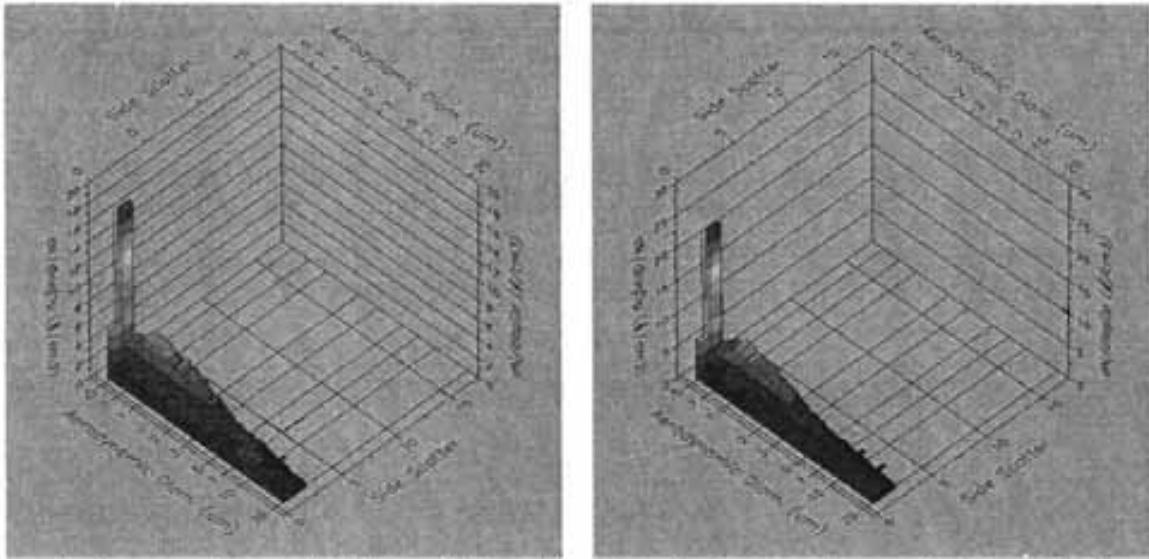


ก) ความเร็วรอบ 8,000 รอบ/นาที



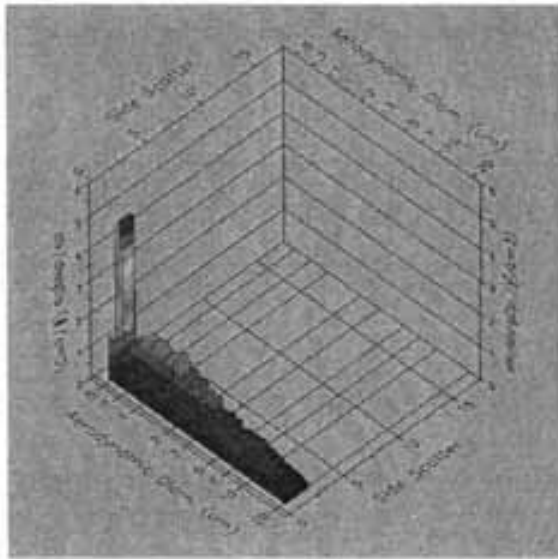
ข) ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที

ภาพที่ 6.3 เปรียบเทียบผลการวัดอนุภาคสารปนเปื้อนจากการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ที่ระยะเวลาการตัด 60 นาที

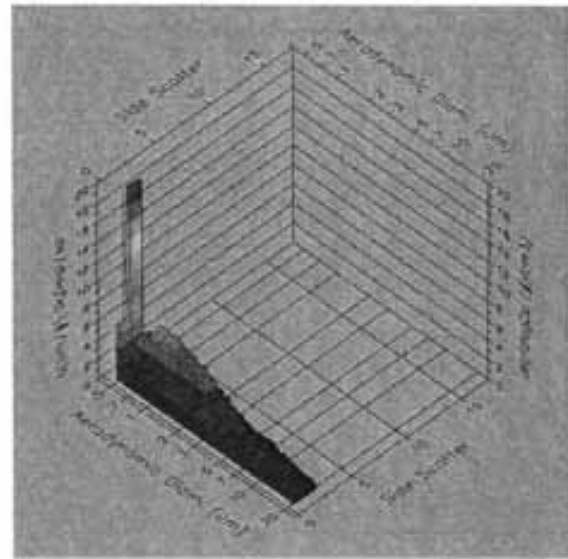


ก) ความลึกตัด 0.5 มม. อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/ฟัน ข) ความลึกตัด 0.3 มม. อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน
ภาพที่ 6.4 เปรียบเทียบผลการวัดอนุภาคสารปนเปื้อนจากการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบ/นาที ที่ระยะเวลาการตัด 60 นาที

ภาพที่ 6.5 เปรียบเทียบผลการวัดอนุภาคสารปนเปื้อนในกระบวนการตัดแบบเปียกกับแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น พบว่าการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นจะมีความหนาแน่นของอนุภาคสารปนเปื้อนสูงกว่าการตัดแบบเปียกอย่างชัดเจน เนื่องจากการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นปกติจะเป็นละอองของสารหล่อเย็นอยู่แล้วและเมื่อรวมกับผงโลหะที่เกิดจากการตัดเข้าด้วยกัน จึงทำให้เกิดการกระจายตัวของละอองสารหล่อเย็นและผงโลหะในอากาศสูงกว่าการตัดแบบเปียก



ก) การตัดแบบเบี่ยง



ข) การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น

ภาพที่ 6.5 เปรียบเทียบผลการวัดอนุภาคสารปนเปื้อนที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร ที่ระยะเวลาการตัด 60 นาที

