

มีดัดพิเศษสำหรับวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก

นายศรัณย์ กীরติหัตถยากร

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A SPECIAL CUTTING TOOL FOR HARD-TO-CUT MATERIALS

Mr.Saran Keeratihattayakorn



ศูนย์วิทยทรัพยากร

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์

มีดตัดพิเศษสำหรับวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก

โดย

นายศรันย์ กิริติหัตถยากร

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

อาจารย์ ดร.ชญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น

ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

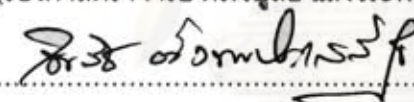
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนირุวงศ์)

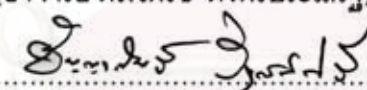
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

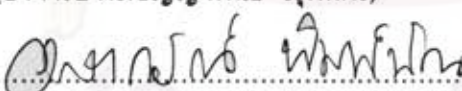
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร.ชญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อลงกรณ์ ทิมพ์พิน)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไชยณรงค์ จักรธรานนท์)

ศรัณย์ กิรนต์ตถยากร : มีดตัดพิเศษสำหรับวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก (A SPECIAL CUTTING TOOL FOR HARD-TO-CUT MATERIALS), อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ.ดร. ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ, อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ.ดร. ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี , 105 หน้า

งานวิจัยได้นำเสนอการใช้งานมีดกลึงรูปแบบใหม่คือมีดกลึงแบบโรตารีซึ่งเป็นมีดกลึงที่มีเม็ดมีดกลม(round insert)หมุนรอบตัวเองไปด้วยขณะทำการกลึงชิ้นงาน โดยได้ประยุกต์การทำงานของเครื่องกลึง CNC (computer numerical control) แบบ Hybrid machine ซึ่งมีหัวหมุนมีดกลึง(milling spindle) ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่และกำหนดสภาวะการตัด โดยได้ทำการทดลองกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ที่ความเร็วตัด 50-90 m/min ระยะกินลึก 0.4 mm อัตราป้อน 0.2 mm/rev และที่อัตราส่วนความเร็ว 0.4-1.4 เปรียบเทียบกับมีดกลึงแบบปกติที่มีเม็ดมีดอยู่กับที่ ผลการทดลองพบว่ามีดกลึงแบบโรตารีมีเศษกลึงที่บางกว่า อุณหภูมิในการตัดน้อยกว่าและอายุการใช้งานของเม็ดมีดยาวนานกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่ประมาณ 18 เท่า ส่งผลให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น มีดกลึงแบบโรตารีมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในกระบวนการกัดขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากในขั้นตอนการกัดขึ้นรูปหยาบ (rough machining) ได้เป็นอย่างดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา ...2552.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5070461521: MAJOR Mechanical Engineering

KEYWORDS: driven rotary tool, hard-to-cut material, tool wear

Saran Keeratihatayakorn: A SPECIAL CUTTING TOOL FOR HARD-TO-CUT MATERIAL

Thesis Advisor: Pairat Tangpomprasert, Ph.D., Thesis Co-Advisor: Chanyaphan Virulsri, Ph.D., 105 pp

This research presents a new design of cutting tool called driven rotary tool in which the cutting edge of a round insert rotates about its axis. Rotary tool use the modified Hybrid CNC milling machine to control the movement and cutting condition. Cylindrical stainless steel 316L turning experiments at cutting speed 50-90 m/min, depth of cut 0.4 mm, feed rate 0.2 mm/rev and cutting speed ratio 0.4-1.4 are conducted using the driven rotary tool and stationary tool with the same insert for comparison. Results show that chips from driven rotary tool are thinner than chips from stationary tool and cutting temperature of driven rotary tool is lower than stationary tool. In addition, driven rotary tool extends insert's tool life up to 18 times longer than stationary tool. These results show that rotary tool is more effective than stationary tool and suitable for hard-to-cut material in rough machining process.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department:Mechanical engineering.....
Field of Study: ...Mechanical engineering.....
Academic Year: 2009..

Student's Signature *[Handwritten Signature]*
Advisor's Signature *[Handwritten Signature]*
Co-Advisor's Signature *[Handwritten Signature]*

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรีอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนการทำงานวิจัยจนสำเร็จด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณในความเมตตาและกรุณาที่อาจารย์มีต่อตัวข้าพเจ้า ทั้งในด้านวิชาการและจริยธรรมอันดีงาม ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำงานร่วมกับคนอื่นทั้งในงานวิจัยและในการดำเนินชีวิตในอนาคต

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาล ที่สนับสนุนอุปกรณ์การวิจัย เช่นเครื่องจักร CNC Machine Tool และสถานที่ในการทำวิจัยและเงินส่งเสริมการวิจัย ตลอดจนการสนับสนุนครุภัณฑ์ Motion Analysis Microscope ที่ช่วยทำให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ผลสัมฤทธิ์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบเป็นพระคุณอันยิ่งใหญ่ของบิดา-มารดาคุณชูศักดิ์ – คุณสมจิตร กิรติหัตถยากร คุณครู อาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน รวมถึงเพื่อนนักศึกษา รุ่นพี่ รุ่นน้องที่ได้ร่วมกันให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าท่านผู้สนใจจะได้รับประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษางานวิจัยเล่มนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

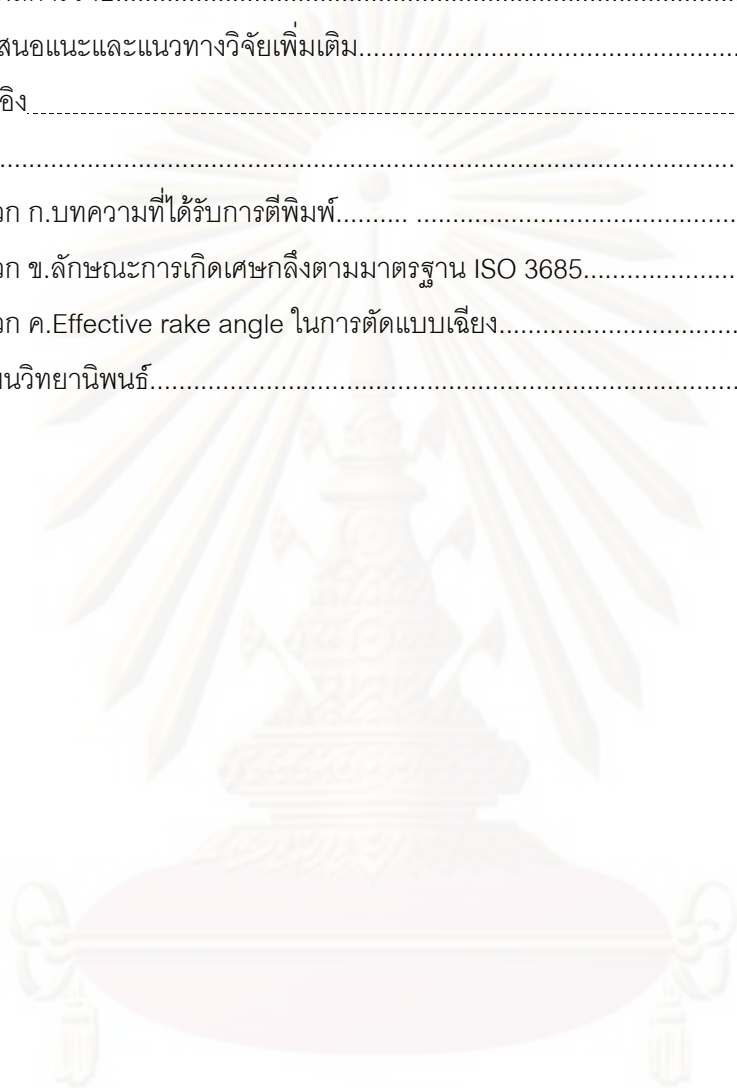
หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฅ

1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการวิจัย	2
2. ทฤษฎีและปรัทัศน์วรรณกรรม	3
2.1 กลไกการตัด	3
2.2 ความสามารถในการกัดขึ้นรูป(machinability).....	7
2.3 อุณหภูมิและความร้อนที่เกิดจากการตัด	8
2.4 การสึกหรอของมีดกัด	10
2.4.1 กลไกของการสึกหรอ	10
2.4.1.1 การสึกหรอเนื่องจากการขัดสี (abrasion wear).....	10
2.4.1.2 การสึกหรอเนื่องจากการยึดเกาะของวัสดุ (adhesion wear)	10
2.4.1.3.การสึกหรอเนื่องจากการแพร่ซึมส่วนผสมเคมี (diffusion wear).....	11
2.4.1.4 การสึกหรอเนื่องจากการล้า (fatigue wear).....	11
2.4.2 ชนิดการสึกหรอบนคมตัดของมีดกัด	11
2.4.2.1 การสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear).....	11
2.4.2.2 การสึกหรอบนผิวคาย (crater wear)	12
2.4.2.3 การสึกหรอที่ปลายมีด (nose wear).....	12

2.4.3 การสึกหรอคมมีดกับอายุการใช้งานของมีดกัด.....	13
2.4.4.การวัดอายุของมีดกัด (measuring tool life).....	14
2.4.5.ข้อกำหนดเกี่ยวกับการสึกหรอบนคมตัดของใบมีดกลึงตามมาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E).....	15
2.5 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.5.1 การใช้สาร cryogenic ในการหล่อเย็นขณะทำการขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก	17
2.5.2 Vibration assisted machining (VAM)	18
2.5.3 มีดกลึงแบบโรตารี (Driven rotary tool)	21
3.การทดลองศึกษาเบื้องต้น.....	23
3.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของแรงเสียดทานกับมุมเฉือน	23
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	24
3.3 ผลการทดลอง	29
3.4 ตารางบันทึกผลการทดลอง.....	31
3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	32
3.6 สรุปผลการทดลอง	33
4.การออกแบบและติดตั้งมีดกลึงแบบพิเศษสำหรับวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก	34
4.1 มีดกลึงแบบโรตารี.....	34
4.2 การออกแบบและติดตั้งมีดกลึงแบบโรตารี.....	35
4.2.1 ส่วนประกอบของเครื่อง CNC Mazak Integrex 100 –IV	36
4.2.2 การออกแบบด้ามจับเม็ดมีด.....	39
4.2.3 การปรับระนาบการเคลื่อนที่ของมีดกลึงแบบโรตารี	41
4.2.4 การปกผิวและการปาดหน้าด้วยมีดกลึงแบบโรตารี.....	42
5.การทดสอบการใช้งานมีดกลึงแบบโรตารี.....	46
5.1 การเปรียบเทียบความสามารถในการกัดขึ้นรูปของมีดกลึงแบบโรตารีและมีดกลึงแบบอยู่กับที่ 46	
5.1.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	47
5.1.2 ผลการทดลอง	49
5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	53
5.1.4 สรุปผลการทดลองที่ 5.1	62
5.2 การทดลองหาอัตราส่วนความเร็วที่เหมาะสมในการใช้งานของมีดกลึงแบบโรตารี	63
5.2.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	63
5.2.2 ผลการทดลอง	64
5.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	67
5.2.4 สรุปผลการทดลองที่ 5.2	73

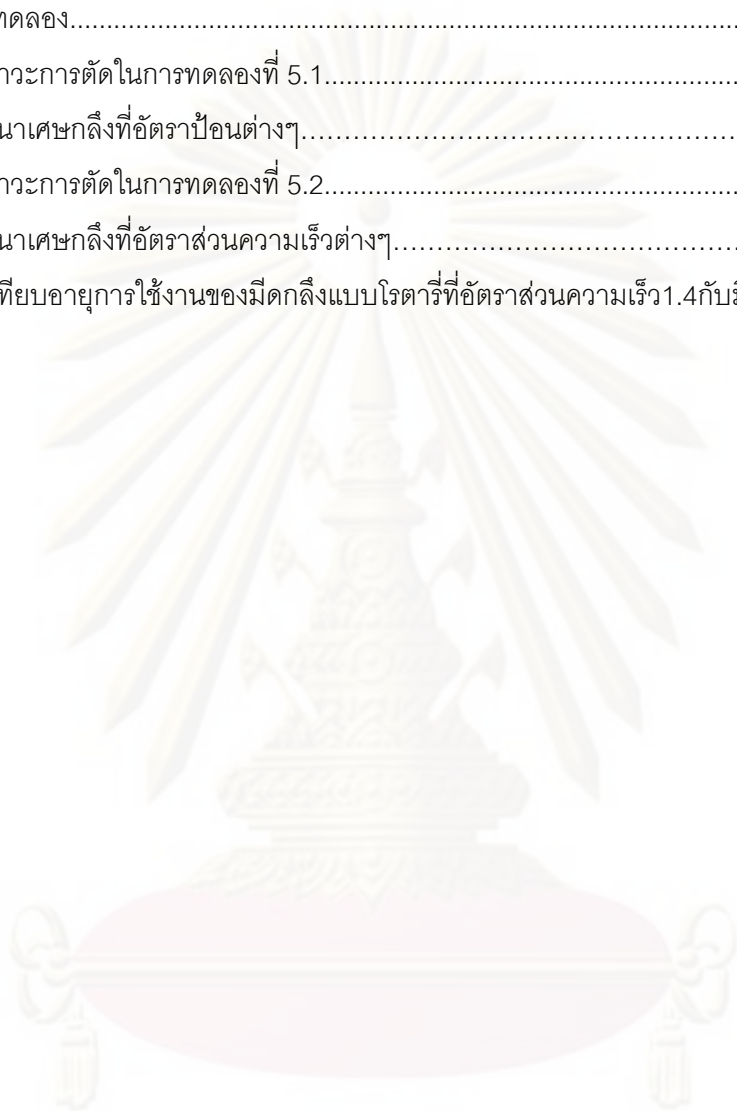
5.3 การเปรียบเทียบความสามารถในการกัดขึ้นรูประหว่างมีดกลึงแบบโรตารี และมีดกลึงแบบอยู่กับที่.....	74
6.สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	82
6.1สรุปผลการวิจัย.....	82
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางวิจัยเพิ่มเติม.....	83
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก.บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	88
ภาคผนวก ข.ลักษณะการเกิดเศษกลึงตามมาตรฐาน ISO 3685.....	100
ภาคผนวก ค. Effective rake angle ในการตัดแบบเฉียง.....	102
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	105



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 กระบวนการเตรียมและความหยาบผิวของมีดกลึงที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น.....	26
3.2 ผลการทดลอง.....	31
5.1 สรุปสภาวะการตัดในการทดลองที่ 5.1.....	47
5.2 ความหนาเศษกลึงที่อัตราป้อนต่างๆ.....	49
5.3 สรุปสภาวะการตัดในการทดลองที่ 5.2.....	63
5.4 ความหนาเศษกลึงที่อัตราส่วนความเร็วต่างๆ.....	64
5.5 เปรียบเทียบอายุการใช้งานของมีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 กับมีดกลึงแบบอยู่กับที่.....	78



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แรงที่เกิดขึ้นในการตัดแบบเฉียงในระบบ Fc-FI-Fz และระบบ Fn-Fp-Fz.....	3
2.2 แรง N และ P บน rake face ของการตัดแบบเฉียง	4
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างการตัด b, ความกว้างเศษกลึง b_c มุม inclination angle λ และมุมการไหลของเศษกลึง η ในการตัดแบบ oblique	4
2.4 a) การกลึงขึ้นงานประเภทท่อด้วยการตัดแบบตั้งฉาก b) ทฤษฎี shear plane ของ Ernst และ Merchant ในการตัดแบบตั้งฉาก	5
2.5 ทิศความเร็วในการตัดแบบตั้งฉาก	6
2.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการกัดขึ้นรูป(machinability)	7
2.7 จุดที่เกิดความร้อนขึ้นขณะตัดขึ้นงานบนมีดกัด	8
2.8 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าสัมผัสระหว่างมีดกัดและเศษกลึง.....	9
2.9 การยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุ 2 ชนิด.....	10
2.10 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear).....	12
2.11 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวคาย (crater wear)	12
2.12 การสึกหรอที่ปลายมีด (nose wear).....	12
2.13 กราฟความสัมพันธ์ของพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบกับการกำหนดอายุการใช้งานของใบมีด.....	13
2.14 เขตของการสึกหรอตามมาตรฐานสากล (ISO 3685 : 1993 (E)).....	15
2.15 การออกแบบมีดกัดให้สามารถฉีดพ่นสารหล่อเย็นให้เข้าสู่หน้าสัมผัสโดยตรง	17
2.16 a) coordinate system ใน 1D VAM b) การเคลื่อนที่ของมีดกัดใน 1D VAM.....	19
2.17 การเคลื่อนที่ของมีดกัดเป็นรูปวงรีใน 2D VAM	19
2.18 2D VAM ที่พัฒนาโดย Shamoto และ Moriwaki.....	20
2.19 แรงตัดที่เกิดขึ้นในการทดลอง vibration assist machining โดย Shamoto และMoriwaki.....	20
2.20 ทิศของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจาก vibration assist machining	21
2.21 ชุดมีดกลึงโรตารีของ Shuting Lei ที่ใช้ในการทดลองกลึงขึ้นงาน Ti-6Al-4V.....	22
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฉือน ϕ กับค่าแรงขนานในแนวการตัด K_c	23
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฉือน ϕ กับค่าแรงตั้งฉากในแนวการตัด K_z	24
3.3 มีดกลึงที่ได้จากการเจียรผิว ($R_a = 1.55 \mu m$).....	25
3.4 มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทราย ($R_a = 0.25 \mu m$)	25
3.5 มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทรายและผงอลูมิน่า ($R_a = 0.06 \mu m$)	26

3.6	เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.21 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$	27
3.7	เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.30 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$	28
3.8	เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.42 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$	28
3.9	เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.54 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$	29
3.10	เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.60 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$	29
3.11	เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.74 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$	30
3.12	เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.82 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$	30
3.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิว R_a กับค่ามุมเฉือน ϕ ที่ความลึกตัด a ต่างๆ	32
4.1	การกลึงโดยใช้มีดกลึงแบบโรตารี.....	34
4.2	เครื่อง CNC แบบ Hybrid machine 9 แกนการเคลื่อนที่.....	35
4.3	ส่วนประกอบของเครื่อง CNC Mazak Integrex 100 –IV	36
4.4	แกนการเคลื่อนที่ของเครื่อง CNC Mazak Integrex 100 –IV.....	37
4.5	การจับคู่การทำงานของป้อนมีดและหัวหมุนมีดกลึง.....	38
4.6	การทำงานของมีดกลึงแบบโรตารี	38
4.7	มีดมีดกลึง widia RDMT1605M0T-X ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm	39
4.8	ด้ามจับมีดกลึงแบบโรตารี.....	40
4.9	การประกอบมีดกลึงแบบโรตารีเข้ากับเครื่อง CNC	40
4.10	การกลึงด้วยมีดกลึงแบบปกติในระนาบ XZ	41
4.11	การกลึงด้วยมีดกลึงแบบโรตารีในระนาบ YZ	41
4.12	การปอกผิวชิ้นงานของมีดกลึงแบบโรตารี	42
4.13	การปาดหน้าชิ้นงานของมีดกลึงแบบโรตารี.....	43
4.14	ตัวอย่างโปรแกรมการใช้งานมีดกลึงแบบโรตารี	44
5.1	อัตราส่วนความเร็ว(cutting speed ratio)CR ในการกลึงด้วยมีดกลึงแบบโรตารี.....	46
5.2	การติดตั้งกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงขณะทำการกลึงชิ้นงาน	47
5.3	การติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิขณะทำการกลึงชิ้นงาน.....	48

5.4 การสึกหรอของเม็ดมีดที่ความเร็วตัด 50 m/min	50
5.5 การสึกหรอของเม็ดมีดที่ความเร็วตัด 70 m/min	50
5.6 การสึกหรอของเม็ดมีดที่ความเร็วตัด 90 m/min	51
5.7 คุณหมุมเม็ดมีดของมีดกลึงแบบอยู่กับที่ที่ความเร็วตัด 90 m/min	51
5.8 คุณหมุมเม็ดมีดของมีดกลึงแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 90 m/min.....	52
5.9 ค่ามุมเฉือนที่ความเร็วในการตัด 50 m/min.....	53
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง cutting force กับมุมเฉือนของมีดกลึงแบบอยู่กับที่ และเม็ดกลึงแบบโรตารี.....	54
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง Thrust force กับมุมเฉือนของมีดกลึงแบบอยู่กับที่ และเม็ดกลึงแบบโรตารี.....	54
5.12 ภาพถ่ายขณะทำการกลึงชิ้นงานที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง a)เม็ดมีดอยู่กับที่ b)เม็ดกลึงแบบโรตารี.....	55
5.13 เศษกลึงที่ได้จากการกลึงด้วยมีดกลึงแบบอยู่กับที่.....	56
5.14 เศษกลึงที่ได้จากการกลึงด้วยมีดกลึงแบบโรตารี.....	56
5.15 ลักษณะผิวของเศษกลึง a)เม็ดมีดอยู่กับที่ b)เม็ดกลึงแบบโรตารี.....	57
5.16 แสดงลักษณะเศษกลึงเมื่อมีดเกิดการสึกหรอ.....	57
5.17 ภาวะไหลตที่เกิดขึ้นบนเม็ดมีดกลึง a)เม็ดมีดแบบอยู่กับที่ b)เม็ดมีดแบบโรตารี.....	58
5.18 การสึกหรอบนผิวหลบที่เกิดขึ้นบนคมมีดตัด.....	58
5.19 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 50 m/min	59
5.20 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 70 m/min	59
5.21 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 90 m/min	60
5.22 เปรียบเทียบคุณหมุมขณะกลึงงานระหว่างมีดกลึงแบบอยู่กับที่และเม็ดกลึงแบบโรตารี.....	61
5.23 การแตกหักบนคมตัดของเม็ดมีดในเม็ดกลึงแบบอยู่กับที่และเม็ดกลึงแบบโรตารี.....	61
5.24 แสดงการสึกหรอของเม็ดมีด a)เม็ดมีดอยู่กับที่ b)เม็ดมีดจากเม็ดกลึงแบบโรตารี.....	62
5.25 การสึกหรอเม็ดมีดของมีดกลึงแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 50 m/min	65
5.26 การสึกหรอเม็ดมีดของมีดกลึงแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 70 m/min	65
5.27 การสึกหรอเม็ดมีดของมีดกลึงแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 90 m/min	66
5.28 ค่ามุมเฉือนที่อัตราส่วนความเร็วต่างๆ.....	67
5.29 อายุการใช้งานของเม็ดมีดที่อัตราส่วนความเร็วต่างๆ.....	68
5.30 ความเร็วขณะทำการกลึงด้วยมีดกลึงแบบโรตารี.....	68
5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเฉียงกับ effective rake angle	69
5.32 ทิศทางของความเร็วและแรงเสียดทานบนหน้ามีด a)เม็ดมีดอยู่กับที่ b)เม็ดมีดหมุนด้วยความเร็ว V_r	70

5.33 ผลของการกลับทิศแรงเสียดทานที่มีต่ออายุการใช้งานของเม็ดมีด	71
5.34 รอยแตกที่เกิดขึ้นบนเม็ดมีดที่หมุนด้วยอัตราส่วนความเร็ว 1.4.....	71
5.35 การปรับตำแหน่งมุมเข้ากึ่งขึ้นงานด้วยการปรับแกน X a)เหนือ centerline b)ต่ำกว่า centerline.....	
c)ระดับเดียวกับ centerline	72
5.36 มุม rake angle ในการตัดแบบ orthogonal cutting	73
5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง cutting force กับมุมเฉือนของมีดกลึงแบบอยู่กับที่และ	
มีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4.....	74
5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง Thrust force กับมุมเฉือนของมีดกลึงแบบอยู่กับที่และ	
มีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4.....	74
5.39 เปรียบเทียบคุณสมบัติขณะกลึงงานระหว่างมีดกลึงแบบอยู่กับที่และมีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วน	
ความเร็ว 1.4	75
5.40 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 90 m/min	
โดยใช้ 5 จุดการทดลอง	76
5.41 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 90 m/min	
โดยใช้เกณฑ์การสึกหรอบนผิวหลบเฉื่อยตลอดคมตัด V_{Boverall}	78
5.42 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4	
ที่ความเร็วตัดต่างๆ.....	79
5.43 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4	
ที่ระยะกินลึกต่างๆ.....	80
5.44 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4	
ที่ความเร็วตัด 90 m/min และใช้สารหล่อเย็น.....	81
ข.1 ลักษณะการเกิดเศษก้าง(chip formation) ตามมาตรฐาน ISO 3685.....	101
ค.1 Normal rake angle.....	103
ค.2 Velocity rake angle.....	103
ค.3 effective rake angle.....	104
ค.4 Geometric ของ effective rake angle.....	104

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a คือความหนาเศษกลิ้งก่อนตัด (uncut chip thickness)

a_c คือความหนาเศษกลิ้ง

F_n คือแรงที่ตั้งฉากกับขอบการตัด

F_p คือแรงที่ขนานกับขอบตัด

F_c คือแรงที่ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของมีดกัด (cutting force)

F_z คือ thrust force

k คือค่า flow stress

N คือแรงที่ตั้งฉาก กับ rake face ของมีดกัด

P คือแรงที่ตั้งขนาน กับ rake face ของมีดกัด

q_c คือความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพพลาสติกทุติยภูมิ (secondary plastic deformation)

q_f คือความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานบริเวณหน้าสัมผัสระหว่างมีดตัดกับชิ้นงาน

q_s คือความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพพลาสติกปฐมภูมิ (primary plastic deformation)

r_c คืออัตราส่วนการตัด

T คืออายุมีดตัด, นาที

V_B คือขนาดการสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear)

V_c คือความเร็วตามแนวมุมคายของมีดกัด

V_{chip} คือความเร็วของเศษกลิ้ง

V_r คือความเร็วของเม็ดมีดในการกลิ้งแบบโรตารี

V_s คือความเร็วตามแนวระนาบเฉือน

V_w คือความเร็วตัด

α_n คือมุมคายของมีดกัด (normal rake angle)

α_c คือ effective rake angle

α_v คือ velocity rake angle

β คือค่ามุมเสียดทาน (friction angle)

η คือมุมการไหลของเศษกลิ้ง (chip flow angle)

η_f คือมุมการไหลของเศษกลิ้ง (chip flow angle) ที่ได้จากการวัดแรงตัด

η_w คือมุมการไหลของเศษกลิ้ง (chip flow angle) ที่ได้จากการวัดความหนาเศษกลิ้ง

λ คือมุมเฉียง inclination angle

ϕ คือมุมเฉือน shear angle

μ_c คือสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้งานข้อเทียม (prosthesis) ในการผ่าตัดทดแทนข้อต่อที่เสื่อมสภาพในผู้ป่วยสูงอายุสูงมากขึ้น แต่เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตข้อเทียมขึ้นใช้ได้เองภายในประเทศ ดังนั้นข้อเทียมที่ใช้ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศทั้งหมดส่งผลให้ข้อเทียมมีค่าแพง การวิจัยและพัฒนาเพื่อให้สามารถผลิตข้อเทียมขึ้นได้ในประเทศจึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งยวดเพื่อตอบสนองความต้องการที่จะมีเพิ่มขึ้นในอนาคต

ในการผลิตข้อเทียมจำเป็นต้องใช้วัสดุทางการแพทย์ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถใช้ได้ในร่างกายมนุษย์ (biocompatible) ซึ่งวัสดุที่ใช้ในปัจจุบันคือโลหะจำพวกไทเทเนียม (titanium), โคบอลต์ โครเมียม (cobalt chromium) และเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญในงานเชิงวิศวกรรมเนื่องจากคุณสมบัติความแข็งแรงต่อน้ำหนัก (strength-to-weight) ที่ดีและความสามารถในการทนการกัดกร่อน (corrosion resistance) ที่สูงปัจจุบันมีการใช้งานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในวงการวิศวกรรมชีวเวช (biomedical engineering) แต่เนื่องจากโลหะเหล่านี้มีความสามารถในการกัดขึ้นรูป (machinability) ที่ต่ำโดยจัดเป็นวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก (hard-to-cut material) จึงประสบปัญหาในกระบวนการผลิตหลายประการเช่นการสึกหรอของมีดกัด (tool wear) ปัญหาการควบคุมความหยาบของพื้นผิวชิ้นงาน (surface roughness) ปัญหาการสั่นสะเทือน (chatter vibration) และปัญหาการทำปฏิกิริยา (chemical reaction) ของสารหล่อเย็นกับชิ้นงาน เป็นต้น การแก้ปัญหาจำเป็นต้องอาศัยการวิจัยและพัฒนาเทคนิควิธีการให้สามารถกัดขึ้นรูปชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่เนื่องจากในประเทศไทยการใช้งานวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก ยังอยู่ในวงจำกัดดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาเทคนิคและวิธีการกัดขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะมุ่งเน้นไปที่การลดปัญหาการสึกหรอของมีดกัดเนื่องจากในการผลิตข้อเทียมในเชิงอุตสาหกรรมต้นทุนการผลิตเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด หากงานวิจัยสามารถหาเทคนิคการลดการสึกหรอแม้จะเพียงเล็กน้อยแต่เมื่อใช้ในงานการผลิตจำนวนมากแล้วจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตไปได้อย่างมากส่งผลให้ราคาชิ้นงานถูกลง เทคนิควิธีการที่วิจัยได้ได้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากประเภทอื่นในระบบอุตสาหกรรมของประเทศไทยได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดการสึกหรอของมีดกัดสำหรับงานกัดขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1. กระบวนการกัดขึ้นรูปที่ใช้ในงานวิจัยคือการกลึง (turning)
- 1.3.2. การสึกหรอของมีดกลึงจะวัดตามแนวทางมาตรฐาน ISO 3685:1993 (E)
- 1.3.3. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยคือเหล็กกล้าไร้สนิม 316L
- 1.3.4. การทดลองในงานวิจัยจะอาศัยเครื่อง CNC (computer numerical control) ในการควบคุมมีดกลึง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1. สามารถพัฒนาเทคนิควิธีการกัดขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.4.2. สามารถนำเอาองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานผลิตข้อเทียมเพื่อใช้ในประเทศไทย
- 1.4.3. สามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม
- 1.4.4. สามารถพัฒนาการวิจัยต่อเนื่องเพื่อผลิตข้อเทียมทางการแพทย์ชนิดอื่นได้

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1.5.1 ทำการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากที่จะนำมาใช้ในการผลิตข้อเทียมได้แก่ โลหะไทเทเนียม Ti-6Al-4V และเหล็กกล้าไร้สนิม 316L โดยศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุ (material properties) การใช้งานและความเป็นไปได้ในการจัดหาในประเทศไทย

1.5.2 สํารวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากโดยศึกษาถึงเทคนิควิธีการที่ใช้ในปัจจุบันและศึกษาปัญหาที่พบในงานการผลิตจริงเพื่อนำมาปรับปรุงให้การกัดขึ้นรูปมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

1.5.3 ศึกษาหลักการตัด อุณหภูมิในการตัดและการสึกหรอของมีดกลึงรวมถึงมาตรฐานในการวัดอายุการใช้งานมีดกลึงโดยยึดตามมาตรฐาน ISO 3685:1993 (E)

1.5.4 เลือกวิธีการและปัจจัยที่จะทำการพัฒนาและปรับปรุงการกัดขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก โดยในงานวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การลดแรงตึงและความร้อนที่เกิดขึ้นกับมีดกลึงเพื่อให้ลดการสึกหรอของมีดกลึงลง

1.5.5 ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาแนวโน้มความเป็นไปได้ของเทคนิควิธีการที่เลือกใช้

1.5.6 ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

1.5.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

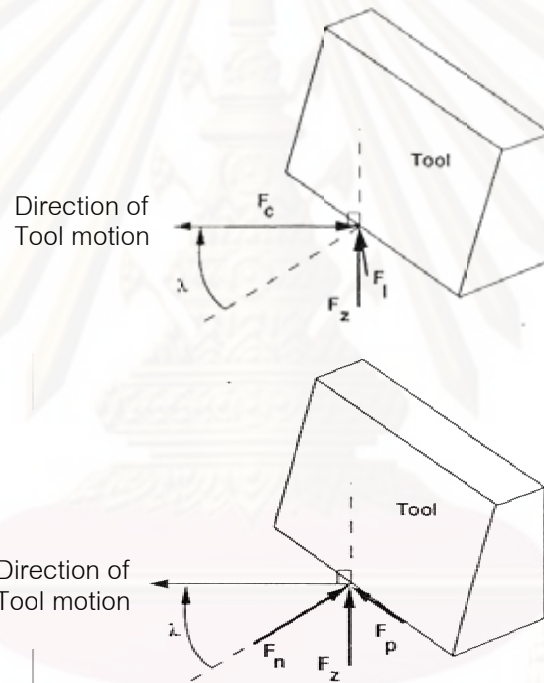
1.5.8 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.5.9 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและปรัทัศน์วรรณกรรม

2.1.กลไกการตัด(cutting mechanism)[1]

ในกระบวนการกัดขึ้นรูปชิ้นงานนั้นสามารถแบ่งได้เป็นหลายวิธีการเช่นการกลึง (turning) การเซาะร่อง (milling) และการเจาะ (drilling) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ถึงแม้ว่าเครื่องมือจะมีรูปร่างแตกต่างกันแต่ก็อาศัยหลักการเดียวกันในการตัดเฉือนชิ้นงาน ซึ่งการตัดแบบพื้นฐานในสองมิติจะเป็นการตัดแบบตั้งฉาก (orthogonal cutting) โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของคมมีดตั้งฉากไปบนชิ้นงานทำให้เกิดการหลุดของเนื้อชิ้นงาน(material removal)แต่เมื่อพิจารณาการตัดที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นโดยพิจารณาการตัดในสามมิติจะเป็นการตัดแบบเฉียง (oblique cutting) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



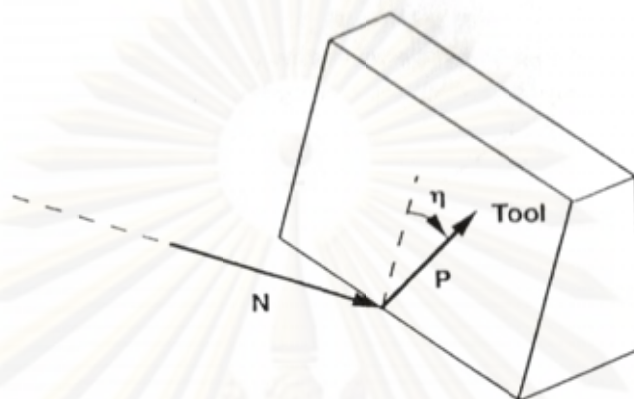
รูปที่ 2.1 แรงที่เกิดขึ้นในการตัดแบบเฉียง ในระบบ F_c - F_t - F_z และระบบ F_n - F_p - F_z

ในการพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นบนมีดกัดนิยมแบ่งแรงที่เกิดขึ้นเป็น 2 ระบบคือ F_c - F_t - F_z และ F_n - F_p - F_z โดยพิจารณาได้ดังนี้ แรง F_n คือแรงที่ตั้งฉากกับขอบการตัด, F_c คือแรงที่ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของมีดกัด, F_p คือแรงที่ขนานกับขอบตัด, F_z คือแรงที่ตั้งฉากกับระนาบของแรง F_n และ F_p , F_t คือแรงที่ตั้งฉากกับระนาบของแรง F_c และ F_z แรง F_c , F_t , F_n และ F_p มีความสัมพันธ์กันโดยมุมเฉียง λ ตามสมการ (2-1)

$$\begin{aligned}
 F_n &= F_c \cdot \cos \lambda + F_t \cdot \sin \lambda \\
 F_p &= -F_c \cdot \sin \lambda + F_t \cdot \cos \lambda \\
 F_c &= F_n \cdot \cos \lambda - F_p \cdot \sin \lambda \\
 F_t &= F_n \cdot \sin \lambda + F_p \cdot \cos \lambda
 \end{aligned}
 \tag{2-1}$$

หากพิจารณาจาก rake face ของมีดกัดดังแสดงในรูปที่ 2.2 จะสามารถพิจารณาแรงได้เป็นสองแรงคือ แรง N และ P ซึ่งเป็นแรงที่ตั้งฉากและขนานกับ rake face ตามลำดับ สามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} N &= F_n \cdot \cos \alpha - F_z \cdot \sin \alpha \\ P &= \frac{F_n \cdot \sin \alpha + F_z \cdot \cos \alpha}{\cos \eta} \end{aligned} \quad (2-2)$$

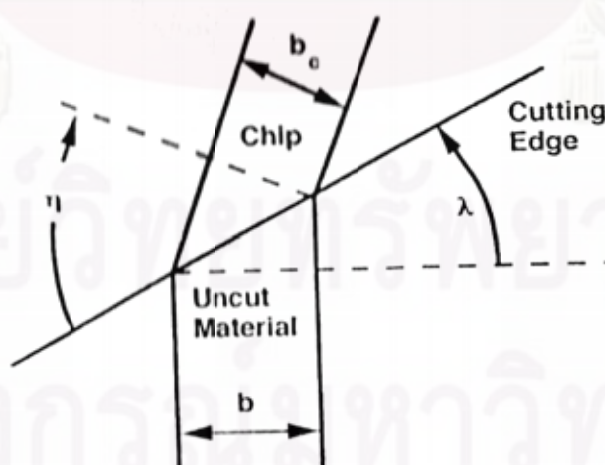


รูปที่ 2.2 แรง N และ P บน rake face ของการตัดแบบเฉียง

โดย α คือมุมคานของมีดกัด (normal rake angle) ซึ่งวัดได้จากระนาบตั้งฉากไปยังหน้ามีดและ η คือมุมการไหลของเศษกลึง (chip flow angle) ซึ่งเป็นมุมที่วัดจากทิศทางการไหลของเศษกลึงตั้งฉากกับขอบการตัดดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่ง η สามารถหาได้สองวิธีคือการวัดจากแรงในการตัด η_f ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์

$$\tan \eta_f = \frac{F_p}{F_n \sin \alpha + F_z \cos \alpha} \quad (2-3)$$

หรือหาได้จากการวัดความกว้างของเศษกลึง η_w ตามรูปที่ 2.3



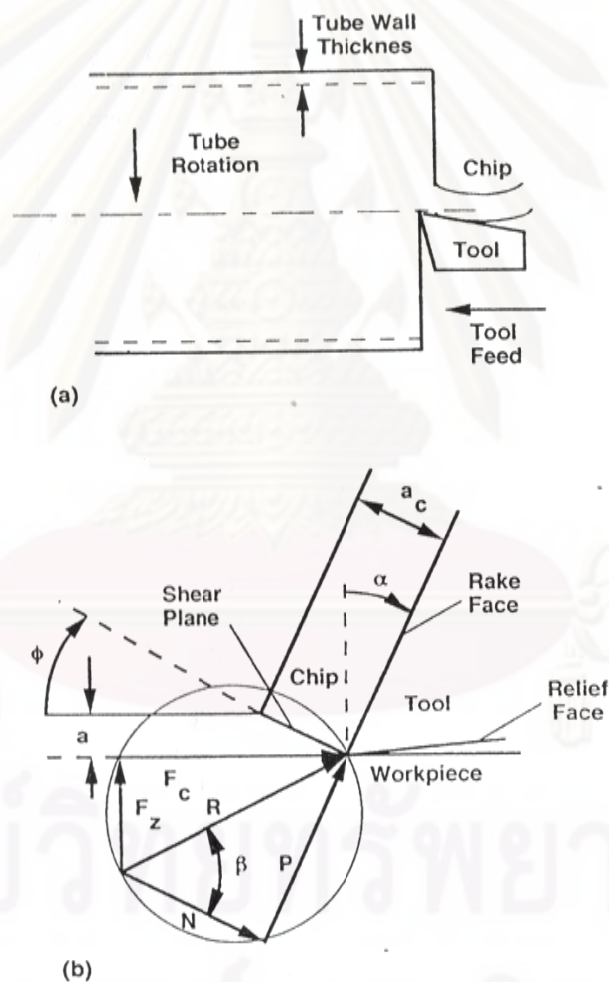
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างการตัด (width of cut) b , ความกว้างเศษกลึง (width of chip) b_c มุมเฉียง (inclination angle) λ และมุมการไหลของเศษกลึง η ในการตัดแบบเฉียง

η_w สามารถหาได้จากสมการ

$$\cos \eta_f = \frac{b_c \cdot \cos \lambda}{b} \quad (2-4)$$

ซึ่งโดยปกติค่าแล้ว $\eta = \eta_f = \eta_w$

แรงที่ใช้ในการตัด (cutting force) เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาถึงพลังงานและภาวะไหลดที่ส่งผลถึงการเปลี่ยนรูปของมีดกัดและชิ้นงาน การวัดค่าแรงที่ใช้ในกระบวนการตัดมักจะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถในการกัดขึ้นรูป (machinability) โดยแรงที่ใช้ในการตัดจะขึ้นกับความเร็วในการตัด (cutting speed), อัตราการป้อน (feed rate), ระยะกินลึก (depth of cut), รูปร่างของมีดกัด (tool geometry) และคุณสมบัติของวัสดุและมีดกัด เป็นต้น ในกระบวนการตัดจะเกิดความเค้นเฉือนขึ้นตามแนวระนาบเฉือน (shear plane) ดังรูปที่ 2.4b)



รูปที่ 2.4 a) การกลึงขึ้นงานประเภทท่อด้วยการตัดแบบตั้งฉาก b) ทฤษฎี shear plane ของ Ernst และ Mechant ในการตัดแบบตั้งฉาก

ในการพิจารณาการตัดแบบตั้งฉากซึ่งเสนอโดย Piispänen, Ernst และ Merchant [1] เสนอว่า
 เศษกลึงเกิดจากความเค้นตามแนวระนาบทำมุม ϕ เรียกว่ามุมเฉือน (shear angle) โดยค่า ϕ สามารถ
 หาได้จากความสัมพันธ์

$$\tan \phi = \frac{r_c \cdot \cos \alpha}{1 - r_c \cdot \sin \alpha} \quad (2-5)$$

$$r_c = \frac{a}{a_c} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (2-6)$$

โดย r_c คืออัตราส่วนการตัด

a คือความหนาเศษกลึงก่อนการตัด (uncut chip thickness)

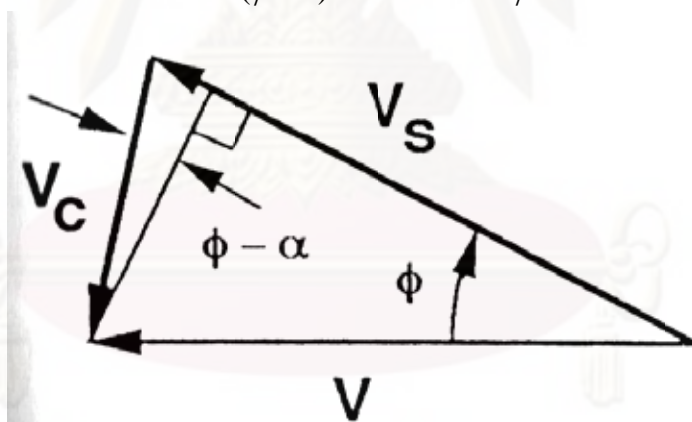
a_c คือความหนาเศษกลึง (chip thickness)

แรงรวมที่ปลายมีด, R จะกำหนดให้กระทำในมุม β ซึ่งเรียกว่าค่ามุมเสียดทาน (friction angle) โดยมี
 ความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน, μ_e ดังสมการ

$$\tan \beta = \mu_e = \frac{P}{N} \quad (2-7)$$

ต่อมาจะพิจารณาถึงความเร็วตามแนวระนาบเฉือน, V_s และความเร็วตามแนว rake face ของมีดกัด, V_c
 ดังรูปที่ 2.5 ค่า V_s และ V_c สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$\frac{V}{\cos(\phi - \alpha)} = \frac{V_s}{\cos \alpha} = \frac{V_c}{\sin \phi} \quad (2-8)$$