เมื่อคำนึงถึงสารปนเปื้อนจากการตัดที่อยู่ในอากาศ ในการตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็นอาจจะไม่เหมาะสมต่อการทำไปใช้งานจริง เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองการตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็นจะให้ความหนาแน่นของละอองสารหล่อเย็นปนเปื้อนในอากาศมากกว่าการตัดแบบเบี่ยง

6.3 สรุปผลการทดลอง

ที่ระยะเวลาในการตัดที่เท่ากัน การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นจะมีความหนาแน่นของละอองของสารหล่อเย็นและผงโลหะสูงกว่าการตัดแบบเบี่ยง เนื่องจากการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นจะเป็นการใช้ละอองของสารหล่อเย็นมาช่วยในการหล่อเย็น/หล่อลื่นอยู่แล้ว จึงทำให้เกิดการกระจายของละอองสารหล่อเย็นได้ง่ายกว่าการตัดแบบเบี่ยงที่มีสารหล่อเย็นเป็นของเหลว

อัตราการป้อนตัดและความลึกตัดที่สูงขึ้นทำให้เกิดความหนาแน่นของของสารหล่อเย็นและผงฝุ่นโลหะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราป้อนตัดจะส่งผลให้การแตกตัวและการกระจายของสารหล่อเย็นดีขึ้น และการเพิ่มความลึกตัดสูงขึ้นไปจะทำให้เศษโลหะมีโอกาสในการกระเด็นไปโดนสารหล่อเย็นเพิ่มมากขึ้นกว่าที่ความลึกตัดต่ำ ทำให้การเกิดละอองของสารหล่อเย็นสูงขึ้น

บทที่ 7

การเปรียบเทียบต้นทุนมีดตัดและสารหล่อเย็นจากกระบวนการตัด

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการตัดทั้งหมด 3 วิธีคือ การตัดแบบเปียก (Wet cutting) การตัดแบบแห้ง (Dry cutting) และการตัดแบบใช้สเปรย์พ่นสารหล่อเย็น (Mist cutting) โดยใช้แรงดันลม 0.5 MPa โดยทั้ง 3 วิธีนี้จะมีเงื่อนไขการตัดที่เหมือนกันทั้งหมด นอกจากคุณภาพของชิ้นงานที่พิจารณาจากค่าความเรียบผิวแล้ว ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนที่ใช้ก็เป็นสิ่งที่นำมาพิจารณาว่าวิธีการตัดแบบใดที่เงื่อนไขใดมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้มากที่สุด โดยต้นทุนที่สนใจนั้นแบ่งเป็น 2 หัวข้อใหญ่ ๆ ซึ่งแต่ละหัวข้อเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องกระบวนการตัดทั้งสิ้น คือ ต้นทุนที่เกิดจากใช้มีดตัดหัวบอล (Tool cost) และต้นทุนของการใช้สารหล่อเย็น (Coolant cost) โดยต้นทุนรวม (Total cost) ที่แสดงให้เห็นจะเป็นต้นทุนที่เกิดจากผลรวมของต้นทุนใน 2 หัวข้อที่กล่าวมานี้ ดังแสดงไว้ในสมการที่ (1)

$$\begin{array}{lclcl} \text{Total cost} & = & \text{Tool Cost} & + & \text{Coolant Cost} & (1) \\ \text{(ต้นทุนรวม)} & & \text{(ต้นทุนมีดตัด)} & & \text{(ต้นทุนสารหล่อเย็น)} & \end{array}$$

จากสมการที่ (1) สามารถอธิบายต้นทุนแต่ละชนิดอย่างละเอียดในหัวข้อถัดไป

7.1 ต้นทุนมีดตัด (Tool Cost)

ต้นทุนมีดตัด หมายถึง ต้นทุนที่เกิดจากการใช้มีดตัดหัวบอลขณะอยู่ในกระบวนการตัดตามเงื่อนไขการตัดที่ได้ตั้งไว้ โดยพิจารณาอายุของมีดตัดหัวบอลว่ายังใช้งานได้จากค่าความสึกหรอของมีดตัดหัวบอล (Flank wear, V_b) อายุของมีดตัดหัวบอลที่ยังสามารถใช้งานได้ต้องมีค่าขนาดความสึกหรอไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร ซึ่ง

ต้นทุนมีดตัดนั้นเกิดจากจำนวนของมีดตัดหัวบอลที่ใช้ในงานตัดคูณกับราคาของมีดตัดหัวบอลซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{ต้นทุนมีดตัด} = \text{จำนวนของมีดตัด} \times \text{ราคาของมีดตัด} \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) จำนวนของมีดตัดหัวบอลเป็นสิ่งจำเป็นในการหาต้นทุนของมีดตัด การหาจำนวนของมีดตัดหัวบอลจะต้องทราบก่อนว่าจะต้องเปลี่ยนมีดตัดหัวบอลเมื่อใดหรือทราบอายุของมีดตัดหัวบอลเพื่อที่จะได้ทำการเปลี่ยนมีดตัดหัวบอลใหม่ โดยทั่วไปจะยังไม่ทราบอายุของมีดตัดหัวบอลที่ชัดเจน เพราะในการตัดแต่ละครั้งจะมีเงื่อนไขการตัดที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีผลต่ออายุของมีดตัดหัวบอลที่ต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำการพิจารณาจากค่าความสึกหรอของมีดตัดหัวบอล (Flank wear, V_f) ในการทดลองนี้กำหนดความสึกหรอของมีดตัดหัวบอลไว้ที่ 0.2 มิลลิเมตร หากเกินจากนี้ต้องทำการเปลี่ยนมีดตัดหัวบอล เนื่องจากเมื่อมีดตัดหัวบอลมีความสึกหรอมากเกินไปจะมีผลต่อความเรียบผิวชิ้นงาน จากการทดลองจะทำการเก็บข้อมูลของค่าความสึกหรอของมีดตัดหัวบอลไว้ทุก 15 นาที จนกว่าค่าความสึกหรอของมีดตัดหัวบอลจะมากเกินไปที่กำหนดไว้จึงจะหยุดการตัด