รูปที่ 2.5 ที่ความเร็วในการตัดแบบตั้งฉาก

จากกฎการอนุรักษ์มวลจะได้

$$V \cdot a = V_c \cdot a_c \quad (2-9)$$

ภายใต้ข้อกำหนดเหล่านี้ค่าแรงในการตัด F_c และแรงในแนวแกน F_z สามารถหาได้จากสมการ

$$F_c = \frac{k \cdot a \cdot b \cdot \cos(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)} \quad (2-10)$$

$$F_z = \frac{k \cdot a \cdot b \cdot \sin(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)}$$

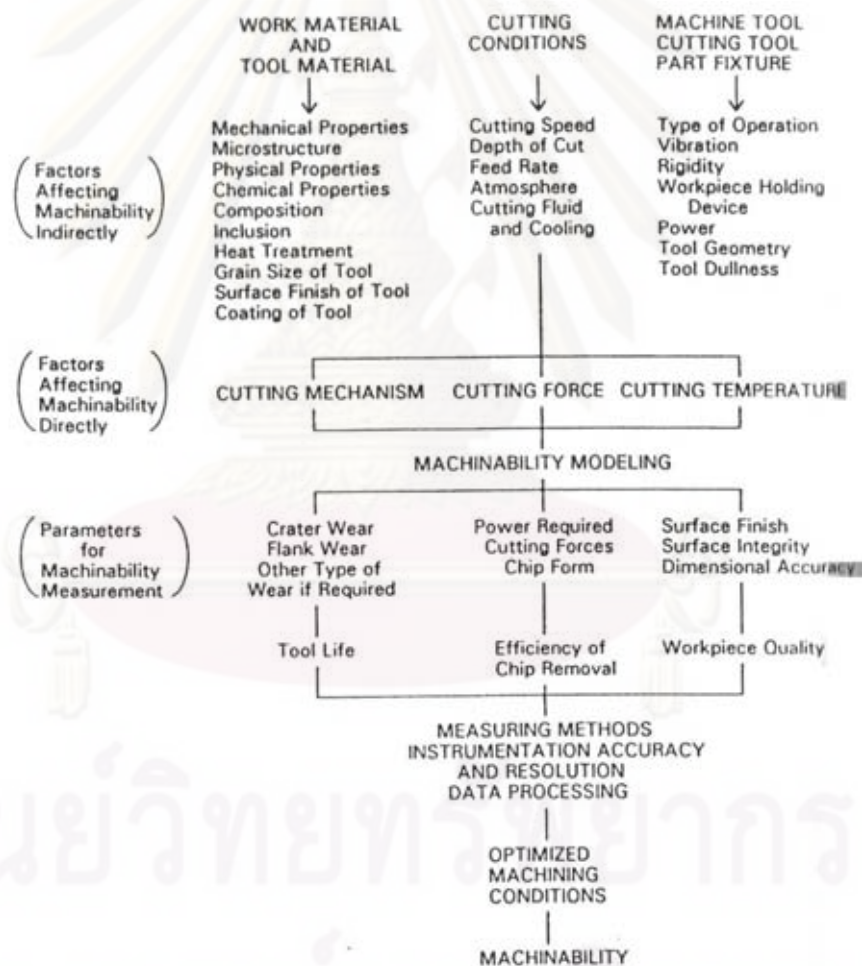
ค่า k ซึ่งคือค่า flow stress จะมีค่าใกล้เคียงกับค่า yield stress ของวัสดุชนิดนั้น ซึ่งจะมีค่าประมาณหนึ่งในสามของค่าความแข็งดังนั้นในกรณีที่ไม่สามารถทำการทดลองหาค่า k ได้จะกำหนดให้ค่า $k = HB/3$

ในการหาค่า ϕ เพื่อใช้ในการคำนวณแรงที่ใช้ในการตัด Merchant ได้กำหนดให้กำลังในการตัด (cutting power) สามารถหาได้จาก $V \cdot F_c$ และค่า ϕ จะมีค่าที่ทำให้ใช้กำลังในการตัดน้อยที่สุด หาค่า k และ β ไม่ขึ้นกับ ϕ แล้วจะได้ความสัมพันธ์ตามสมการ

$$\phi = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\alpha}{2} \quad (2-11)$$

ภายใต้ข้อกำหนดนี้ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นตามแนวระนาบเฉือน

2.2 ความสามารถในการกัดขึ้นรูป (machinability)



รูปที่ 2.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการกัดขึ้นรูป (machinability)

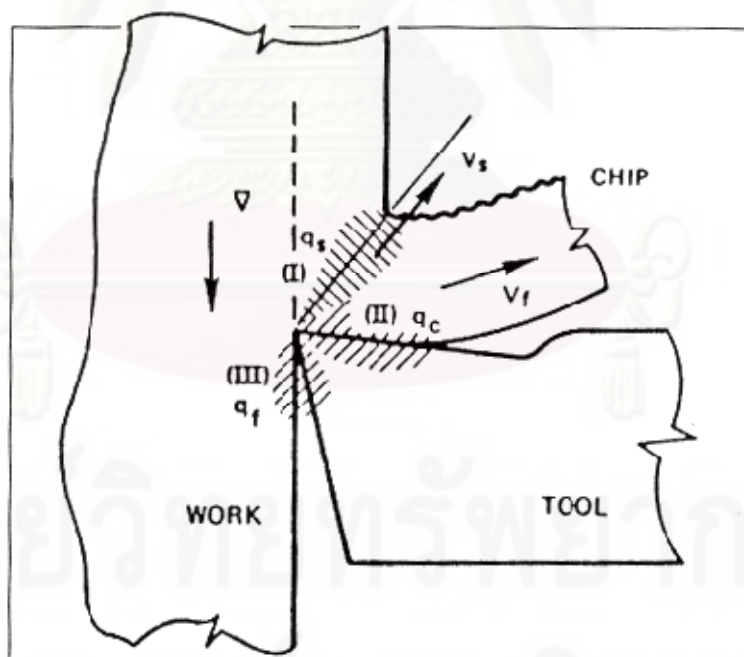
ในการพิจารณาความสามารถในการกัดขึ้นรูปวัสดุดังแสดงในรูปที่ 2.6 จะพบว่าในการกัดขึ้นรูปวัสดุ (machining) ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการกัดขึ้นรูปจะมีอยู่ด้วยกันหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติของตัวชิ้นงาน สภาวะการตัดชิ้นงาน ชนิดของสารหล่อเย็นหรือการจับยึดชิ้นงาน เป็นต้น ซึ่ง

ปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยทางอ้อมที่ส่งผลต่อความสามารถในการกัดขึ้นรูป โดยเมื่อพิจารณาเป็นปัจจัยหลักจะจำแนกได้เป็น 3 ปัจจัยคือกลไกการตัด (cutting mechanism) แรงในการตัด (cutting force) และอุณหภูมิในการตัด (cutting temperature) ซึ่งปัจจัยหลักเหล่านี้จะส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการกัดขึ้นรูปและในการพิจารณาว่าการกัดขึ้นรูปวัสดุนั้นมีประสิทธิภาพหรือไม่สามารถสังเกตได้จากหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็น การสึกหรอของมีดกัด (tool wear) พลังงานที่ใช้ในการตัด และคุณภาพผิวชิ้นงาน เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้จะบ่งบอกถึงอายุการใช้งานของมีดกัด (tool life) ประสิทธิภาพในการกัดขึ้นงาน (efficiency of chip removal) และคุณภาพของชิ้นงาน (work piece quality)

2.3 อุณหภูมิและความร้อนที่เกิดจากการตัด [2]

พลังงานกลที่เกิดจากการตัดจะเปลี่ยนแปลงเป็นความร้อนทำให้เกิดอุณหภูมิตัดที่สูงขึ้นโดยความร้อนหลักที่เกิดขึ้นในการตัดแสดงดังรูปที่ 2.7

1. จุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสภาวะพลาสติกเพราะถูกแรงตัดเฉือนกระทำแล้วขยายตัวไปตามทิศทางตัดกึ่งเกิดความร้อน q_s
2. จุดที่สัมผัสระหว่างเศษกึ่งที่ถูกแรงตัดเฉือนกระทำและเสียดสีไปกับ rake face ของมีดกึ่งจะเกิดความร้อน q_c
3. จุดที่สัมผัสระหว่างมีดกึ่งกับชิ้นงานเกิดการเสียดสีกันและเกิดความร้อนขึ้น q_f



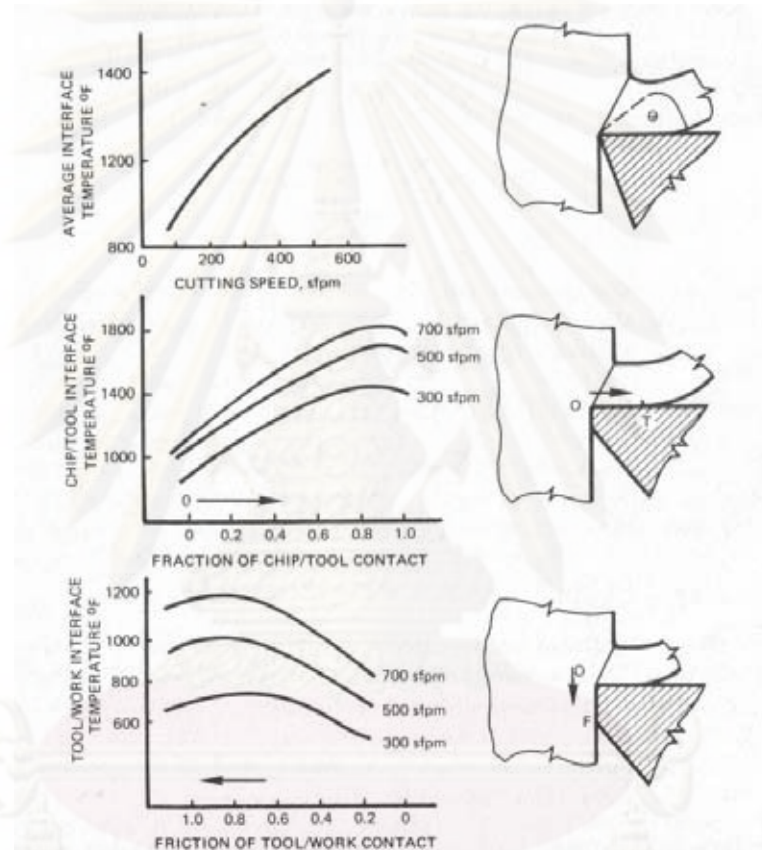
รูปที่ 2.7 จุดที่เกิดความร้อนขึ้นขณะตัดชิ้นงานบนมีดกัด

ความร้อนที่เกิดขึ้นที่บริเวณการเปลี่ยนแปลงสภาวะพลาสติก q_s และที่จุดที่สัมผัสระหว่างเศษกึ่งที่ถูกแรงตัดเฉือนกระทำและเสียดสีไปกับ rake face ของมีดกึ่ง q_c สามารถหาได้จากพลังงานที่เกิดจากการกัดดังสมการ [2]

$$q_s = \frac{k \cdot a \cdot V \cdot \cos(\alpha)}{\sin \alpha \cdot \cos(\phi - \alpha)}$$

$$q_c = \frac{k \cdot a \cdot V_c \cdot \sin(\beta)}{\sin(\phi - \alpha) \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)}$$
(2-12)

ความร้อนเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกับการสึกหรอของมีดกัด ความร้อนที่เกิดจากแรงเฉือนหลัก ส่วนหนึ่งจะส่งผ่านไปยังเศษกลึง และอีกส่วนหนึ่งจะส่งไปยังชิ้นงาน สำหรับความร้อนที่เกิดจากความเสียดทานจะส่งผ่านไปที่มีดกัดและชิ้นงาน โดยความร้อนที่กระจายไปยังเศษกลึง, ชิ้นงานและมีดกัดได้ ถูกทำการทดลองโดย Schmidt [2] และแสดงผลดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าสัมผัสระหว่างมีดกัดและเศษกลึง

ความร้อนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทเข้าสู่เศษกลึงและหลุดออกไปจากตัวชิ้นงานและมีบางส่วนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวชิ้นงานและมีดกัด ดังนั้นความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ชิ้นงานและมีดกัดนี้จะมากขึ้นเมื่ออัตราการตัดชิ้นงาน (rates of metal removal) ลดลง

2.4 การสึกหรอของมีดกัด (tool wear) [3]

2.4.1 กลไกของการสึกหรอ

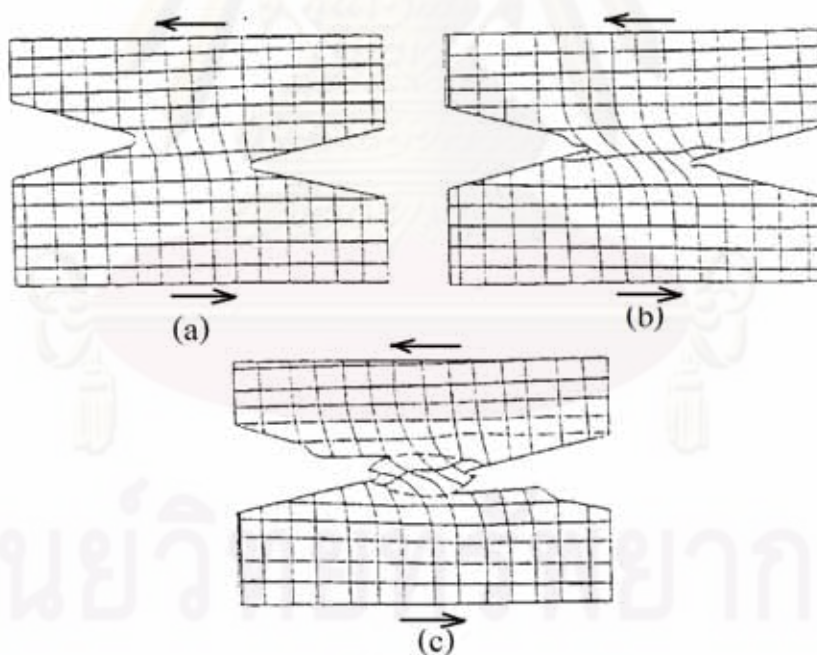
การสึกหรอของมีดกัด (tool wear) หมายถึงการใช้งานจนหมดสภาพระหว่างทำงานตัดเฉือนที่ ส่วนของมีดตัดถูกกระทำด้วยพลังงานความร้อนและพลังงานกล ซึ่งกลไกการสึกหรอเนื่องจากการขัดสี จากการศึกษาลักษณะของการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานแห้งสองชิ้นขัดกันพบว่าเมื่อมีอยู่ 4 ลักษณะคือ

2.4.1.1 การสึกหรอเนื่องจากการขัดสี (abrasion wear)

การสึกหรอเกิดจากส่วนที่คมหรือแข็งของเนื้อชิ้นงานสัมผัสและถูไถไปบนผิวมีดกัดจึงเกิดการขัด สีกันและสึกหรอได้ เหล็กกล้า เหล็กหล่อ และนิกเกิลผสม ที่มีส่วนประกอบที่แข็งของคาร์ไบด์ ออกไซด์ และไนไตรต์จะเป็นสาเหตุทำให้มีดกัดสึกหรอได้ง่ายและที่สังเกตได้ง่ายคือเมื่อทำการกลึงชิ้นส่วนงาน หล่อที่มีสเกลของออกไซด์ หรือที่มีทรายฝังอยู่จะทำให้มีดกลึงนั้นสึกหรอมากและรวดเร็ว การสึกหรอ แบบนี้เกี่ยวข้องกับสภาวะการตัด ความแข็ง ความยืดหยุ่นและรูปร่างของผิวหน้าทั้งสองด้วย

2.4.1.2 การสึกหรอเนื่องจากการยึดเกาะของวัสดุ (adhesion wear)

การสึกหรอเนื่องจากการยึดเกาะของวัสดุ (adhesion wear) เกิดจากการที่ผิววัสดุ 2 ชนิดรวม ยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน อันเนื่องมาจากแรงยึดและการเฝ้มติดกัน แล้วเกิดแรงเฉือนจนทำให้บริเวณที่ยึด เกาะเป็นเนื้ออันเดียวกันนั้นขาดออกจากวัสดุเดิม ดังแสดงตามข้อสันนิษฐานดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุ 2 ชนิด ดังแสดงใน (a) และ (b) แล้วเกิดการฉีกขาดดัง แสดงในรูป (c)

ขณะตัดโลหะมักจะเกิดเหตุการณ์เหล่านี้ได้ เนื้อวัสดุของปลายคมตัดจะแตกและติดไปกับเศษชิ้นงานได้ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะกัดโลหะและแรงกระทำที่เกิดขึ้นจะมีอิทธิพลต่อการเกิดการยึดเกาะกันของวัสดุแต่ละคู่ (มีดกัดกับชิ้นงาน) การยึดเกาะนี้จะเกิดที่ความเร็วตัดต่ำๆแต่จะขึ้นกับเวลาและมีแนวโน้มว่าจะเกิดน้อยลงเมื่อใช้ความเร็วตัดสูงๆ ถ้าเป็นการตัดที่รุนแรงหรือมีการสั่นสะเทือนหรือกระแทกเป็นช่วงๆ จะทำให้เกิดการยึดเกาะเร็วขึ้นและสึกหรอมากขึ้น

2.4.1.3 การสึกหรอเนื่องจากการแพร่ซึมส่วนผสมเคมี (diffusion wear)

การสึกหรอเนื่องจากการแพร่ซึมส่วนผสมเคมี (diffusion wear) เกิดในสถานะของแข็ง (solid – state diffusion) ที่อะตอมเคลื่อนย้ายจาก lattice หนึ่งจากที่มีอะตอมเข้มข้นกว่าไปยังที่มีอะตอมเบาบางกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า บรรยากาศแวดล้อมมากก็ยิ่งมีการแพร่ซึมส่วนผสมได้มากขึ้น ขณะกัดโลหะ เมื่อเกิดการยึดเกาะของวัสดุและเกิดอุณหภูมิสูงเพียงพอในบริเวณที่ยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกันนี้จะเกิดการไหลของอะตอมจากเนื้อวัสดุมีดกัดไปยังเนื้อชิ้นงาน ซึ่งปริมาณการแพร่ซึมจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคู่สัมพันธ์ของเนื้อวัสดุทั้งสอง และระดับการสั่นของอะตอมซึ่งขึ้นอยู่กัอุณหภูมิ ถ้าเวลาที่สัมผัสยึดเกาะกันอยู่นานก็จะแพร่ซึมได้มากแต่ถ้าใช้ความเร็วตัดสูงก็จะแพร่ซึมได้น้อย มีดกัดที่ทำจากเหล็กกล้าไฮ-สปีดจะมีอะตอมของธาตุคาร์บอนของมีดกัดแพร่ซึมเข้าไปสู่วิวชิ้นงานทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมบริเวณนี้ คุณสมบัติของมีดกัดก็จะเปลี่ยนไปทำให้เกิดการสึกหรอได้ง่าย

2.4.1.4 การสึกหรอเนื่องจากการล้า (fatigue wear)

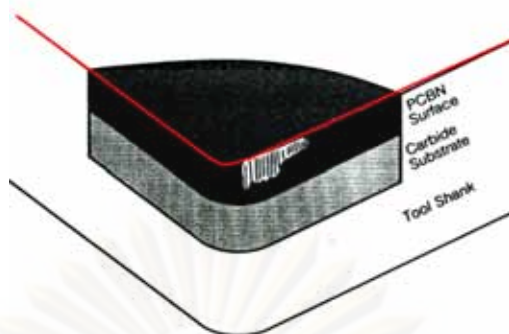
เมื่อผิวของวัสดุหนึ่งมีปมสูงขึ้นมาแล้วขัดสีไปบนผิวหน้าของวัสดุอีกชนิดหนึ่ง จะทำให้เกิดแรงกดขึ้นที่ผิวหน้าข้างหน้าปมนั้นขณะเดียวกันก็เกิดแรงดึงขึ้นข้างหลังปมนั้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการล้า (fatigue failure) ขึ้นซึ่งในทางทฤษฎีแล้วจะทำให้เกิด crack ขึ้นและจะดำเนินต่อไปยังผิวหน้าทำให้ผิวหน้าหลุดออกไปในกรณีที่พบทั่วไปปรากฏว่าผิวที่หลุดมาโดยใช้วิธีนี้มักเป็น oxide film ดังนั้นการสึกหรอเนื่องจากการล้าตัวนี้จึงเกิดขึ้นกับ oxide film มากกว่าโลหะ

2.4.2 ชนิดการสึกหรอบนคมตัดของมีดกัด

โดยทั่วไปแล้วการสึกหรอบนคมตัดของมีดกัดสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดตามลักษณะของตำแหน่งที่เกิดการสึกหรอ คือ การสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear) การสึกหรอบนผิวคาย (crater wear) และการสึกหรอที่ปลายมีด (nose wear)

2.4.2.1. การสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear)

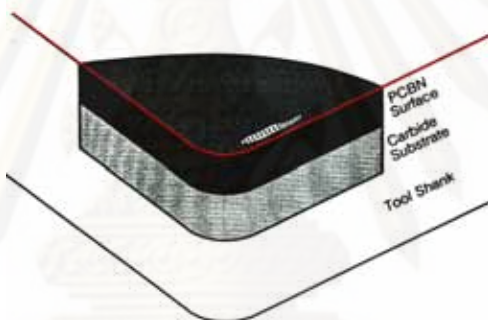
การสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear) จะเกิดขึ้นเป็นแนวยาวด้านข้างของคมตัดดังในรูปที่ 2.10 การสึกหรอชนิดนี้เกิดจากการขัดสีกันระหว่างด้านข้างของมีดคลึงกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือน เมื่อการสึกหรอบนผิวหลบเกิดขึ้นมากก็จะมี การขัดสีเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องการกำลังสำหรับการตัดเฉือนมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.10 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear)

2.4.2.2. การสึกหรอบนผิวคาย (crater wear)

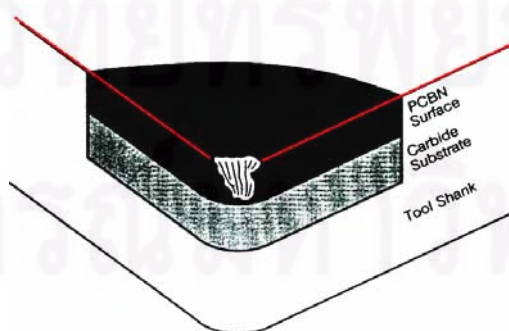
การสึกหรอบนผิวคาย (crater wear) จะมีลักษณะเป็นหลุมหรือเป็นร่องลึกเกิดใกล้ๆ กับคมตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.11 การสึกหรอบนผิวคายเกิดจากการไหลของเศษกลึงไปบนผิวคายของมีดกลึงเมื่อการสึกหรอบนผิวคายเกิดขึ้นมากในที่สุดก็จะทำให้คมตัดเกิดการแตกหักได้



รูปที่ 2.11 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวคาย (crater wear)

2.4.2.3 การสึกหรอที่ปลายมีด (nose wear)

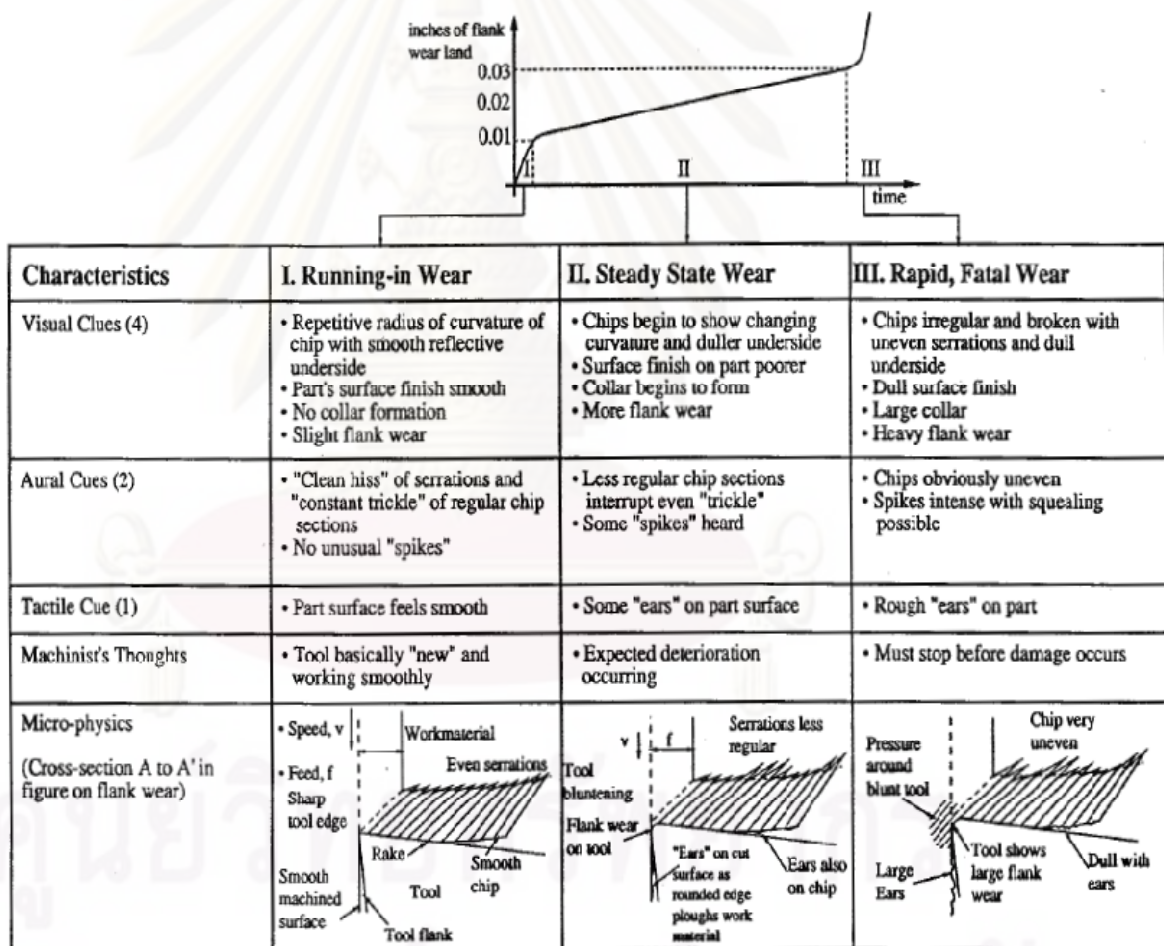
การสึกหรอที่ปลายมีด (nose wear) เป็นการสึกหรอที่ปลายมีดกลึงหรือจุดที่เกิดการเสียดสีระหว่างปลายมีดกลึงกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือนดังแสดงในรูปที่ 2.12 การสึกหรอที่ปลายมีด บนคมตัดจะส่งผลกับคุณภาพของผิวชิ้นงาน



รูปที่ 2.12 การสึกหรอที่ปลายมีด (nose wear)

2.4.3 การสึกหรอของคมมีดกับอายุการใช้งานมีดกัด

การสึกหรอของคมมีดตัดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีดมีการหมดสภาพไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ซึ่งขนาดของการสึกหรอของคมมีดที่ใช้เป็นเครื่องมือในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัดนั้น อาจจะสามารถจากขนาดของการสึกหรอแบบหลุมบนผิวคายหรือขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบก็ได้ ขนาดของการสึกหรอที่ใช้ในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัด จะเป็นขนาดของการสึกหรอที่ถึงจุดที่การสึกหรอเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลให้มีดกัดหมดสภาพที่จะใช้งานต่อไป ซึ่งเรียกจุดนี้ว่าจุดวิกฤติ (critical point) เช่น ถ้าพิจารณาพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear) ในระหว่างอายุของใบมีดจะพบว่ามี 3 ขั้นคือ การสึกหรอขั้นแรก (primary wear or running-in wear) การสึกหรอขั้นที่สอง (secondary wear or steady state wear) และขั้นสุดท้ายเป็นการสึกหรอขั้นที่สาม (tertiary wear or rapid fatal wear)



รูปที่ 2.13 กราฟความสัมพันธ์ของพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบ

กับการกำหนดอายุการใช้งานของใบมีด [4]

การสึกหรอชั้นแรกเกิดขึ้นเมื่อนำมีดกลึงที่เพิ่งลับใหม่หรือเม็ดมีดใหม่มาใช้ในการตัดเฉือน ชิ้นงานคมตัดก็จะเกิดความเสียหายอย่างรวดเร็วจากรูปที่ 2.13 กราฟแสดงขนาดของการสึกหรอเทียบกับเวลาแสดงให้เห็นว่าอัตราการสึกหรอในชั้นแรกจะสูงมากซึ่งอัตราการสึกหรอนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้ในการตัดเฉือนและวัสดุของชิ้นงานที่ทำการตัดเฉือน

การสึกหรอชั้นที่สองเป็นการสึกหรอที่ดำเนินต่อเนื่องมาจากการสึกหรอในชั้นแรก แต่การสึกหรอเพิ่มขึ้นในลักษณะคงที่ คืออัตราการสึกหรอน้อยกว่าช่วงแรก จุดสิ้นสุดของการสึกหรอในช่วงนี้จะเรียกว่า จุดวิกฤติของการสึกหรอบนผิวหอบ (critical point of flank wear) หรือเรียกว่า critical flank ซึ่งจุดนี้มักใช้เป็นจุดสิ้นสุดของอายุการใช้งานของเม็ดมีด

การสึกหรอชั้นที่สาม การสึกหรอในชั้นนี้เป็น การสึกหรอชั้นสุดท้ายการสึกหรอจะเกิดขึ้นมากและรวดเร็วซึ่งจะนำไปสู่การสูญเสียสภาพการใช้งาน (failure) ของใบมีดการสูญเสียสภาพการใช้งานเกิดจากการประกอบกันของการสึกหรอบนผิวหอบที่มีค่าสูงกับการการสึกหรอบนผิวคายที่มีขนาดใหญ่

2.4.4 การวัดอายุของมีดกัด (measuring tool life)

การศึกษาถึงการวัดอายุของมีดกัดทำให้เราสามารถทราบถึงการจุดแตกหักที่เกิดจากการกัด ชิ้นงาน Frederick W. Taylor ได้ทดลองปฏิบัติงานและเสนอแนวคิดว่าช่วงเวลา 20 นาทีแรกของการตัดมีดจะมีอายุมากที่สุดหลังจากเพิ่มความเร็วกัดจะทำให้มีดเกิดการอ่อนตัวลงภายหลังจาก 20 นาทีทำให้เกิดการสึกหรอมากขึ้น

ต่อมาในปี 1907 Taylor ได้แสดงเอกสารความสัมพันธ์ระหว่างอายุมีดกัดและความเร็วในการกัดได้ใกล้เคียงมากที่สุด และได้เป็นสมการดังต่อไปนี้

$$VT^n = C \quad (2-13)$$

V = ความเร็วตัด (cutting speed)

T = อายุมีดกัด

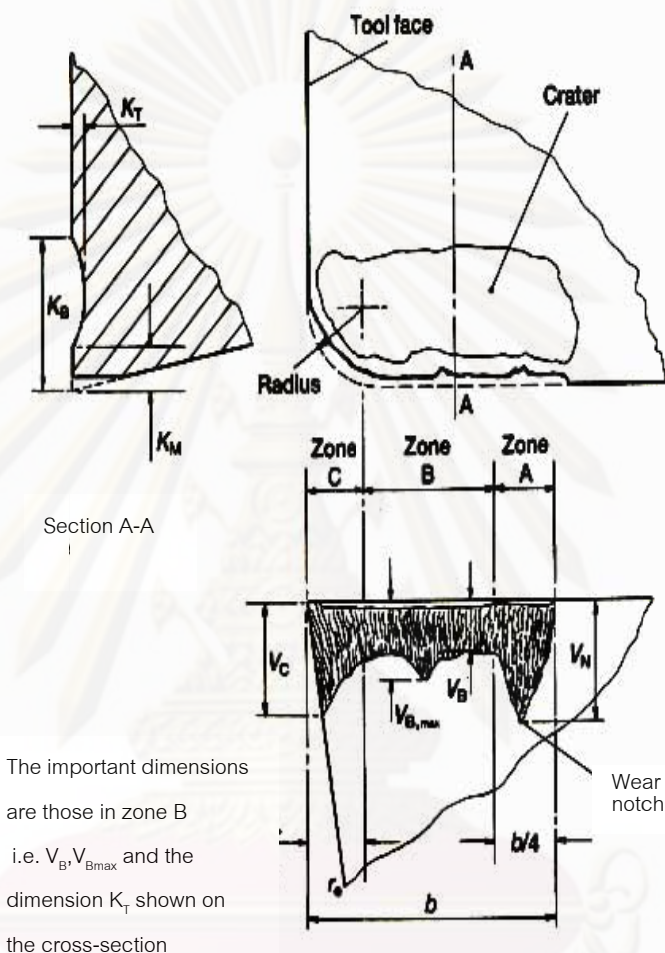
n = ตัวแปรซึ่งขึ้นอยู่กับมีดกัดและชิ้นงาน

C = ค่าคงที่ กำหนดจากวัสดุของชิ้นงานหรือมีดกัด

สมการนี้ชื่อเรียกว่าสมการของเทย์เลอร์หรือสมการอายุใช้งานของมีดตัด

2.4.5 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการสึกหรอบนคมตัดของมีดกัดตามมาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E)

มาตรฐาน ISO 3685: 1993 (E) ได้มีการแบ่งเขตของการสึกหรอบนผิวหอบบนใบมีดกลึงเพื่อให้การวัดขนาดของการสึกหรอบนผิวหอบเป็นไปในแนวทางเดียวกันโดยเขตของการสึกหรอบนผิวหอบแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 เขตของการสึกหรอตามมาตรฐานสากล (ISO 3685 : 1993 (E))[5]

มาตรฐาน ISO 3685 ได้แบ่งเขตของการสึกหรอบนผิวหอบออกเป็น 3 เขต คือ เขต A เขต B และเขต C โดยกำหนดให้ b เป็นระยะบ่อนลึกในการตัดเฉือนชิ้นงาน

-เขต A เป็นเขตที่อยู่บนผิวหอบด้านในสุดของคมตัด มาตรฐาน ISO 3685: 1993 (E) ได้กำหนดให้เขต A มีค่าเท่ากับ 1 ใน 4 ของ b (เมื่อ b = ระยะบ่อนลึก)

- เขต B เป็นเขตที่อยู่บนผิวหอบเช่นเดียวกับเขต A และเขต B ก็เป็นเขตที่อยู่ระหว่างเขต A กับเขต C มาตรฐาน ISO 3685: 1993 (E) ไม่ได้กำหนดช่วงกว้างของเขต B แต่จะกำหนดให้ช่วงกว้างของเขต B ขึ้นอยู่กับช่วงกว้างของเขต A และเขต C

- เขต C เป็นเขตที่อยู่บนผิวหกลบเช่นเดียวกับเขต A และเขต B โดยเขต C จะอยู่นอกสุดของคมตัดและเขต C ก็อยู่ติดกับเขต B มาตรฐาน ISO 3685: 1993 (E) ได้กำหนดให้เขต C มีช่วงกว้างเท่ากับรัศมีปลายมีด

มาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E) ได้กำหนดการวัดขนาดของการสึกหรอบนผิวหกลบ โดยกำหนดให้ทำการวัดขนาดของการสึกหรอบนผิวหกลบในช่วงกว้างของเขต B และกำหนดให้ V_B เป็นขนาดของการสึกหรอบนผิวหกลบเฉลี่ย ส่วน V_{Bmax} เป็นขนาดของการสึกหรอบนผิวหกลบสูงสุด นอกจากนี้มาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E) ยังมีข้อกำหนดในการใช้ขนาดของการสึกหรอบนผิวหกลบเป็นเครื่องมือในการบ่งบอกการเสื่อมสภาพและการคืนสภาพของใบมีด กำหนดให้ใบมีดเสื่อมสภาพและการคืนสภาพเมื่อขนาดของการสึกหรอบนผิวหกลบเฉลี่ย (V_B) มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.3 mm ตำแหน่งของ V_B ดังแสดงในรูปที่ 2.14



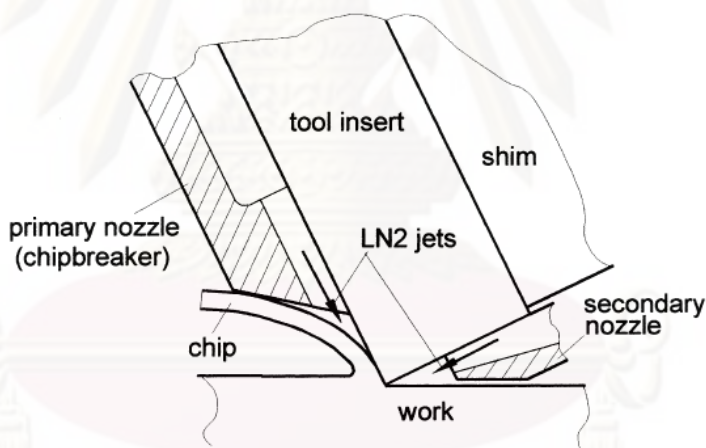
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5. การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การใช้สาร cryogenic ในการหล่อเย็นขณะทำการกัดชิ้นวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก

เทคโนโลยีการใช้ความเย็นต่ำ (cryogenic) คือการใช้สารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -120°C [6] ในการทำความเย็น ในปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายวงการเช่น การเก็บรักษาน้ำเชื้อในวงการเกษตรหรือในทางการแพทย์ การทำความเย็นในงานทางอวกาศรวมถึงในวงการอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ซึ่งการใช้สารความเย็นต่ำสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากได้

Shane Y.Hong, Yucheng และ Ding, Woo-cheol Jeong[7] ได้ทำการทดลองใช้ในโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็นในการขึ้นรูปโลหะไทเทเนียมโดยศึกษาความสัมพันธ์แรงเสียดทานบริเวณหน้าสัมผัสเศษกลึงกับมีดกัดที่เกิดขึ้นขณะทำการกัดขึ้นรูป ในการทดลองได้ติดตั้งหัวฉีดไนโตรเจนเหลวที่บริเวณ chip breaker ดังรูปที่ 2.15 เพื่อให้ไนโตรเจนเหลวฉีดเข้าถึงหน้าสัมผัสโดยตรง ผลการทดลองปรากฏว่าการใช้ในโตรเจนเหลวช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานไปได้มาก และช่วยเพิ่มมุมเฉือนและลดขนาดของความกว้างของ secondary deformation zone แต่ผลของความเย็นกลับทำให้อุณหภูมิงานมีความแข็งแรงขึ้นส่งผลให้แรงในการตัดเพิ่มขึ้น ดังนั้นข้อเสนอนี้ในการทดลองคือการปรับหัวฉีดให้ไนโตรเจนเหลวฉีดโดนเนื้อวัสดุให้น้อยลงและโดนมีดกัดให้มากขึ้น



รูปที่ 2.15 การออกแบบมีดกัดให้สามารถฉีดพ่นสารหล่อเย็นให้เข้าสู่หน้าสัมผัสได้โดยตรง

K.A. Venugopal, S. Paul และ A.B. Chattopadhyay[8] ได้ทำการทดลองโดยใช้ไนโตรเจนเหลวในการหล่อเย็นมีดกัดและศึกษาถึงการเกิดการสึกหรอของมีดกัดในการทดลองได้ใช้เพลาลูกเหล็กไทเทเนียม Ti-6Al-4V และกลึงด้วยมีดกลึง microcrystalline uncoated carbide ภายใต้สภาวะการตัดแห้ง (dry cut), ใช้สารหล่อเย็นทั่วไปและใช้สารหล่อเย็นไนโตรเจนเหลวโดยทดลองในการในช่วงความเร็วตัด $70-100\text{ m/min}$ ผลปรากฏว่าการใช้ในโตรเจนเหลวช่วยลดการสึกหรอของมีดกัดโดยช่วยลด adhesion-dissolution-dissolution tool wear

Ahsan Ali Khan และ Mirghani I. Ahmed [9] ได้ทำการทดลองออกแบบมีดกัดให้ไนโตรเจนเหลวฉีดพ่นเข้าสู่บริเวณตัดโดยทดลองขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิมผลการทดลองปรากฏว่าการใช้

ไนโตรเจนเหลวช่วยให้อายุการใช้งานของมีดกัดสูงขึ้นกว่าการกัดแบบใช้สารหล่อเย็นทั่วไปถึงสี่เท่าและ การใช้ไนโตรเจนเหลวจะมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อความเร็วตัดสูงขึ้นเนื่องจากที่ความเร็วตัดสูงสารหล่อเย็นทั่วไปไม่สามารถระบายความร้อนได้ทันดังนั้นการใช้สารหล่อเย็นประเภท cryogenic จึงเหมาะกับการตัดที่ความเร็วรอบตัดสูง

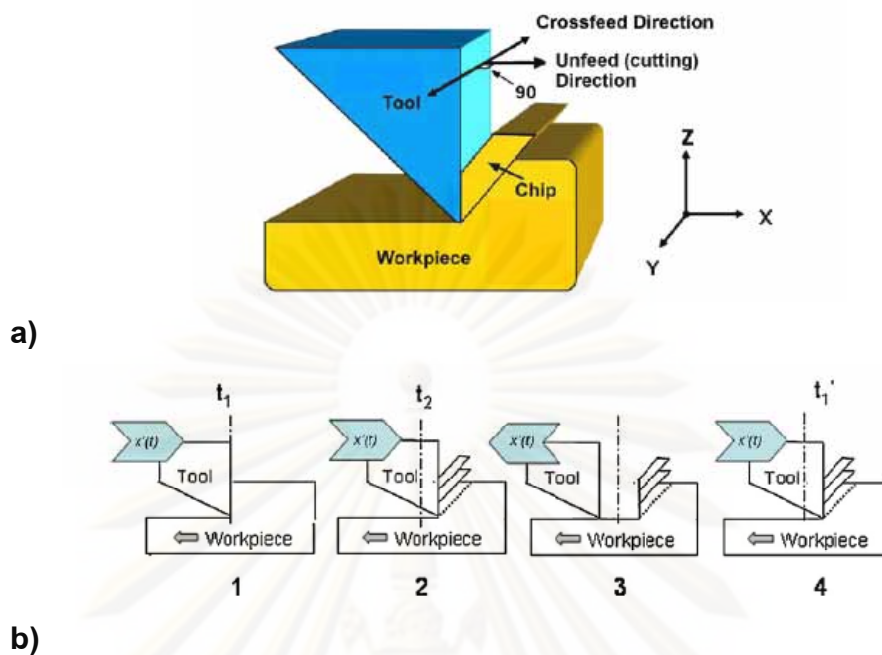
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิตัดจะพบว่าในการขึ้นรูปวัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำเช่นไทเทเนียม(Ti-6Al-4V)มีค่า $k=7 \text{ W/m.K}$ [10] หรือสแตนเลส สตีลมีค่า $k= 13.4 \text{ W/m.K}$ การใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็นจะช่วยยืดอายุการใช้งานของมีดกัดได้มากกว่าสารหล่อเย็นทั่วไป แต่จากการศึกษาวิจัยพบว่าการใช้ไนโตรเจนเหลวในการหล่อเย็นยังมีปัญหาเรื่องความแข็งแรงของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากไนโตรเจนเหลวที่ฉีดเข้าสู่บริเวณตัดกลับทำให้ชิ้นงานมีอุณหภูมิลดลงด้วยเมื่ออุณหภูมิของชิ้นงานลดลงจะส่งผลให้ความแข็งแรงของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงต้องใช้แรงในการตัดเพิ่มขึ้น

J. Barry , G. Byrne, D. Lennon [11] ได้ทำการทดลองศึกษาการเกิดเศษกลึงแบบ saw-tooth ซึ่งเป็นลักษณะเศษกลึงที่เกิดขึ้นในวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก โดยการศึกษาจะใช้วิธี acoustic emission (AE) ในการวิเคราะห์การเกิดเศษกลึงแบบ saw-tooth ในการทดลองได้ใช้ โลหะไทเทเนียม Ti-6Al-4V ภายใต้อัตราเร็วตัด 0.25-3 m/s อัตราป้อน 20-100 $\mu\text{m}/\text{min}$ พบว่าที่สภาวะการตัดนี้เกิดเศษกลึงแบบ saw-tooth ขึ้นและได้สรุปว่าเศษกลึง saw-tooth เกิดจาก thermo-plastic instability และลักษณะเฉพาะตัวของ การขึ้นรูปโลหะไทเทเนียมอีกประการหนึ่งคือการเชื่อมติดกันระหว่างเศษกลึงกับมีดกัด พบว่ามีความสัมพันธ์กับความเร็วกัด โดยยิ่งความเร็วกัดสูงจะทำให้เกิดการเชื่อมติดที่สูงตามไปด้วยและการเชื่อมติดยังเป็นต้นกำเนิดเสียงสำคัญในการขึ้นรูปไทเทเนียมที่ความเร็วตัดสูงกว่า 0.5 m/s รวมถึงทำให้เกิดอัตราส่วนเศษกลึงที่มากขึ้นซึ่งแตกต่างจากการกัดเหล็กแข็งชนิดอื่นที่มักจะคงที่

2.5.2 Vibration assisted machining (VAM)

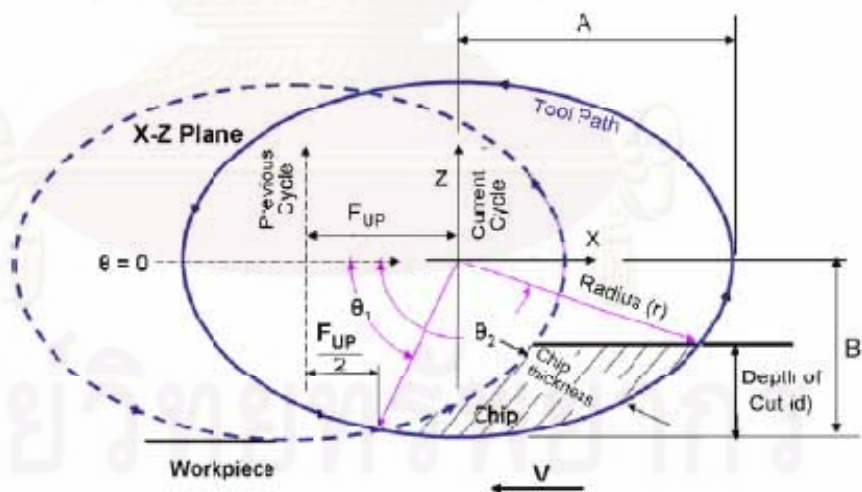
Vibration assisted machining เป็นเทคนิคการขึ้นรูปวัสดุที่อาศัยการเคลื่อนที่ของมีดกลึงที่มีการกระจัดขนาดเล็กและความถี่สูงการเคลื่อนที่ของมีดกัดทำให้ผิวสัมผัสระหว่างมีดกัดกับชิ้นงานแยกออกจากกันเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง ส่งผลให้ค่าแรงตัดและขนาดความกว้างของเศษกลึงลดลง เทคนิคนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในการกัดขึ้นรูปวัสดุเพื่อปรับปรุงคุณภาพผิวของชิ้นงานความแม่นยำของการกัด รวมถึงการยืดอายุการใช้งานของมีดกัด

เทคนิค vibration cutting ถูกใช้ครั้งแรกในปี 1950 โดยในตอนเริ่มต้นจะเป็นการสั่นในแกนเดียว หรือ 1D VAM ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของมีดกัดตามเวลาดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 a) coordinate system ใน 1D VAM b) การเคลื่อนที่ของมีดกัดใน 1D VAM

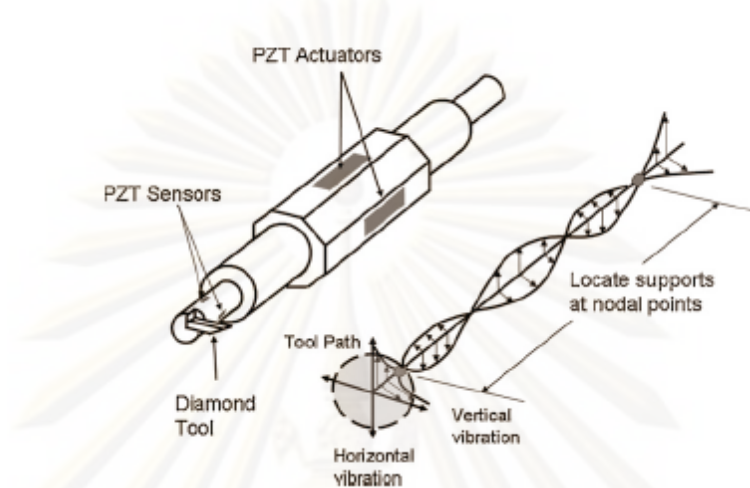
โดยเป็นการเคลื่อนที่ไปกลับของมีดกัดในแกน X ซึ่งเป็นการกระจัดในทิศทางเดียว จากนั้นได้มีการพัฒนาเทคนิค 2D VAM โดยเพิ่มการเคลื่อนที่ในแนวตั้งทำให้ได้การเคลื่อนที่ของปลายมีดกัดเป็นดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การเคลื่อนที่ของมีดกัดเป็นรูปวงรีใน 2D VAM

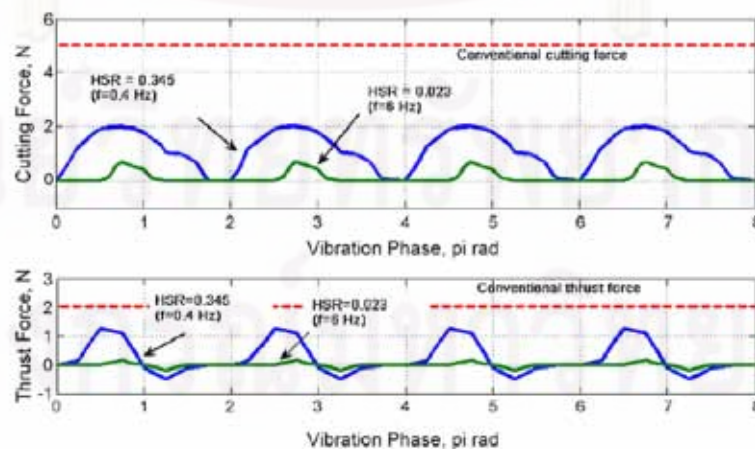
Brinksmeier และ Glabe [12] ได้ออกแบบระบบ 2D VAM โดยการออกแบบมีดกัดให้มีจุดศูนย์กลางมวลอยู่ห่างจาก centerline ของระบบ 1D ultrasonic ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบ 2D VAM เป็นรูปวงรีซึ่งสามารถเปลี่ยนระยะกระจัดได้โดยการปรับน้ำหนักถ่วง ระบบนี้ทำงานที่ความถี่ 20 kHz และมีการกระจัด 6 μm

Moriwaki และ Shamoto ได้พัฒนาระบบ 2D VAM ดังรูปที่ 2.18 โดยอาศัย piezoelectric actuator ในการสร้างการกระจัด การปรับเฟสของ actuator สองตัวจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของปลายมีดกัดเป็น รูปวงรี ระบบนี้ใช้ความถี่ในช่วง 20-40 kHz และมีารกระจัดอยู่ในช่วง $3 \mu\text{m} \times 3 \mu\text{m}$ ถึง $8 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ (AxB)

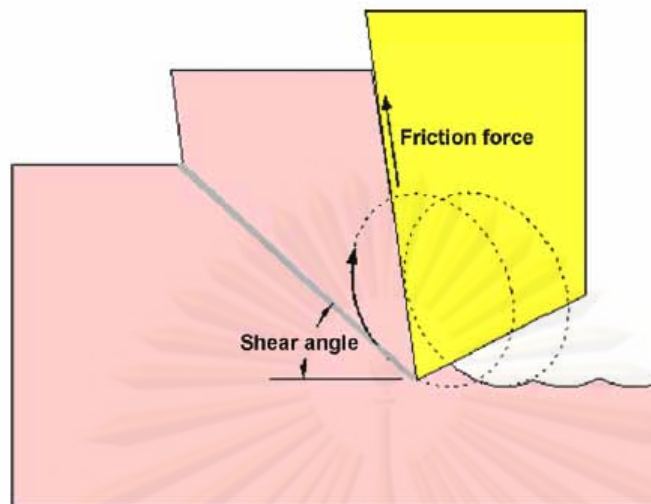


รูปที่ 2.18 2D VAM ที่พัฒนาโดย Shamoto และ Moriwaki

การลดแรงตัดเป็นจุดเด่นที่สำคัญของ vibration assist machining โดยจากการทดลองของ Shamoto และ Moriwaki โดยใช้ vibration assist machining พบว่าแรงที่ใช้ในการตัดลดลงประมาณ 40 % และ thrust force ลดลง 60 % โดยแสดงผลการทดลองดังรูปที่ 2.19 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละรอบ การตัด thrust force จะมีทิศทางกลับด้านดังนั้นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าสัมผัส rake face กับ เศษกลึงจะกลับทิศกับการตัดแบบปกติดังรูปที่ 2.20 ส่งผลให้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเป็นตัวช่วยในการดัน เศษกลึงให้หลุดออกไปง่ายขึ้นแทนที่จะขัดขวางการหลุดออกไปการกลับทิศแรงเสียดทานแบบนี้นำไปสู่ การลดแรงในการตัดรวมถึงลดพลังงานและความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัดได้อีกด้วย



รูปที่ 2.19 แรงตัดที่เกิดขึ้นในการทดลอง Vibration assist machining โดย Shamoto และ Moriwaki



รูปที่ 2.20 ทิศของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจาก vibration assist machining

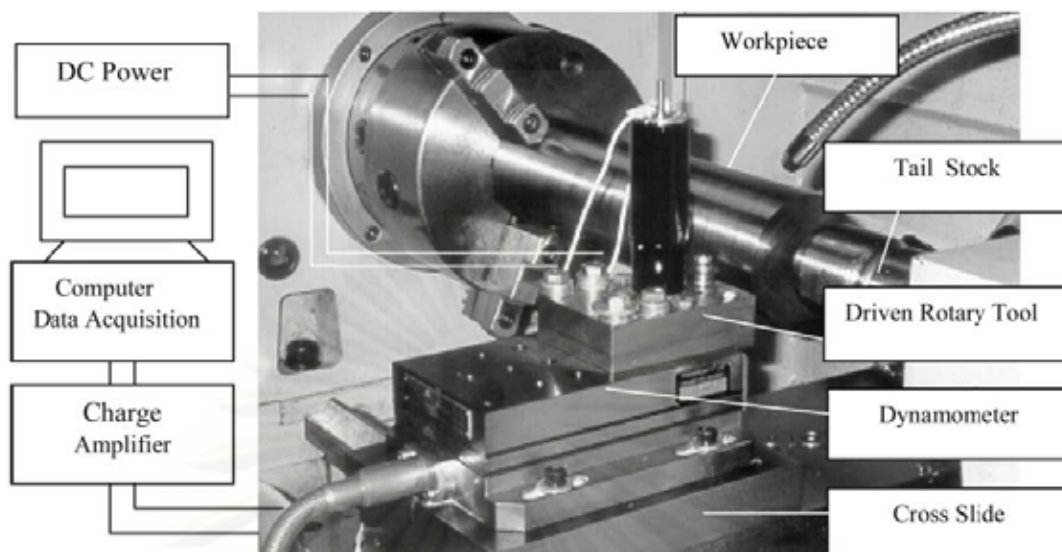
เทคนิค vibration assist machining เป็นเทคนิคที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากแต่เนื่องจากการสร้างการเคลื่อนที่ของมีดกัดต้องใช้ piezoelectric actuator ในการบังคับการเคลื่อนที่ซึ่งยังมีราคาแพงดังนั้นในงานวิจัยจะอาศัยเทคนิควิธีการอื่นมาประยุกต์ให้มีหลักการเดียวกับ vibration assist machining โดยจะทำให้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีทิศทางกลับด้านและให้ผลเช่นเดียวกับ vibration assist machining

2.5.3 มีดกลึงแบบโรตารี (Driven rotary tool)

มีดกลึงแบบโรตารีเป็นการออกแบบมีดกลึงแบบใหม่ให้มีการหมุนของเม็ดมีดขณะทำการกลึงชิ้นงานไปด้วย ผลของการหมุนของเม็ดมีดทำให้ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนของสารหล่อเย็นดีขึ้นเนื่องจากการหมุนของเม็ดมีดจะช่วยให้สารหล่อเย็นสามารถสัมผัสกับหน้ามีดได้ง่ายขึ้น อีกทั้งการหมุนของเม็ดมีดจะส่งผลต่อกลไกในการตัดทำให้แตกต่างจากการกลึงธรรมดาที่เม็ดมีดอยู่กับที่

ในปี 1950 Shaw ได้เริ่มต้นศึกษามีดกลึงแบบโรตารีโดยยึดชิ้นงานกับเครื่องกลึงและทำการติดตั้งมีดกลึงไว้กับหัวเจาะและทำการทดลองกลึงชิ้นงานโดยปรับความเร็วในการหมุนโดยใช้ pulley ผลการทดลองพบว่าสามารถลดพลังงานในการตัดได้ 30% เมื่อเทียบกับมีดกลึงที่อยู่กับที่และอุณหภูมิในการตัดลดลง

ในปี 1990 Armarego ได้ทำการทดลองโดยติดตั้งมีดกลึงไว้บนหัวหมุนมิลลิ่ง (milling spindle) ทำการทดลองและเสนอโมเดลแรงตัดและกำลังที่ใช้ในมีดกลึงแบบโรตารี Shuting Lei[13] ได้ทำการทดลองใช้มีดกลึงแบบโรตารีทำการกลึงชิ้นงาน titanium alloys Ti-6Al-4V โดยออกแบบชุดมีดกลึงที่ขับเคลื่อนเม็ดมีดให้หมุนด้วยชุดมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ชุดมิดดลิงแบบโรตารีของ Shuting Lei ที่ใช้ในการทดลองกลึงชิ้นงาน Ti-6Al-4V

ในการทดลองใช้ความเร็วในการตัด 4 6 และ 8 m/s และรอบในการหมุนของเม็ดมิด 0.009-0.38 m/s ผลการทดลองพบว่ามิดดลิงแบบโรตารีมีอายุการใช้งานมากขึ้นและแรงในการตัดลดลง

จากการทดลองที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของมิดดลิงแบบโรตารีที่ช่วยให้แรงในการตัดลดลงและยืดอายุการใช้งานของเม็ดมิดดิ่งนั้น มิดดลิงแบบโรตารีจึงเหมาะที่จะนำมาศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้จริงในเชิงอุตสาหกรรมอย่างไรก็ตามการหมุนของเม็ดมิดดิ่งยังต้องใช้พลังงานจากปัจจัยภายนอกเช่นมอเตอร์ในการขับเคลื่อนดังนั้นความเร็วในการหมุนจึงยังถูกจำกัดให้ช้าอยู่ซึ่งหากพิจารณาแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบนหน้ามิดจะพบว่าหากเม็ดมิดหมุนด้วยความเร็วสูงทิศทางของแรงเสียดทานระหว่างหน้ามิดและเศษกลึงกลับทิศเช่นเดียวกับ vibration assist machining

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะพบว่าการแก้ปัญหาในกระบวนการกัดขึ้นรูปวัสดุประเภทที่กัดขึ้นรูปได้ยากจะมุ่งเน้นไปที่การลดความร้อนที่เกิดจากการกัดและการลดแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะกัดขึ้นงานซึ่งจะช่วยให้การสึกหรอของมิดกัดลดลงได้ ในงานวิจัยจะนำแนวความคิดการกลับทิศของแรงเสียดทานจากเทคนิค vibration assist machining ซึ่งส่งผลทั้งการลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานและลดแรงในการตัดมาประยุกต์ใช้โดยอาศัยหลักการทำงานของมิดดลิงแบบโรตารีซึ่งสามารถออกแบบและติดตั้งได้ง่ายกว่ามาใช้ในการกัดขึ้นรูปวัสดุประเภทที่กัดขึ้นรูปได้ยาก และเพื่อเป็นการยืนยันผลของแรงเสียดทานที่มีต่อแรงในการตัดขึ้นงานจะทำการทดลองเบื้องต้นซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 การทดลองศึกษาเบื้องต้น

ในการเกิดการสึกหรอของมีดกัดนั้นเกิดจากสองสาเหตุสำคัญคือแรงในการตัดและอุณหภูมิที่สูงขึ้นของมีดกัด โดยแรงในการตัดนั้นจะส่งผลโดยตรงกับการสึกหรอของมีดกัดนั้นคือยิ่งมีแรงในการตัดสูงอัตราการสึกหรอของมีดกัดก็จะสูงตามไปด้วย และเมื่ออุณหภูมิของมีดกัดสูงขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงของมีดกัดลดลง ดังนั้นในการแก้ปัญหาการสึกหรอของมีดกัดจึงมุ่งเน้นความสำคัญไปที่การลดแรงที่เกิดจากการตัดและลดความร้อนที่เกิดขึ้นบนมีดกัดซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานของมีดกัดยาวนานขึ้น

3.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของแรงเสียดทานกับมุมเฉือน

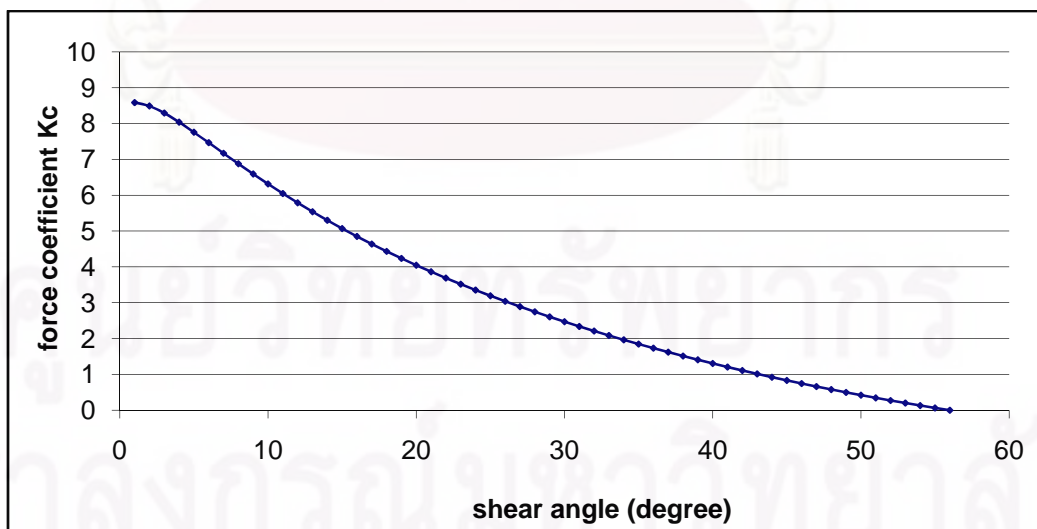
จากการพิจารณาากลศาสตร์ของการตัดจะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัดได้แก่

$$\begin{aligned} F_c &= k \cdot a \cdot b \cdot K_c \\ F_z &= k \cdot a \cdot b \cdot K_z \end{aligned} \quad (2-10)$$

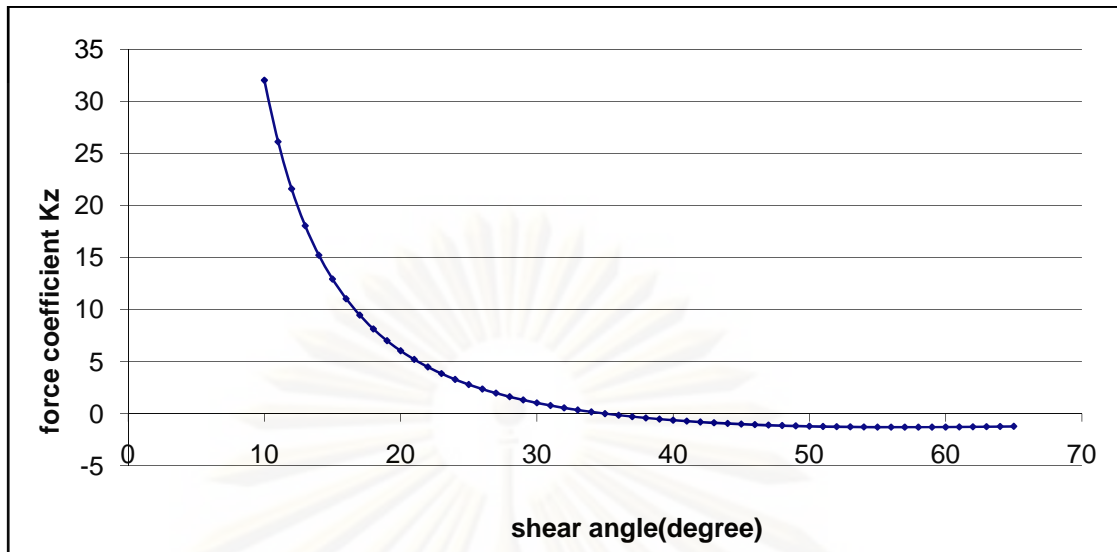
โดยกำหนดให้

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{\cos(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)} \\ K_z &= \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)} \end{aligned} \quad (3-1)$$

จากสมการทั้งสองจะพบว่าค่าแรงตัดจะขึ้นกับค่ามุมเฉือน ϕ ซึ่งเมื่อพล็อตค่า K_c และ K_z เทียบกับค่า ϕ จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฉือน ϕ กับค่าแรงขนานในแนวการตัด K_c



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฉือน ϕ กับค่าแรงตั้งฉากในแนวการตัด K_z

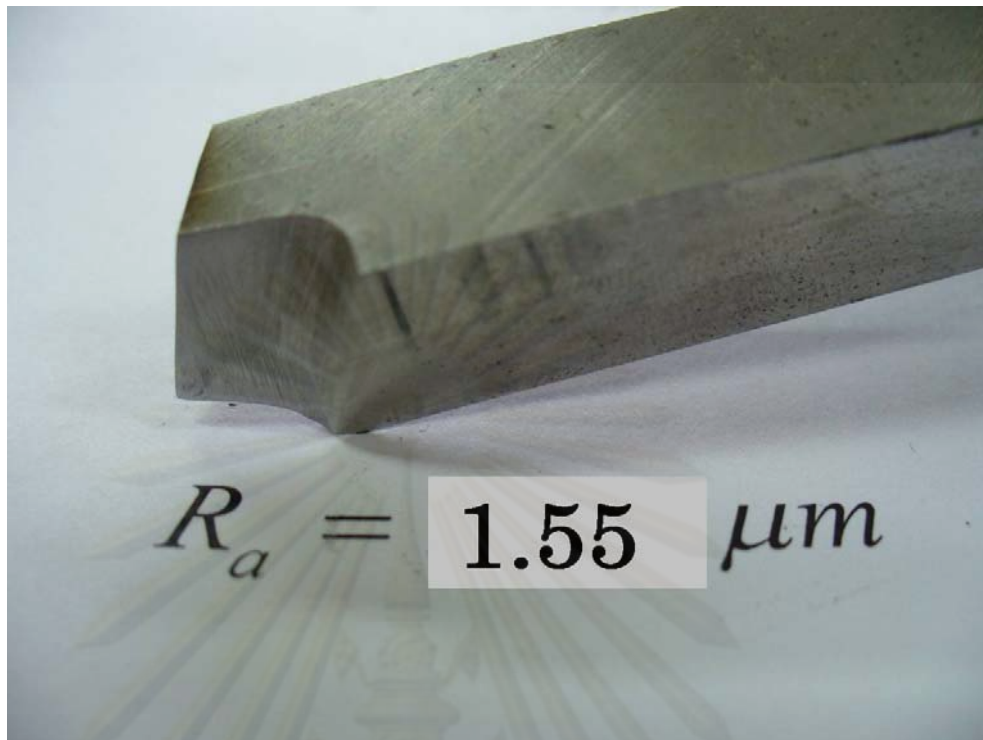
จากกราฟจะเห็นได้ว่ายิ่งค่ามุมเฉือน ϕ เพิ่มขึ้นจะยิ่งทำให้แรงในการตัดลดลงและเนื่องจากค่ามุมเฉือนกับค่ามุมเสียดทาน β มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$\phi = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\alpha}{2} \quad (2-11)$$

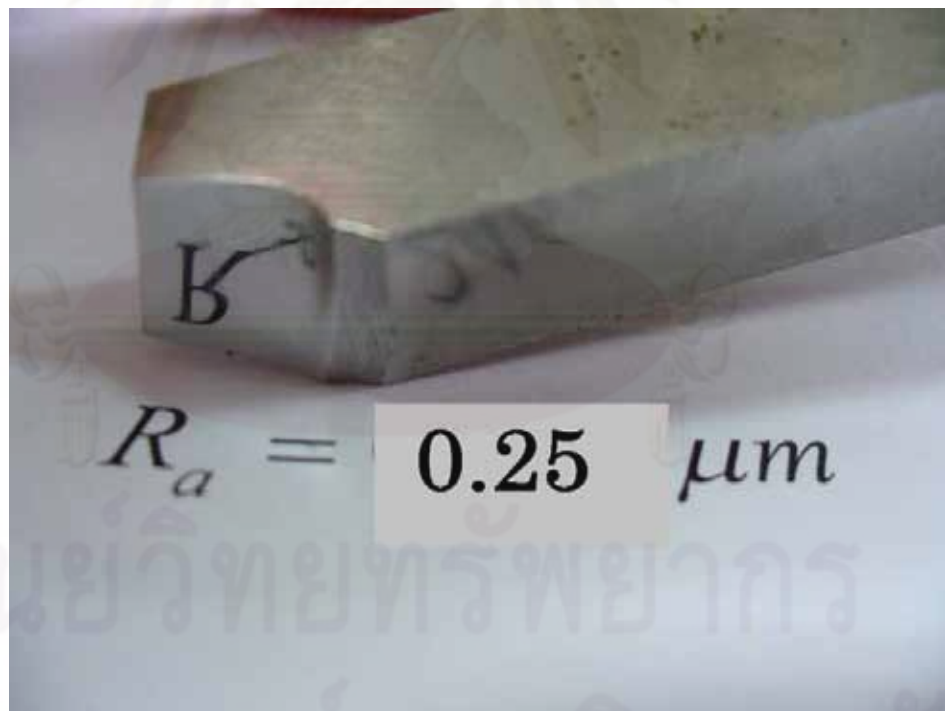
ซึ่งจะพบว่าค่ามุมเฉือนจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่ามุมเสียดทานลดลงดังนั้นในเบื้องต้นจะทำการทดลองโดยอาศัยเทคนิค abrasive polishing ในการลดแรงเสียดทานที่บริเวณผิวสัมผัส (tool/chip interface) ซึ่งจะส่งผลให้ค่า β ลดลงเพื่อศึกษาถึงผลของแรงเสียดทานที่มีต่อแรงในการตัด

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

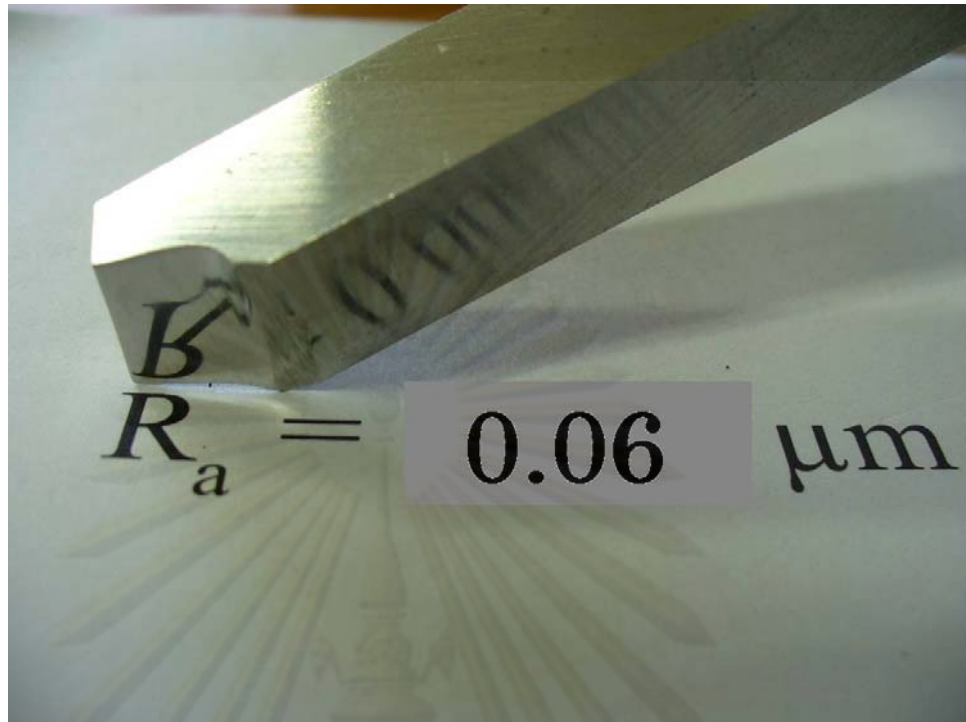
ในการทดลองจะเริ่มต้นจากการเจียรมีดกลึงคาร์ไบด์ให้มีมุมคาย (rake angle) และมุมหลบ (clearance angle) ให้มีขนาดเท่ากันซึ่งเท่ากับ 15° และ 8° ตามลำดับจำนวนสามเล่ม จากนั้นจึงนำมีดกลึงเล่มที่หนึ่งไปทำการขัดผิวที่บริเวณ rake face ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200 ตามลำดับ และมีดกลึงเล่มที่สองขัดผิวที่บริเวณ rake face ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200 ใช้แปรงขัดชุบผงอลูมินาขนาด $1 \mu\text{m}$ ในการขัดผิว จากนั้นนำมีดกลึงทั้งสามเล่มไปทำการวัดความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว (Surftest SJ-201 P/M 10 นาโนเมตร) โดยทำการลากหัว stylus ไปบนชิ้นงานเป็นระยะทาง 0.25 mm ที่ตำแหน่งต่างๆ 5 ตำแหน่ง จากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยซึ่งพบว่ามีดกลึงที่ได้จากการเจียรผิวจะมีค่าความหยาบ $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทรายจะมีค่า $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ และมีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทรายและผงอลูมินาจะมีค่า $R_a = 0.06 \mu\text{m}$ ดังรูปที่ 3.3 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 มีดกลึงที่ได้จากการเจียรผิว ($R_a = 1.55 \mu\text{m}$)



รูปที่ 3.4 มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทราย ($R_a = 0.25 \mu\text{m}$)



รูปที่ 3.5 มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทรายและผงอลูมิน่า ($R_a = 0.06 \mu\text{m}$)

มีดกลึงเล่มที่	กระบวนการเตรียม	ความหยาบผิว R_a (μm)
1	ไม่ผ่านกระบวนการขัดผิว	1.55
2	ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200	0.25
3	ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200 และ ผงอลูมิน่า ขนาด 1 μm	0.06

ตารางที่ 3.1 กระบวนการเตรียมและความหยาบผิวของมีดกลึงที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

เมื่อเตรียมมีดทั้งสามเล่มแล้วขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดลองนำมีดไปกลึงชิ้นงานเหล็กเพลามild steel (111 HB) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm เพื่อนำเศษกลึงมาหาขนาดความหนาเศษกลึง (chip thickness), a_c โดยทำการตั้งสภาวะการตัด (cutting condition) ของเครื่องกลึงแบบกึ่งอัตโนมัติ Win Ho Technology Industrial Co.,Ltd ไว้ที่ความเร็วตัด 170 rpm ระยะเวลาตัด (depth of cut) 2 mm ที่อัตราป้อน 0.21 0.30 0.42 0.54 0.60 0.74 และ 0.82 mm/rev ตามลำดับและเป็นการตัดแบบกึ่งแห้ง (dry cut) เพื่อนำไปคำนวณค่ามุมเฉือน ϕ ด้วยความสัมพันธ์ตามสมการ (2-5) และ(2-6)ตามลำดับ

$$\tan \phi = \frac{r_c \cdot \cos \alpha}{1 - r_c \cdot \sin \alpha} \quad (2-5)$$

$$r_c = \frac{a}{a_c} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (2-6)$$

3.3 ผลการทดลอง

จากการกลึงเหล็กเพลลาที่ความเร็วตัด 170 rpm ระยะกินลึก (depth of cut) 2 mm, ที่อัตราป้อน 0.21 0.30 0.42 0.54 0.60 0.74 และ 0.82 mm/rev ได้เศษกลึงตามลักษณะดังรูป



a)

b)

c)

รูปที่ 3.6 เศษกลึงที่อัตราป้อน 0.21 mm/rev จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$



a) b) c)

รูปที่ 3.7 เศษกลิ้งที่อัตราป้อน 0.30 mm/rev จากมีดกลิ้ง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$

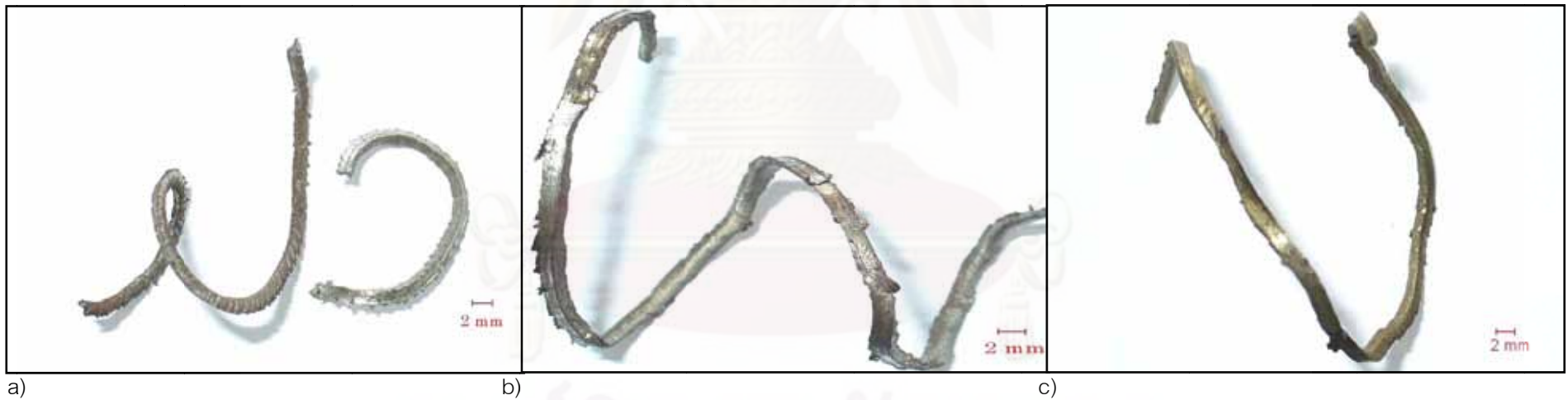


a) b) c)

รูปที่ 3.8 เศษกลิ้งที่อัตราป้อน 0.42 mm/rev จากมีดกลิ้ง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$



รูปที่ 3.9 เศษกึ่งที่อัตราป้อน 0.54 mm/rev จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$



รูปที่ 3.10 เศษกึ่งที่อัตราป้อน 0.60 mm/rev จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$



รูปที่ 3.11 เศษกลิ้งที่อัตราป้อน 0.74 mm/rev จากมีดกลิ้ง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$



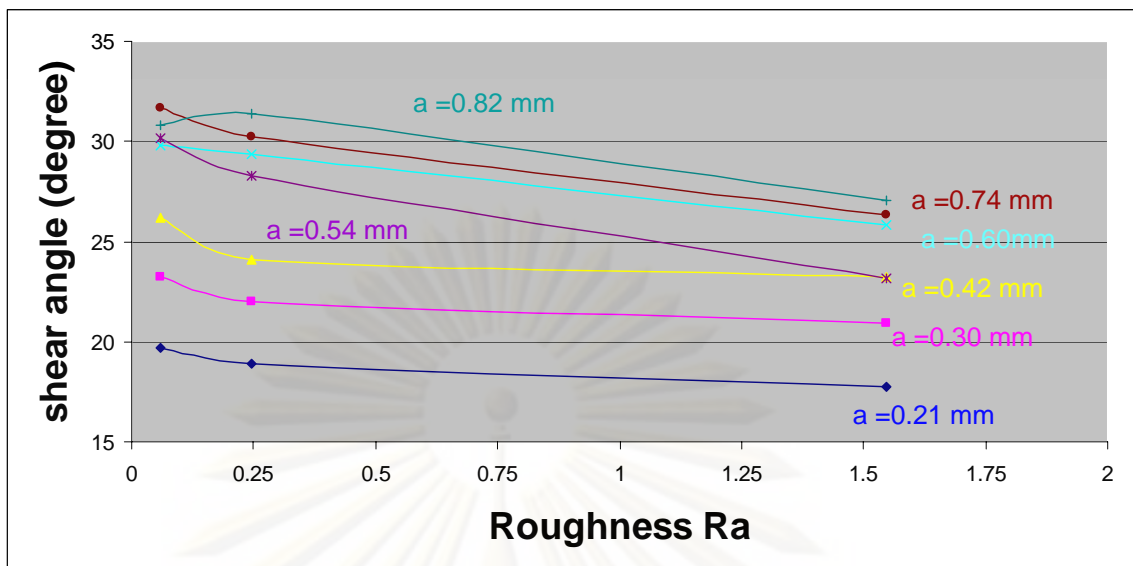
รูปที่ 3.12 เศษกลิ้งที่อัตราป้อน 0.82 mm/rev จากมีดกลิ้ง a) $R_a = 1.55 \mu\text{m}$ b) $R_a = 0.25 \mu\text{m}$ c) $R_a = 0.06 \mu\text{m}$

จากนั้นทำการวัดความหนาของเศษกลิ้งด้วยไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo 0.01 mm) โดยทำการวัดขนาดบนเศษกลิ้ง 3 จุดต่อ 1 ชั้นและทำการหาค่าเฉลี่ยก่อนบันทึกผลการวัดลงในตาราง

3.4 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ความหยาบผิวของใบมีดกลิ้ง (μm)	อัตราป้อน, a (mm/rev)	ความหนาเศษกลิ้ง, a_c (mm)	อัตราส่วนการตัด r_c	มุมเฉือน ϕ (degree)
1.55	0.21	0.699	0.305	17.745
	0.30	0.835	0.359	20.941
	0.42	1.053	0.399	23.245
	0.54	1.217	0.444	25.847
	0.60	1.512	0.397	23.139
	0.74	1.637	0.452	26.321
	0.82	1.763	0.465	27.055
0.25	0.21	0.647	0.325	18.907
	0.30	0.797	0.377	21.953
	0.42	1.017	0.413	24.079
	0.54	1.068	0.506	29.346
	0.60	1.233	0.486	28.267
	0.74	1.418	0.522	30.231
	0.82	1.512	0.542	31.369
0.06	0.21	0.622	0.325	19.677
	0.30	0.753	0.338	23.216
	0.42	0.933	0.398	26.199
	0.54	1.050	0.450	29.819
	0.60	1.152	0.514	30.190
	0.74	1.350	0.521	31.680
	0.82	1.540	0.548	30.822

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิว R_a กับค่ามุมเฉือน ϕ ที่ความลึกตัด a ต่างๆ

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. ที่อัตราป้อน 0.21 - 0.74 mm/rev มีดกลึงที่มีค่าความหยาบผิวน้อยจะทำให้เกิดเศษกลึงที่มีค่ามุมเฉือนมากกว่าซึ่งส่งผลให้แรงที่ใช้ในการตัดน้อยกว่า โดยเมื่อพิจารณาค่าแรงที่ใช้ในการตัดจะพบว่า มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 0.06 \mu m$) จะเกิดแรงในการตัดน้อยกว่ามีดกลึงที่ไม่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 1.55 \mu m$) เช่นเมื่อพิจารณาที่อัตราป้อน 0.6 mm/rev ค่าแรงตัด F_c และ F_z ลดลง 73.84% และ 27.28% ตามลำดับ

2. อัตราป้อน 0.82 mm/rev จะพบว่า มีดกลึงที่มีค่าความหยาบผิว $R_a = 0.06 \mu m$ มีค่ามุมเฉือนที่น้อยกว่ามีดกลึงที่มีค่าความหยาบผิว $R_a = 0.25 \mu m$ ซึ่งเมื่อสังเกตจากการเกิดเศษกลึงจากมีดกลึงทั้งสองแล้วจะพบว่าเศษกลึงที่เกิดจากมีดกลึง $R_a = 0.06 \mu m$ มีลักษณะใหม่เกิดขึ้นมากและสำหรับเศษกลึงที่เกิดจากมีดกลึง $R_a = 0.25 \mu m$ จะมีลักษณะเป็นพื้นเลื่อยซึ่งจากลักษณะของเศษกลึงทั้งสองบ่งบอกได้ว่าการตัดในสภาวะตัดนี้เป็นการกัดในสภาวะที่ไม่เหมาะสมและอาจจะมีปัจจัยที่อยู่นอกเหนือการทดลองที่ส่งผลต่อความหนาของเศษกลึงได้เช่นความร้อนซึ่งจะส่งผลให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้

3. จากการพิจารณาถึงเศษกลึงที่เกิดขึ้นจะพบว่าที่อัตราป้อน 0.21-0.30 mm/rev เศษกลึงจากมีดกลึงทั้งสามเล่มมีความต่อเนื่องเป็นเศษกลึงประเภท spring type chip ซึ่งถือได้ว่าเป็นเศษกลึงที่เป็นที่ต้องการซึ่งเกิดจากแรงตัดที่ต่อเนื่องและเศษกลึงไม่ขาดออกจากกันทำให้ได้คุณภาพผิวของชิ้นงานที่ดี

4. จากการพิจารณาถึงเศษกลึงที่เกิดขึ้นจะพบว่าที่อัตราป้อน 0.42-0.74 mm/rev เศษกลึงที่เกิดจากมีดกลึงที่ไม่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 1.55 \mu m$) จะเกิดเศษกลึงชนิดไม่ต่อเนื่องแบบ long ear type แต่ในขณะที่มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวทั้ง $R_a = 0.25 \mu m$ และ $R_a = 0.06 \mu m$ ยังมีลักษณะเป็นเศษกลึงแบบต่อเนื่องอยู่ซึ่งเป็นเศษกลึงที่อยู่ในแบบที่เป็นที่ต้องการ

5. จากการพิจารณาถึงเศษกึ่งที่เกิดขึ้นจะพบว่าที่อัตราป้อน 0.82 mm เศษกึ่งที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นพื้นเลื่อยและเกิดการไหม้ของเศษกึ่งซึ่งเป็นเศษกึ่งที่ควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดขึ้นบ่งบอกถึงสภาวะการตัดที่ไม่เหมาะสมเพราะทำให้เกิดแรงตัดและความร้อนสูงจะทำให้มีดกัดสึกหรอเร็วและทำให้คุณภาพของชิ้นงานลดลง

3.6 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าการลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสหน้า rake face กับเศษกึ่งมีผลทำให้ค่ามุมเฉือนลดลงตามทฤษฎี และเมื่อพิจารณาถึงค่ามุมเฉือนที่เพิ่มขึ้นที่ความลึกตัด 0.6 mm ซึ่งเป็นค่าความลึกที่มีดกึ่งที่ผ่านการขัดมีค่ามุมเฉือนเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ 7.05° ส่งผลให้ค่าแรงตัด F_c และ F_z ลดลง 73.84% และ 27.28% ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมเฉือนยังสามารถเพิ่มได้มากขึ้นอีกหากเราสามารถลดแรงเสียดทานหรือกลับทิศแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสได้เหมือนกับเทคนิค vibration assist machining ซึ่งการกลับทิศของแรงเสียดทานสามารถประยุกต์หลักการทำงานของมีดกึ่งแบบโรตารีโดยอาศัยหัวหมุนมีดกึ่งของเครื่อง CNC Hybrid machine ซึ่งเป็นเนื้อหาในบทต่อไปของงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