จากข้อมูลทั้งหมดที่เก็บได้ สามารถนำมาทำการหาสมการพยากรณ์ค่าความสึกหรอของมีดตัด (Flank wear, V_f) ได้ ด้วยวิธีสมการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression) เมื่อเทียบกับเวลา (T) และเงื่อนไขการตัดนั้น ๆ โดยเงื่อนไขการตัดของการทดลองมีทั้งหมด 3 ตัว คือ ความเร็วรอบการตัด (V) อัตราป้อนตัด (f) และความลึกการตัด (D) สมการพยากรณ์ค่าความสึกหรอของมีดตัดหัวบอลแสดงให้เห็นดังสมการต่อไปนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 \quad (3)$$

จากรูปแบบสมการถดถอยของสมการถดถอยพหุคูณข้างต้น สามารถเขียนโดยใส่ตัวแปรต่าง ๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ของการเงื่อนไขการตัด เวลาในการตัด และค่าความสึกหรอของมีดตัดหัวบอลได้ดังนี้

$$V_f = \beta_0 + \beta_1 v + \beta_2 f + \beta_3 D + \beta_4 T \quad (4)$$

จากสมการกำหนดให้ V_b เป็นตัวแปรตอบสนอง ที่เกิดจากเงื่อนไขการตัดและเวลาในการตัดสัมพันธ์กัน โดยให้ β_0 เป็นค่าคงที่ $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ และ β_4 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยพหุคูณ ในการวิเคราะห์ จะทำที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้สมการพยากรณ์ทั้งหมด 3 สมการที่วิธีการตัดต่างกัน คือ วิธีการตัดแบบเปียก แบบสเปรย์สารหล่อเย็น และแบบแห้ง ดังนี้

วิธีการตัดแบบเปียก

$$V_b = 0.106 + (-1.563E - 06)v + (-0.323)f + (-0.038)D + 0.0008T \quad (5)$$

วิธีการตัดแบบสเปรย์

$$V_b = 0.143 + (-3.036E - 06)v + (-0.514)f + (-135)D + 0.0006T \quad (6)$$

วิธีการตัดแบบแห้ง

$$V_b = 0.086 + (7.370E - 08)v + (-2.278)f + (-0.007)D + 0.002T \quad (7)$$

จากสมการ (5), (6) และ (7) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของความเร็วยรอบการตัด (v) อัตราป้อนตัด (f) ความลึกการตัด (D) เวลาในการตัด (T) และค่าความสึกหรอของมีดตัดหับบอล (V_b) สมการสามารถบอกได้ว่า เวลาการตัดใด จะมีค่าความสึกหรอของมีดตัดหับบอลเท่าไร และในทางกลับกันเมื่อต้องการทราบว่า เมื่อมีดตัดหับบอลมีค่าความสึกหรอเท่า 0.2 มิลลิเมตร อายุของมีดตัดจะมีเวลาการตัดที่เท่าไรด้วยเช่นกัน ตารางที่ 7.1 แสดงค่าของอายุของมีดตัดหรือเวลาในการตัด เมื่อมีดตัดหับบอลเกิดการสึกหรอเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตรที่เงื่อนไขต่างดังนี้

ตารางที่ 7.1 อายุของมิดตัดหรือเวลาในการตัดเมื่อค่าความลึกหรือของมิดตัดหับอลเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร

เงื่อนไขการตัด			วิธีการตัด		
ความเร็วรอบการตัด (รอบ/นาที)	อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตร/ฟัน)	ความลึกการตัด (มิลลิเมตร)	แบบเปียก	แบบสเปรย์	แบบแห้ง
8000	0.01	0.3	156.56	194.90	74.12
		0.5	166.36	239.92	74.92
	0.03	0.3	164.93	177.83	98.43
		0.5	174.73	222.84	99.22
10000	0.01	0.3	160.61	204.99	74.04
		0.5	170.41	250.01	74.84
	0.03	0.3	168.98	187.92	98.35
		0.5	178.78	232.93	99.15
12000	0.01	0.3	164.66	215.09	73.97
		0.5	174.46	260.10	74.76
	0.03	0.3	173.04	198.01	98.27
		0.5	182.84	243.02	99.07

หน่วย: นาที

จากตารางที่ 7.1 แสดงอายุของมิดตัดหรือเวลาในการตัดเมื่อค่าความลึกหรือของมิดตัดหับอลมีค่าเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเวลาที่จะต้องเป็นมิดตัดหับอลอันใหม่ เพื่อให้ค่าความเรียบผิวอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จากค่าเวลาในการตัดที่แสดงในตารางจะเห็นได้ว่าทุก ๆ เงื่อนไขการตัด วิธีการตัดแบบแห้งหรือวิธีการตัดแบบไม่ใช้สารหล่อเย็นนั้น เวลาในการตัดที่จะต้องทำการเปลี่ยนมิดตัดหับอลหรืออายุของมิดตัดหับอลมีค่าต่ำกว่าวิธีการตัดแบบเปียกและวิธีการตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็นหรือการตัดแบบใช้สารหล่อเย็น ซึ่งจากข้อมูลนี้กล่าวได้ว่าสารหล่อเย็นมีผลต่ออายุของมิดตัดหับอลซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

จากเวลาในการตัดที่จะต้องทำการเปลี่ยนมีดตัดสามารถคำนวณหาจำนวนของมีดตัดหัวบอลที่ใช้ได้ในรายงานฉบับนี้คิดเปรียบเทียบกันที่ 1,000 ชั่วโมงการตัด โดยคำนึงถึงอายุของสารหล่อเย็นด้วย กล่าวคือเมื่อใช้สารหล่อเย็นครบ 1,000 ชั่วโมงจะต้องเปลี่ยนสารหล่อเย็นใหม่ทั้งหมด ดังนั้นจำนวนของมีดตัดหัวบอลที่ต้องใช้ในเวลาที่กำหนดสามารถแสดงค่าได้ในตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 จำนวนของมีดตัดหัวบอลที่ใช้ในเวลา 1,000 ชั่วโมง

เงื่อนไขการตัด			วิธีการตัด		
ความเร็วรอบการตัด (รอบ/นาที)	อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตร/ฟัน)	ความลึกการตัด (มิลลิเมตร)	แบบเปียก	แบบสเปร์ย์	แบบแห้ง
8000	0.01	0.3	384	308	810
		0.5	374	293	811
	0.03	0.3	365	279	812
		0.5	361	251	801
10000	0.01	0.3	353	240	802
		0.5	344	231	803
	0.03	0.3	364	338	610
		0.5	356	320	611
12000	0.01	0.3	347	304	611
		0.5	344	270	605
	0.03	0.3	336	258	606
		0.5	329	247	606

หน่วย: แท่ง

จากตารางที่ 7.2 จะเห็นได้ว่าที่วิธีการตัดแบบแห้งมีอายุของมีดตัดหัวบอลต่ำจำนวนของมีดตัดหัวบอลที่ใช้ก็จะสูง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตัดแบบอื่น ซึ่งมีอายุของมีดตัดหัวบอลมากกว่า จากจำนวนมีดตัดหัว

บอกลงในตารางที่แสดงไว้นี้ สามารถนำมาคำนวณหาต้นทุนमितตัดได้ตามสมการที่ (2) โดยราคาของमितตัดหัวบอกลงที่ใช้เท่ากับ 790 บาทต่อแห่ง

ตารางที่ 7.3 ต้นทุนของमितตัดหัวบอกลงที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ ด้วยวิธีการแบบเบี่ยง แบบสเปรย์ และแบบแห้ง

เงื่อนไขการตัด			วิธีการตัด		
ความเร็วรอบการตัด (รอบ/นาที)	อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตร/ฟัน)	ความลึกการตัด (มิลลิเมตร)	แบบเบี่ยง	แบบสเปรย์	แบบแห้ง
8000	0.01	0.3	303,360	243,320	639,900
		0.5	295,460	231,470	640,690
	0.03	0.3	288,350	220,410	641,480
		0.5	285,190	198,290	632,790
10000	0.01	0.3	278,870	189,600	633,580
		0.5	271,760	182,490	634,370
	0.03	0.3	287,560	267,020	481,900
		0.5	281,240	252,800	482,690
12000	0.01	0.3	274,130	240,160	482,690
		0.5	271,760	213,300	477,950
	0.03	0.3	265,440	203,820	478,740
		0.5	259,910	195,130	478,740

หน่วย: บาท

จากตารางที่ 7.3 แสดงต้นทุนของमितตัดหัวบอกลงที่เงื่อนไขต่าง ๆ และที่วิธีการตัดทั้ง 3 วิธี จะเห็นได้ว่า ต้นทุนของमितตัดหัวบอกลงแปรผันตามจำนวนของमितตัดหัวบอกลงที่ใช้ ทำให้ต้นทุนของमितตัดในวิธีการตัดแบบแห้งมีต้นทุนสูงกว่าวิธีการตัดแบบเบี่ยงและแบบสเปรย์สารหล่อเย็น และเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนที่ต่ำที่สุดของแต่ละวิธีการตัด จะเห็นได้ว่าต้นทุนमितตัดของวิธีการตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็นนั้นมีต้นทุนที่ต่ำที่สุด คือ

182,490 บาท ซึ่งในขณะที่วิธีการตัดแบบเป็ยกและแบบแห้งนั้นมีต้นทุนของมิดตัดเท่ากับ 259,910 และ 477,950 บาทตามลำดับ สามารถเปรียบเทียบได้ว่าวิธีการตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็นมีต้นทุนต่ำสุดคิดเป็น 70.21% ของวิธีการตัดแบบเป็ยกและ 38.18% ของวิธีการตัดแบบแห้ง

อย่างไรก็ตามการพิจารณาต้นทุนรวมของการตัด จำเป็นต้องคำนึงถึงต้นทุนของสารหล่อเย็นด้วย ดังนั้นในจุดนี้จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าวิธีการตัดแบบใดมีต้นทุนที่ต่ำที่สุด หัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงต้นทุนของสารหล่อเย็นที่ใช้ในการตัดแต่ละวิธี

7.2 ต้นทุนสารหล่อเย็น (Coolant Cost)

การลดปริมาณสารหล่อเย็นที่ใช้ในแต่ละกระบวนการ เป็นวัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยฉบับนี้ เนื่องจากในปัจจุบันกระบวนการตัดชิ้นงานในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ขนาดใหญ่มีการใช้สารหล่อเย็นจำนวนมากทำให้เกิดสารปนเปื้อนในอากาศ รวมถึงปริมาณน้ำเสียที่มากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการตัดแบบเป็ยก ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของการนำเสนอวิธีการตัดแบบใช้สารหล่อเย็นต่ำที่สุด ซึ่งในการประยุกต์ใช้งานจริงจึงใช้วิธีการพ่นสารหล่อเย็นด้วยการใช้แรงดัน เรียกว่า การตัดแบบสเปรย์ ซึ่งค่าใช้จ่ายด้านสารหล่อเย็นในกระบวนการตัดทั้ง 3 แบบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 7.4 การใช้สารหล่อเย็นสำหรับวิธีการตัดแบบเป็ยก แบบสเปรย์ และแบบแห้ง