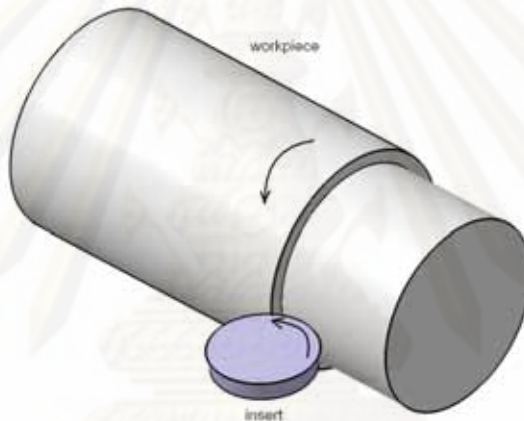
บทที่ 4

การออกแบบและติดตั้งมีดกลึงแบบพิเศษสำหรับวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่าง rake face ของมีดกัดกับเศษกลึงมีผลต่อแรงในการตัด ดังนั้นจุดมุ่งหมายในการวิจัยคือการลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นหรือทำให้ทิศทางของแรงเสียดทานเปลี่ยนไปเพื่อช่วยลดแรงในการตัดซึ่งจะส่งผลให้การสึกหรอของมีดกัดลดลง ในงานวิจัยนี้จะเสนอหลักการใช้มีดกลึงแบบโรตารีช่วยในการกลับทิศของแรงเสียดทาน

4.1 มีดกลึงแบบโรตารี

มีดกลึงแบบโรตารี (self-propelled rotary tool) คือการกลึงที่เม็ดมีดกลม(round insert) หมุนรอบแกนตัวเองขณะที่ทำการตัดเฉือนชิ้นงาน ดังนั้นคมตัดของเม็ดมีดจะหมุนเคลื่อนที่ตลอดเวลาในขณะที่ทำการกลึง ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การกลึงโดยใช้มีดกลึงแบบโรตารี

การหมุนของเม็ดมีดในการกลึงแบบโรตารีส่งผลให้กลไกในการตัดแตกต่างจากการกลึงแบบปกติที่เม็ดมีดอยู่กับที่โดยการกลึงแบบโรตารีมีข้อดีหลายประการเช่น

1. การเพิ่มความสามารถในการระบายความร้อนของสารหล่อเย็นเนื่องจากการหมุนของเม็ดมีดทำให้คมตัดส่วนที่ทำการตัดสามารถหมุนออกมาสัมผัสสารหล่อเย็นได้โดยตรงก่อนที่จะกลับไปตัดเฉือนชิ้นงานอีกครั้ง จากที่กล่าวมาแล้วในการขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากพบว่าปัญหาด้านความร้อนเป็นปัญหาที่สำคัญเนื่องจากวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากส่วนใหญ่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจึงมีส่วนสำคัญในการยืดอายุการใช้งานของมีดกัด โดยปกติแล้วเมื่อใบมีดกัดอยู่กับที่บริเวณหน้าผิวสัมผัสระหว่างหน้ามีดกับเศษกลึงซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความร้อนจาก deformation ขึ้นจะสัมผัสกับสารหล่อเย็นได้ไม่เต็มที่เนื่องจากมีเศษกลึงเป็นตัวบังไว้ แต่ในการกลึงแบบโรตารีนั้นเนื่องจากหน้าสัมผัสระหว่างหน้ามีดและเศษกลึงมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ดังนั้นขณะที่หน้ามีดหมุนออกมาจาก

บริเวณกัดก็จะสามารถสัมผัสสารหล่อเย็นได้อย่างเต็มที่ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งส่งผลดีกับการกัดชิ้นรูปวัสดุประเภทที่กัดขึ้นรูปได้ยาก

2. เมื่อพิจารณาการแบ่งเบาภาระโหลดที่เกิดขึ้นบนคมตัดของเม็ดมีดเปรียบเทียบกับการกลึงแบบปกติที่เม็ดมีดอยู่กับที่คมตัดจะรับภาระโหลดจากแรงในการตัดอยู่จุดเดียวตลอดเวลาในขณะที่มีดกลึงแบบโรตารีคมตัดจะกระจายภาระโหลดที่เกิดขึ้นไปตลอดความยาวคมตัดทำให้การสึกหรอของเม็ดมีดลดลงอายุการใช้งานของเม็ดมีดจึงยาวนานขึ้น

3. ด้วยความหมุนของเม็ดมีดจะส่งผลให้แรงเสียดทานที่จุดสัมผัสระหว่างหน้ามีดและเศษกลึงลดลงหรือกลับทิศทางได้คล้ายกับหลักการในการกลึงแบบ vibration assist machining ซึ่งแรงเสียดทานที่ช่วยดันเศษกลึงให้หลุดออกไปนี้จะช่วยให้แรงในการตัดลดลงได้

ในการกลึงแบบโรตารีนั้นกลไกการตัดจะมีความซับซ้อนกว่าการกลึงแบบปกติที่หน้ามีดไม่มีการเคลื่อนที่ซึ่งผลของการหมุนจะก่อให้เกิดความแตกต่างในเรื่องทิศทางของแรงเสียดทาน ความเร็วในการตัด และความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของสารหล่อเย็น ซึ่งจะส่งผลให้การตัดแบบโรตารีมีความเหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุประเภทที่กัดขึ้นรูปได้ยาก

4.2 การออกแบบและติดตั้งมีดกลึงแบบโรตารี

มีดกลึงแบบโรตารีที่มีการหมุนของเม็ดมีดกลมรอบแกนตัวเองขณะที่ทำการตัดเฉือนชิ้นงาน โดยการหมุนเม็ดมีดนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่อง CNC แบบ Hybrid machine ซึ่งมีหัวหมุนมีดลึงช่วยในการหมุนเม็ดมีดกลมเพื่อให้เกิดเป็นการกลึงแบบโรตารี โดยเม็ดมีดกลมที่ใช้จะเป็นเม็ดมีดขนาดมาตรฐานที่มีอยู่ในท้องตลาดโดยในงานวิจัยนี้จะอาศัยเครื่อง CNC Mazak Integrex 100 -IV ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เป็นอุปกรณ์ในการทดลอง



รูปที่ 4.2 เครื่อง CNC แบบ Hybrid machine 9 แกนการเคลื่อนที่

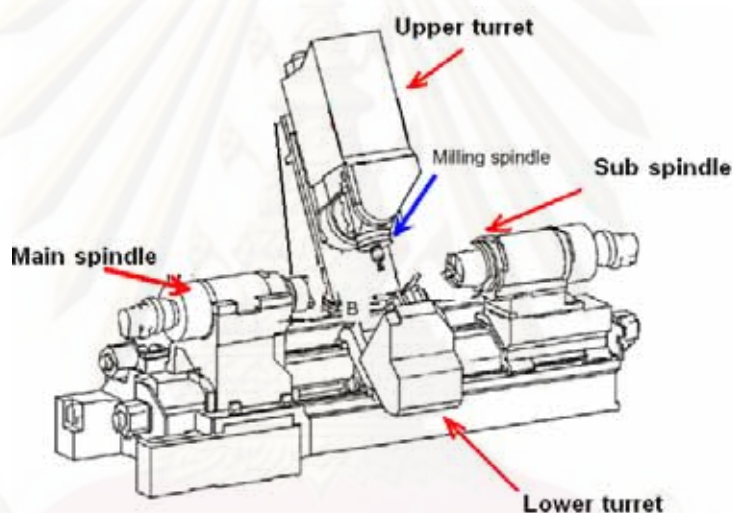
มีดกลึงแบบโรตารีต้องสามารถทำงานได้เหมือนมีดกลึงแบบปกติ นั่นคือ

1. มีดกลึงสามารถเคลื่อนที่เพื่อทำการปอกผิวและปาดหน้าชิ้นงานได้
2. สามารถควบคุมความเร็วตัด (cutting speed) ขณะทำการกลึงได้ถูกต้อง
3. สามารถควบคุมความเร็วรอบในการหมุนของเม็ดมีดได้
4. สามารถควบคุมอัตราป้อนได้อย่างถูกต้อง

ซึ่งการออกแบบเพื่อให้มีดกลึงแบบโรตารีทำงานได้ตามที่ต้องการต้องทำการดัดแปลงเครื่อง CNC และทำการสร้างด้ามมีดที่มีความเหมาะสมซึ่งเป็นรายละเอียดในบทนี้

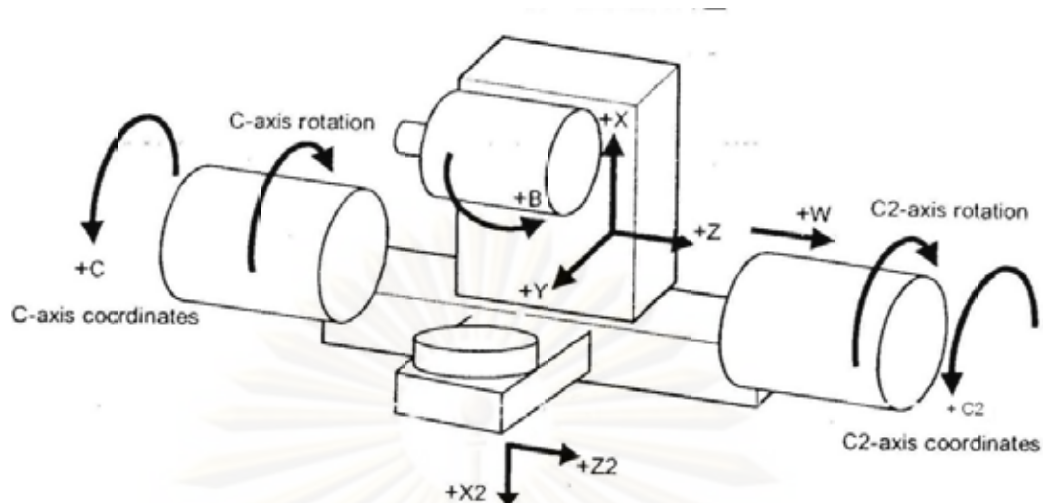
4.2.1 ส่วนประกอบของเครื่อง CNC Mazak Integrex 100 –IV

เครื่อง CNC Mazak Integrex 100 –IV เป็นเครื่อง CNC แบบ Hybrid machine ซึ่งมีลักษณะพื้นฐานเป็นเครื่องกลึงซึ่งมีส่วนประกอบหลักดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบของเครื่อง CNC Mazak Integrex 100 –IV

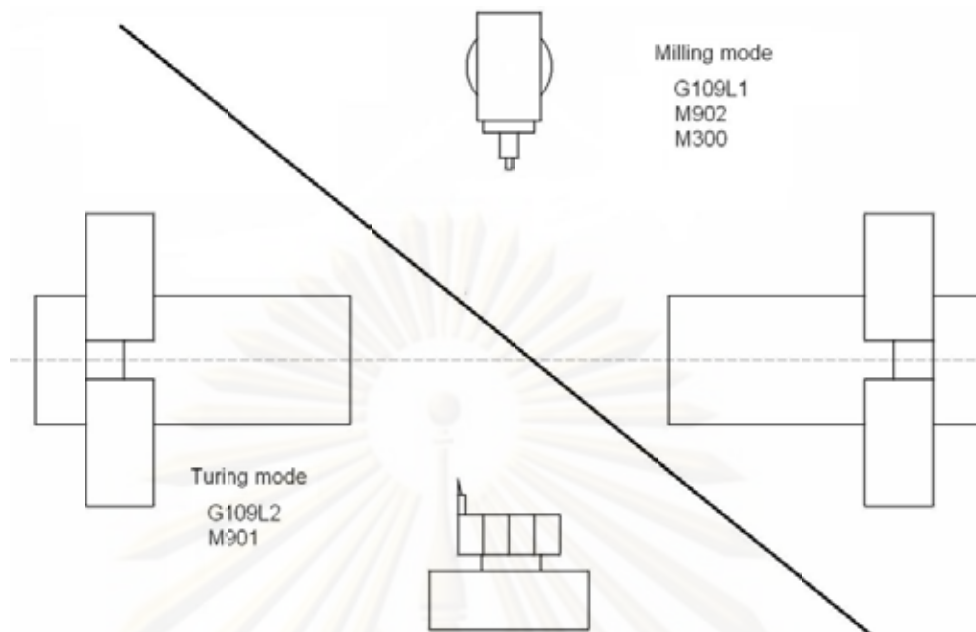
ส่วนประกอบของเครื่อง CNC ประกอบไปด้วยด้วยหัวหมุนหลัก (main spindle) มีหน้าที่จับและหมุนชิ้นงาน, หัวหมุนรอง (sub spindle) มีหน้าที่จับและหมุนชิ้นงานเช่นเดียวกับหัวหมุนหลักแต่สามารถเคลื่อนที่ยื่นออกมาเพื่อจับและย้ายชิ้นงานได้ ป้อมมีดบน (upper turret) ใช้ในการจับมีดกัดและมีหัวหมุนมิลลิ่ง (milling spindle) ติดตั้งอยู่ ป้อมมีดล่าง (lower turret) ใช้ในการจับมีดกลึงเพื่อใช้กลึงชิ้นงานเครื่อง CNC ที่ใช้จะเป็นเครื่องที่สามารถทำงานได้ 9 แกนการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แกนการเคลื่อนที่ของเครื่อง CNC Mazak Integrex 100-IV

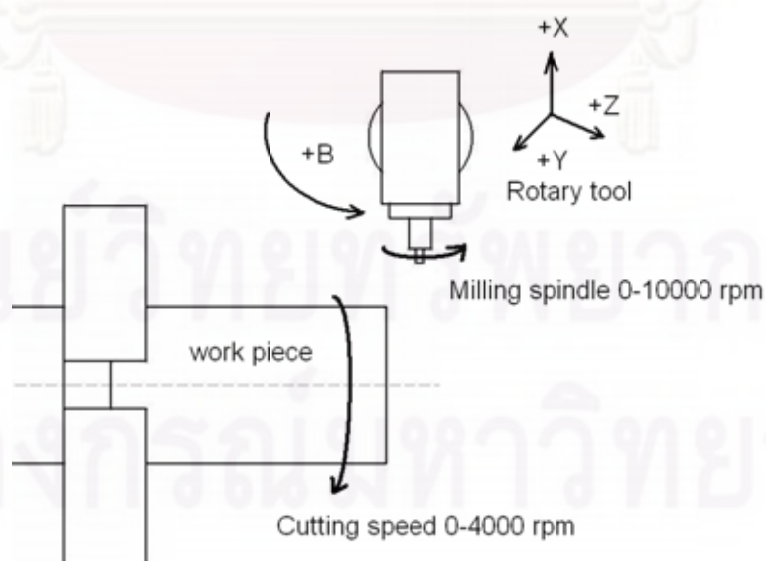
หัวหมุนหลักสามารถหมุนเคลื่อนที่ได้ในแกน C ทำให้สามารถหมุนชิ้นงานเพื่อใช้ในการกลึงหรือใช้ในงานกัดเซาะ (milling) โดยมีความเร็วมอเตอร์อยู่ในช่วง 0-4000 rpm หัวหมุนรองสามารถหมุนเคลื่อนที่ได้ในแกน C₂ และสามารถเคลื่อนที่เข้า-ออกได้ในแกน W ป้อมมีดบนสามารถเคลื่อนที่ได้ในแกน X Y และ Z และสามารถหมุนปรับองศาการกัดได้ในแกน B สามารถทำการกัดเซาะชิ้นงานได้ด้วยหัวหมุนมิลลิ่ง ป้อมมีดล่างสามารถเคลื่อนที่ได้ในแกน X₂ และ Z₂ ในการประยุกต์ใช้มีดกลึงแบบโรตารีในเครื่อง CNC Hybrid machine นี้มีความจำเป็นที่จะต้องดัดแปลงการทำงานของเครื่องเพื่อให้มีดกลึงสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในการทำงานของเครื่อง CNC จะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ turning mode และ milling mode โดย turning mode หัวหมุนหลักจะสามารถหมุนได้อย่างอิสระทำให้สามารถหมุนชิ้นงานด้วยความเร็วสูงเพื่อทำการกลึงชิ้นงานได้แต่หัวหมุนมิลลิ่งจะถูกล็อคทำให้ไม่สามารถหมุนได้ และ milling mode หัวหมุนหลักจะถูกล็อคไม่สามารถหมุนได้อย่างอิสระแต่หัวหมุนมิลลิ่งจะสามารถหมุนได้ซึ่งใช้ในการกัดเซาะชิ้นงาน

ในการทำงานของมีดกลึงแบบโรตารีที่มีความจำเป็นต้องใช้การหมุนของทั้งหัวหมุนหลักและหัวหมุนมิลลิ่งให้ทำงานได้พร้อมกันดังนั้นจึงต้องทำการดัดแปลงเครื่องเพื่อให้สามารถทำการกลึงโดยที่หัวหมุนมิลลิ่งยังคงหมุนได้ซึ่งสามารถทำได้โดยการจับคู่การทำงานของหัวหมุนและป้อมมีดให้ทั้งสองโหมดทำงานพร้อมกันดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การจับคู่การทำงานของป้อมมีดและหัวหมุนมิลลิ่ง

ในการกำหนดการทำงานของเครื่อง CNC จะทำการจับคู่การทำงานเป็น 2 คู่คือหัวหมุนหลักกับป้อมมีดล่าง ซึ่งทำงานใน turning mode และหัวหมุนรองกับป้อมมีดบนทำงานใน milling mode โดยในการกำหนดการทำงานของเครื่องจะใช้ M code และ G code ในการสั่งงานดังแสดงในรูปที่ 4.5 โดย G109L1 และ G109L2 คือการเลือกใช้ป้อมมีดบนและป้อมมีดล่าง M901 และ M902 คือการเลือกหัวหมุนหลักและหัวหมุนรอง M300 คือการตั้ง milling mode เมื่อทำการจับคู่การทำงานดังนี้แล้วจะสามารถใช้งานหัวหมุนมิลลิ่งหมุนเม็ดมีดกลึงแบบโรตารีและสามารถกลึงชิ้นงานที่หมุนบนหัวหมุนหลักได้ตามที่ต้องการดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การทำงานของมีดกลึงแบบโรตารี

เมื่อกำหนดโหมดการทำงานของเครื่อง CNC ได้แล้วการควบคุมสถานะการตัดจะกำหนดได้โดย

1. หัวหมุนมีดลึงจะทำการการติดตั้งมีดลึงแบบโรตารีซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนว X,Y,Z และ B และสามารถควบคุมการหมุนของเม็ดมีดได้ตั้งแต่ 0-10000 rpm
2. หัวหมุนหลักทำการควบคุมการหมุนของชิ้นงานโดยทำความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 0-4000 rpm

เมื่อสามารถควบคุมการทำงานของเครื่อง CNC ให้สามารถลึงด้วยมีดลึงแบบโรตารีได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของมีดลึงให้สามารถทำการลึงได้ทั้งแบบปอกผิวและปาดหน้า (facing)

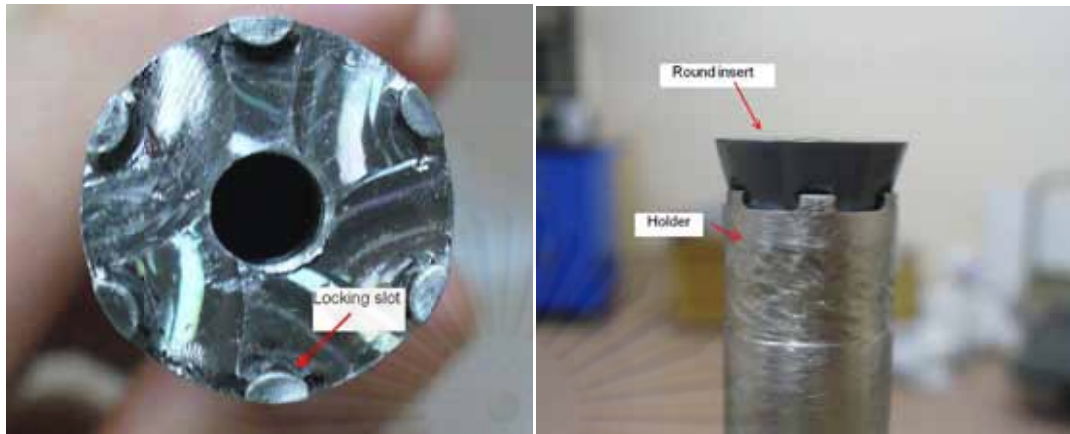
4.2.2 การออกแบบด้ามจับเม็ดมีด

มีดลึงแบบโรตารีจะใช้เม็ดมีดทรงกลม Widia RDMT1605M0T-X ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm ด้านตรงข้ามกับคมตัดจะมีร่องใช้ในการล็อกไม่ให้เม็ดมีด slip ขณะที่มีดลึงหมุนดังแสดงในรูปที่ 4.7 ดังนั้นด้ามจับต้องมีร่องรับกับขนาดของเม็ดมีดพอดี

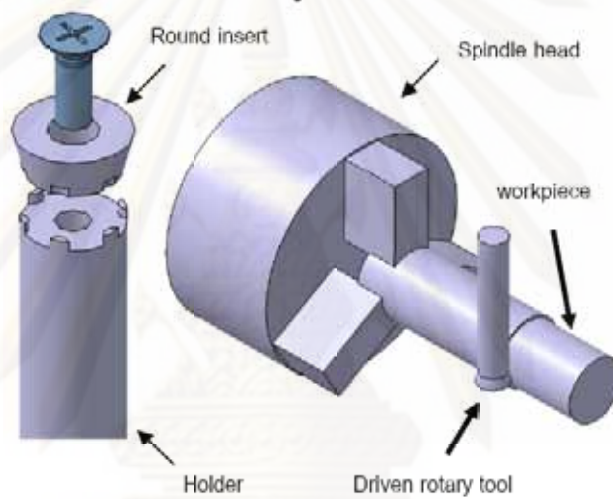


รูปที่ 4.7 เม็ดมีดลึง widia RDMT1605M0T-X ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm

ด้ามจับเม็ดมีดลึงทำจากแท่งทรงกระบอกเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 mm ยาว 80 mm ทำการกัดเจาะปลายด้านหนึ่งของด้ามจับเพื่อรับกับร่องของเม็ดมีดกลมดังแสดงในรูป 4.8 ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของด้ามจับจะต้องมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดมีดเพื่อป้องกันไม่ให้ด้ามมีดชนกับชิ้นงานขณะทำการลึง ทำการยึดเม็ดมีดเข้ากับด้ามมีดด้วย Bolt M5 และด้ามมีดจะสวมเข้าไปใน holder และยึดติดกับหัวหมุนมีดลึงของเครื่อง CNC ดังแสดงในรูปที่ 4.9



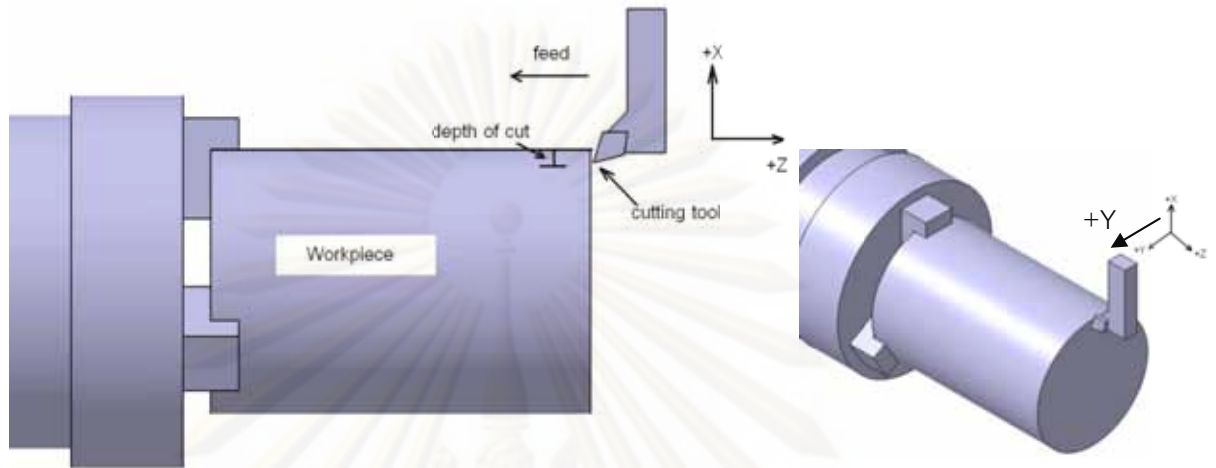
รูปที่ 4.8 ด้ามจับมีดกลึงแบบโรตารี



รูปที่ 4.9 การประกอบมีดกลึงแบบโรตารีเข้ากับเครื่อง CNC

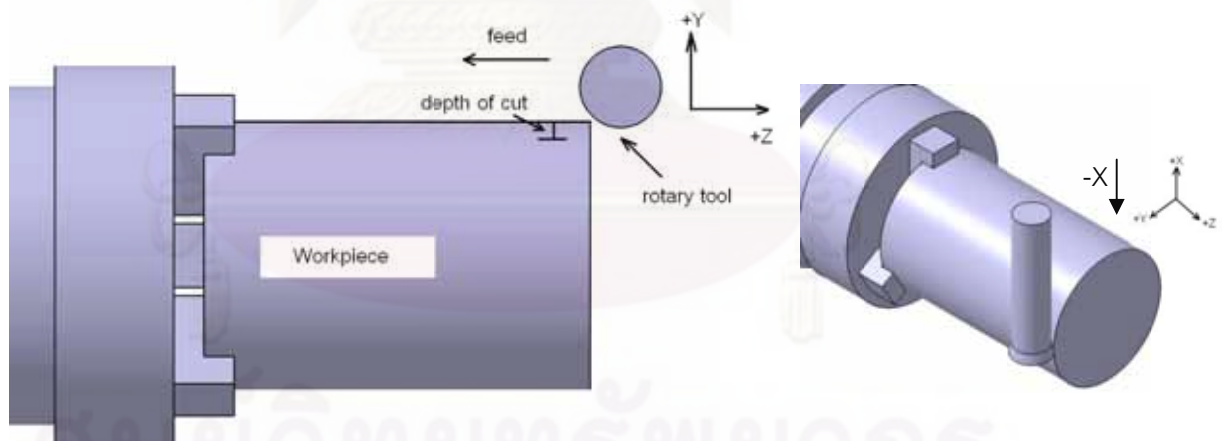
4.2.3 การปรับระนาบการเคลื่อนที่ของมีดกลึงแบบโรตารี

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของมีดกลึงในการกลึงแบบปกติของเครื่อง CNC multitasking นั้นจะพบว่ามีดกลึงจะหันด้านคมมีดออกมาทางด้านแกน +Y ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การกลึงด้วยมีดกลึงแบบปกติในระนาบ XZ

การเคลื่อนที่ของมีดจึงเป็นการเคลื่อนที่ในระนาบ XZ แต่เมื่อพิจารณามีดกลึงแบบโรตารีเนื่องจากได้ทำการติดตั้งมีดกลึงเข้ากับหัวหมุนมีดกลึงซึ่งมีแกนการหมุนรอบแกน X ดังนั้นคมมีดของมีดกลึงแบบโรตารีจะหันไปในทิศ -X ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การกลึงด้วยมีดกลึงแบบโรตารีในระนาบ YZ

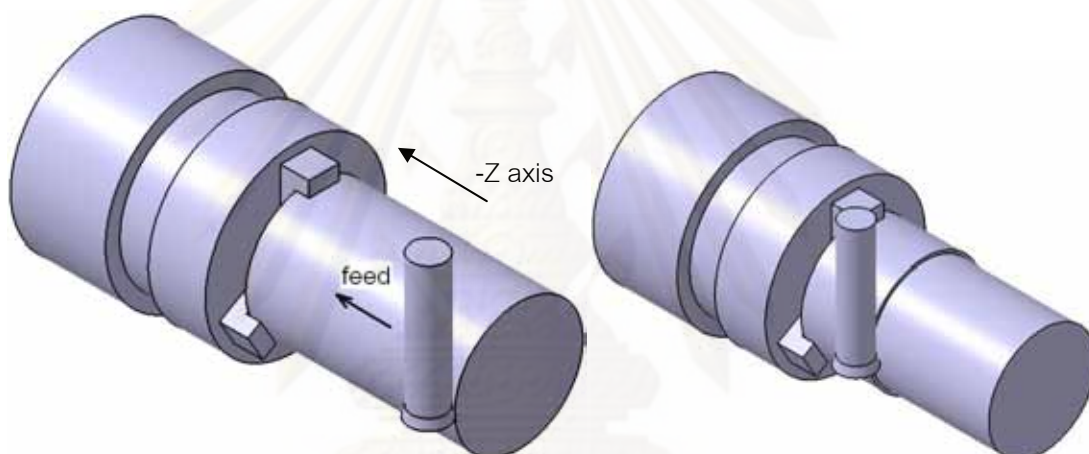
ดังนั้นในการกลึงด้วยมีดกลึงแบบโรตารีมีดกลึงจะเคลื่อนที่ในระนาบ YZ ซึ่งสามารถทำการดัดแปลง G code ให้เปลี่ยนค่าจากการเคลื่อนที่ X ไปเป็นการเคลื่อนที่ในแกน Y ทั้งหมดก็จะสามารถใช้งานได้ถูกต้อง

4.2.4 การปอกผิวและการปาดหน้าด้วยมีดกลึงแบบโรตารี

ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของมีดกลึงแบบโรตารีให้สามารถทำงานได้เหมือนมีดกลึงแบบปกติ จำเป็นต้องมีการดัดแปลงการทำงานของเครื่อง CNC multitasking ให้เหมาะสมเนื่องจากการใช้งานมีดกลึงแบบโรตารีเป็นการทำงานที่รวมการใช้ turning mode และ milling mode พร้อมกันการกำหนดความเร็วรอบ อัตราการป้อนและความเร็วตัดต้องทำงานสอดคล้องกันจึงจะสามารถกลึงงานได้อย่างถูกต้อง

การกลึงชิ้นงานคือการใช้มีดกลึงตัดเฉือนชิ้นงานให้มีขนาดตามที่ต้องการซึ่งมีรูปแบบการทำงานอยู่ 2 แบบคือ

1. การปอกผิวคือการใช้มีดกลึงกลึงชิ้นงานในแนวแกน -Z ส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การปอกผิวชิ้นงานของมีดกลึงแบบโรตารี

สำหรับมีดกลึงแบบโรตารีการควบคุมความลึกตัดสามารถควบคุมได้ด้วยการเคลื่อนที่ในแกน Y ก็จะสามารถปอกผิวชิ้นงานได้เหมือนมีดกลึงแบบปกติ แต่เนื่องจากมีดกลึงแบบโรตารีใช้การควบคุมใน milling mode ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการดัดแปลงอัตราป้อนเพื่อให้ใช้งานได้อย่างถูกต้อง

โดยปกติอัตราป้อนสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ อัตราป้อนต่อนาที (feed per minute, mm/min) ซึ่งการเคลื่อนที่ของมีดกลึงจะคงที่ตามเวลาและอัตราป้อนต่อรอบ (feed per revolution, mm/rev) ซึ่งการเคลื่อนที่ของมีดกลึงจะคงที่ตามความเร็วในการหมุนตัด โดยคำสั่ง G code จะใช้ G98 สำหรับอัตราป้อนต่อนาทีและ G99 สำหรับอัตราป้อนต่อรอบซึ่งในการสั่งการด้วย G code ทั้งสองนี้ในการกลึงและการกัดเซาะจะแตกต่างกันเนื่องจากในการกลึง ชิ้นงานจะหมุนและมีดกัดจะอยู่กับที่ดังนั้นหากใช้อัตราป้อนต่อรอบ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของมีดกลึงจะขึ้นกับความเร็วรอบของชิ้นงาน สำหรับการกัดเซาะ หัวมีดกลึงจะหมุนส่วนชิ้นงานจะอยู่กับที่ดังนั้นเมื่อใช้อัตราป้อนต่อรอบเหมือนกัน (G99) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวมีดกลึงจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการหมุนของหัวมีดกลึงเอง เนื่องจากการทำงานของมีดกลึงแบบโรตารีเป็นการกลึงที่อยู่ใน milling mode ดังนั้นหากใช้อัตราป้อนต่อรอบเครื่องจะ

คำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของมีดกลึงแบบโรตารีโดยอ้างอิงถึงความเร็วในการหมุนของเม็ดมีดซึ่งจะทำให้อัตราป้อนไม่ถูกต้อง เพื่อเป็นการแก้ปัญหาจึงทำการแก้ไขให้ใช้อัตราป้อนต่อหน้าที่แทนซึ่งต้องทำการแปลงอัตราป้อนต่อรอบที่ต้องการในการกลึงเป็นอัตราป้อนต่อหน้าที่โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อนต่อหน้าที่และอัตราป้อนต่อรอบคือ $FC = F \times N$

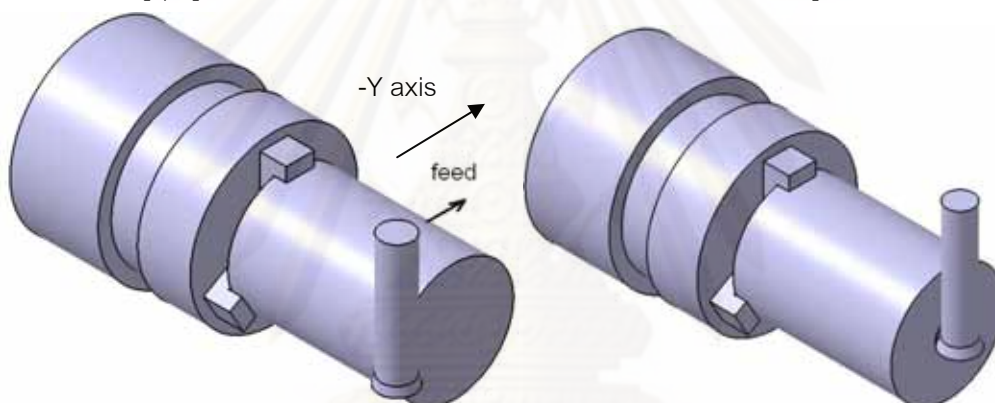
โดย FC คืออัตราป้อนต่อหน้าที่ (mm/min)

F คืออัตราป้อนต่อรอบ (mm/rev)

N คือรอบการหมุนของชิ้นงาน (rpm)

และในการสั่งการเครื่อง CNC สามารถนำอัตราป้อนต่อหน้าที่มาใช้งานด้วย G code G98 หรือทำการแปลงไปเป็นอัตราป้อนต่อรอบโดยใช้ความเร็วรอบในการหมุนของเม็ดมีดมาเป็นตัวหารก็ได้ซึ่งจะได้อัตราป้อนต่อรอบที่ถูกต้องตามที่ต้องการ

2. การปาดหน้าคือการกลึงเพื่อให้หน้าชิ้นงานมีความเรียบซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของมีดจากขอบชิ้นงานเข้าไปสู่จุดศูนย์กลางในแนวแกน -Y ส่งผลให้ชิ้นงานมีขนาดที่สั้นลงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การปาดหน้าชิ้นงานของมีดกลึงแบบโรตารี

ในการปาดหน้าความเร็วการหมุนของชิ้นงานจะไม่คงที่เหมือนการปอกผิวเนื่องจากเมื่อมีดเคลื่อนที่กลึงชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานจะมีขนาดเล็กลงเมื่อพิจารณาถึงความเร็วตัดที่หาได้จากสมการ $V_w = 2\pi r n$ โดย V_w คือความเร็วกัด n คือรอบการหมุนของชิ้นงาน และ r คือรัศมีของชิ้นงาน หากชิ้นงานหมุนด้วยความเร็วคงที่ความเร็วกัดจะลดลงเนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานเล็กลง ดังนั้นเพื่อคงสถานะความเร็วตัดของชิ้นงานให้คงที่ตลอดต้องมีการปรับความเร็วในการหมุนของชิ้นงานให้สอดคล้องกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน โดยในการกลึงปกติที่เม็ดมีดเคลื่อนที่ในระนาบ XZ ความเร็วรอบการหมุนของชิ้นงานจะถูกคำนวณและปรับให้ถูกต้องโดยโปรแกรมของเครื่อง CNC โดยเครื่องจะใช้ตำแหน่งของมีดกลึงในแกน X ซึ่งเป็นขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางขณะนั้นคำนวณย้อนกลับไปเป็นความเร็วรอบที่เหมาะสม แต่เนื่องจากมีดกลึงแบบโรตารีทำงานใน milling mode ซึ่งไม่มีฟังก์ชันการปรับความเร็วนี้ ดังนั้นเพื่อให้ความเร็วในการตัดถูกต้องตลอดการปาดหน้าจำเป็นต้องมีการดัดแปลงให้ขณะมีดกลึงเคลื่อนที่ในแกน Y ความเร็วในการหมุนชิ้นงานต้องเพิ่มขึ้นด้วย การดัดแปลงนี้สามารถทำได้โดยการประยุกต์ให้ป้อมมีดล่างซึ่งจับคู่การทำงานกับหัวหมุนหลักใน turning mode ทำงานพร้อมกับ

หัวหมุนมีดถึงซึ่งเมื่อป้อมมีดล่างเคลื่อนที่ในแกน X ก็จะทำให้การควบคุมความเร็วในการหมุนของชิ้นงานให้ถูกต้อง ซึ่งการทำงานพร้อมกันนี้สามารถใช้คำสั่งคอย(waiting command) ทำให้ป้อมมีดล่างและป้อมมีดบนเริ่มทำงานพร้อมกันได้

เมื่อทำการตัดแปลงเครื่อง CNC multitasking ตามที่ต้องการแล้วสามารถเขียนเป็นชุดคำสั่งการทำงานในรูปแบบ G code ดังแสดงในรูปที่ 4.14

```

RotaryTool.IIA Notepad
File Edit Format View Help
-----
G123.1
X100.
G28 Y0.
G28 U0. W0.

%
(LOWER TURRET + MAIN SPINDLE)
G109L2
M901
T004002
G53.5
M202
G18
G97 S790. M04 (CUTTING SPEED) a)
G00 X104. Z0. (X Z POSITION)
P101 (start point)

G99 G01 X104. Z-80. F0.1
G00 X150.
G00 Z10.
-----
RotaryTool.IIA Notepad
File Edit Format View Help
(LOWER TURRET + MAIN SPINDLE)
G109L1
M902
M300
M203S
G28 Y0.
G28 U0. W0.
T005.01
M300
M250
B90.
M251
G53.5
G98 G97 S1600. M203 (cutting speed) b)
G00 X0. Z35.868
(Tool path)
G00 X0. Y54.7 Z28.631
G01 X0. F600.
Y38.7 F600.
Y23.085 Z16.121
Y23.032 Z15.876
Y22.983 Z15.629
Y22.938 Z15.382
Y22.897 Z15.134
Y22.86 Z14.885
Y22.826 Z14.636
Y22.797 Z14.387
Y22.771 Z14.137
Y22.749 Z13.886
Y22.732 Z13.636
Y22.718 Z13.385
Y22.708 Z13.134
Y22.702 Z12.882
Y22.7 Z12.631 (CUTTING DIAMETER)
Z5.
P101 (START POINT)
G99 G01 Z-80. F0.049 (FEED) c)
(END OF PATH)
X30. F500. (RETRACT)
G00 X100.
G00 Z30.