กระบวนการตัด	วิธีการตัดแบบเป็ยก	วิธีการตัดแบบสเปรย์ (ที่ความดันลม 0.5 MPa)	วิธีการตัดแบบแห้ง
อัตราการใช้สารหล่อเย็น ขณะทำการตัด (ลิตรต่อนาที)	16	0.09	0
อัตราการวนกลับมาใช้ใหม่	100%	99.07%	0

หมายเหตุ: ถังที่ใช้ใส่สารหล่อเย็นของเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์มีปริมาตร 191.34 ลิตร
อายุการใช้งานของสารหล่อเย็น 1000 ชั่วโมง

จากตารางที่ 7.4 แสดงอัตราการใช้สารหล่อเย็น (ลิตรต่อนาที) และอัตราการวนกลับมาใช้ใหม่ของวิธีการตัดแบบเปียก แบบสเปรย์ และแบบแห้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการตัดแบบแห้งนั้นมีค่าเท่ากับ 0 ทั้งสองค่านั้นหมายความว่าวิธีการตัดแบบแห้งนั้น ไม่มีการใช้สารหล่อเย็นในกระบวนการตัดเลย และวิธีการตัดแบบสเปรย์นั้นมีอัตราการใช้สารหล่อเย็นที่ 0.09 ลิตรต่อนาที เนื่องจากการทดลองได้ออกแบบให้มีการใช้สารหล่อเย็นน้อยที่สุด และการพ่นสารหล่อเย็นที่ความดันลม 0.5 MPa นั้นจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าแรงดันลมที่ 0.5 MPa นั้นมีความเหมาะสมที่สุดในการพ่นสารหล่อเย็น [Somkiat, 2009] สำหรับอัตราการวนกลับมาใช้ใหม่นั้นวิธีการตัดแบบเปียก ถือว่าสารเย็นสามารถวนกลับมาใช้งานใหม่ได้ทั้งหมด แต่สำหรับวิธีการตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็นมีบางส่วนสูญเสียไปในขณะทำการตัด เนื่องจากการสเปรย์สารหล่อเย็นนั้นจะทำให้สารหล่อเย็นอยู่ในลักษณะของละอองจึงทำให้เกิดการฟุ้งของสารหล่อเย็นขณะทำงานและสูญเสียไปในบรรยากาศแต่ก็เป็นเพียงส่วนน้อย ซึ่งเห็นได้จากค่าอัตราการวนกลับมาของวิธีการตัดแบบสเปรย์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 7.4

ในการตัดทั้งหมด 480 ชั่วโมง สำหรับวิธีการตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็นนั้น มีการใช้สารหล่อเย็นไปทั้งหมด 24.13 ลิตร ซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราการใช้สารหล่อเย็นจริงเท่ากับ 0.05 ลิตร/ชั่วโมง หรือ 0.00084 ลิตร/นาทีเท่านั้น และเมื่อคิดเทียบกับอัตราการใช้สารหล่อเย็นขณะทำการตัดแล้ว วิธีการตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็นนั้นมีการใช้สารหล่อเย็นไปเพียง 0.93% เท่านั้น และมีการวนกลับมาใช้ใหม่ถึง 99.07%

จากการใช้สารหล่อเย็นที่กล่าวมาข้างต้น ตารางที่ 7.5 สามารถแสดงปริมาณการใช้สารหล่อเย็นและราคาต้นทุนของสารหล่อเย็นที่ใช้ในกระบวนการตัดแต่ละวิธี ซึ่งคิดที่ 1,000 ชั่วโมงการตัด โดยคำนึงถึงอายุของสารหล่อเย็นด้วย กล่าวคือเมื่อใช้สารหล่อเย็นไปครบ 1,000 ชั่วโมงจะต้องเปลี่ยนสารหล่อเย็นทั้งหมด สำหรับวิธีการตัดแบบเปียกการใช้สารหล่อเย็นจะมีระยะเวลาทั้งสิ้น 1,000 ชั่วโมงและจำเป็นต้องเปลี่ยนสารหล่อเย็นใหม่ทั้งหมด

ตารางที่ 7.5 ปริมาณการใช้สารหล่อเย็นและราคาต้นทุนสารหล่อเย็น เวลา 1000 ชั่วโมง

	แบบเปียก	แบบสเปรย์ (ความดันลม 0.5 MPa)	แบบแห้ง
อัตราการใช้สารหล่อเย็นขณะทำการตัด (ลิตร/นาที)	16	0.09	-
อัตราการวนกลับมาใช้ใหม่	100%	99.07%	-
หัวเชื้อสารหล่อเย็นผสมกับน้ำ	6.25%	6.25%	-
อัตราหัวเชื้อสารหล่อเย็นที่ใช้ (ลิตร/ชั่วโมง)	0.01196	0.00314	
ราคาลิตรละ (บาท)	266.33	266.33	-
ค่าหัวเชื้อสารหล่อเย็น (บาท/ชั่วโมง)	3.185	0.837	
ค่าสารหล่อเย็นเมื่อใช้ไป 1,000 ชั่วโมง (บาท)	3,185.04	836.91	-

หมายเหตุ: อัตราส่วนของหัวเชื้อสารหล่อเย็นผสมกับน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 15

จากตารางที่ 7.5 สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนของสารหล่อเย็นที่ใช้ในการตัดแต่ละวิธีการตัดเป็นต้นทุนราคาสารหล่อเย็นที่ใช้ต่อเวลาการตัด 1,000 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีการตัดแบบเปียกและแบบสเปรย์แล้ว ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของวิธีการตัดแบบสเปรย์ต่ำกว่าวิธีการตัดแบบเปียก และสามารถคิดค่าใช้จ่ายการใช้สารหล่อเย็นของวิธีการตัดแบบสเปรย์เป็น 26.28% ของวิธีการตัดแบบเปียก

จากข้อมูลข้างต้นสารหล่อเย็นจากการวนกลับมาใช้ใหม่ของวิธีการตัดแบบสเปรย์นั้นจะวนกลับมาไม่ทั้งหมด แต่สำหรับการตัดใน 1,000 ชั่วโมงแล้ว สารหล่อเย็นที่อยู่ในถังยังเหลือเพียงพอที่จะใช้งานได้ต่อไป โดยไม่ต้องมีการเติมสารหล่อเย็นเพิ่มเข้าไปอีก และสามารถแสดงต้นทุนสารหล่อเย็นที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 7.6 ต่อไปนี้

ตารางที่ 7.6 ต้นทุนสารหล่อเย็นที่ชั่วโมงการตัดทั้งหมด 1,000 ชั่วโมง ด้วยวิธีการตัดแบบเบียด แบบสเปรย์ และแบบแห้ง

เงื่อนไขการตัด			วิธีการตัด		
ความเร็วรอบการตัด (รอบ/นาที)	อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตร/ฟัน)	ความลึกการตัด (มิลลิเมตร)	แบบเบียด	แบบสเปรย์	แบบแห้ง
8000	0.01	0.3	3,185.04	836.91	0
		0.5	3,185.04	836.91	0
	0.03	0.3	3,185.04	836.91	0
		0.5	3,185.04	836.91	0
10000	0.01	0.3	3,185.04	836.91	0
		0.5	3,185.04	836.91	0
	0.03	0.3	3,185.04	836.91	0
		0.5	3,185.04	836.91	0
12000	0.01	0.3	3,185.04	836.91	0
		0.5	3,185.04	836.91	0
	0.03	0.3	3,185.04	836.91	0
		0.5	3,185.04	836.91	0

หน่วย: บาท

จากต้นทุนข้างต้นที่ได้กล่าวมาทั้งหมดสามารถคำนวณหาต้นทุนรวมของการตัดได้แล้วในแต่ละวิธีการตัดและเงื่อนไขการตัด ในหัวข้อต่อไป

7.3 ต้นทุนรวม (Total Cost)

สมการที่ (1) กล่าวถึงสมการของต้นทุนรวมที่พิจารณาจากต้นทุนของมัดตัดและต้นทุนของสารหล่อเย็นซึ่งเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการตัดในทุก ๆ เงื่อนไขการตัด ในหัวข้อที่ 1 และ 2 ได้อธิบายถึงขั้นตอนการคำนวณต้นทุนมัดตัดและต้นทุนสารหล่อเย็น ตามลำดับ ดังนั้นในหัวข้อนี้สามารถแสดงต้นทุนรวมได้แล้ว โดยพิจารณาที่ 1,000 ชั่วโมงการตัด

ตารางที่ 7.7 ต้นทุนรวม ที่ชั่วโมงการตัดทั้งหมด 1,000 ชั่วโมง ด้วยวิธีการตัดแบบเปียก แบบสเปรย์และแบบแห้ง

เงื่อนไขการตัด			วิธีการตัด		
ความเร็วรอบการตัด (รอบ/นาที)	อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตร/ฟัน)	ความลึกการตัด (มิลลิเมตร)	แบบเปียก	แบบสเปรย์	แบบแห้ง
8000	0.01	0.3	306,545.04	244,156.91	639,900.00
		0.5	298,645.04	232,306.91	640,690.00
	0.03	0.3	291,535.04	221,246.91	641,480.00
		0.5	288,375.04	199,126.91	632,790.00
10000	0.01	0.3	282,055.04	190,436.91	633,580.00
		0.5	274,945.04	183,326.91	634,370.00
	0.03	0.3	290,745.04	267,856.91	481,900.00
		0.5	284,425.04	253,636.91	482,690.00
12000	0.01	0.3	277,315.04	240,996.91	482,690.00
		0.5	274,945.04	214,136.91	477,950.00
	0.03	0.3	268,625.04	204,656.91	478,740.00
		0.5	263,095.04	195,966.91	478,740.00

หน่วย: บาท

จากตารางที่ 7.7 แสดงต้นทุนรวมด้วยวิธีการตัดแบบเป็ยก แบบสเปรย์ และแบบแห้ง ที่ 1,000 ชั่วโมง การตัด ต้นทุนที่ต่ำที่สุดของวิธีการตัดแบบเป็ยก แบบสเปรย์ และแบบแห้ง เท่ากับ 263,095.04 บาท, 183,326.91 บาท และ 477,950.00 บาท ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า วิธีการตัดแบบสเปรย์ให้ต้นทุนรวมน้อยที่สุด ซึ่งคิดเป็น 69.68% ของต้นทุนรวมของวิธีการตัดแบบเป็ยกและ 38.36% ของต้นทุนรวมของวิธีการตัดแบบแห้ง เมื่อคิดเป็นต้นทุนรวมต่อชั่วโมง วิธีการตัดแบบสเปรย์สารหล่อเย็นนั้นมีค่าเท่ากับ 183.33 บาทเท่านั้น