```

รูปที่ 4.14 ตัวอย่างโปรแกรมการใช้งานมีดกลึงแบบโรตารี

การกำหนดสภาวะการตัดสำหรับมีดกลึงแบบโรตารีสามารถทำได้ดังนี้

-ความเร็วในการกัด(cutting speed) สามารถกำหนดได้ในส่วนของหัวหมุนหลัก(รูปที่ 4.14 a) โดยคำสั่ง S(ความเร็วรอบในการหมุน, rpm) และทิศทางในการหมุนกำหนดได้โดย M03 และ M04 ซึ่งเป็นการหมุนขึ้นงานตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาตามลำดับ

-ความเร็วในการหมุนของเม็ดมีด(rotary speed) สามารถกำหนดได้ในส่วนของหัวหมุนมีดกลึง(รูปที่ 4.14 b) โดยคำสั่ง S(ความเร็วรอบในการหมุน, rpm) และทิศทางในการหมุนกำหนดได้โดย M03 และ M04 ซึ่งเป็นการหมุนขึ้นงานตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาตามลำดับ

-การกำหนดอัตราป้อน(feed) สามารถกำหนดได้ในส่วนของหัวหมุน milling (รูปที่ 4.14 c) โดยคำสั่ง F(อัตราป้อน) โดย G98 คืออัตราป้อนต่อหน้าที (mm/min) และ G99 คืออัตราป้อนต่อรอบ (mm/rev)

-การเคลื่อนที่ของมีดกลึงจะอยู่ในระนาบ YZ โดย Y จะกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของงานที่กลึงและ Z จะกำหนดขนาดความยาวของชิ้นงาน

เมื่อทำการเขียนโปรแกรมและติดตั้งมีดกลึงแบบโรตารีเข้ากับเครื่อง CNC multitasking Mazak Integrex 100 -IV ตามขั้นตอนที่กล่าวมาในบทนี้แล้ว มีดกลึงแบบโรตารีสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีสามารถกลึงปกผิวและแปดหน้าได้ถูกต้องตามที่ต้องการสามารถนำไปใช้ในการทดลองได้ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไปซึ่งเป็นการทดสอบการทำงานของมีดกลึงแบบโรตารี

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

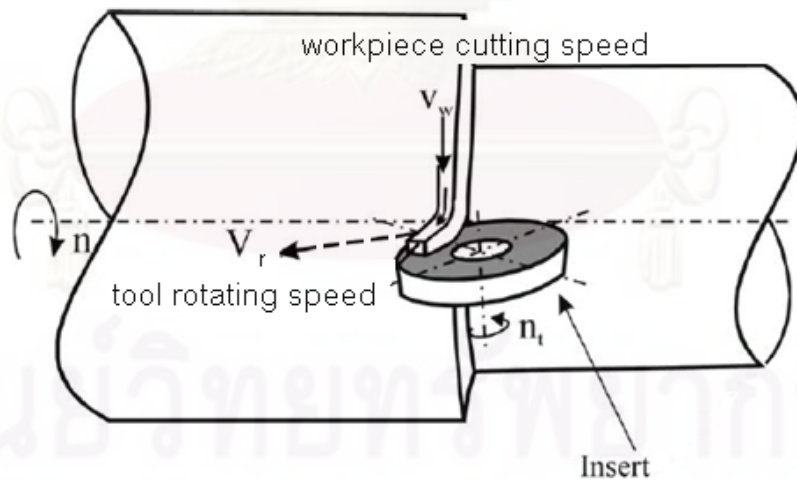
การทดสอบการใช้งานมีดกลึงแบบโรตารี

จากการออกแบบและติดตั้งมีดกลึงแบบโรตารีบนเครื่อง CNC multitasking จากบทที่แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของมีดกลึงแบบโรตารี ซึ่งการพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของมีดกลึงสามารถดูได้จากความสามารถในการกัดขึ้นรูป (machinability) ได้แก่ อายุการใช้งานของมีดกัด (tool life) ลักษณะของเศษกลึง (chip formation) และอุณหภูมิตัด (cutting temperature)

5.1 การเปรียบเทียบความสามารถในการกัดขึ้นรูปของมีดกลึงแบบโรตารีและมีดกลึงแบบอยู่กับที่

มีดกลึงแบบโรตารีที่มีการหมุนของเม็ดมีดรอบตัวเองจะมีกลไกการตัดเฉือนแตกต่างจากมีดกลึงที่ใช้งานกันตามปกติซึ่งเม็ดมีดอยู่กับที่การทดลองจะทำการศึกษาความสามารถในการกัดขึ้นรูปของมีดกลึงแบบโรตารีเปรียบเทียบกับมีดกลึงแบบธรรมดาที่เม็ดมีดอยู่กับที่

เนื่องจากการหมุนของเม็ดมีดถูกควบคุมด้วยหัวหมุนมีดกลึงดังนั้นจึงสามารถควบคุมความเร็วในการหมุนได้ กำหนดให้อัตราส่วนความเร็วเม็ดมีด V_r (tool rotating speed) ต่อความเร็วในการตัด V_w (workpiece cutting speed) เรียกว่าอัตราส่วนความเร็ว (cutting speed ratio) หรือ CR โดย V_r และ V_w แสดงดังรูปที่ 5.1



$$\text{Cutting speed ratio, CR} = \frac{V_r}{V_w}$$

รูปที่ 5.1 อัตราส่วนความเร็ว (cutting speed ratio), CR ในการกลึงด้วยมีดกลึงแบบโรตารี

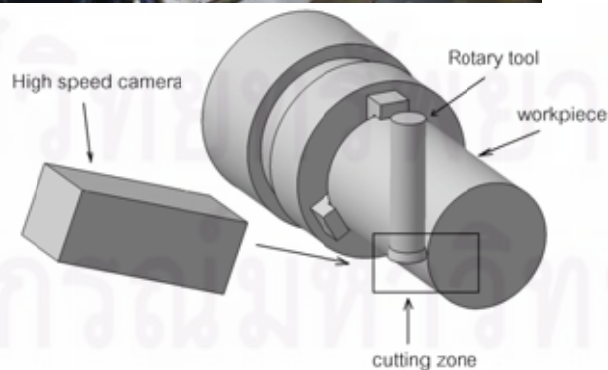
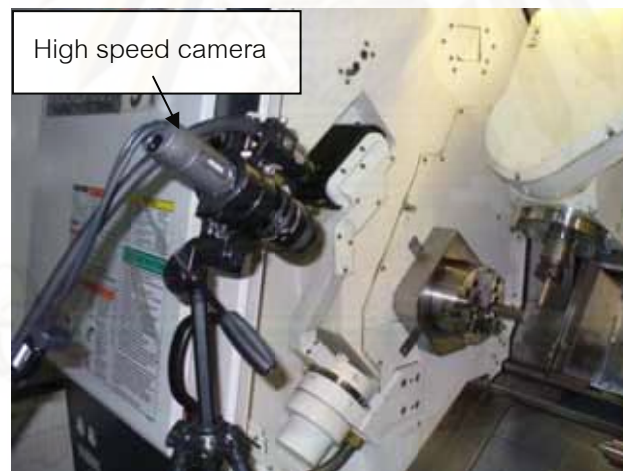
5.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองจะทำการกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm โดยทำการกลึงที่ความเร็วในการตัด 50, 70 และ 90 m/min โดยเปรียบเทียบระหว่างมีดกลึงแบบโรตารี (rotary tool) ที่มีอัตราส่วนความเร็ว CR = 0.4 กับมีดกลึงแบบอยู่กับที่ (stationary tool) ซึ่งเม็ดมีดที่ไม่มีการหมุนตามสภาวะการตัดดังตารางที่ 5.1

วัสดุที่ใช้ทดลอง	เหล็กกล้าไร้สนิม 316L
ขนาดชิ้นงาน	เส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm
ความเร็วในการกัด (cutting speed,m/min)	50,70,90
อัตราส่วนความเร็ว(cutting speed ratio,CR)	0.4
อัตราการป้อน (feed, mm/rev)	0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8
ระยะกินลึก (depth of cut,mm)	0.4

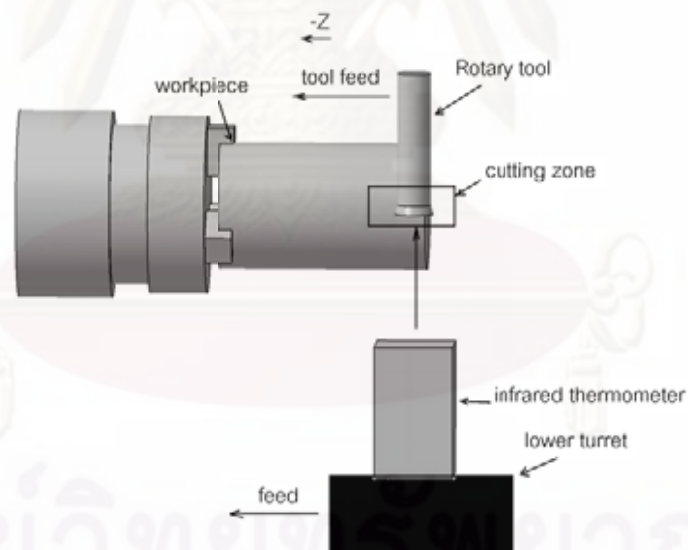
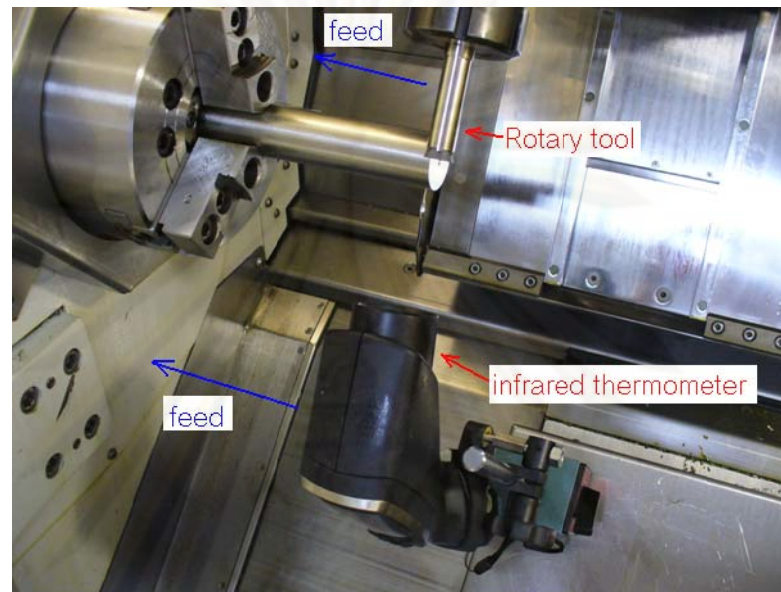
ตารางที่ 5.1 สรุปสภาวะการตัดในการทดลองที่ 5.1

ขณะทำการทดลองจะทำการบันทึกภาพขณะที่ทำการกลึงชิ้นงานด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง KEYENCE Motion Analyzer Microscope VW-6000/5000 ซึ่งทำการติดตั้งไว้บริเวณหน้าเครื่อง CNC ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การติดตั้งกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงขณะทำการกลึงชิ้นงาน

ในการวัดอุณหภูมิของเม็ดมีดจะใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด(infrared thermometer) ในการวัดอุณหภูมิของเม็ดมีด ซึ่งขณะทำการกลึงชิ้นงานมีดกึ่งจะเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน -Z ดังแสดงในรูปที่ 5.3 เพื่อให้เครื่องวัดอุณหภูมิวัดอุณหภูมิหน้ามีดที่จุดเดิมตลอดเวลาจึงทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิไว้ที่ป้อมมีดล่างและทำการเขียนชุดคำสั่งให้ป้อมมีดล่างเคลื่อนที่ไปพร้อมกับมีดกึ่งโดยให้มีอัตราป้อนที่เท่ากันทำให้สามารถวัดอุณหภูมิหน้ามีดที่จุดเดิมได้ตลอดการทดลอง



รูปที่ 5.3 การติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดขณะทำการกลึงชิ้นงาน

เมื่อทดลองกลึงชิ้นงานเสร็จแล้วจึงนำเม็ดมีดกลมที่ผ่านการกลึงมาทำการวัดขนาดการสึกหรอบนผิวหลบที่เกิดขึ้นโดยทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยนำมาวัดรอยสึกหรอตามระยะเวลาถึง 3 6 และ 9 นาที จากนั้นจึงนำค่าการสึกหรอมาคำนวณหาอายุการใช้งานตามแนวทางมาตรฐาน ISO 3685: 1993 (E) และเศษกึ่งที่ได้จากการกลึงจะนำมาวัดความหนาโดยไม่โครมิเตอร์เพื่อนำไปใช้คำนวณหามุมเฉือนต่อไป

5.1.2 ตารางบันทึกผลการทดลอง

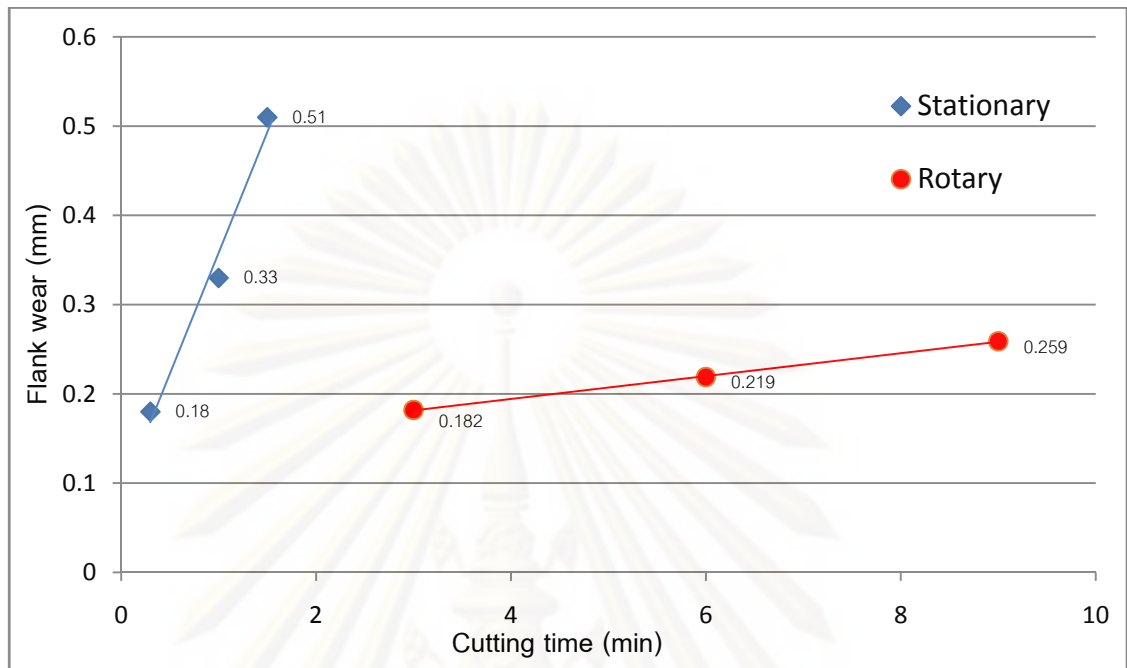
ความหนาเศษกลึง

	Feed (mm/rev)	Chip thickness (mm)	Cutting ratio r_c	Shear angle, ϕ (deg)
Stationary	0.2	0.143	0.221	12.442
	0.3	0.187	0.253	14.209
	0.4	0.218	0.290	16.178
	0.5	0.246	0.328	18.185
	0.6	0.3	0.316	17.548
	0.7	0.324	0.341	18.842
	0.8	0.364	0.347	19.130
CR 0.4	0.2	0.119	0.265	15.239
	0.3	0.159	0.298	17.092
	0.4	0.200	0.316	18.104
	0.5	0.236	0.335	19.154
	0.6	0.253	0.375	21.388
	0.7	0.287	0.385	21.946
	0.8	0.302	0.418	23.738

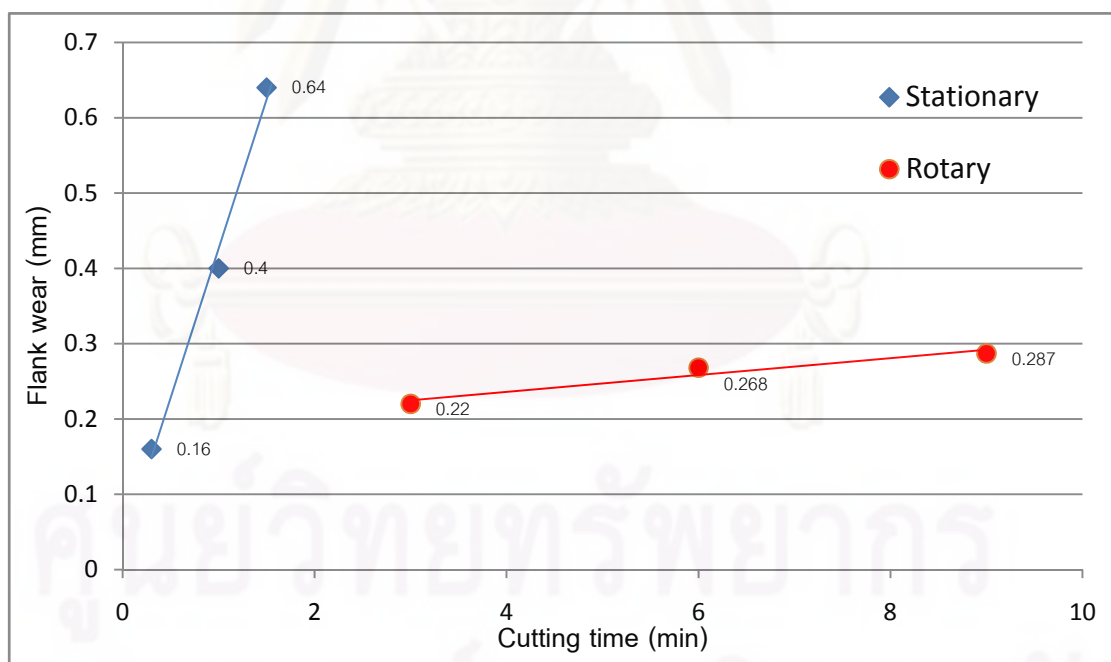
ตารางที่ 5.2 ความหนาเศษกลึงที่อัตราป้อนต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

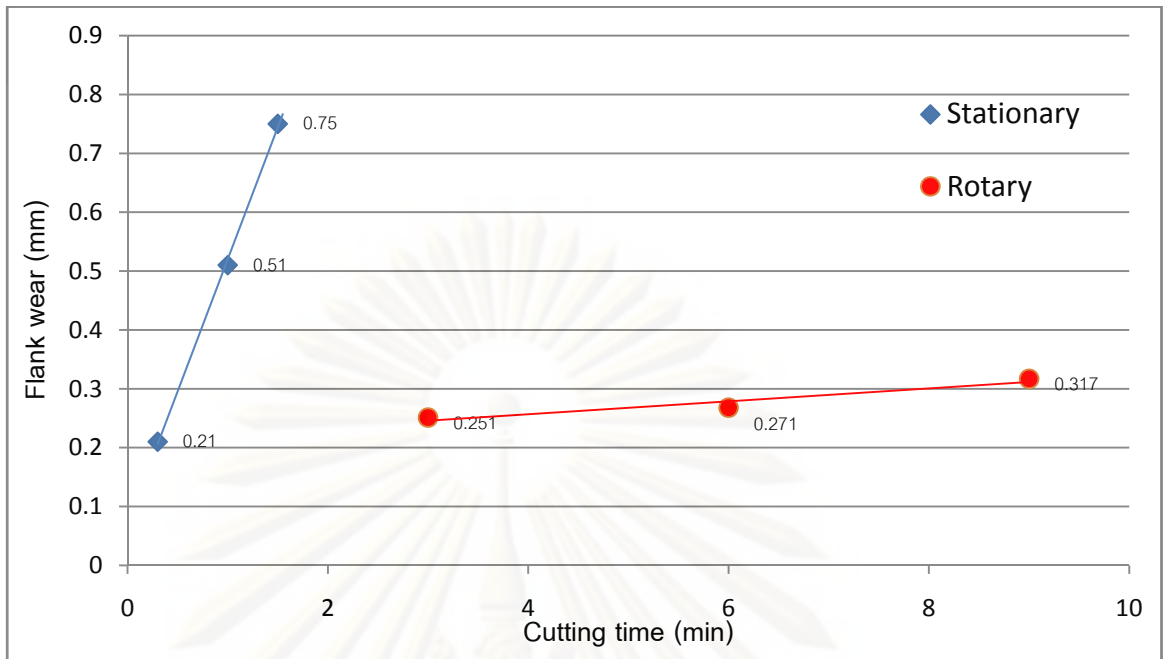
การสึกหรอของเม็ดมีด



รูปที่ 5.4 การสึกหรอของเม็ดมีดที่ความเร็วกัด 50 m/min

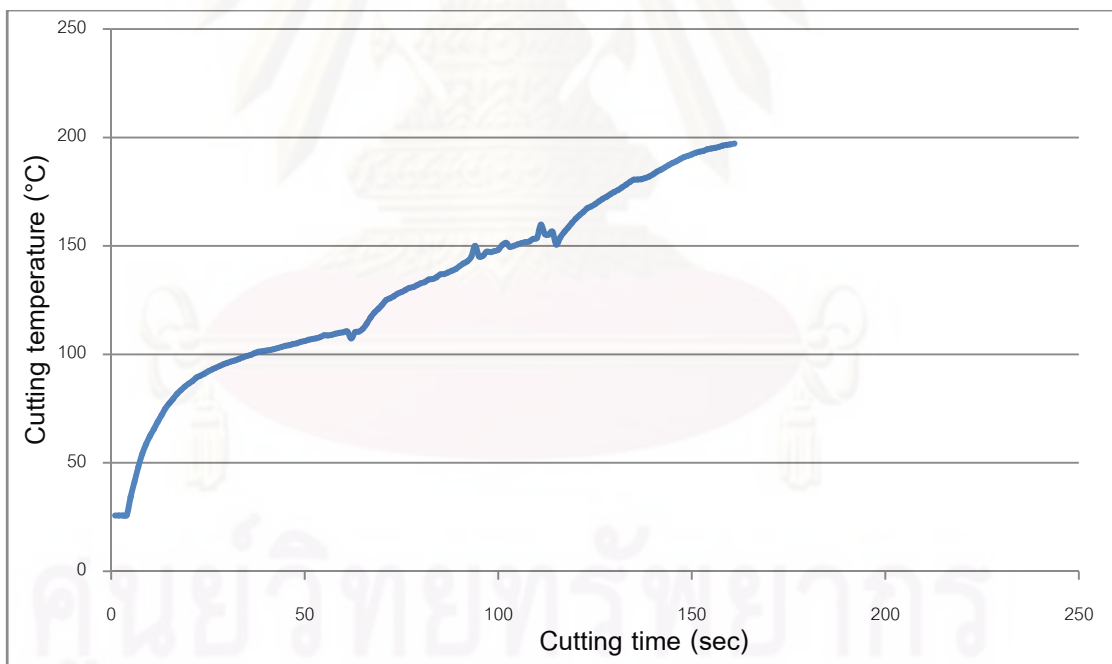


รูปที่ 5.5 การสึกหรอของเม็ดมีดที่ความเร็วกัด 70 m/min

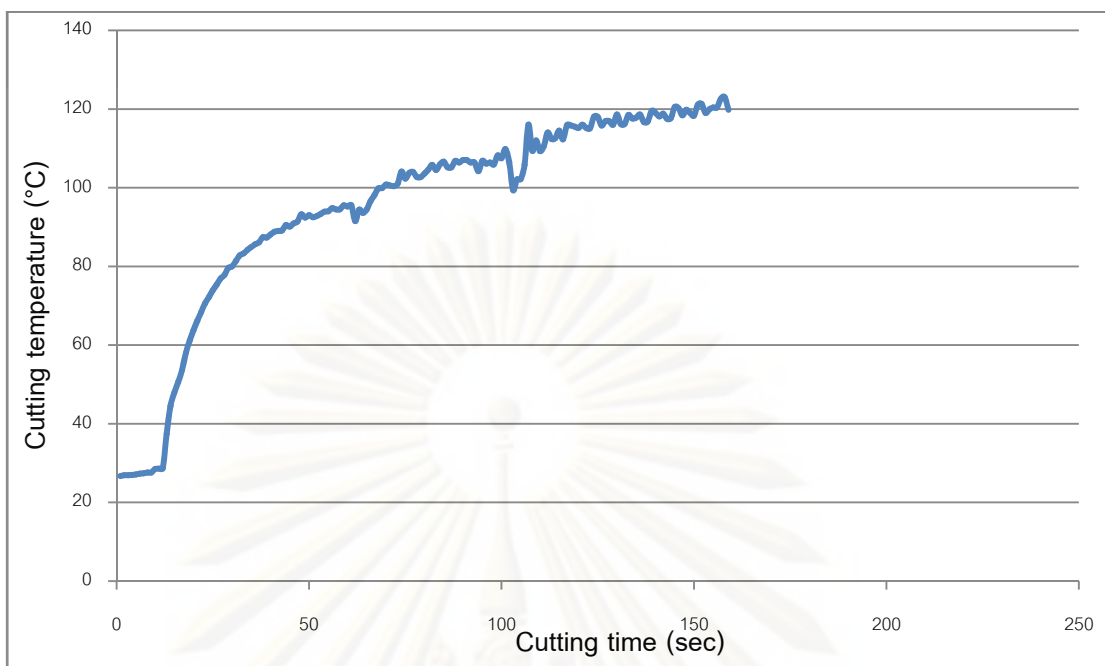


รูปที่ 5.6 การสึกหรอของเม็ดมีดที่ความเร็วกัด 90 m/min

อุณหภูมิหน้ามีด



รูปที่ 5.7 อุณหภูมิหน้ามีดของมีดกลึงแบบอยู่กับที่ที่ความเร็วตัด 90 m/min



รูปที่ 5.8 อุณหภูมิหน้ามีดของมีดกลึงแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 90 m/min

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

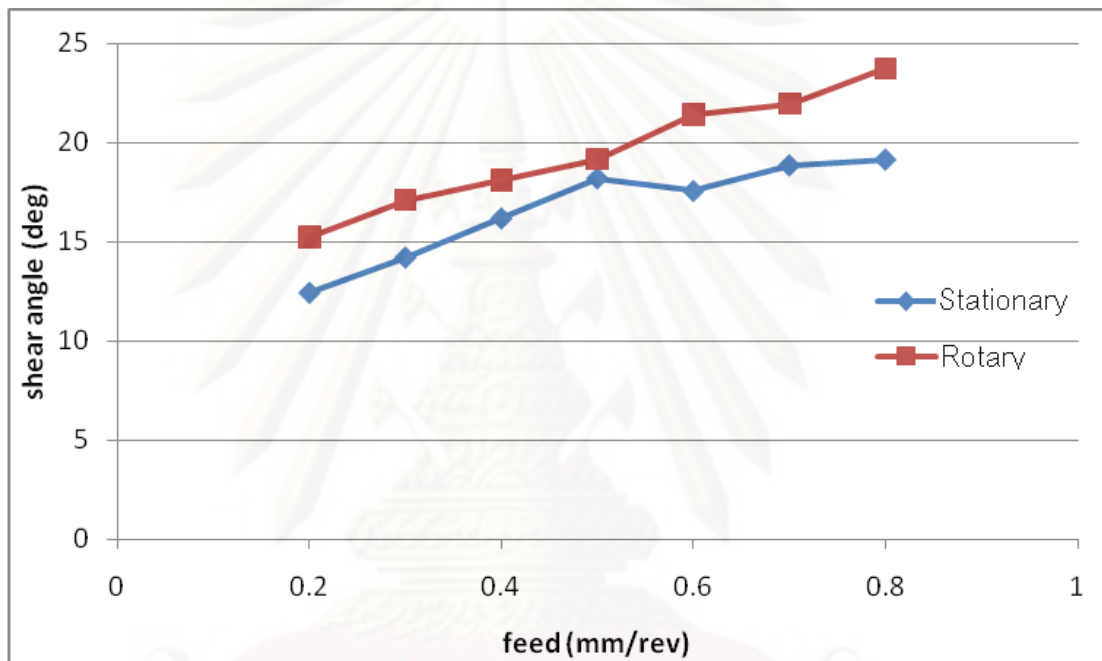
5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. จากการทดลองพบว่าเศษกลิ้งที่ได้จากการกลิ้งด้วยมีดกลิ้งแบบโรตารีจะมีขนาดที่บางกว่ามีดกลิ้งแบบที่เม็ดมีดอยู่กับที่ ความหนาของเศษกลิ้งเป็นตัวแปรที่บ่งชี้ถึงขนาดของค่ามุมเฉือน โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการ (2-5) และ (2-6) ตามลำดับ

$$\tan \phi = \frac{r_c \cdot \cos \alpha}{1 - r_c \cdot \sin \alpha} \quad (2-5)$$

$$r_c = \frac{a}{a_c} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (2-6)$$

ซึ่งสามารถคำนวณหาค่ามุมเฉือนได้ดังรูปที่ 5.9



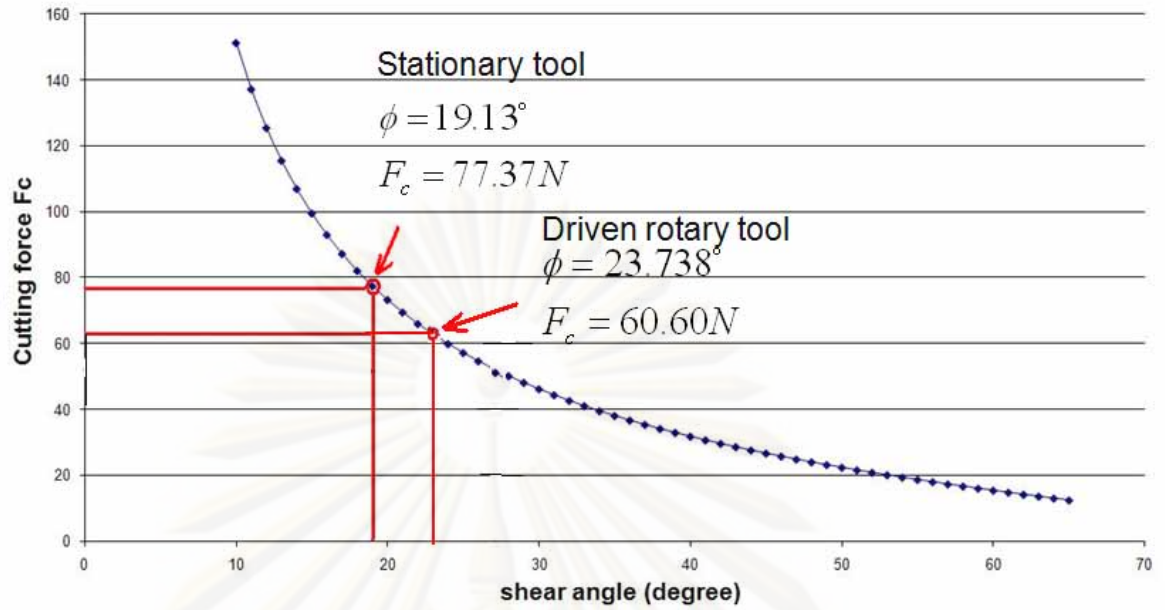
รูปที่ 5.9 ค่ามุมเฉือนที่ความเร็วในการตัด 50 m/min

จากรูปจะเห็นได้ว่ามีดกลิ้งแบบโรตารีมีค่ามุมเฉือนที่มากกว่ามีดกลิ้งแบบอยู่กับที่ทุกอัตราการป้อนซึ่งค่ามุมเฉือน, ϕ จะมีความสัมพันธ์กับแรงในการตัดดังสมการที่ 2-10 คือ

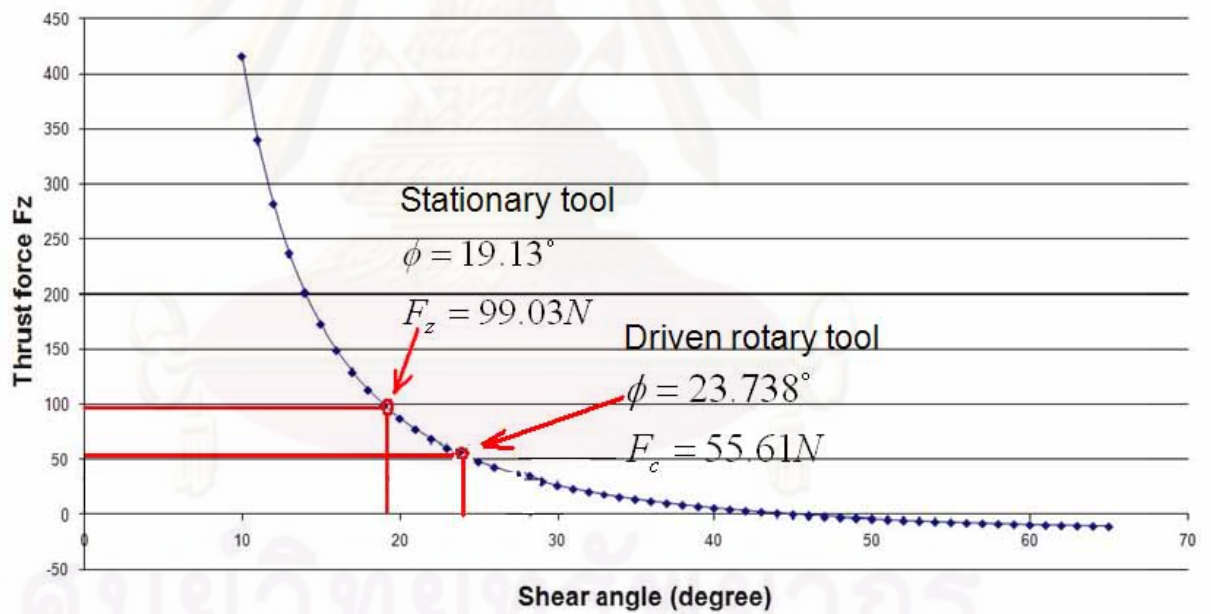
$$F_c = \frac{k \cdot a \cdot b \cdot \cos(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)} \quad (2-10)$$

$$F_z = \frac{k \cdot a \cdot b \cdot \sin(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)}$$

ซึ่งสามารถประมาณค่าแรงที่เกิดขึ้นในการตัดได้ดังรูปที่ 5.10 และ 5.11



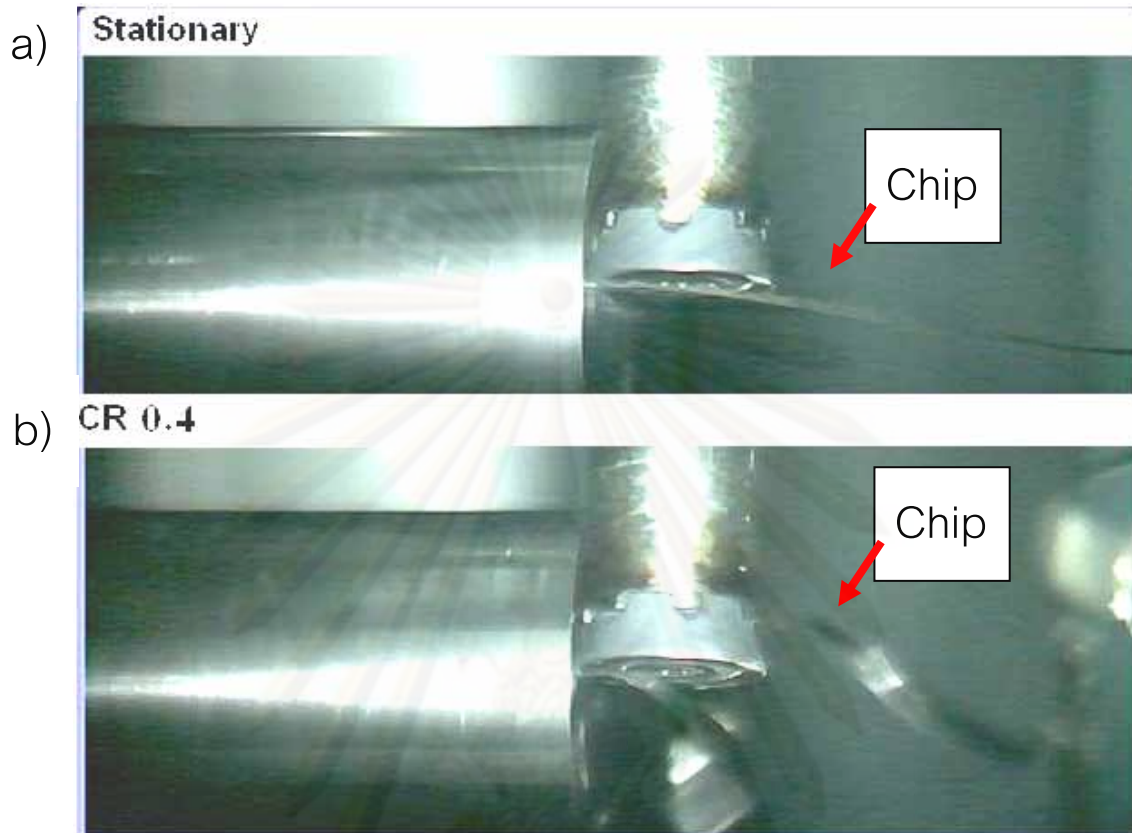
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง cutting force กับมุมเฉือนของมีดกลึงแบบอยู่กับที่ และ มีดกลึงแบบโรตารี



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง thrust force กับมุมเฉือนของมีดกลึงแบบอยู่กับที่ และ มีดกลึงแบบโรตารี

การที่มีดกลึงแบบโรตารีมีเศษกิ้งที่บางกว่าแสดงว่าค่ามุมเฉือนมีค่ามากกว่าซึ่งส่งผลให้แรงในการตัดน้อยกว่า โดยค่าแรงตัดที่อัตราป้อน 0.8 mm/rev ลดลงมากที่สุดคือ F_c และ F_z ลดลง 21.68% และ 43.84% ตามลำดับ

2. จากการพิจารณาการเกิดเศษกลิ้งด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงจะเห็นได้ว่าลักษณะการเกิดเศษกลิ้งของมีดกลิ้งแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีจะมีลักษณะแตกต่างกันดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 ภาพถ่ายขณะทำการกลิ้งชิ้นงานที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง a) มีดกลิ้งแบบอยู่กับที่ b) มีดกลิ้งแบบโรตารี

ลักษณะการเคลื่อนที่ของเศษกลิ้งของมีดกลิ้งแบบอยู่กับที่จะได้เศษกลิ้งที่เป็นเส้นตรงยาวแต่ในมีดกลิ้งแบบโรตารีเศษกลิ้งจะมีการขดตัวเป็นสปริง ทิศทางการเคลื่อนที่ของเศษกลิ้งที่ต่างกันนี้ทำให้เกิดจากกลไกการตัดที่ต่างกันไม่ว่าจะเป็นทิศทางของแรงเสียดทาน และแรงในการตัด

อย่างไรก็ตามเนื่องจากเศษกลิ้งที่เกิดขึ้นจากการกลิ้งทั้งสองแบบเป็นลักษณะเป็น snarled type เนื่องจากไม่มี chip breaker ซึ่งทำหน้าที่ช่วยหักเศษกลิ้งให้มีขนาดสั้นลงเพื่อป้องกันเศษกลิ้งไม่ให้ไปพันกับชิ้นงานซึ่งการเพิ่ม chip breaker จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการกลิ้งดีขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. จากการพิจารณาลักษณะของเศษกึ่งจะพบว่าเศษกึ่งที่ได้จากการตัดแบบเม็ดมีดอยู่กับที่ และมีดกึ่งแบบโรตารีจะแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 5.13 และ 5.14



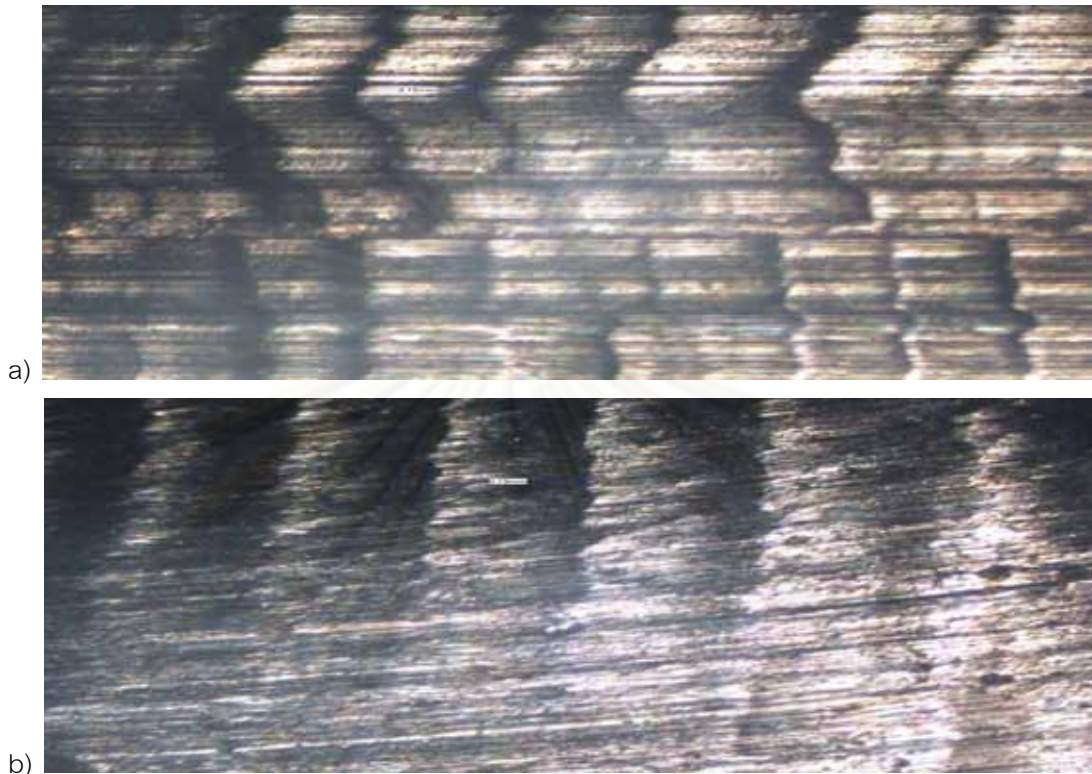
รูปที่ 5.13 เศษกึ่งที่ได้จากการกึ่งด้วยมีดกึ่งแบบอยู่กับที่



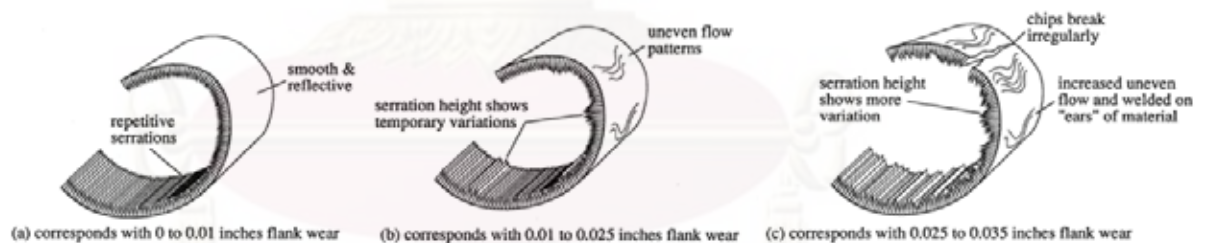
รูปที่ 5.14 เศษกึ่งที่ได้จากการกึ่งด้วยมีดกึ่งแบบโรตารี

เศษกึ่งที่ได้จากมีดกึ่งแบบอยู่กับที่จะมีลักษณะแบบ snarled ribbon chips (ลักษณะ 1.3 ตามตารางลักษณะเศษกึ่ง ISO3685 Table G.1 ภาคผนวก ข) ส่วนเศษกึ่งที่ได้จากมีดกึ่งแบบโรตารีนั้นจะมีลักษณะเป็น snarled tubular (ลักษณะ 2.3)

4. จากการพิจารณาลักษณะเศษกึ่งที่เกิดขึ้นปรากฏว่าเศษกึ่งที่ได้จากการทดลองด้วยมีดกึ่งแบบโรตารีจะมีผิวเศษกึ่งที่ราบเรียบกว่าการกึ่งแบบที่มีดกึ่งอยู่กับที่ดังแสดงในรูปที่ 5.15



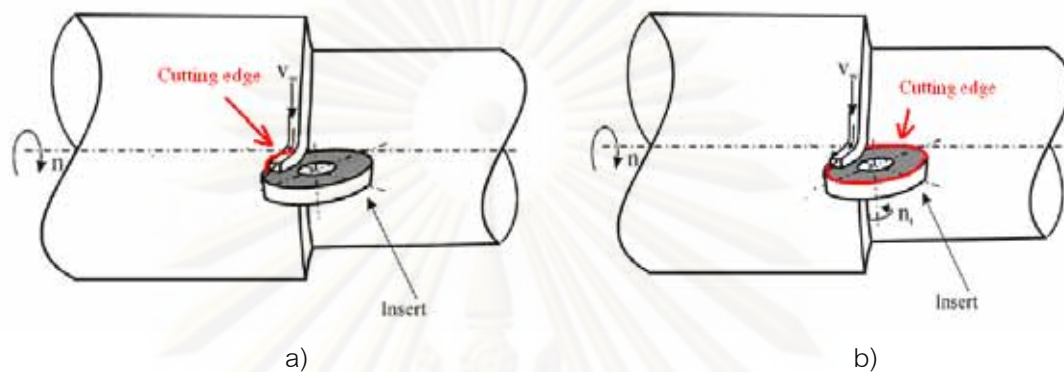
รูปที่ 5.15 ลักษณะผิวของเศษกึ่ง a) มีดมีดอยู่กับที่ b) มีดกึ่งแบบโรตารี



รูปที่ 5.16 แสดงลักษณะเศษกึ่งเมื่อมีดเกิดการสึกหรอ [14]

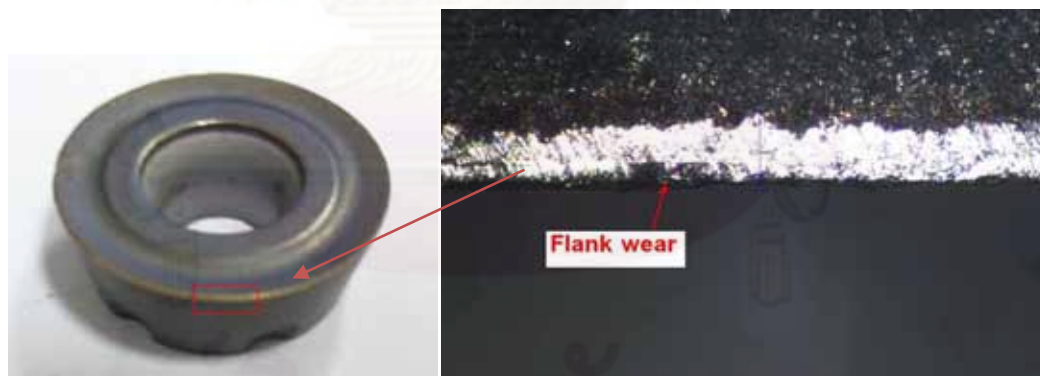
ซึ่งโดยปกติเมื่อมีดกัดมีการสึกหรอหรือที่อ่อนนั้นจะก่อให้เกิดแรงในการตัดที่เพิ่มมากขึ้นดังนั้นการพิจารณามือเศษกึ่งจึงสามารถบอกได้ถึงสภาวะการกัดดังรูปที่ 5.16 เศษกึ่งที่มีแรงตัดมากและไม่สม่ำเสมอจะเกิด uneven flow ขึ้นซึ่งจากการทดลองจะพบว่าเศษกึ่งที่ได้จากมีดกึ่งแบบอยู่กับที่ (รูปที่ 5.15 a) จะเกิด uneven flow ขึ้นเป็นรอยขนาดใหญ่อย่างเด่นชัดแสดงให้เห็นถึงแรงในการตัดที่ไม่ราบเรียบแต่เมื่อพิจารณาเศษกึ่งที่ได้จากการกึ่งด้วยมีดกึ่งแบบโรตารี (รูปที่ 5.15 b) จะเห็นได้ว่า uneven flow ของเศษกึ่งมีขนาดน้อยลงซึ่งเป็นผลมาจากแรงตัดที่น้อยลงนั่นเอง

5. เมื่อพิจารณาถึงภาวะไหลที่เกิดขึ้นที่คมตัดบนปลายมีดดังรูปที่ 5.17 จะพบว่าในการกลึงด้วยมีดกลึงแบบอยู่กับที่ภาวะไหลจะตกอยู่ที่จุดเดียวตลอดการกัดคือบริเวณจุดสัมผัสระหว่างชิ้นงานและเม็ดมีดแต่สำหรับการกลึงโดยมีดกลึงแบบโรตารีจะเห็นได้ว่าจุดตัดจะเปลี่ยนไปตลอดเวลาส่งผลให้แรงในการตัดกระจายไปตลอดทั่วทั้งขอบคมตัดของเม็ดมีด ด้วยเหตุนี้การสึกหรอของเม็ดมีดในการกลึงแบบโรตารีจึงน้อยกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่



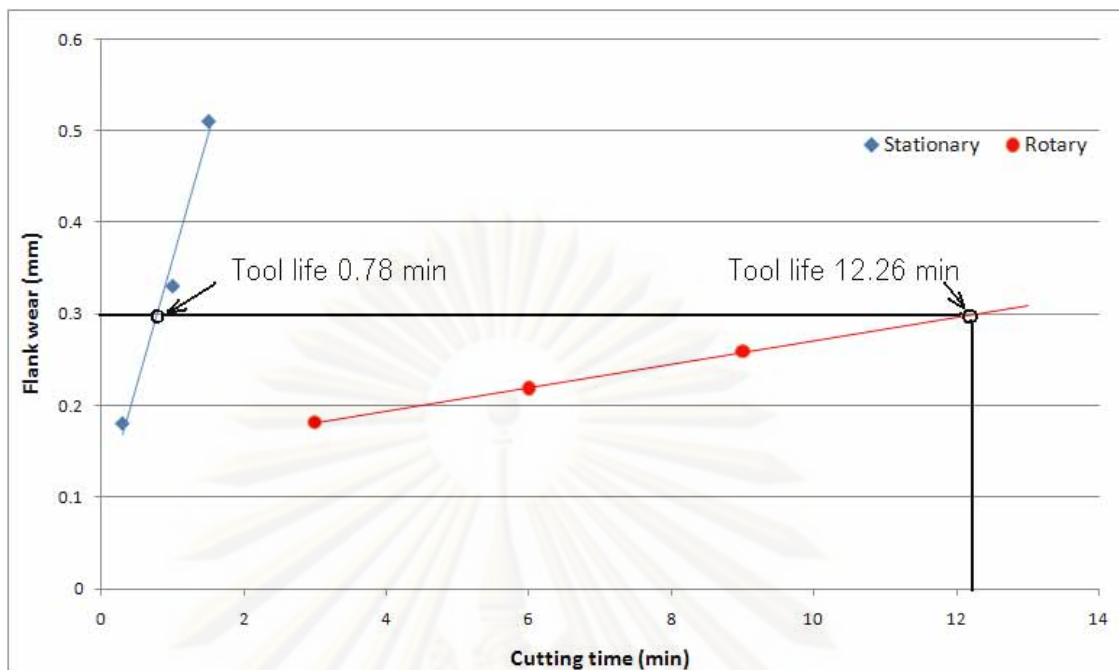
รูปที่ 5.17 ภาวะไหลที่เกิดขึ้นบนเม็ดมีดกลึง a) มีดกลึงแบบอยู่กับที่ b) มีดกลึงแบบโรตารี

6. เมื่อพิจารณาอายุการใช้งานของมีดกัดโดยพิจารณาอายุการใช้งานตามแนวทางมาตรฐาน ISO 3685: 1993 (E) ได้กำหนดขนาดของการสึกหรอบนผิวหอบ (flank wear) ไว้ไม่เกิน 0.3 mm ซึ่งจากข้อกำหนดนี้สามารถหาอายุการใช้งานของเม็ดมีดได้โดยการวัดขนาดการสึกหรอบนผิวหอบที่เกิดขึ้นบนคมตัดดังแสดงในรูปที่ 5.18

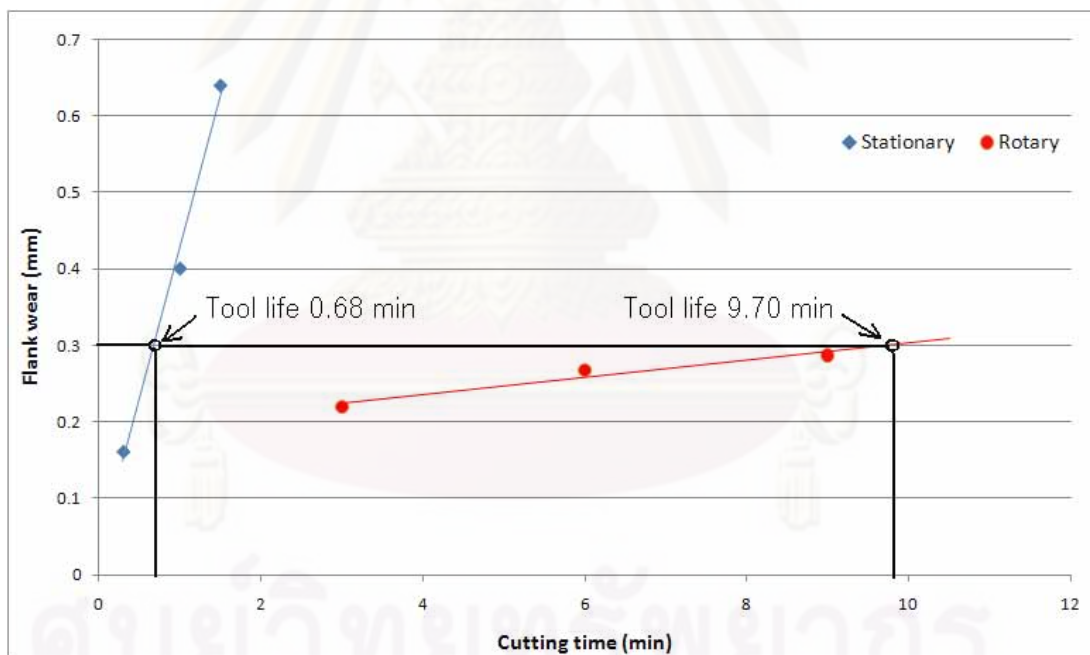


รูปที่ 5.18 การสึกหรอบนผิวหอบที่เกิดขึ้นบนคมตัดของเม็ดมีด

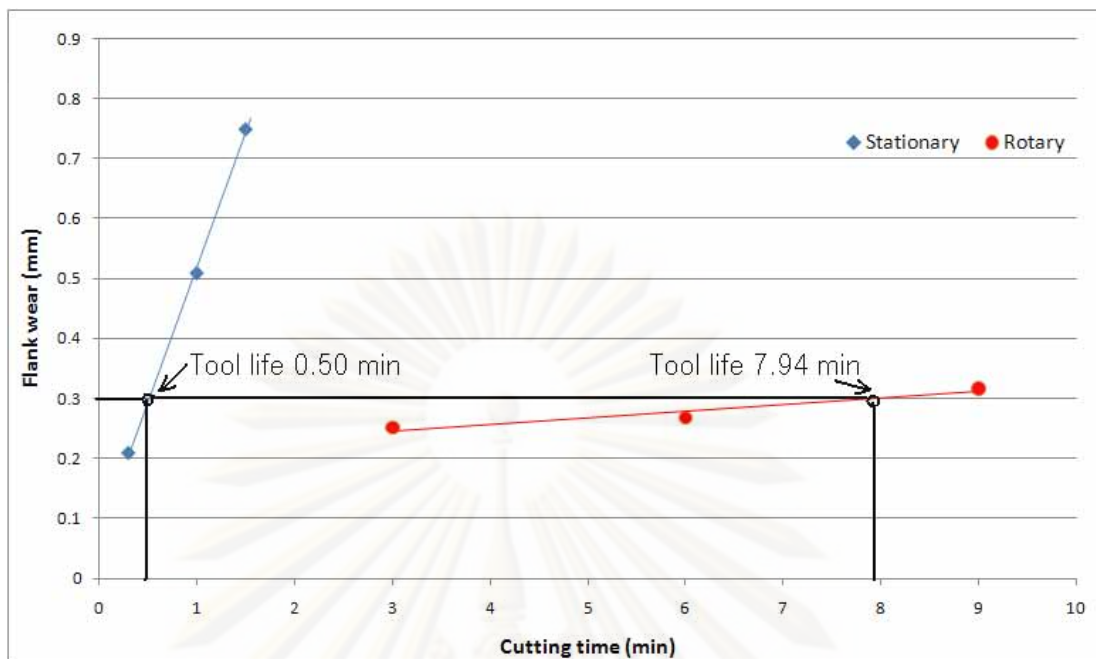
จากนั้นนำค่าขนาดผิวหอบที่วัดได้มาพล็อตเทียบกับระยะเวลาการกลึงที่ 3 6 และ 9 นาทีแล้วจึงทำการประมาณค่านอกช่วง (extrapolation) โดยจุดสิ้นสุดการใช้งานคือจุดที่มีดกลึงมีการสึกหรอ 0.3 mm ดังแสดงในรูปที่ 5.19 – 5.21



รูปที่ 5.19 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และเม็ดกลึงแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 50 m/min



รูปที่ 5.20 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และเม็ดกลึงแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 70 m/min



รูปที่ 5.21 อายุการใช้งานของมีดมีดแบบอยู่กับที่และมีดกลึงแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 90 m/min

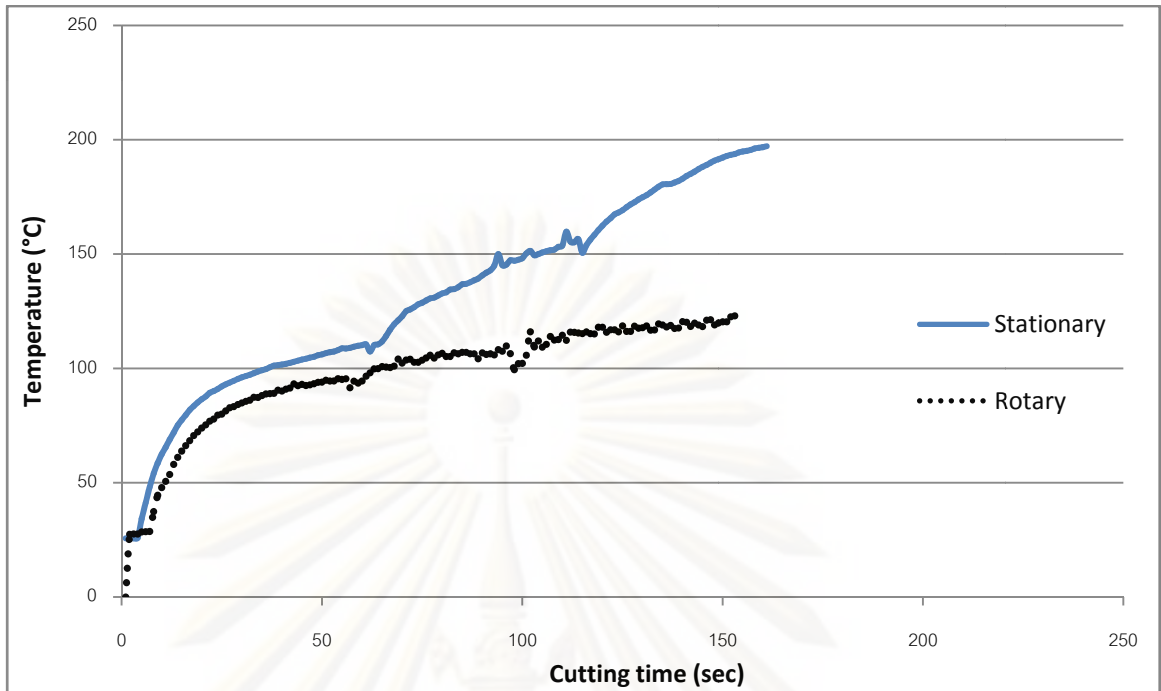
เมื่อพิจารณาอายุการใช้งานของมีดกลึงที่ความเร็วต่างๆแล้วจะพบว่าอายุการใช้งานของมีดกลึงแบบโรตารียาวนานกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่มากโดยที่ความเร็วตัด 90 m/min มีดกลึงแบบโรตารีมีอายุการใช้งานมากกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่ 15.91 เท่า

7. จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนหน้ามีดมีดในการกลึงที่ใช้มีดกลึงแบบโรตารีจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่เนื่องจากการหมุนของมีดมีดจะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้ดีกว่าโดยมีดกลึงแบบโรตารีมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่ 74.2°C

8. เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในขณะที่ทำการกลึงขึ้นงานดังรูปที่ 5.22 จะเห็นได้ว่ามีดกลึงที่มีดมีดอยู่กับที่อุณหภูมิของมีดมีดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งในการทดลองหากกลึงเกิน 3 นาทีมีดมีดจะเสียหายมากจนไม่สามารถกลึงขึ้นงานต่อไปได้แต่ในขณะที่มีดกลึงแบบโรตารีนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นช้ากว่าและค่อนข้างคงที่ทำให้สามารถกลึงขึ้นงานได้ยาวนานกว่ามาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



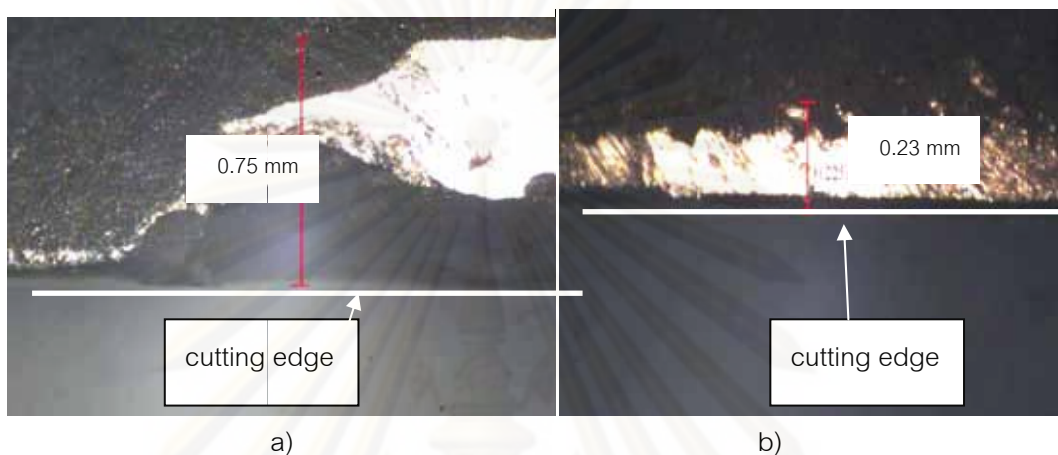
รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบอุณหภูมิขณะปฏิบัติงานระหว่างมีดกลึงแบบอยู่กับที่และมีดกลึงแบบโรตารี

9. จากการทดลองพบว่า มีดกลึงแบบอยู่กับที่เกิดการแตกหักที่คมมีดอย่างรวดเร็วส่งผลให้เม็ดมีดไม่สามารถใช้งานได้ การระบายความร้อนจึงมีความสำคัญมากในกระบวนการกัดขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 5.23 การแตกหักที่เกิดขึ้นบนเม็ดมีดที่อยู่กับที่ที่จะเกิดรอยแตกหักที่ชัดเจนซึ่งแตกต่างจากเม็ดมีดกลึงที่ใช้ในมีดกลึงแบบโรตารีซึ่งคมตัดสึกหรอน้อยกว่ามาก สาเหตุที่เม็ดมีดจากมีดกลึงแบบอยู่กับที่มีรอยแตกหักอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากในการกลึงขึ้นงานความร้อนส่งผลต่อความแข็งแรงของเม็ดมีด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงมากเม็ดมีดจะมีความแข็งแรงน้อยลงทำให้แตกหักได้ง่าย การหมุนของเม็ดมีดในการกลึงแบบโรตารีจะช่วยให้การระบายความร้อนดีขึ้นเม็ดมีดจึงมีความแข็งแรงกว่า



รูปที่ 5.23 การแตกหักบนคมตัดของเม็ดมีดในมีดกลึงแบบอยู่กับที่และมีดกลึงแบบโรตารี

เมื่อพิจารณาการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนเม็ดมีดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบดูจะพบว่ามีดกึ่งแบบอยู่กับที่นั้นจะมีการแตกหักเป็นแบบ crack ดังรูปที่ 5.24 a) แต่ในขณะที่เม็ดมีดจากมีดกึ่งแบบโรตารีจะมีลักษณะเป็นการสึกหรอบนผิวหยาบปกติดังรูปที่ 5.24 b) ซึ่งการแตกหักที่เกิดในมีดกึ่งแบบอยู่กับที่นั้นเกิดจากแรงตัดที่มากส่งผลให้อายุการใช้งานของเม็ดมีดสั้นลงมาก



รูปที่ 5.24 แสดงการสึกหรอของเม็ดมีด a) มีดกึ่งแบบอยู่กับที่ b) มีดกึ่งแบบโรตารี

5.1.4 สรุปผลการทดลองที่ 5.1

1. เศษกึ่งจากมีดกึ่งแบบโรตารีมีขนาดบางกว่าแสดงให้เห็นถึงค่ามุมเฉือนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงในการตัดที่น้อยกว่าโดยค่าแรงตัดที่อัตราป้อน 0.8 mm/rev ลดลงมากที่สุดคือ F_c และ F_z ลดลง 21.68% และ 43.84 % ตามลำดับ
2. มีดกึ่งแบบโรตารีมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ามีดกึ่งแบบอยู่กับที่โดยพิจารณาจากเกณฑ์การสึกหรอบนผิวหยาบไม่เกิน 0.3 mm ที่ความเร็วตัด 90 m/min มีดกึ่งแบบโรตารีมีอายุการใช้งานมากกว่า 15.91 เท่า
3. อุณหภูมิบนหน้ามีดของมีดกึ่งแบบโรตารีขณะทำการกลึงมีค่าน้อยกว่ามีดกึ่งแบบอยู่กับที่ โดยมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่ามีดกึ่งแบบอยู่กับที่ 74.2 °C

5.2 การทดลองหาอัตราส่วนความเร็วที่เหมาะสมในการใช้งานของมีดกลึงแบบโรตารี

จากการทดลองที่ 5.1 สรุปผลการทดลองได้ว่ามีดกลึงแบบโรตารีมีความสามารถกลึงชิ้นงานได้ดีกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่ ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปจะศึกษาถึงความสำคัญของความเร็วในการหมุนของเม็ดมีดที่มีต่อกลไกการตัดของมีดกลึงแบบโรตารี

ในการกลึงแบบโรตารีความเร็วในการหมุนของเม็ดมีดเป็นตัวแปรสำคัญประการหนึ่งซึ่งส่งผลกระทบต่อกลไกการตัดที่แตกต่างจากการกลึงแบบปกติที่เม็ดมีดไม่มีการหมุนรอบตัวเอง ในการออกแบบการทดลองจะมุ่งเน้นศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุนที่มีต่อความสามารถในการกัดขึ้นรูป โดยให้อัตราส่วนความเร็ว (CR) เป็นตัวแปรต้นเพื่อหาอัตราส่วนความเร็วที่ทำให้มีดกลึงแบบโรตารีมีดีที่สุด

5.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองจะทำการกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm โดยทำการกลึงที่ความเร็วกัด 50 70 และ 90 m/min โดยทดลองปรับความเร็วในการหมุนของมีดกลึงแบบโรตารีให้อัตราส่วนความเร็ว CR = 0.6, 0.8, 1, 1.2 และ 1.4 ในการทดลองจะใช้ชุดการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 5.1

วัสดุที่ใช้ทดลอง	เหล็กกล้าไร้สนิม 316L
ขนาดชิ้นงาน	เส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm
ความเร็วในการกัด (cutting speed, m/min)	50 70 90
อัตราส่วนความเร็ว (cutting speed ratio, CR)	0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4
ระยะเวลาในการทดลอง (min)	3, 6, 9
อัตราการป้อน (feed, mm/rev)	0.2
ระยะกินลึก (depth of cut, mm)	0.4

ตาราง 5.3 สรุปสภาวะการตัดในการทดลองที่ 5.2

5.2.2 ผลการทดลอง

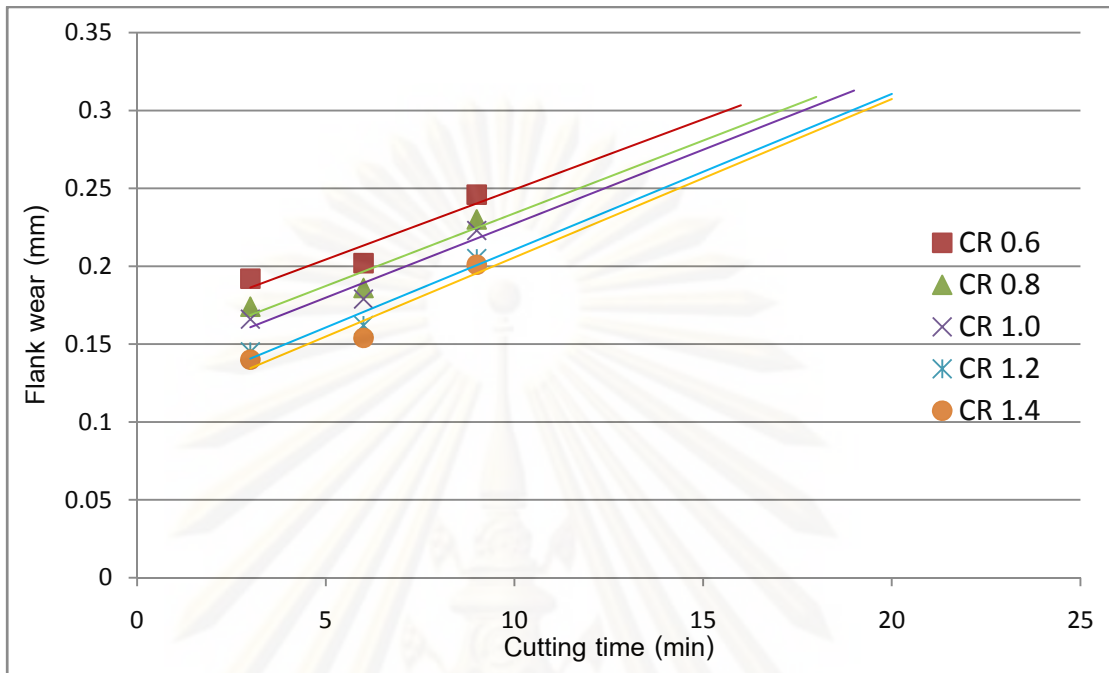
ความหนาเศษกลึง

Cutting speed (m/min)	Rotary speed (m/min)	Cutting speed ratio	Chip thickness (mm)	Cutting ratio, r_c	Shear angle, ϕ (deg)
50	20	0.4	0.267	0.237	13.650
	30	0.6	0.205	0.309	17.951
	40	0.8	0.155	0.408	24.077
	50	1	0.127	0.499	29.954
	60	1.2	0.118	0.538	32.436
	70	1.4	0.106	0.595	36.328
70	28	0.4	0.236	0.268	15.409
	42	0.6	0.197	0.322	18.725
	56	0.8	0.169	0.374	21.928
	70	1	0.136	0.465	27.689
	84	1.2	0.128	0.495	29.474
	98	1.4	0.117	0.542	32.363
90	36	0.4	0.208	0.305	17.478
	54	0.6	0.168	0.376	21.916
	72	0.8	0.164	0.385	22.635
	90	1	0.138	0.459	27.317
	108	1.2	0.132	0.480	28.422
	126	1.4	0.114	0.553	33.190

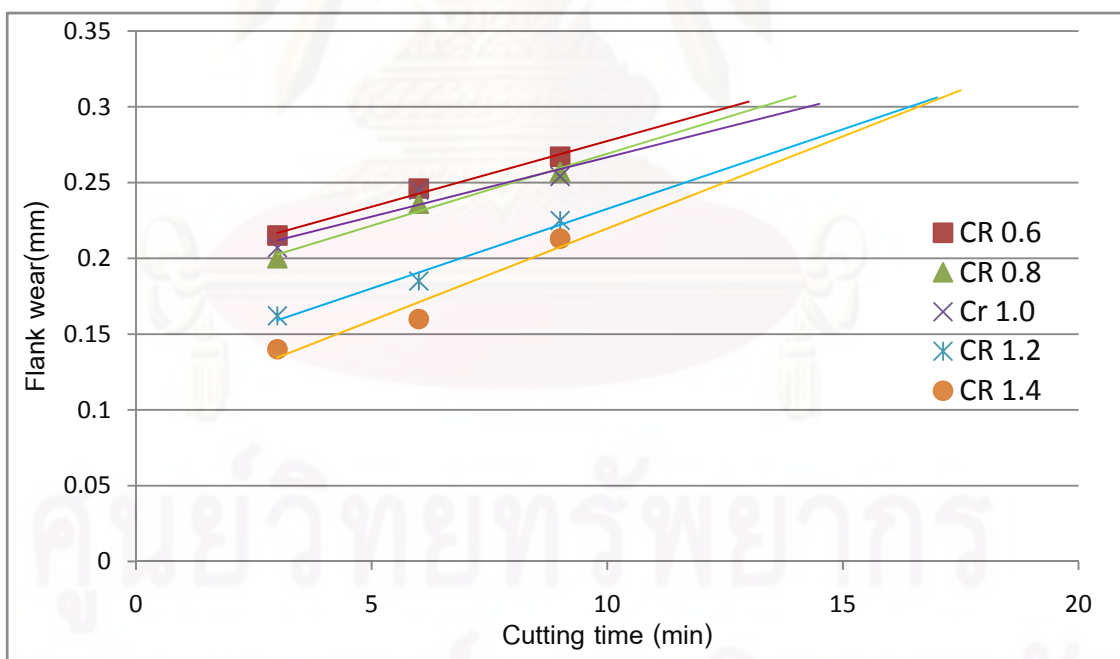
ตารางที่ 5.4 ความหนาเศษกลึงที่อัตราส่วนความเร็วต่างๆ

ศูนย์วิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

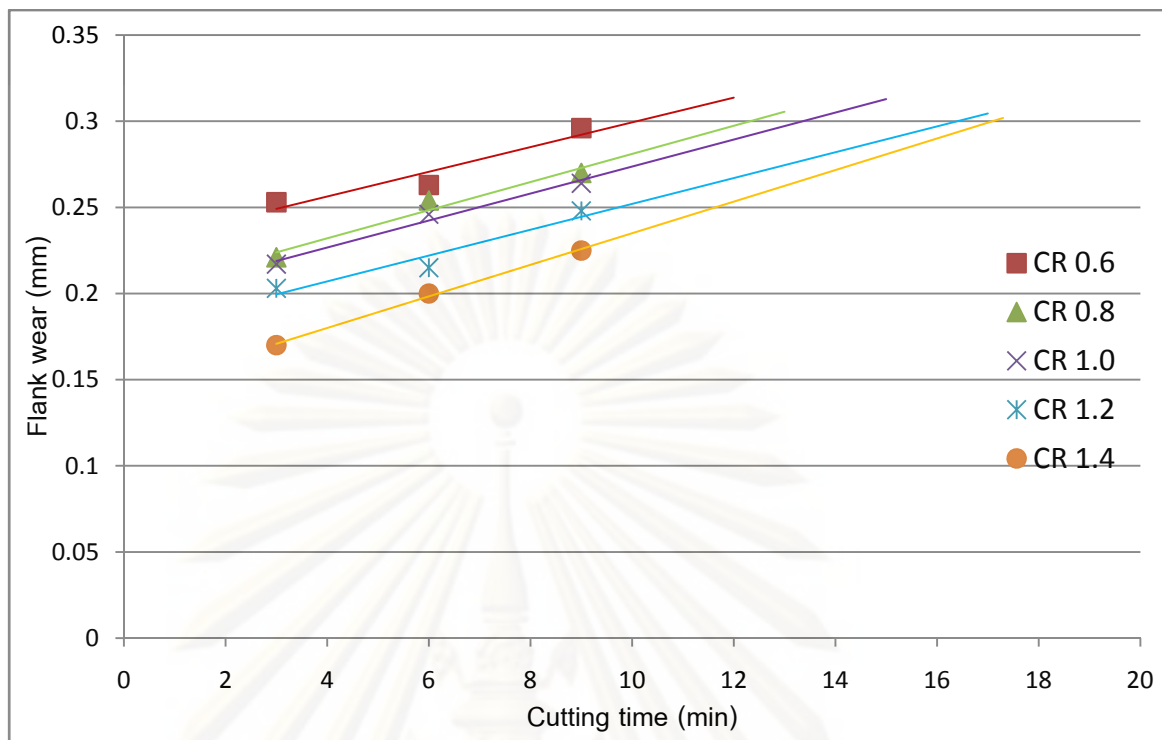
การสึกหรอเม็ดมีดของมีดกลึงแบบโรตารี



รูปที่ 5.25 การสึกหรอเม็ดมีดของมีดกลึงแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 50 m/min



รูปที่ 5.26 การสึกหรอเม็ดมีดของมีดกลึงแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 70 m/min



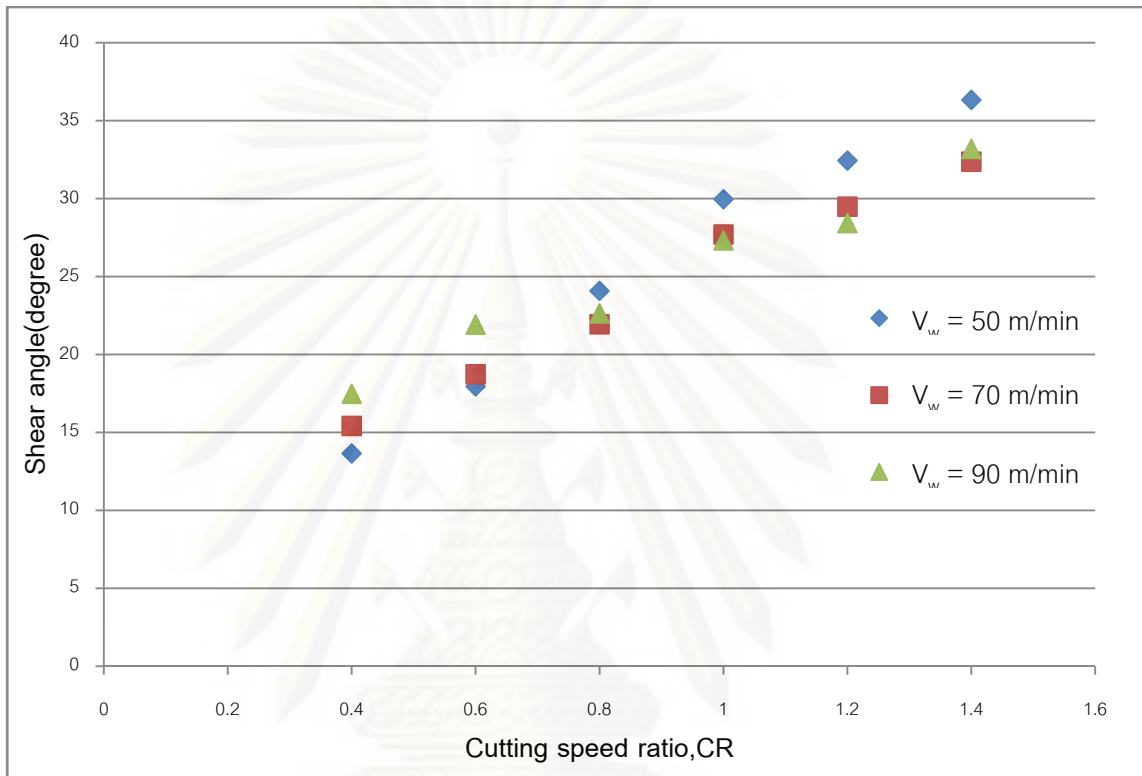
รูปที่ 5.27 การสึกหรอเม็ดมีดของเม็ดกลึงแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 90 m/min

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

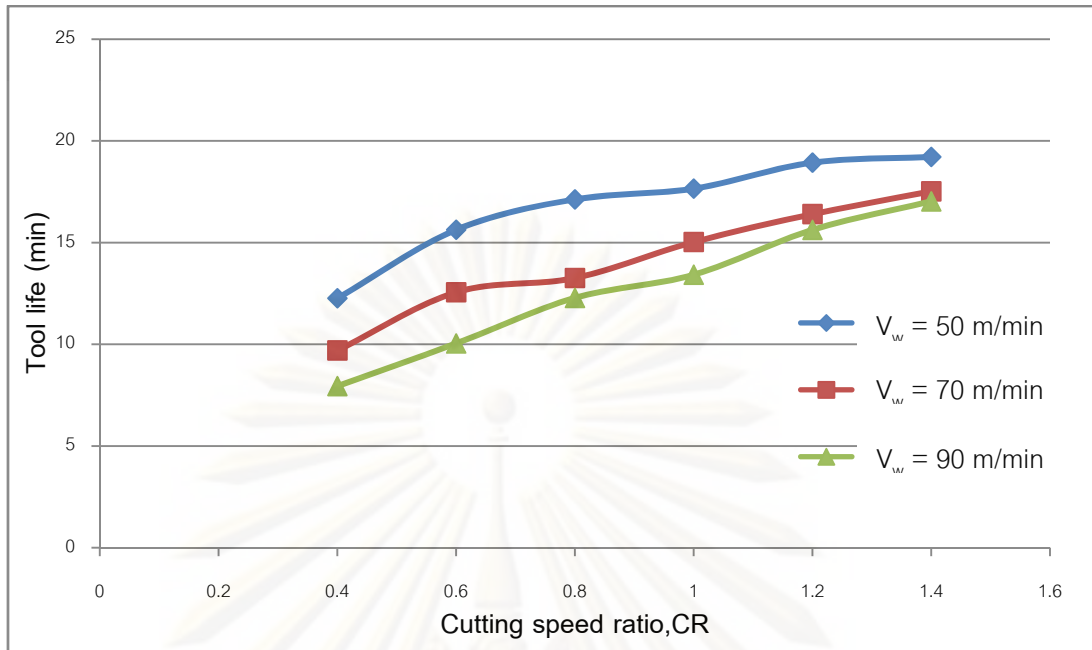
5.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. เมื่อพิจารณาการเกิดเศษกลึงที่ความเร็วการหมุนเม็ตมีดที่แตกต่างกันพบว่าเมื่ออัตราส่วนความเร็วเพิ่มขึ้นเศษกลึงจะมีขนาดที่บางลง ซึ่งขนาดเศษกลึงที่บางลงนี้แสดงให้เห็นถึงค่ามุมเฉือนที่เพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.28 การเพิ่มขึ้นของมุมเฉือนส่งผลให้แรงในการตัดลดลง



รูปที่ 5.28 ค่ามุมเฉือนที่อัตราส่วนความเร็วต่างๆ

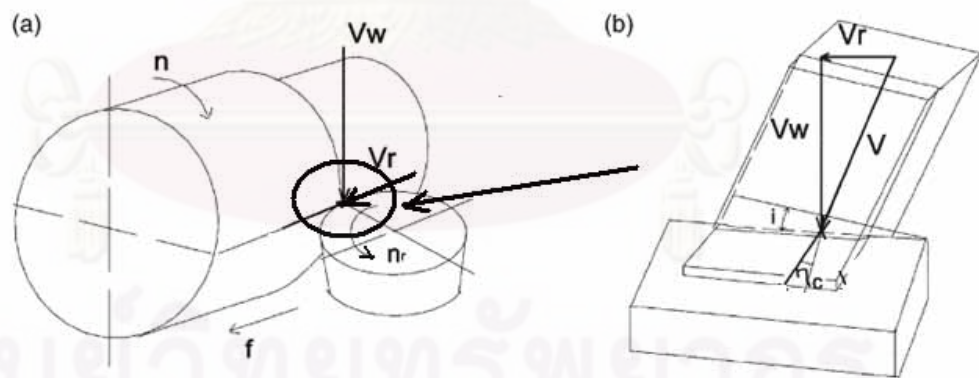
2. เมื่อพิจารณาอายุการใช้งานของเม็ตมีดที่อัตราส่วนความเร็วต่างๆจะพบว่าเมื่ออัตราส่วนความเร็วเพิ่มขึ้นอายุการใช้งานของเม็ตมีดก็จะมากขึ้นตามไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 5.29



รูปที่ 5.29 อายุการใช้งานของเม็ดมีดที่อัตราส่วนความเร็วต่างๆ

โดยจากผลการทดลองพบว่าที่ความเร็วตัด 90 m/min เม็ดมีดที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 มีอายุการใช้งานมากกว่าเม็ดมีดที่อัตราส่วนความเร็ว 0.4 อยู่ 69.62 %

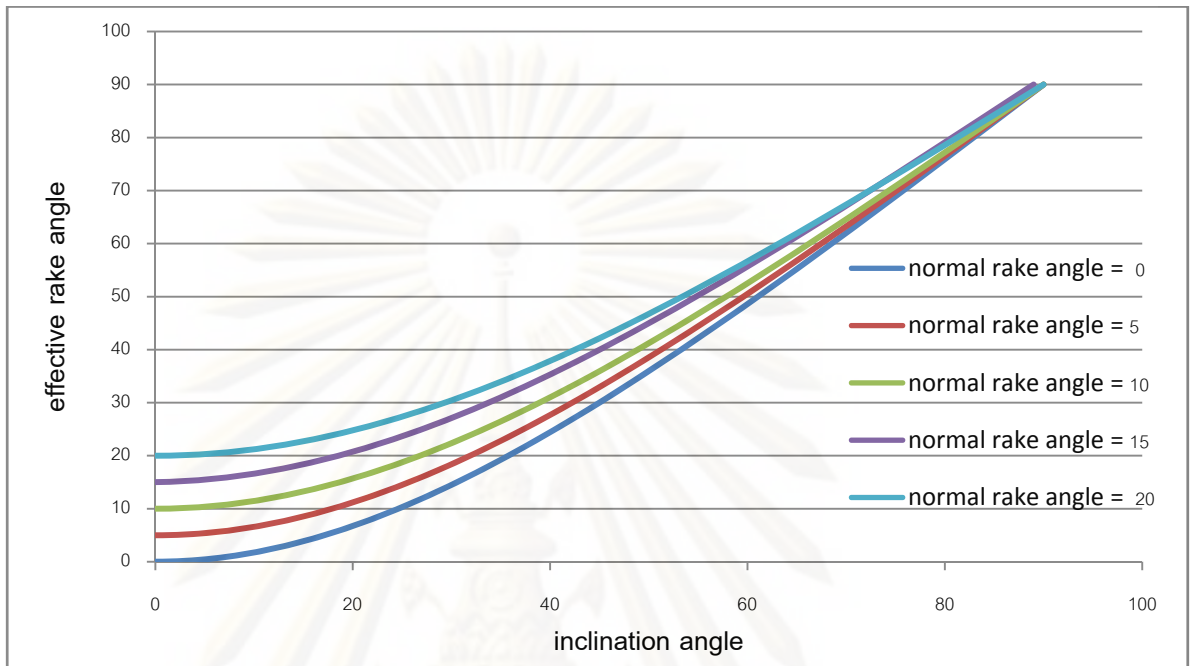
3. ในการกลึงโดยมีดกลึงแบบโรตารีนั้นความเร็วในการหมุนของเม็ดมีดจะส่งผลต่อผลการตัดเฉือนของมีดกัดโดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.30 ความเร็วขณะทำการกลึงด้วยมีดกลึงแบบโรตารี

ความเร็วในการกัดของชิ้นงาน, V_w จะมีทิศทางตั้งฉากกับคมตัดส่วนความเร็วเม็ดมีด, V_r จะมีทิศทางตามแนวรัศมีของคมตัดและ V คือความเร็วรวมของชิ้นงานเมื่อเทียบกับเม็ดมีด ซึ่งความเร็ว V นี้จะทำให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ไปตามคมตัดโดยทำมุมเอียง i ดังรูปซึ่งเป็นเสมือนการตัดแบบเฉียง (oblique cutting) โดยมุมเอียง i สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเร็วโดย $\tan i = \frac{V_r}{V_w}$ ส่งผลให้สามารถ

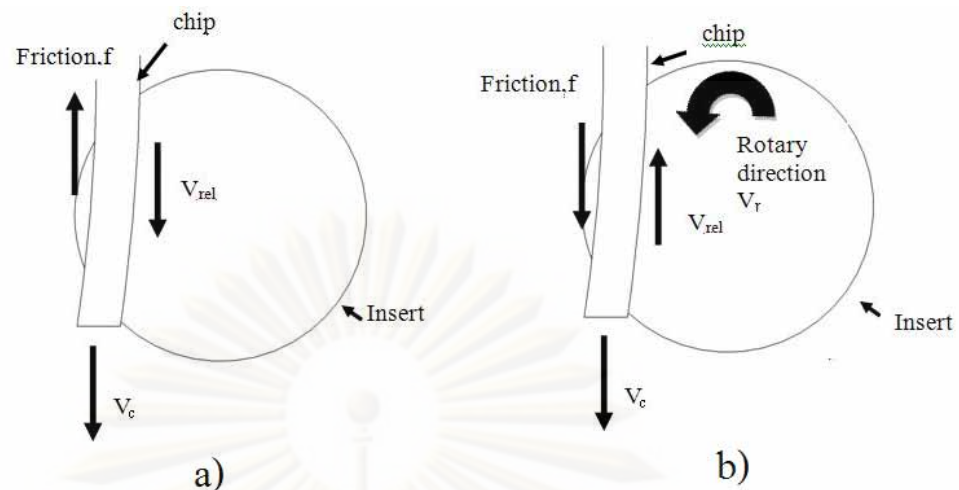
พิจารณากลไกการตัดของมีดกลึงแบบโรตารีเป็นการตัดแบบเฉียงได้ การเพิ่มขึ้นของมุมเอียง, i จะส่งผลให้ effective rake angle, α_e เพิ่มขึ้นตามสมการ $\sin \alpha_e = \sin^2 i + \cos^2 i \sin \alpha_n$ (ภาคผนวก ค) ซึ่งจากสมการนี้จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง effective rake angle กับ ค่ามุมเอียง, i ดังรูปที่ 5.31



รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงกับ effective rake angle

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่ามุมเอียง ค่า effective rake angle ก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งการเพิ่มค่ามุมเอียงสามารถทำได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนความเร็วให้เพิ่มขึ้นนั่นเอง การเพิ่มค่า effective rake angle จะส่งผลให้แรงในการตัดลดลง

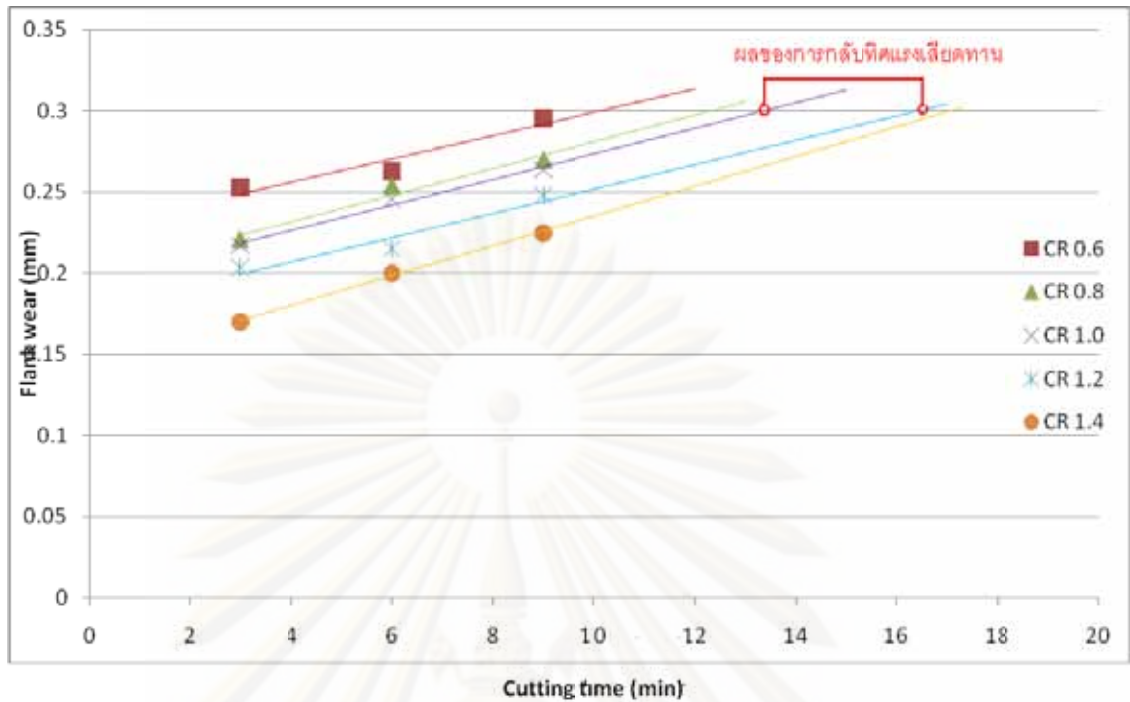
4. เมื่อพิจารณาการกลึงแบบโรตารีที่มีอัตราส่วนความเร็วมากกว่า 1 จะพบว่านอกจากการเพิ่มของ effective rake angle ที่ส่งผลต่อการลดแรงในการตัดแล้วความเร็วในการหมุนของเม็ดมีดยังมีส่วนช่วยในการกลับทิศทางของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบนหน้าสัมผัสระหว่างหน้ามีดและเศษกลึงได้อีกด้วย