บทที่ 8

สรุปผลงานวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะ

8.3 สรุปผลงานวิจัย

การศึกษาระบวนการตัดชิ้นงานเหล็กกล้าโดยการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นวิธีต่าง ๆ กัน ด้วยมีดกัดชนิดหัวบอลคาร์ไบด์เคลือบผิว และชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน S50C ที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ กัน เพื่อพัฒนาความสามารถในการตัดให้ดีขึ้น ซึ่งหมายถึงความหนาผิวของชิ้นงานต่ำ ความสึกหรอมีดกัดต่ำหรืออายุการใช้งานที่ยาวนาน แรงในการตัดต่ำ ดังนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยในการตัดต่าง ๆ ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการป้อนตัด ความลึกการตัด และวิธีการหล่อเย็น ซึ่งจากการทดลองพบว่าปัจจัยต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการตัดดังนี้

1. ความเร็วรอบของการตัดที่เหมาะสมทำให้อุณหภูมิในการตัดที่เกิดขึ้นพอเหมาะ จึงทำให้แรงตัดที่เกิดขึ้นต่ำ
2. อัตราการป้อนตัดต่ำทำให้ระยะป้อนตัดแคบ และพื้นที่การตัดต่ำ ทำให้ความหนาผิวต่ำ
3. ความลึกการตัดที่สูงทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนที่ดีส่งผลให้อายุการใช้งานของมีดกัดยาวนานขึ้น และแรงตัดที่เกิดขึ้นก็ต่ำตามไปด้วย
4. วิธีการหล่อเย็นที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการตัด

การพิจารณาเลือกใช้งานที่เงื่อนไขการตัดใด นอกจากจะต้องพิจารณาเรื่องความสามารถในการตัดแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นด้วย ดังนั้นจึงสามารถแบ่งแยกการพิจารณาเลือกเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมได้เป็น 2 กรณีดังนี้

➤ เงื่อนไขทางด้านสิ่งแวดล้อม

โดยการพิจารณาที่สภาพแวดล้อมในการทำงาน วิธีการกำจัดสารหล่อเย็น เมื่อพิจารณาการตัดทั้ง 3 แบบ คือ การตัดแบบแห้ง แบบเปียก และแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น จะพบว่า การตัดแบบแห้ง

เหมาะสมที่สุด เนื่องจากการตัดแบบแห้งไม่มีการใช้สารหล่อเย็น จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะในพื้นที่ทำงาน และไม่ต้องมีการกำจัดสารหล่อเย็น ในขณะที่การตัดแบบเปียกและแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นต้องมีการกำจัดสารหล่อเย็นเมื่อหมดอายุการใช้งาน และในขณะเดียวกันการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นก็จะเกิดละอองของสารหล่อเย็นในพื้นที่การทำงานสูงกว่าการตัดแบบเปียก

➤ เจือปนโซทางด้านต้นทุน

เมื่อพิจารณาที่ต้นทุนรวมสุทธิที่เกิดขึ้น โดยต้นทุนสุทธิพิจารณาจากต้นทุนมีดกัดและต้นทุนสารหล่อเย็น เมื่อพิจารณาการตัดทั้ง 3 แบบ คือ การตัดแบบแห้ง แบบเปียก และแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น จะพบว่าการตัดแบบแห้งถึงแม้ว่าจะไม่มีต้นทุนของสารหล่อเย็น แต่ก็ยังมีต้นทุนสุทธิสูงสุด เนื่องจากการตัดแบบแห้งอายุการใช้งานของมีดกัดจะสั้น ส่งผลให้ต้นทุนมีดกัดสูงตามไปด้วย

ในขณะที่การตัดแบบเปียกและแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น พบว่าการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นจะมีต้นทุนสุทธิต่ำสุด เพราะการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นมีอายุการใช้งานของมีดกัดที่ยาวนานกว่า และอัตราการใช้สารหล่อเย็นก็ต่ำกว่าการตัดแบบเปียก ดังนั้นจึงทำให้การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นมีต้นทุนสุทธิต่ำกว่าการตัดแบบเปียก

โดยสรุปแล้ว ถ้ามีการจัดการเกี่ยวกับระบบการระบายอากาศที่ดีพอ พื้นที่การทำงานมีการถ่ายเทอากาศที่ดี การตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นเป็นเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็นมีต้นทุนสุทธิต่ำสุด ซึ่งเงื่อนไขการตัดของการตัดแบบสเปรย์ของสารหล่อเย็น คือ ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที อัตราการป้อนตัด 0.01 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกตัด 0.5 มิลลิเมตร โดยที่ต้นทุนสุทธิของของเงื่อนไขดังกล่าวอยู่ที่ประมาณ 183,326.91 บาท ที่การตัด 1,000 ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็น 69.68% ของต้นทุนสุทธิของการตัดแบบเปียก และ 38.36% ของต้นทุนสุทธิของการตัดแบบแห้ง เมื่อคิดเป็นต้นทุนสุทธิต่อชั่วโมงเงื่อนไขการตัดดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 183.33 บาท

8.4 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองที่ได้ในช่วงระยะเวลา 3 เดือนแรกมีค่าที่แตกต่างกันมากที่เงื่อนไขการตัดแบบเดียวกัน จึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบเซนเซอร์วัดแรง รวมถึงเครื่องขยายสัญญาณและเครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อเพิ่มความมั่นใจให้กับผลการทดลองที่ได้ จึงทำให้การส่งรายงานความคืบหน้าในรอบ 6 เดือนแรกล่าช้า

การคิดต้นทุนมีดกัดควรจะคิดถึงเรื่องอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้นด้วย เพราะว่าถ้าวัสดุชิ้นงานมีราคาแพง การที่ผลิตได้เยอะขึ้นจะทำให้ชดเชยในส่วนของต้นทุนมีดตัด สารหล่อเย็นและต้นทุนทางอ้อมอื่นได้