รูปที่ 5.32 ทิศทางของความเร็วและแรงเสียดทานบนหน้ามีด a) เม็ดมีดอยู่กับที่
b) เม็ดมีดหมุนด้วยความเร็ว V_r

เมื่อพิจารณาแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นขณะทำการกลึงตามรูปที่ 5.32 การเคลื่อนที่ของเศษกลึงบนหน้ามีดจะส่งผลกระทบต่อทิศทางของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบนเม็ดมีดโดยในการกลึงแบบปกติที่เม็ดมีดไม่มีเคลื่อนที่ ($V_r = 0$) และเศษกลึงมีความเร็ว V_c ส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างหน้าสัมผัสของหน้ามีดกับเศษกลึงไปในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 5.32 a) แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้แรงในการตัดเพิ่มขึ้น และยังส่งผลให้เศษกลึงหลุดออกไปจากหน้ามีดได้ยากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาการกลึงโดยใช้เม็ดมีดแบบโรตารีแล้วจะพบว่าเมื่อความเร็วของเม็ดมีดมีค่ามากกว่าความเร็วของเศษกลึง ($V_r > V_c$) ดังแสดงในรูป 5.32b) ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างเศษกลึงและเม็ดมีดจะมีทิศทางตรงข้าม ส่งผลให้ทิศของแรงเสียดทานเปลี่ยนไปคล้ายกับเทคนิค vibration assist machining ทิศของแรงเสียดทานที่เปลี่ยนไปนี้จะช่วยทำให้เศษกลึงหลุดออกจากหน้ามีดไปได้ง่ายขึ้น

เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างมุมเฉือน และ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของ Merchant $\phi = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\alpha}{2}$ จะพบว่าเมื่อแรงเสียดทาน (β) กลับทิศจะส่งผลให้มุมเฉือน (ϕ) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้แรงในการตัดลดลง เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนความเร็วในการตัด 1.2 และ 1.4 เม็ดมีดมีอายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้นมากปัจจัยที่ช่วยลดการสึกหรอน่าจะเกิดจากผลของการกลับทิศของแรงเสียดทานและการเพิ่ม effective rake angle ซึ่งสามารถสังเกตได้จากผลการทดลองดังรูปที่ 5.33 ในช่วงที่อัตราส่วนความเร็ว 1.2 และ 1.4 อายุการใช้งานจะเพิ่มขึ้นมากกว่าอัตราส่วนความเร็วที่น้อยกว่า 1



รูปที่ 5.33 ผลของการกลับทิศแรงเสียดทานที่มีต่ออายุการใช้งานของเม็ดมีด

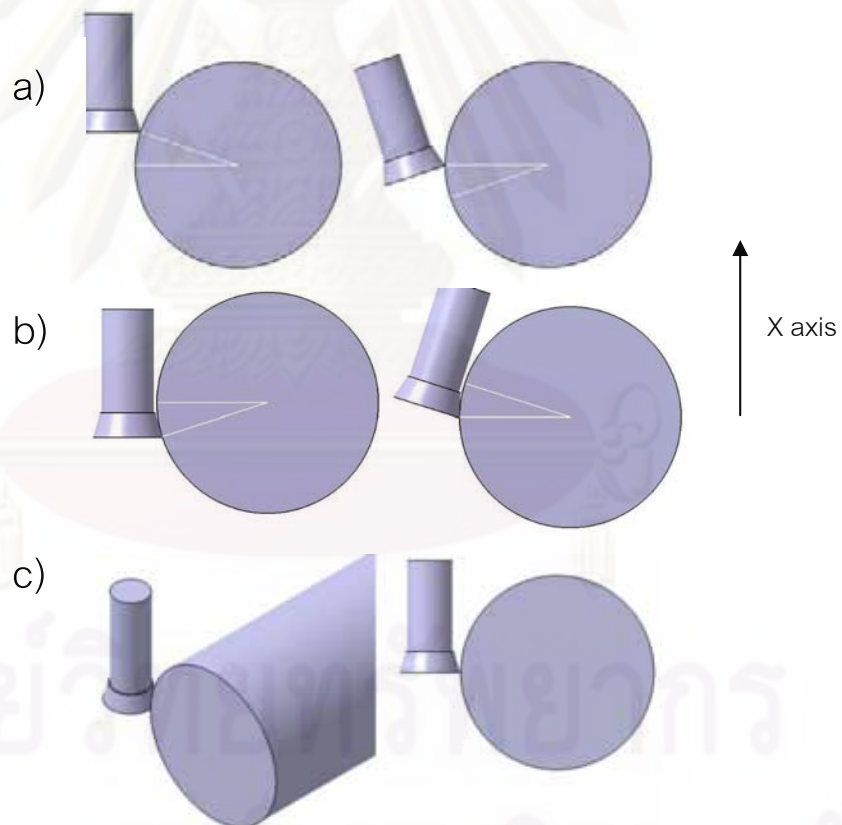
5. การเพิ่มความเร็วของการหมุนจะส่งผลให้มุมเอียงเพิ่มขึ้นแต่เมื่อพิจารณาที่ความเร็วสูงจะพบว่า การเสียหายของเม็ดมีดเกิดจากการแตก (crack) เนื่องจากการที่เม็ดมีดหมุนด้วยความเร็วสูงเมื่อเข้าสู่สัมผัสกับชิ้นงานในตอนเริ่มตัดจะเกิดแรงที่คมตัดมากส่งผลให้เกิดรอยแตกได้ ดังนั้นที่ความเร็วสูงการเสียหายของเม็ดมีดจะไม่ได้เกิดจากการสึกหรอที่ผิวหลบแต่จะเกิดจาก crack แทนซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานของเม็ดมีดสั้นลงการเกิดรอยแตกนี้จะเห็นได้ที่ความอัตราส่วนความเร็วตัด 1.4 ดังแสดงในรูปที่ 5.34



รูปที่ 5.34 รอยแตกที่เกิดขึ้นบนเม็ดมีดที่หมุนด้วยอัตราส่วนความเร็ว 1.4

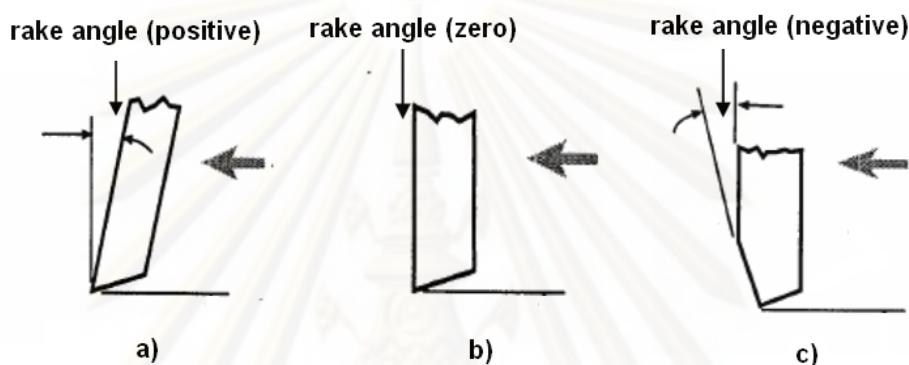
ซึ่งในการแก้ปัญหาการเกิด crack สามารถทำได้โดยปรับความเร็วในการหมุนของเม็ดมีดในขณะที่เข้าสู่สัมผัสชิ้นงานให้ช้าลงเมื่อเม็ดมีดตัดเฉือนเข้าไปในชิ้นงานแล้วจึงทำการปรับความเร็วให้สูงขึ้นจึงจะช่วยลดการแตกหักที่เกิดจากแรงกระแทกลงได้

6. เมื่อพิจารณาการกลึงแบบโรตารีโดยใช้เครื่องกลึง CNC แบบ Hybrid machine ซึ่งสามารถปรับระยะเข้างานในแกน X ได้ซึ่งจะส่งผลให้ค่ามุมคายของมีดกัด (normal rake angle) สามารถปรับเปลี่ยนได้จากการกำหนดจุดเข้างานให้เลื่อนขึ้นหรือลงจากตำแหน่ง centerline ดังรูปที่ 5.35 โดยเมื่อพิจารณาจากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อตั้งให้เม็ดมีดเข้าเหนือ centerline ดังรูปที่ 5.35 a) มุมคายของมีดกัดจะเป็นลบ (negative rake angle) ซึ่งจะทำให้แรงในการตัดมากขึ้น หากตั้งเม็ดมีดให้ต่ำกว่า centerline ดังรูปที่ 5.35 b) มุมคายของมีดกัดจะเป็นบวก (positive rake angle) ซึ่งจะส่งผลให้แรงตัดลดลงซึ่งเป็นผลดีต่ออายุการใช้งานของมีดกัด แต่เนื่องจากข้อจำกัดของรูปร่างเม็ดมีดที่มีมุม relief angle ที่น้อยการตั้งเม็ดให้ต่ำกว่า centerline จะส่งผลให้ด้านข้างของเม็ดมีดชนกับชิ้นงาน ดังนั้นหากต้องการเพิ่มมุมคายของมีดกัดด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องใช้เม็ดมีดที่ออกแบบมาให้มุม relief angle มากกว่านี้



รูปที่ 5.35 การปรับตำแหน่งมุมเข้ากลึงชิ้นงานด้วยการปรับแกน X a) เหนือ centerline
b) ต่ำกว่า centerline c) ระดับเดียวกับ centerline

7. เมื่อพิจารณามุมคานของมีดกัดในการตัดแบบปกติที่มีดกึ่งไม่มีการหมุนนั้น การเพิ่มหรือลดมุมคานของมีดกัดมีผลต่อแรงในการตัด หากมุมคานของมีดกัดมีค่ามากหรือเป็นบวกดังรูปที่ 5.36a) คมมีดก็จะมีขนาดเล็กซึ่งจะช่วยให้ตัดเฉือนชิ้นงานได้ง่ายขึ้นแรงในการตัดจึงลดลงแต่ในขณะเดียวกันความแข็งแรงของคมมีดก็จะลดลงไปด้วยทำให้แตกหักได้ง่าย แต่หากมุมคานของมีดกัดน้อยลงจนเป็นศูนย์หรือติดลบดังรูปที่ 5.36b) และ c) ปลายมีดก็จะหนาขึ้นแต่ในขณะเดียวกันแรงที่ใช้ในการตัดก็จะมากขึ้น อีกทั้งพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่มีดก็มากตามไปด้วย แต่การเพิ่ม effective rake angle จากการหมุนของมีดกึ่งแบบโรตารีนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของมีดมีดดังนั้นจึงสามารถเพิ่มมุมคานของมีดกัดได้โดยที่ความแข็งแรงของคมมีดไม่ลดลง



รูปที่ 5.36 มุม rake angle ในการตัดแบบ orthogonal cutting

5.2.4 สรุปผลการทดลองที่ 5.2

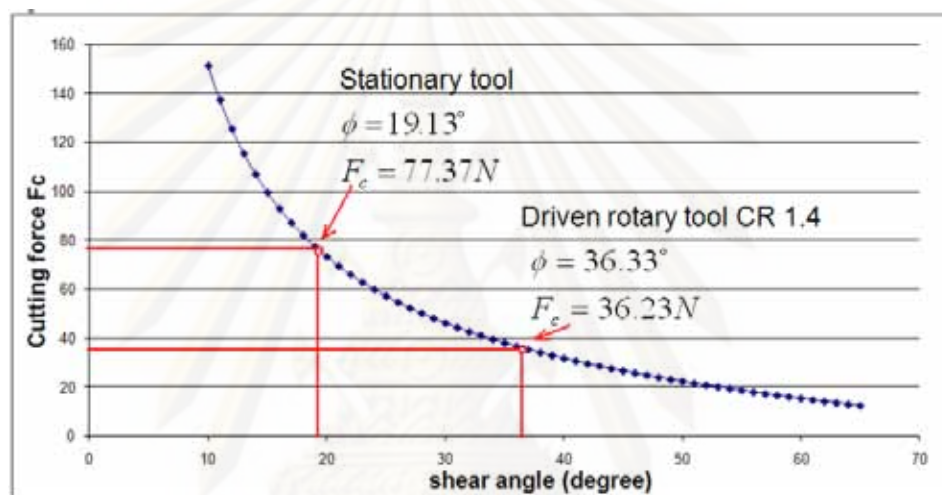
จากการทดลองพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนความเร็วของมีดกึ่งแบบโรตารีสามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการกัดขึ้นรูปของมีดกึ่ง ซึ่งมีผลมาจากกลไกการตัดที่เปลี่ยนไปคือ

1. การเพิ่มค่าอัตราส่วนความเร็วจะส่งผลให้ effective rake angle ของมีดกึ่งมีค่ามากขึ้นแรงในการตัดจึงลดลง
2. การหมุนของมีดมีดที่มีความเร็วสูงสามารถกลับทิศของแรงเฉียดทานบริเวณผิวสัมผัสระหว่างหน้ามีดและเศษกึ่งได้ส่งผลให้เกิดแรงดันเศษกึ่งให้หลุดออกไปได้ง่ายขึ้น
3. มีดกึ่งแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 เป็นมีดกึ่งที่มีความสามารถในการกัดขึ้นรูปดีที่สุดภายใต้สภาวะการทดลองที่กำหนด ดังนั้นจะใช้มีดกึ่งแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 เป็นตัวแทนของมีดกึ่งแบบโรตารีในการเปรียบเทียบความสามารถในการกัดขึ้นรูปกับมีดกึ่งแบบอยู่กับที่เพื่อสรุปผลการวิจัย

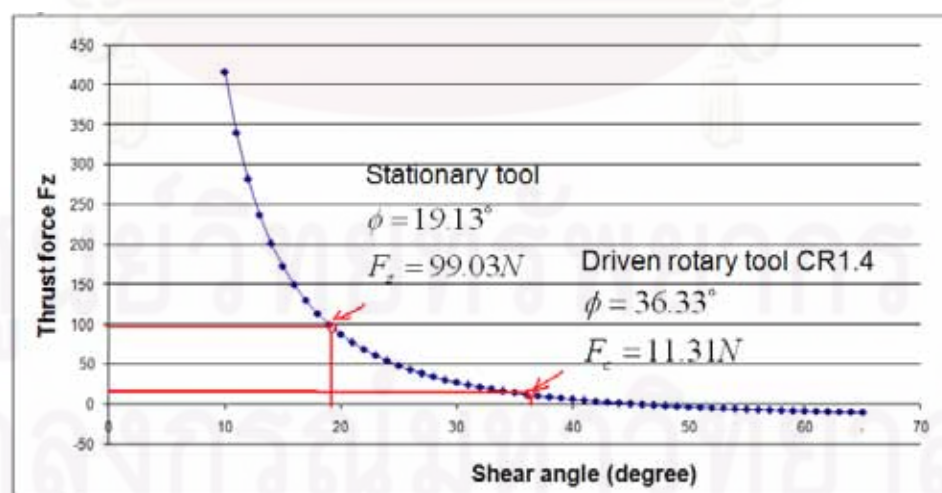
5.3 การเปรียบเทียบความสามารถในการกัดขึ้นรูประหว่างมีดกลึงแบบโรตารีกับมีดกลึงแบบอยู่กับที่

จากการทดลองที่ 5.1 และ 5.2 พบว่ามีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการทดลองจึงใช้อัตราส่วนความเร็วนี้เปรียบเทียบกันกับมีดกลึงแบบอยู่กับที่ในด้านความสามารถในการกัดขึ้นรูปได้แก่ความหนาเศษกลึง อุณหภูมิการตัดและอายุการใช้งานของมีดกลึงได้ผลดังนี้

1. เมื่อพิจารณาความหนาของเศษกลึงที่ได้จากการกลึงด้วยมีดกลึงแบบอยู่กับที่และมีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 จะพบว่าขนาดเศษกลึงจากมีดกลึงแบบโรตารีจะมีขนาดบางกว่ามาก ส่งผลให้มุมเฉือนมากกว่า แรงในการตัดจึงน้อยกว่าดังแสดงในรูปที่ 5.37 และ 5.38



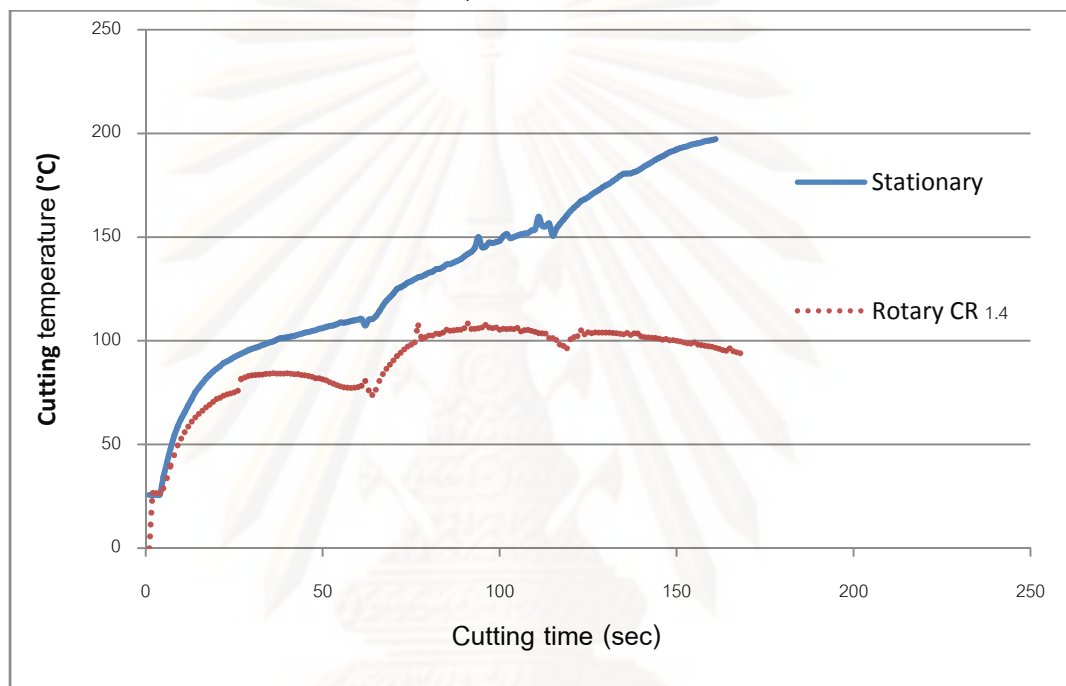
รูปที่ 5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง cutting force กับมุมเฉือนของมีดกลึงแบบอยู่กับที่และมีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4



รูปที่ 5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง Thrust force กับมุมเฉือนของมีดกลึงแบบอยู่กับที่และมีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4

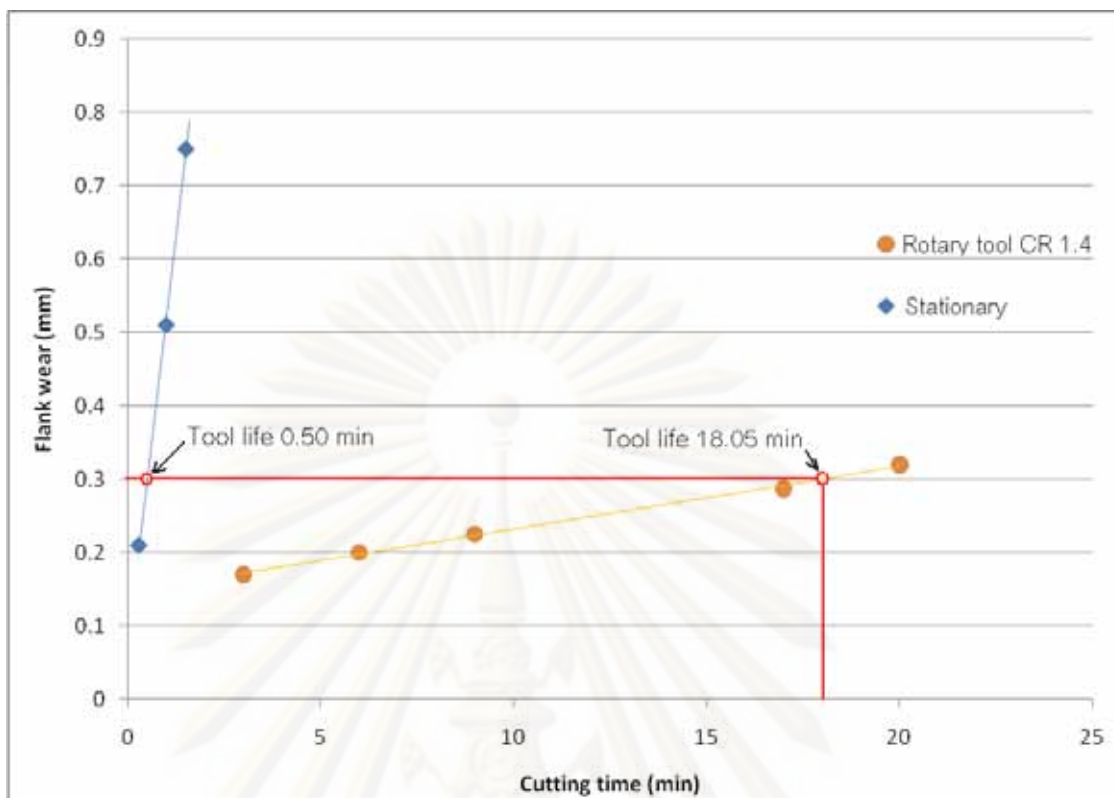
โดยค่าแรงตัดที่อัตราป้อน 0.8 mm/rev ลดลงมากที่สุดคือ F_c และ F_z ลดลง 53.17% และ 88.58 % ตามลำดับ

2. อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนเม็ดมีดของมีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 จะมีอุณหภูมิต่ำกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่ดังแสดงในรูปที่ 5.39 โดยอุณหภูมิสูงสุดบนหน้ามีดของมีดกลึงแบบโรตารีจะน้อยกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่ 84.3 °C และเมื่อพิจารณาถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิบนหน้ามีดจะเห็นได้ว่ามีดกลึงแบบโรตารีมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ช้ากว่าและค่อนข้างคงที่ในขณะที่มีดกลึงแบบอยู่กับที่มีแนวโน้มว่าอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ



รูปที่ 5.39 เปรียบเทียบอุณหภูมิขณะกลึงระหว่างมีดกลึงแบบอยู่กับที่ และ มีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4

3. เมื่อทำการเปรียบเทียบอายุการใช้งานของมีดกลึงแบบโรตารีที่มีอัตราส่วนความเร็ว 1.4 กับ มีดกลึงแบบอยู่กับที่แล้วจะพบว่า มีดกลึงแบบโรตารีมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าดังแสดงในรูปที่ 5.40



รูปที่ 5.40 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 โดยใช้ 5 จุดการทดลองที่ความเร็วกัด 90 m/min

เนื่องจากอายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบโรตารีเป็นการประมาณค่านอกช่วง (extrapolation) ดังนั้นเพื่อยืนยันผลการทดลองจึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติมโดยการทดลองกลึงชิ้นงานด้วยเม็ดมีดแบบโรตารีที่ความเร็วกัด 90 m/min ด้วยอัตราส่วนความเร็ว 1.4 โดยใช้เวลา 17 และ 20 นาทีซึ่งเป็นช่วงเวลาที่คาดว่าจะหมดอายุการใช้งานของเม็ดมีดแล้วจึงทำการวัดขนาดผิวหยาบที่เกิดขึ้น ได้ขนาดผิวหยาบ 0.287 mm และ 0.32 mm ตามลำดับซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาหาอายุการใช้งานอีกครั้งด้วยวิธีประมาณค่าในช่วง (interpolation) ดังแสดงในรูปที่ 5.40 พบว่ามีอายุการใช้งาน 18.05 นาทีซึ่งค่าอายุการใช้งานนี้จะมีแนวโน้มเชื่อถือมากกว่าเนื่องจากการประมาณค่าในช่วงซึ่งเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่จะมีอายุการใช้งานมากกว่า 36.19 เท่า

4. เนื่องจากการสึกหรอของเม็ดมีดในเม็ดมีดแบบโรตารีจะเป็นการสึกหรอของคมตัดตลอดความยาวรอบเส้นรอบวงซึ่งจะมีความยาวคมตัดที่มากกว่าเม็ดมีดแบบอยู่กับที่ที่ใช้งานเพียงจุดเดียว ดังนั้นหากพิจารณาอายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่โดยใช้คมตัดตลอดความยาวเส้นรอบวงของเม็ดซึ่งสามารถหาได้โดยการหมุนเม็ดมีด (indexing) เพื่อใช้คมตัดส่วนที่เหลือซึ่งอายุการใช้งานสามารถคำนวณได้โดย

$$\text{อายุการใช้งานตลอดคมตัด} = \text{จำนวนครั้งที่สามารถหมุนเม็ดได้} \times \text{อายุการใช้งานในแต่ละครั้งที่หมุน}$$

$$\text{ซึ่งจำนวนครั้งที่เม็ดมีดสามารถหมุนได้คำนวณได้จาก } \frac{360}{180 - 2\cos^{-1}\sqrt{\frac{t}{2r}}}$$

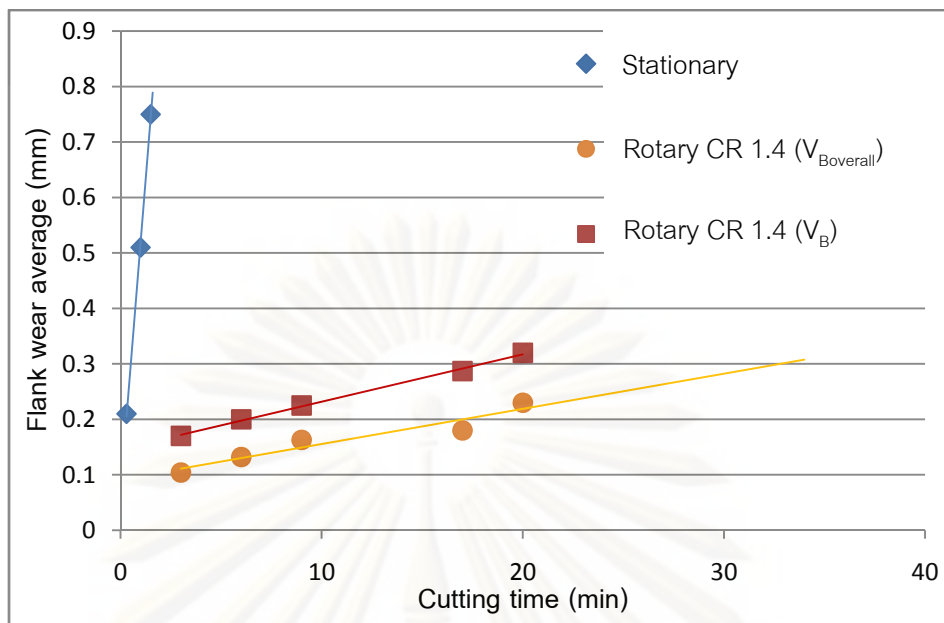
โดย t คือความลึกตัด

r คือรัศมีของเม็ดมีด

จากการคำนวณพบว่าที่ระยะกินลึก 0.4 mm และเม็ดมีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm จะสามารถหมุนใช้งานได้ 19 ครั้งซึ่งเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานตลอดหน้ามีดแล้วพบว่าเม็ดกลึงแบบโรตารีมีอายุการใช้งานมากกว่าอยู่ 1.9 เท่า ซึ่งอายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่นี้เป็นอายุการใช้งานแบบอุดมคติเพราะว่าในการใช้งานจริงเม็ดมีดจะไม่สามารถหมุนได้ถึง 19 ครั้งเนื่องจากรอยต่อระหว่างการหมุนแต่ละครั้งที่ติดกันคมมีดจะสูญเสียความแข็งแรงไปและในทางปฏิบัติเม็ดกลึงที่ใช้ในการทดลองได้ออกแบบมาให้สามารถหมุนใช้งานได้ 6 ครั้งซึ่งเป็นจำนวนการหมุนที่เหมาะสมกว่า ซึ่งหากพิจารณาจำนวนการหมุนที่ใช้งานได้จริง 6 ครั้งแล้วจะพบว่าเม็ดกลึงแบบโรตารีจะมีอายุการใช้งานมากกว่า 6.53 เท่า เมื่อพิจารณาในแง่การผลิตแล้วจะพบว่าเวลาที่เม็ดมีดในการกลึงแบบโรตารีสึกหรอช้ากว่าจะส่งผลให้การเสียเวลาในการที่จะต้องเปลี่ยนเม็ดมีดน้อยลงนั่นคือสามารถใช้งานเม็ดมีดติดต่อกันได้นานขึ้นซึ่งแตกต่างจากเม็ดมีดแบบอยู่กับที่ ซึ่งเมื่อเม็ดมีดเกิดการแตกหักต้องหยุดการกลึงชิ้นงานและทำการหมุนคมมีดด้านที่ยังคมอยู่เพื่อกลึงชิ้นงานต่อ ส่งผลให้เสียเวลาในการผลิตชิ้นงานดังนั้นการใช้เม็ดกลึงแบบโรตารียังช่วยลดเวลาในขั้นตอนการผลิตอีกด้วย

5. เนื่องจากการวัดอายุการใช้งานของเม็ดกัดตามมาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E) ใช้เกณฑ์การสึกหรอบนผิวหอบ (flank wear), V_B ไม่เกิน 0.3 mm ซึ่งใช้กับคมมีดที่อยู่กับที่ซึ่งการสึกหรอจะเกิดขึ้นเป็นจุด แต่เม็ดมีดกลึงแบบโรตารีการสึกหรอจะกระจายตัวไปตลอดคมตัดดังนั้นถึงแม้ว่าจะเกิดการสึกหรอบนผิวหอบที่เกิน 0.3 mm ที่จุดหนึ่งแล้วเม็ดมีดก็ยังสามารถใช้งานได้เนื่องจากคมตัดส่วนอื่นยังสึกหรอไม่ถึงเกณฑ์ ดังนั้นหากพิจารณาให้อายุการใช้งานตลอดคมตัดของเม็ดกลึงแบบโรตารีโดยคิดการสึกหรอบนผิวหอบเฉลี่ยตลอดคมตัด $V_{B\text{overall}}$ แทนการคิดแบบเป็นจุดที่สึกหรอมากที่สุดน่าจะมีความเหมาะสมกว่า โดยกำหนดให้อายุการใช้งานตลอดคมตัดของเม็ดกลึงแบบโรตารีสิ้นสุดลงเมื่อการสึกหรอบนผิวหอบเฉลี่ยตลอดคมตัด ($V_{B\text{overall}}$) มีค่า 0.3 mm เปรียบเทียบอายุการใช้งานตลอดคมตัดของเม็ดกลึงโรตารีที่อัตราส่วนความเร็วตัด 1.4 เทียบกับเม็ดกลึงแบบอยู่กับที่ได้ดังรูปที่ 5.41

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



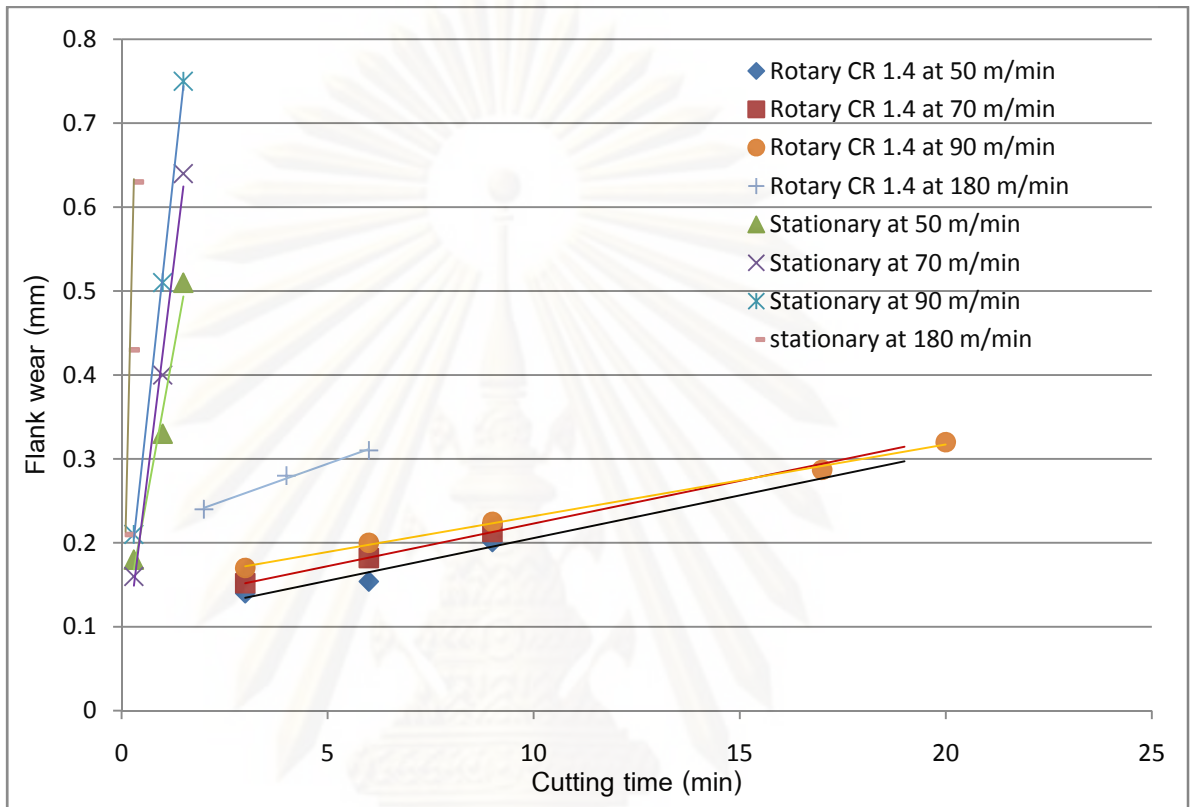
รูปที่ 5.41 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 90 m/min โดยใช้เกณฑ์การสึกหรอบนผิวหลบเฉื่อยตลอดคมตัด $V_{Overall}$

การคำนวณเปรียบเทียบอายุการใช้งานตลอดคมตัดของมีดกลึงแบบโรตารีเทียบกับมีดกลึงแบบอยู่กับที่ ดังแสดงในตารางที่ 5.5 ซึ่งอายุการใช้งานตลอดคมตัดของมีดกลึงแบบโรตารียาวนานกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่ 11.04 เท่า

	เกณฑ์การพิจารณาอายุการใช้งาน	อายุการใช้งาน (tool life)
มีดกลึงแบบโรตารี ที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4	การสึกหรอเป็นจุด ($V_B = 0.3$ mm)	18.05 นาที
	การสึกหรอบนผิวหลบเฉื่อยตลอดคมมีด ($V_{Overall} = 0.3$ mm)	33.01 นาที
มีดกลึงแบบอยู่กับที่	การสึกหรอเป็นจุด ($V_B = 0.3$ mm)	0.50 นาที
	การสึกหรอบนผิวหลบเฉื่อยตลอดคมมีด (อายุการใช้งานเป็นจุด x จำนวนครั้งที่สามารถหมุนเม็ดมีดได้)	3.00 นาที

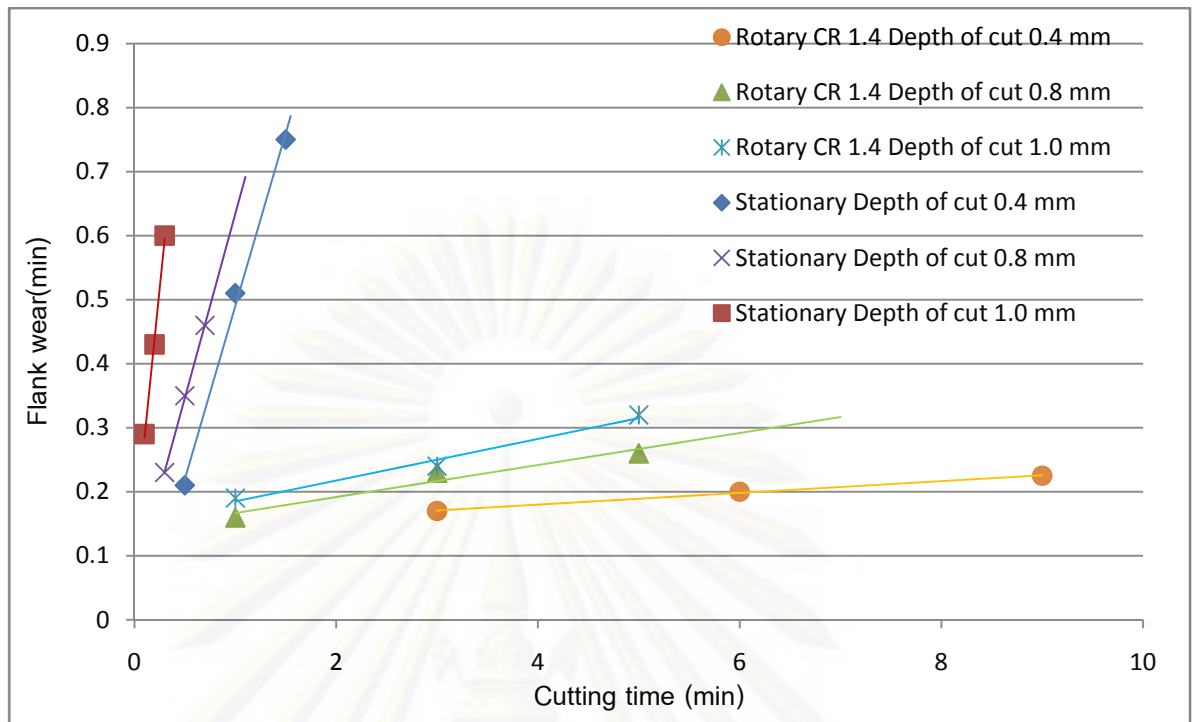
ตาราง 5.5 เปรียบเทียบอายุการใช้งานของมีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 กับมีดกลึงแบบอยู่กับที่

6. เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อการกลิ้งขึ้นงานเช่นความเร็วในการตัด ระยะกินลึกและสารหล่อเย็น เป็นต้น เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มขั้นต้นของอายุการใช้งานของมีดกลึงแบบโรตารีที่ความเร็วตัดสูงจึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติมโดยใช้ความเร็วตัด 180 m/min เปรียบเทียบกับความเร็วตัดต่างๆที่ได้ทดลองไปแล้วได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.42



รูปที่ 5.42 อายุการใช้งานของมีดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีอัตราส่วนความเร็ว 1.4 ที่ความเร็วตัดต่างๆ

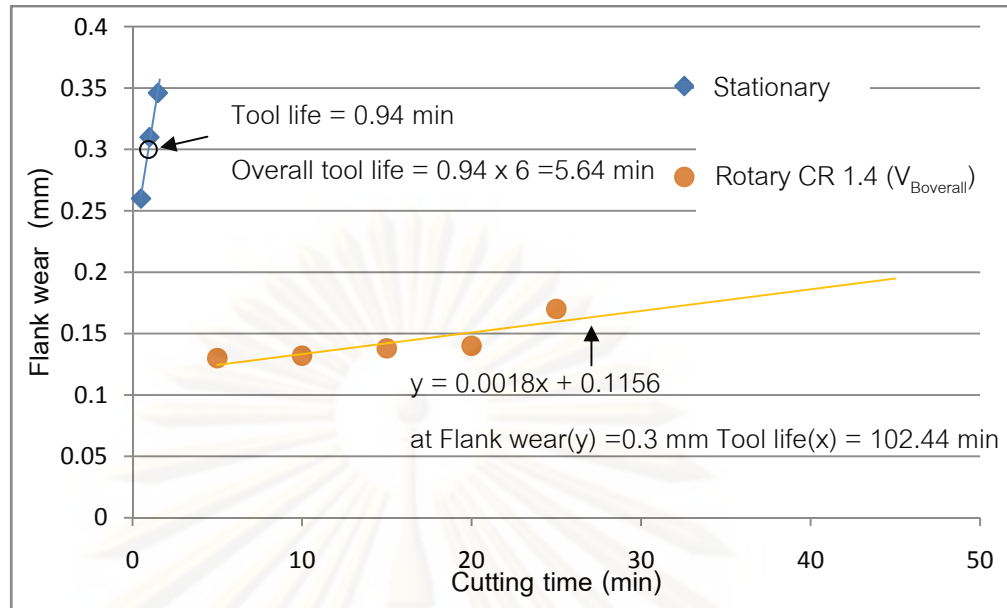
จากรูปที่ 5.42 จะเห็นได้ว่ามีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 มีอายุการใช้งานมากกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่ในทุกความเร็วตัดเป็นไปในแนวทางเดียวกันและเมื่อทำการทดลองเพิ่มเติมโดยการปรับระยะกินลึกอีก 2 ค่าคือ 0.8 mm และ 1 mm ที่ความเร็วตัด 90 m/min เพื่อเปรียบเทียบผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระยะกินลึกได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.43



รูปที่ 5.43 อายุการใช้งานของมีดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีอัตราส่วนความเร็ว 1.4 ที่ระยะกินลึกต่างๆ

จากรูปที่ 5.43 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มระยะกินลึกแล้วอายุการใช้งานของมีดจะสั้นลงจากการทดลองทั้ง 2 ชุดพบว่าเมื่อทดลองปรับสภาวะการกลึงให้แตกต่างกันออกไป มีดกลึงแบบโรตารีก็ยังมีอายุการใช้งานที่มากกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่อย่างเห็นได้ชัดโดยมีอายุการใช้งานมากกว่าประมาณ 6-10 เท่า

7. เนื่องจากในการใช้งานจริงจะต้องมีการใช้สารหล่อเย็นในขณะที่ทำการกลึงดังนั้นจึงทำการทดลองเพิ่มเติมโดยใช้สารหล่อเย็นช่วยขณะทำการทดลอง ผลปรากฏว่าอายุการใช้งานของมีดกลึงจะยาวนานขึ้นซึ่งผลของการหมุนของมีดมีดในการกลึงแบบโรตารีจะช่วยให้การระบายความร้อนของมีดกลึงดีขึ้นเนื่องจากในการหมุนแต่ละรอบคมตัดจะหมุนออกมาสัมผัสกับสารหล่อเย็นได้โดยตรงซึ่งแตกต่างจากมีดกลึงแบบอยู่กับที่ซึ่งเศษกลึงที่เกิดขึ้นจะบังคมตัดไว้ส่งผลให้สารหล่อเย็นไม่สามารถสัมผัสกับคมตัดได้โดยตรงซึ่งเมื่อพิจารณาอายุการใช้งานของมีดมีดดังแสดงในรูปที่ 5.44 สามารถคำนวณอายุการใช้งานของมีดกลึงแบบโรตารีและมีดกลึงแบบอยู่กับที่ได้ 102.44 นาทีและ 5.64 นาทีตามลำดับ ดังนั้นมีดกลึงแบบโรตารีมีอายุการใช้งานมากกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่ 18.15 เท่า