ดังนั้นงานวิจัยในครั้งหน้าจะทำการตัดอลูมิเนียม เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมสำหรับมีดกัดหัวบอลคาร์ไบด์เคลือบผิว โดยการประยุกต์ใช้สารหล่อเย็นวิธีต่าง ๆ กัน เพื่อพัฒนาความสามารถในการตัดให้ดีขึ้น ซึ่งพิจารณาจาก ความหนาผิวชิ้นงาน อายุมีดกัด แรงในการตัด และต้นทุนของมีดกัด

ภาคผนวก

Specifications of measuring equipment

Measurement	Model	Uncertainty (%)
Surface Roughness Tester	Surfcom1400D-12	1.57
Particle Sizer	3321	±10

Measurement	Model	Sensitivity (pC/N)	
Force sensor	Kistler 9257B	Fx	-7.950
		Fy	-7.951
		Fz	-3.712

เอกสารอ้างอิง

- [1]. K. Weinert, I. Inasaki, J.W. Sutherland, and T. Wakabayashi, Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication. CIRP Annals, Manufacturing Technology. Volume 53, Issue 2, 2004, Page 511-537.
- [2]. M.P. Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing. 2nd Edition, USA: John Wiley & Son, 2004.
- [3]. Kyocera, **มิดดัดเจ็อนโลหะ**, 2007-2008.
- [4]. P. Ostwald, and J. Munoz, Manufacturing Process and System. 9th Edition, John Wiley & Son, United State.
- [5]. B. L. Juneja, and G. S. Sekhon, Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tool. Indian Institute of Technology, Delhi, India.
- [6]. สมเกียรติ ตั้งจิตผลิตเจริญ, ผศ.ดร. **เอกสารประกอบการสอนวิชาวิศวกรรมการผลิตขั้นสูง**. 2008.
- [7]. S. Tangjitsitcharoen, In-process investigation of turning process applied with and without cutting fluid. Journal of mechanical engineering. Volume 6, No.1, 2009, Page 85-102.
- [8]. E. Paul Degarmo, J T. Black, and Ronald A. Kohser, Materials and Process in Manufacturing. 9th Edition, John Wiley & Son, United State, 2004.
- [9]. N.R. Dhar, M. Kamruzzaman, and Mahiuddin Ahmed, Effect of Mimimum 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.
- [10]. N.R. Dhar, M.W. Islam, S. Isia, and M.A.H. Mithu, The Influence fo Minimum Quantity of Lubrication (MQL) on Cutting Temperature, Chip and Dimensional Accuracy in Turning AISI-4340 Steel. Journal of Materials Processing Technology. Volume 171, Issue 1, 10 January 2006, Page 93-99.
- [11]. J.F. Kelly, and M.G. Cotterell, Minimal lubrication machining of aluminium alloys. Journal of Materials Processing Technology. Volume 120, Issue 1-3, 15 January 2002, Page 327-334.

- [12]. K.H.W. Seah, X. Li, and K.S. Lee, The Effect of Applying Coolant on Tool wear in Metal Machining. *Journal of Materials Processing Technology*. 1999.
- [13]. ปิยะ ศิริธรรมปิติ, การศึกษาพารามิเตอร์ของกระบวนการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอนบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยการประยุกต์ใช้วิธีปริมาณสารหล่อเย็นน้อยที่สุด, วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [14]. ปารเมศ ชุดิมา, รศ.ดร. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [15]. S. Dolinšek, B. Šuštaršič, and J. Kopac, Wear mechanisms of cutting tools in high-speed cutting processes. *Wear*. Volume 250, 2001, Page 349-356.
- [16]. T. Thepsonthi, M. Hamdi, and K. Mitsui, Investigation into minimal-cutting-fluid application in high-speed milling of hardened steel using carbide mills. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. Volume 49, 2009, Page 156–162.
- [17]. B. Ozcelik and M. Bayaramoglu, The statistical modeling of surface roughness in high-speed flat end milling. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. Volume 46, 2006, Page 1395–1402.
- [18]. T.L. Ginta, A.K.M.N. Amin, H.C.D.M. Radzi, and M.A. Lajis, Tool life prediction by response surface methodology in end milling titanium alloy Ti-6Al-4V using uncoated WC-Co inserts. *European Journal of Scientific Research*. Volume 28, No.4, 2009, Page 533-541.
- [19]. E. Paul Degarmo, J T. Black and Ronald A. Kohser, *Materials and Process in Manufacturing*. 9th Edition, USA: John Wiley & Son, 2004.
- [20]. S. Kalpakjian and S. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*. 5th Edition, Singapore: Pearson Prentice Hall, 2006.
- [21]. W. Grzesik, *Advanced Machining Processes of Metallic Materials*. 1st Edition, Elsevier, 2008
- [22]. B. Yalcin, A.E. Özgür and M. Koru, The Effects Of Various Cooling Strategies on Surface Roughness and Tool Wear During Soft Materials Milling. *Materials and Design*. Volume 30, 2009, Page 896-899.

- [23]. R. Kovacevic, C. Cherukuthota and M. Mazurkiewicz, **High Pressure Waterjet Cooling/Lubrication to Improve Machining Efficiency in Milling**. International Journal of Machine Tools and Manufacture. Volume 35, 1995, Page 1459-1473.
- [24]. D.K. Sarma and U.S. Dixit. **A Comparison Of Dry And Air-Cooled Turning Of Gray Cast Iron With Mixed Oxide Ceramic Tool**. Journal of Materials Processing Technology. Volume 190, 2007, Page 160-172.
- [25]. Seref Aykut, Eyup Bagci, Aykut Kentil and Osman Yazicioglu, **Experiemental Observation Of Tool Wear, Cutting Forces And Chip Morphology In Face Milling Of Cobalt Based Super-Alloy With Physical Vapour Deposition Coated And Uncoated Tool**. Materials and Design. Volume 28, 2007, Page 1880-1888.