รูปที่ 5.44 อายุการใช้งานของเม็ดมีดแบบอยู่กับที่และแบบโรตารีอัตราส่วนความเร็ว 1.4 ที่ความเร็วตัด 90 m/min และใช้สารหล่อเย็น

8. จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองมีดกลึงแบบโรตารีที่มีอัตราส่วนความเร็ว 1.4 มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่โดยในการกัดแห้งมีอายุการใช้งานมากกว่าประมาณ 6-10 เท่าและในสภาวะการตัดที่ใช้สารหล่อเย็นพบว่าอายุการใช้งานมากกว่ามีดกลึงแบบโรตารีประมาณ 18 เท่า อย่างไรก็ตามในการยืนยันข้อสรุปนี้จำเป็นต้องมีการทดลองเก็บข้อมูลอีกเป็นจำนวนมากที่สภาวะการตัดต่างๆ ซึ่งการที่จะทำการทดลองให้ครอบคลุมทุกสภาวะการตัดนั้นต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองสูงด้วยข้อจำกัดของเวลาและเงินทุนจึงไม่สามารถทำการทดลองได้หมดซึ่งต้องเป็นงานในอนาคตต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

มีดกลึงแบบโรตารีเป็นการกลึงโดยใช้เม็ดมีดลักษณะกลมซึ่งมีการหมุนรอบตัวเองไปด้วยขณะทำการกลึงชิ้นงาน ในงานวิจัยได้ทำการประยุกต์เครื่องกลึง CNC แบบ Hybrid machine ซึ่งมีหัวหมุนมีดกลึงทำให้สามารถใช้งานมีดกลึงแบบโรตารีได้ ซึ่งมีดกลึงแบบโรตารีที่ทำการติดตั้งบนเครื่อง CNC สามารถใช้งานได้ถูกต้องทั้งการปอกผิวและปาดหน้าและสามารถควบคุมความเร็วในการหมุนของเม็ดมีดได้ในช่วง 0-10000 rpm ทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการกัดขึ้นรูปชิ้นงานของมีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็วต่างๆกับมีดกลึงแบบอยู่กับที่ด้วยการทดลองกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ภายใต้สภาวะการกลึงที่ความเร็วในการตัด 50-90 m/min ระยะเวลาเดิน 0.4 mm อัตราป้อน 0.2 mm/rev และอัตราส่วนความเร็วอยู่ในช่วง 0.4-1.4

จากผลการทดลองพบว่า มีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 เป็นมีดกลึงที่ดีที่สุดในด้านความสามารถในการกัดขึ้นรูปชิ้นงานคือมีขนาดเศษกลึงที่บางที่สุด อุณหภูมิในการตัดน้อยที่สุดและอายุการใช้งานมากที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการกัดขึ้นรูปกับมีดกลึงแบบอยู่กับที่แล้วพบว่ามีความสามารถในการกัดขึ้นรูปดีกว่าดังนี้

1. เนื่องจากภาระการหมุนของเม็ดมีดส่งผลต่อกลไกการตัดดังนั้นลักษณะการเกิดเศษกลึงที่ได้จะแตกต่างจากมีดกลึงแบบอยู่กับที่โดยมีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 จะได้เศษกลึงที่บางกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงค่าแรงตัดที่น้อยกว่าจากการคำนวณพบว่าแรงตัดในมีดกลึงแบบโรตารีจะน้อยกว่าแรงตัดในมีดกลึงแบบอยู่กับที่โดย cutting force และ thrust force ลดลง 53.17% และ 88.58 % ตามลำดับ

2. การหมุนของเม็ดมีดส่งผลให้การกลึงด้วยมีดกลึงแบบโรตารีมีลักษณะเป็นการตัดแบบเฉียง โดยค่ามุมเอียงจะขึ้นกับอัตราส่วนความเร็วของเม็ดมีดและชิ้นงาน การเพิ่มอัตราส่วนความเร็วของเม็ดมีดจะทำให้มุมเอียงเพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาถึงกลไกการตัดจะพบว่าเมื่อมุมเอียงเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ effective rake angle เพิ่มขึ้น แรงในการตัดจึงลดลง การเพิ่ม effective rake angle ในมีดกลึงแบบโรตารีไม่ส่งผลต่อความแข็งแรง ของเม็ดมีดซึ่งแตกต่างจากเม็ดมีดที่อยู่กับที่ซึ่งการเพิ่ม rake angle จะส่งผลให้ความแข็งแรงของเม็ดมีดลดน้อยลง

3. การหมุนของเม็ดมีดที่มีอัตราส่วนความเร็วมากกว่า 1 จะส่งผลให้ทิศทางแรงเสียดทานบริเวณจุดสัมผัสระหว่างหน้ามีดและเศษกลึงเปลี่ยนทิศไป การเปลี่ยนทิศของแรงเสียดทานนี้จะช่วยให้การเคลื่อนที่ของเศษกลึงหลุดออกไปได้ง่ายขึ้นแรงในการตัดจึงลดน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดมีดแบบอยู่กับที่ซึ่งจะพบว่าการหมุนของเม็ดมีดกลึงแบบโรตารีสามารถเพิ่มอายุการใช้งานของเม็ดมีดได้มาก

4. ความร้อนที่เกิดขึ้นบนเม็ดมีดเป็นปัญหาที่สำคัญในกระบวนการขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก ซึ่งการหมุนของเม็ดมีดในมีดกลึงแบบโรตารีจะช่วยให้การถ่ายเทความร้อนของเม็ดมีดดีขึ้น จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิของเม็ดมีดในการกลึงแบบโรตารีจะน้อยกว่าอุณหภูมิของเม็ดมีดในมีดกลึงแบบอยู่

กับที่และอุณหภูมิสูงสุดบนหน้ามีดของมีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 จะน้อยกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่ 84.3 °C

5. เมื่อพิจารณาถึงการสึกหรอของเม็ดมีดซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในกระบวนการกัดขึ้นรูปวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากและเป็นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบอายุการใช้งานของมีดกลึงแบบโรตารีกับมีดกลึงแบบอยู่กับที่ภายใต้สภาวะการกลึงโดยมีสารหล่อเย็นช่วย จะพบว่ามีดกลึงแบบโรตารีที่อัตราส่วนความเร็ว 1.4 มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ามีดกลึงแบบอยู่กับที่ประมาณ 18 เท่า

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางวิจัยเพิ่มเติม

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ต้องการศึกษาและวิจัยเพิ่มเติมสำหรับมีดกลึงแบบโรตารีมีดังต่อไปนี้

เนื่องจากด้วยข้อจำกัดของเวลาและเงินทุนการทดลองจึงยังไม่ครอบคลุมทุกสภาวะการตัด ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันผลการวิจัยจึงควรที่จะทดลองให้สภาวะการตัดมีความหลากหลายยิ่งขึ้น

มีดกลึงแบบโรตารีมีสามารถประยุกต์ใช้กับวัสดุอื่น ๆ ที่ไม่ใช่วัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยากอีกด้วย แต่เนื่องจากมีดกลึงแบบโรตารีได้มีค่าตัวแปรความเร็วในการหมุนของเม็ดมีดเพิ่มขึ้นมา ดังนั้นแนวทางการวิจัยในขั้นต่อไปควรที่จะศึกษาและจัดทำค่าสภาวะการกลึงที่เหมาะสมสำหรับวัสดุประเภทอื่น ๆ ด้วย

ในการทดลองวัดอุณหภูมิได้ใช้เครื่องวัดความร้อนแบบเป็นจุดซึ่งได้ค่าความร้อนที่บริเวณหน้ามีดที่จุดเดียวซึ่งหากมีอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิที่เหมาะสมกว่านี้ซึ่งสามารถถ่ายภาพความร้อนที่เกิดขึ้นทั่วทั้งเม็ดมีดได้จะทำให้การวิเคราะห์ด้านความร้อนจะสามารถทำได้ดีกว่านี้ และน่าจะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการหมุนของเม็ดมีดและการกระจายตัวของความร้อนได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการพิจารณาหาจุดที่เหมาะสมบนเม็ดมีดเพื่อทำการฉีดสารหล่อเย็นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

จากการวิจัยแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าของมีดกลึงแบบโรตารีซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ในการงานการกลึงวัสดุที่กัดขึ้นรูปได้ยาก เนื่องจากในปัจจุบันเครื่อง CNC ที่ใช้ในการทดลองยังมีราคาแพงและการใช้งานรวมถึงการตัดแปลงเครื่องทำให้เกิดความลำบากในการใช้งานจริง ดังนั้นขั้นตอนต่อไปควร จะทำการประดิษฐ์ชุดมีดกลึงที่สามารถใช้งานได้จริงซึ่งสามารถติดตั้งเข้ากับเครื่องกลึงธรรมดาจะทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

เนื่องจากเม็ดมีดกลมที่ใช้ในงานวิจัยประยุกต์มาจากเม็ดมีดที่ใช้ในการกลึงแบบปกติที่ใช้กันในท้องตลาดซึ่งไม่ได้ออกแบบมาเพื่อการใช้งานมีดกลึงแบบโรตารีซึ่งการกลึงแบบโรตารีมีกลไกการตัดที่แตกต่างจากการกลึงแบบปกติที่เม็ดมีดอยู่กับที่ ดังนั้นเพื่อให้การกลึงแบบโรตารีมีประสิทธิภาพมากที่สุด งานวิจัยเพิ่มเติมที่ควรจะทำคือการออกแบบเม็ดมีดให้มีความเหมาะสมเช่นการติด chip breaker เข้าไปบนตัวมีดก็จะช่วยลดปัญหาเศษกลึงที่ยาวเกินไปได้ หรือการออกแบบพื้นผิวของหน้ามีดให้สามารถใช้ประโยชน์จากการหมุนของเม็ดมีดได้อย่างเต็มที่ เป็นต้น

เนื่องจากในการคำนวณแรงในการตัดได้ใช้ความหนาเศษกึ่งมาคำนวณค่าแรงในการตัดดังนั้น ผลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน หากต้องการทราบค่าแรงที่ถูกต้องควรปรับปรุงการทดลองโดยการใช้ force sensor เก็บค่าแรงที่เกิดขึ้นในการทดลองจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดีขึ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] Stephenson, D.A., and Agapiou, J.S., Metal cutting theory and practice, Marcel Dekker, Inc New York, 1996.
- [2] Bhattacharyya, A., and Ham, I., Design of Cutting Tools use of metal cutting theory, ASME, Dearborn, Michigan, 1969.
- [3] คมสัน จิระภัทรศิลป์, การสึกหรอของมีดกัด, [ออนไลน์]. 2547. แหล่งที่มา:
www.pteonline.org/img-lib/staff/file/komson_000212.doc [2553, มกราคม 5]
- [4] Trent, E., and Wright, P., Metal cutting, Butterworth-Heinemann, 2000.
- [5] ISO, 3685: Tool-life testing with single-point turning tools, 1993.
- [6] Lebrun, P., Cryogenics, Key to Advanced Science and Technology, 2003
- [7] Hong, S.Y., Ding, Y., and Jeong W., Friction and cutting forces in cryogenic machining of Ti-6Al-4V, Wear 261 (2006) 760–766.
- [8] Venugopal, K.A., Paul, S., and Chattopadhyay, A.B., Tool wear in cryogenic turning of Ti-6Al-4V alloy, Cryogenics 47 (2007) 12–18.
- [9] Khan, A.A., and Ahmed, M.I., Improving tool life using cryogenic cooling, Journal of Materials Processing Technology (2007).
- [10] Lutjering, G., and Williams, J.C., Titanium, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003
- [11] Barry, J., Byrne, G., and Lennon, D., Observations on chip formation and acoustic emission in machining Ti-6Al-4V alloy, International Journal of Machine Tools & Manufacture 41, (2001) 1055–1070.
- [12] Brehl, D.E., and Dow, T.A., Review of vibration-assisted machining, Precision Engineering, (2007).
- [13] Lei, S., and Liu W., High-speed machining of titanium alloys using the driven rotary tool, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42 (2002) 653–661.
- [14] Juneja, B.L., Sekhon, G.S., and Seth, N., Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools, new age international (P) Limited, Publishers 2005.
- [15] Shaw, M.C., Metal cutting principle, Oxford University Press, Newyork, 1984.
- [16] Astakhov, V.P., Tribology of Metal Cutting, Elsevier Ltd., 2006.
- [17] Lindberg, R.A., Processes and materials of manufacture, Prentice-Hall, Inc Englewood Cliffs, New Jersey, 1977.
- [18]. Jha, A.R., Cryogenic Technology and Applications, Elsevier, Inc, 2006.

- [19]. Komanduri, R., Lee, M., and Raff L.M., The significance of normal rake in oblique Machining, International Journal of Machine Tools & Manufacture 44 (2004) 1115–1124.
- [20]. Lin, Z.C., and Lin Y.Y., A study of an oblique cutting model, Journal of Material Processing Technology 86 (1999) 119–130.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การปรับปรุงกลไกการตัดชิ้นรูปวัสดุด้วยวิธีการลดแรงเสียดทานบน Rake face ของเครื่องมือตัด Improvement of Cutting Mechanism by Reducing Friction on Tool's Rake Face

ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ^{1*} ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี¹ และศรัณย์ กิรติหัตถายากร¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร. 0-2218-6610 โทรสาร 0-2218-6610 *อีเมล: bio2mech@gmail.com

Pairat Tangpornprasert^{1*}, Chanyaphan Virulsri¹ and Saran Keeratihattayakorn¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok 10330

Tel: 0-2218-6610, Fax: 0-2218-6610, *E-mail: bio2mech@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงกลไกในการตัดชิ้นรูปวัสดุเพื่อลดแรงตัดที่เกิดขึ้นบน rake face ของเครื่องมือตัดด้วยวิธีการลดแรงเสียดทานที่หน้าสัมผัสระหว่าง rake face ของเครื่องมือตัดกับเศษกลึง โดยในการทดลองได้อาศัยเทคนิค abrasive polishing ในการลดแรงเสียดทานที่ rake face ของเครื่องมือตัดก่อนนำมีดตัดไปทดลองกลึงชิ้นงาน mild steel ผลการทดลองปรากฏว่าการลดแรงเสียดทานด้วยวิธีดังกล่าวสามารถลดแรงในการตัดลงได้ เนื่องจากการลดค่าแรงเสียดทานส่งผลโดยตรงต่อค่ามุม shear angle ทำให้แรงในการตัดลดลงจากการทดลองพบว่ามีดกลึงที่ผ่านกระบวนการ abrasive polishing ได้เศษกลึงที่มีขนาดบางกว่าเศษกลึงที่ได้จากมีดกลึงที่ไม่ผ่านกระบวนการขัดผิวส่งผลให้แรงในการตัด cutting force และ thrust force ลดลง 27.28% และ 73.84% ตามลำดับ ดังนั้นเทคนิคการลดแรงเสียดทานที่ rake face ของมีดกลึงจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด

คำชี้ : กระบวนการขึ้นรูป , การสึกหรอของเครื่องมือตัด, การขัดผิว

Abstract

This research paper presents tool friction reduction technique which improves cutting mechanism in machining process. The experiment is set up by preparing the polished tool in which friction at tool's rake face is reduced by abrasive polishing technique and then the polished tool is used to machine mild steel workpiece. Results show that chips from polished tool are thinner than chips from unpolished tool and increasing in shear angle leads to reduction of cutting force and thrust force by 27.28% and 73.84%, respectively. These results show promising trend in increasing tool life

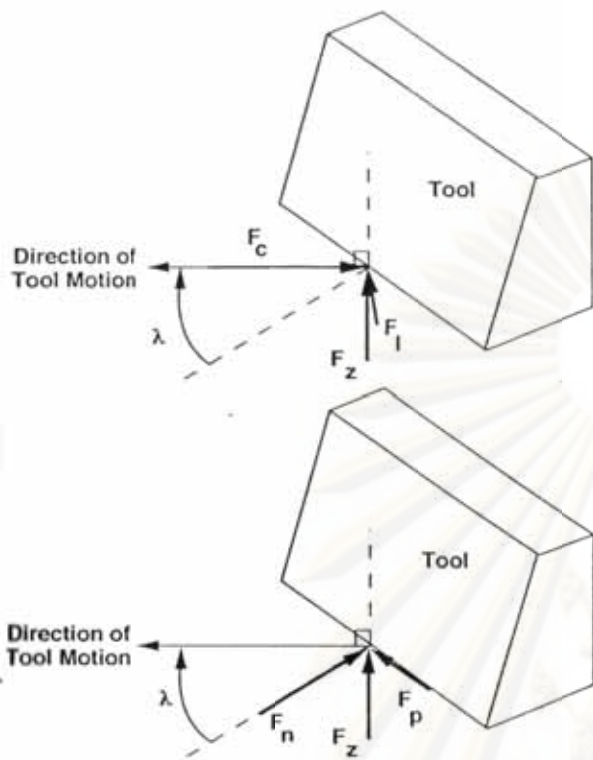
Keywords : machining process, tool-wear ,abrasive polishing

บทนำ

ปัญหาที่พบในงานกระบวนการขึ้นรูปวัสดุมีอยู่ด้วยกันหลายประการตัวอย่างเช่นในกระบวนการกลึงชิ้นงานจะประสบกับปัญหาการสึกหรอของเครื่องมือตัด ปัญหาคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ไม่ราบเรียบ และปัญหาการสั่นสะเทือนระหว่างการตัด เป็นต้น ซึ่ง ปัญหา ที่สำคัญที่สุดในงานผลิตเชิงอุตสาหกรรมคือปัญหาด้านการสึกหรอของเครื่องมือตัดซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายในการผลิต และยังก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพผิวและการสั่นสะเทือนตามมาอีกด้วย ปัญหาการสึกหรอของเครื่องมือตัดเกิดจากหลายปัจจัยเช่นเกิดจากแรงในการตัดระหว่างคมมีดกับชิ้นงานที่ส่งผลให้เกิดการสึกหรอ หรือเกิดจากอุณหภูมิในการตัดที่มากเกินไปทำให้มีดตัดเกิดการอ่อนตัวและแตกหักง่าย เป็นต้น เมื่อพิจารณาถึงกลไกในการตัดจะพบว่าแรงเสียดทานเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ก่อให้เกิดแรงตัดและความร้อนบนเครื่องมือตัดซึ่งส่งผลให้เกิดการสึกหรอตามมาดังนั้นการลดแรงเสียดทานจะนำไปสู่การลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดในที่สุด โดยในงานวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในการตัดกับแรงเสียดทาน

1.กลไกในการตัด (cutting mechanism)[1],[2]

ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานนั้นสามารถแบ่งได้เป็นหลายวิธีการ เช่นกระบวนการกลึง กระบวนการการ milling และกระบวนการเจาะ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ถึงแม้ว่าจะใช้เครื่องมือตัดที่มีรูปร่างที่แตกต่างกันแต่ก็อาศัยหลักการเดียวกันในการตัดเฉือนชิ้นงาน ซึ่งก็คือการตัดแบบตั้งฉาก (orthogonal cutting) โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของคมมีดตั้งฉากไปบนชิ้นงานทำให้เกิดการตัดเฉือนเนื้อของชิ้นงานให้หลุดออกไป แต่เมื่อพิจารณาการตัดที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นโดยพิจารณาการตัดในสามมิติจะเป็นการตัดแบบเฉียง (oblique cutting) ดังแสดงในรูปที่ 1

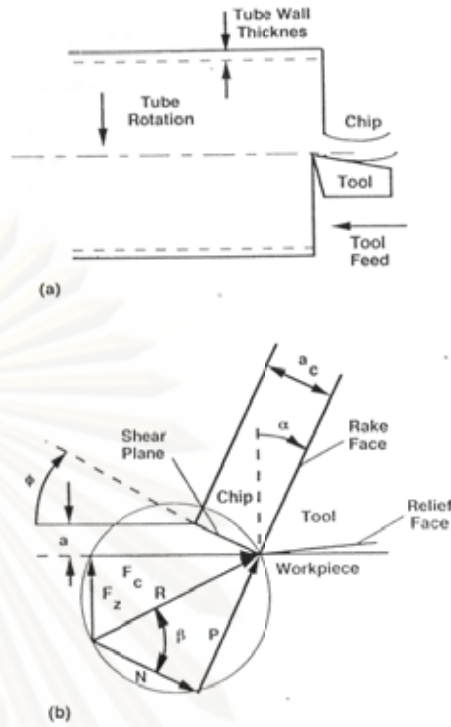


รูปที่ 1 แรงที่เกิดขึ้นในการตัดแบบเฉียง

ในการพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นบนเครื่องมือตัดจะพิจารณาแรงได้ดังนี้ แรง F_n คือแรงที่ตั้งฉากกับขอบการตัด, F_c คือแรงที่ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด, F_p คือแรงที่ขนานกับขอบตัด, F_z คือแรงที่ตั้งฉากกับระนาบของแรง F_n และ F_p ; F_i คือแรงที่ตั้งฉากกับระนาบของแรง F_c และ F_z โดยแรง F_c, F_i, F_n และ F_p มีความสัมพันธ์กันโดยมุมเฉียง λ ตามสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} F_n &= F_c \cdot \cos \lambda + F_i \cdot \sin \lambda \\ F_p &= -F_c \cdot \sin \lambda + F_i \cdot \cos \lambda \\ F_c &= F_n \cdot \cos \lambda - F_p \cdot \sin \lambda \\ F_i &= F_n \cdot \sin \lambda + F_p \cdot \cos \lambda \end{aligned} \quad (1)$$

แรงที่ใช้ในการตัด (cutting force) เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาถึงพลังงานและภาระโหลดที่ส่งผลถึงการเปลี่ยนรูปของเครื่องมือตัดและวัสดุ การวัดค่าแรงที่ใช้ในกระบวนการตัดมักจะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติการขึ้นรูป (machinability) โดยแรงที่ใช้ในการตัดจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการตัด (cutting speed), อัตราการป้อน (feed rate), ระยะกินลึก (depth of cut), รูปร่างของเครื่องมือตัด (tool geometry) และคุณสมบัติของวัสดุและเครื่องมือตัดเป็นต้น โดยในกระบวนการตัดจะเกิดความเค้นเฉือนขึ้นตามแนว shear plane ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 a) การกลึงชิ้นงานประเภทท่อด้วยการตัดแบบตั้งฉาก b) ทฤษฎี shear plane ของ Ernst และ Merchant ในการตัดแบบตั้งฉาก

ในการพิจารณาการตัดแบบตั้งฉากซึ่งเสนอโดย Piispänen, Ernst และ Merchant [1] เสนอว่าเศษกลึงเกิดจากความเค้นตามแนวระนาบที่มุม ϕ เรียกว่าค่ามุมเฉือน (shear angle) โดยค่า ϕ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2)

$$\tan \phi = \frac{r_c \cdot \cos \alpha}{1 - r_c \cdot \sin \alpha} \quad (2)$$

โดย r_c คืออัตราส่วนการตัด

$$r_c = \frac{a}{a_c} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (3)$$

โดย a คือค่าความลึกตัด

a_c คือความหนาเศษกลึง

α คือ rake angle

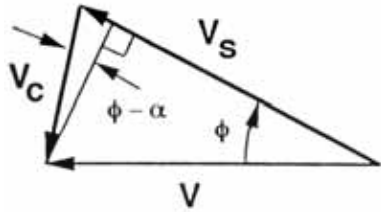
แรงรวมที่ปลายมีด, R จะกำหนดให้กระทำในมุม β ซึ่งเรียกว่าค่ามุมเสียดทาน (friction angle) โดยมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานดังสมการที่ (4)

$$\tan \beta = \mu_e = \frac{P}{N} \quad (4)$$

โดย P คือแรงในแนวขนานกับ Rake face

N คือแรงในแนวตั้งฉากกับ Rake face

ต่อมาจะพิจารณาถึงความเร็วตามแนว Shear plane, V_s และความเร็วตามแนวมุมคายของเครื่องมือตัด, V_c ดังรูปที่ 3 ค่า V_s และ V_c สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (5)



รูปที่ 3 ทิศความเร็วในการตัดแบบตั้งฉาก

$$\frac{V}{\cos(\phi - \alpha)} = \frac{V_s}{\cos \alpha} = \frac{V_c}{\sin \phi} \tag{5}$$

โดย V คือความเร็วของเครื่องมือตัดที่เคลื่อนที่ไปขณะทำการตัดเฉือน จากกฎการอนุรักษ์มวลจะได้ว่า

$$V \cdot a = V_c \cdot a_c \tag{6}$$

ภายใต้ข้อกำหนดเหล่านี้ค่าแรงในการตัด F_c และแรงในแนวแกน F_z สามารถหาได้จากสมการที่ (7)

$$F_c = \frac{k \cdot a \cdot b \cdot \cos(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)} \tag{7}$$

$$F_z = \frac{k \cdot a \cdot b \cdot \sin(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)}$$

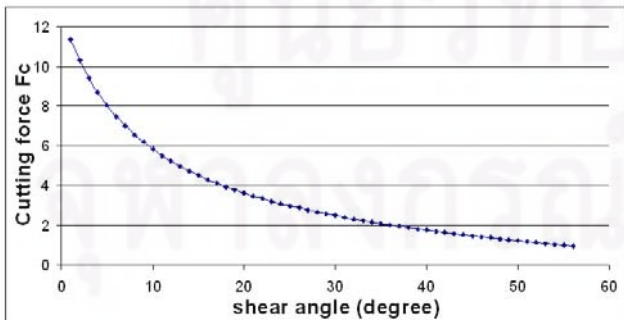
โดยค่า k คือ flow stress และค่า b คือ ความหนาของเศษกลึงซึ่งในการหาค่า ϕ เพื่อใช้ในการคำนวณแรงที่ใช้ในการตัด Merchant ได้กำหนดให้กำลังในการตัด (cutting power) สามารถหาได้จาก $V \cdot F_c$ และค่า ϕ จะมีค่าที่ทำให้ใช้กำลังน้อยสุด หากค่า k และ β ไม่ขึ้นกับ ϕ จะได้ความสัมพันธ์ตามสมการ

$$\phi = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\alpha}{2} \tag{8}$$

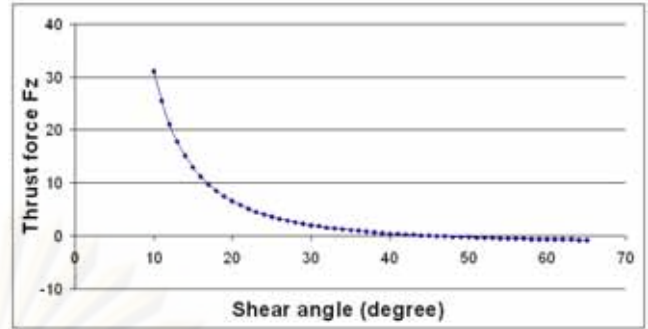
ภายใต้ข้อกำหนดนี้ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ Shear plane

2. การทดลองเพื่อศึกษาผลของแรงเสียดทานกับ shear angle

จากการพิจารณาหลักของการตัดจะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัดจะขึ้นกับค่ามุมเฉือน ϕ ตามสมการที่ (7) ซึ่งเมื่อพล็อตค่า F_c และ F_z เทียบกับค่า ϕ โดยให้ค่า a, b, k, α และ β เป็นค่าคงตัวจะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฉือน ϕ กับค่าแรงขนานในแนวการตัด cutting force, F_c

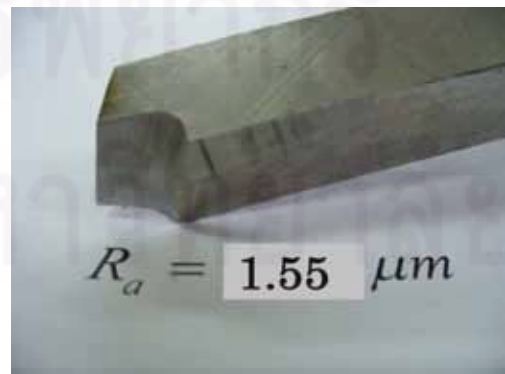


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฉือน ϕ กับค่าแรงตั้งฉากในแนวการตัด thrust force, F_z

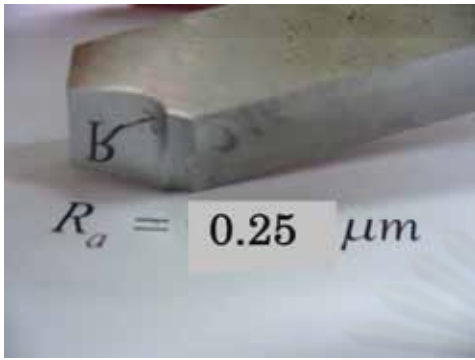
จากกราฟจะเห็นได้ว่ายิ่งค่ามุมเฉือน ϕ เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงในการตัดลดลงและเนื่องจากค่ามุมเฉือนกับค่ามุมเสียดทาน β มีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ (8) ซึ่งจะพบว่าค่ามุมเฉือนจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่ามุมเสียดทาน β ลดลงดังนั้นในการทดลองจะอาศัยเทคนิค abrasive polishing ทำให้ความหยาบผิวที่บริเวณผิวสัมผัส (tool/chip interface) ลดลงเพื่อลดแรงเสียดทานหรือ β ให้ลดลงนั่นเอง

3. ขั้นตอนการทดลอง

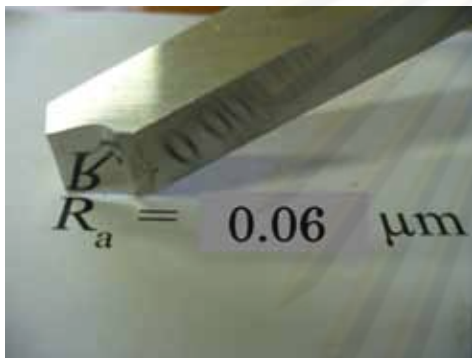
ในการทดลองจะเริ่มต้นจากการเจียรมีดกลึงคาร์ไบด์ให้มีมุมคาย (rake angle) และมุมหลบ (clearance angle) เท่ากับ 15° และ 8° ตามลำดับจำนวนสามเล่ม จากนั้นจึงนำมีดกลึงเล่มที่หนึ่งไปทำการขัดผิวที่บริเวณ rake face ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200 ตามลำดับ และมีดกลึงเล่มที่สองขัดผิวที่บริเวณ rake face ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200 ใช้แปรงขัดซูปพองลูมินาขนาด $1 \mu m$ ในการขัดผิว จากนั้นนำมีดกลึงทั้งสามเล่มไปทำการวัดความหยาบพื้นผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว (Surftest SJ-201 P/M 10 นาโนเมตร) โดยทำการลากหัว stylus ไปบนชิ้นงานเป็นระยะทาง 0.25 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งต่างๆ 5 ตำแหน่งจากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยซึ่งพบว่ามีดกลึงที่ได้จากการเจียรผิวจะมีค่าความหยาบ $R_a = 1.55 \mu m$ มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทรายจะมีค่า $R_a = 0.25 \mu m$ และมีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทรายและผงลูมินาจะมีค่า $R_a = 0.06 \mu m$ ดังรูปที่ 6 7 และ 8 ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 6 มีดกลึงที่ได้จากการเจียรผิว ($R_a = 1.55 \mu m$)



รูปที่ 7 มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทราย ($R_a = 0.25 \mu m$)



รูปที่ 8 มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทรายและผงอลูมิเนียม ($R_a = 0.06 \mu m$)

ตารางที่ 1 กระบวนการเตรียมและความหยาบผิวของมีดกลึง

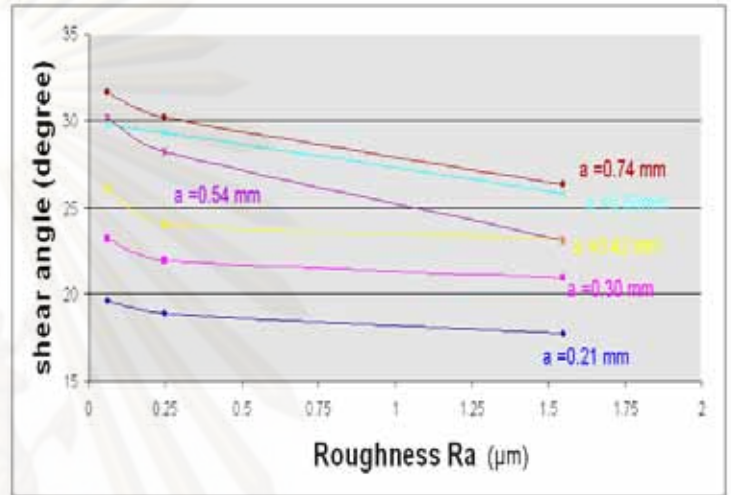
มีดกลึงเล่มที่	กระบวนการเตรียม	ความหยาบผิว R_a (μm)
1	ไม่ผ่านกระบวนการขัดผิว	1.55
2	ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200	0.25
3	ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200 และ ผงอลูมิเนียมขนาด $1 \mu m$	0.06

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดลองนำมีดไปกลึงชิ้นงาน mild steel (111 HB) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm เพื่อนำเศษกลึงมาหาขนาดความหนาเศษกลึง (chip thickness), a_c โดยทำการตั้งสภาวะการตัด (cutting condition) ของเครื่องกลึงแบบกึ่งอัตโนมัติของ Win Ho Technology Industrial Co.,Ltd ไว้ที่ความเร็วการหมุน 170 rpm ระยะกินลึก (depth of Cut), b 2 มิลลิเมตร, มุมตัด (approach angle) 90° ที่

ความลึกตัด, a ที่ระยะ 0.21 0.30 0.42 0.54 0.60 และ 0.74 ตามลำดับ และเป็นการตัดแบบ dry cut จากนั้นทำการวัดความหนาของเศษกลึงด้วยไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo 0.01 mm) โดยทำการวัดขนาดบนตัวเศษกลึง 3 จุดต่อ 1 ชิ้นและทำการหาค่าเฉลี่ยและนำไปคำนวณค่ามุมเฉือน ϕ ด้วยความสัมพันธ์ตามสมการ (2)และ(3)ตามลำดับ

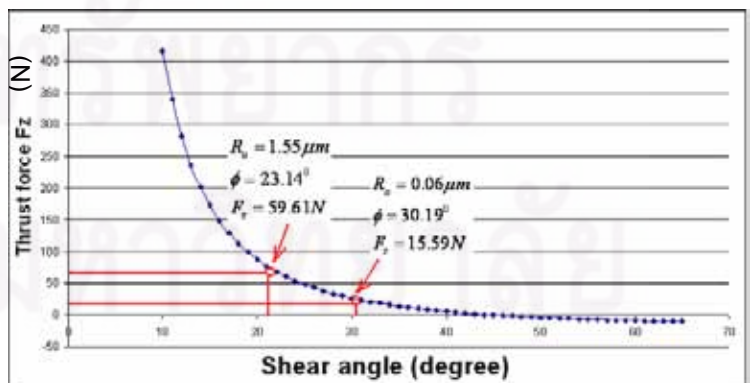
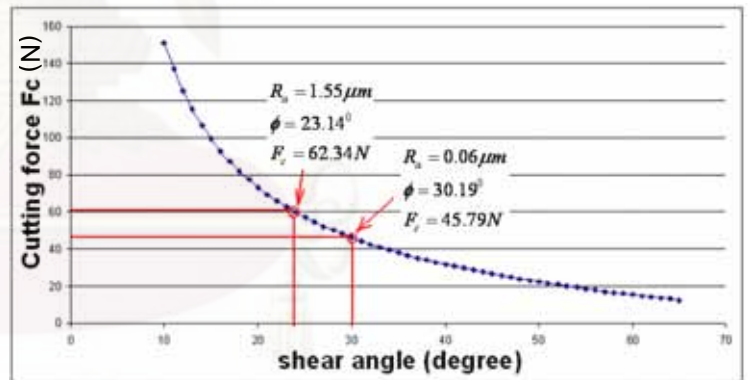
4.ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 9



"a" is uncut chip thickness

รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิวกับมุม shear angle



รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรง cutting force, F_c และ thrust force F_z ที่ความลึกตัด $a = 0.6$ mm

-เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากรูปที่ 9 พบว่ามีดกึ่งที่มีค่าความหยาบผิวน้อยจะทำให้เกิดเศษกึ่งที่มีค่ามุมเฉือนมากกว่าซึ่งส่งผลให้แรงที่ใช้ในการตัดน้อยกว่า โดยเมื่อพิจารณาค่าแรงที่ใช้ในการตัดจะพบว่า มีดกึ่งที่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 0.06 \mu m$) จะเกิดแรงในการตัดน้อยกว่า มีดกึ่งที่ไม่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 1.55 \mu m$) เช่นเมื่อพิจารณาที่ความลึกตัด 0.6 mm (รูปที่ 10) ค่าแรงตัด F_c และ F_z ลดลง 27.28% และ 73.84% ตามลำดับ

-การใช้เทคนิค abrasive polishing ในการขัดผิวมีดกึ่งจะส่งผลให้ความหยาบผิวของมีดบริเวณ rake face ลดลง เมื่อพิจารณาถึงแรงเสียดทานบริเวณหน้าสัมผัสระหว่างมีดกึ่งกับเศษกึ่งแล้วจะพบว่า มีดกึ่งที่ผ่านการขัดผิวจะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานน้อยกว่ามีดกึ่งที่ไม่ได้ผ่านการขัดผิวเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานขึ้นอยู่กับค่าความหยาบระหว่างผิวของวัตถุ 2 ชนิด[3] ดังนั้นการลดค่าความหยาบจึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงซึ่งส่งผลต่อ ϕ ดังความสัมพันธ์ตามสมการที่ (8)



รูปที่ 11 แสดงเศษกึ่งที่ได้จากการทดลอง a) มีดกึ่ง $R_a = 1.55 \mu m$
b) มีดกึ่ง $R_a = 0.06 \mu m$

-จากการพิจารณาถึงเศษกึ่งที่เกิดขึ้นจะพบว่าที่ความลึกตัด 0.42-0.74 mm เศษกึ่งที่เกิดจากมีดกึ่งที่ไม่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 1.55 \mu m$) จะเกิดเศษกึ่งชนิดไม่ต่อเนื่องแบบ Long ear type แต่ในขณะที่มีดกึ่งที่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 0.06 \mu m$) ยังมีลักษณะเป็นเศษกึ่งแบบต่อเนื่องอยู่ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งเศษกึ่งประเภทนี้เป็นเศษกึ่งในแบบที่ต้องการ[4],[5] แสดงให้เห็นถึง cutting machinability ของมีดกึ่งที่ผ่านการขัดที่ดีกว่ามีดกึ่งที่ไม่ผ่านการขัดผิว

6.สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าการลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสหน้า rake face กับเศษกึ่งมีผลทำให้ค่ามุมเฉือนลดลงตามทฤษฎี และเมื่อพิจารณาถึงค่ามุมเฉือนที่เพิ่มขึ้นที่ความลึกตัด 0.6 mm ซึ่งเป็นค่าความลึกที่มีดกึ่งที่ผ่านการขัดมีค่ามุมเฉือนเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ 7.051° ส่งผลให้ค่าแรงตัด F_c และ F_z ลดลง 27.28 % และ 73.84% ตามลำดับ

7.เอกสารอ้างอิง

- [1].David A. Stephenson and John S. Agapiou, *Metal cutting theory and practice*, Marcel Dekker, Inc New York, 1997
- [2]. A. Molinari, A. Moufki, *The Merchant's model of orthogonal cutting revisited: A new insight into the modeling of chip*

formation, International Journal of Mechanical Sciences 50 (2008) page 124–9

[3].Gwidon W.Stachowiak and Andrew W.Batchelor, *Engineering Tribology Third Edition*, Elsevier, Inc Burlington USA, 2005

[4]. Roy A.Lindberg, *Processes and materials of manufacture*, Prentice-Hall, Inc Englewood Cliffs, New Jersey , 2003

[5].Milton C.Shaw, *Metal cutting principle*, Oxford University Press, New York, 1984

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23

4 – 7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่

การปรับปรุงกลไกการกลึงวัสดุกัดขึ้นรูปได้ยากด้วยวิธีการใช้มีดกลึงแบบโรตารี

Improvement of cutting mechanism by using driven rotary tool

ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ^{1*} ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี¹ และศรัณย์ กิรติหัตถยากร¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร. 0-2218-6610 โทรสาร 0-2218-6610 *อีเมล: bio2mech@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงกลไกในการตัดขึ้นรูปวัสดุกัดขึ้นรูปได้ยากเพื่อลดแรงตัดที่เกิดขึ้นบน rake face ของมีดกลึงด้วยการใช้มีดกลึงแบบโรตารีโดยอาศัย CNC multitasking lathe ที่มีหัวกัด milling เป็นตัวหมุน มีดมีดกลม โดยในการทดลองได้ใช้เพลากลม stainless steel 316L เป็นวัสดุในการทดสอบทั้งแบบที่มีการหมุนของมีดมีด (Driven rotary tool) และแบบที่มีมีดมีดอยู่กับที่ (Stationary tool) เพื่อการเปรียบเทียบ ผลการทดลองปรากฏว่าการหมุนของมีดมีดมีส่วนช่วยให้แรงในการกลึงลดลงได้ เนื่องจากการกลับทิศของแรงเสียดทานส่งผลต่อค่ามุม shear angle เพิ่มขึ้นทำให้แรงในการกลึงลดลง โดยจากการทดลองพบว่า มีดกลึงที่มีมีดมีดหมุนจะได้เศษกลึงที่มีขนาดบางกว่ามีดกลึงที่มีมีดมีดอยู่กับที่ส่งผลให้แรงในการตัด cutting force และ thrust force ลดลง 33.91% และ 63.90% ตามลำดับ ดังนั้นการใช้มีดกลึงแบบโรตารีจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดได้เป็นอย่างดี

คำหลัก: มีดกลึงแบบโรตารี, แรงในการตัด, วัสดุกัดขึ้นรูปได้ยาก

Abstract

This research paper presents driven rotary tool which improves cutting mechanism in machining hard-to-cut material. The experiment is set up by preparing the rotary tool that driven by milling head on cnc multitasking lathe. Cylindrical turning experiments were conducted using the driven rotary tool and stationary tool with the same insert, for comparison. Results show that chips from driven rotary tool are thinner than chips from stationary tool and increasing in shear angle leading to reduction of cutting force and thrust force by 33.91% and 63.90% respectively. These results show promising trend in increasing tool life

Keywords: driven rotary tool, cutting force, hard-to-cut material

1. บทนำ

ปัญหาที่พบในงานกระบวนการขึ้นรูปวัสดุมีอยู่ด้วยกันหลายประการตัวอย่างเช่น การสึกหรอของเครื่องมือตัด คุณภาพผิวของชิ้นงานที่ไม่ราบเรียบ

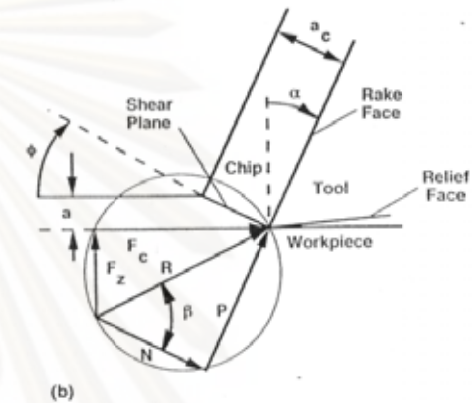
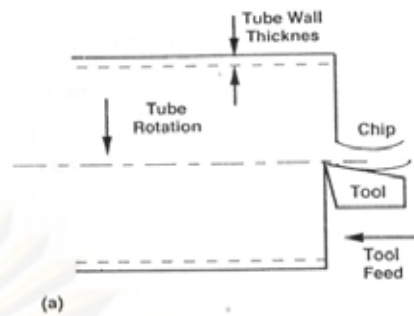
ปัญหาการสั่นสะเทือนระหว่างการตัด เป็นต้นซึ่งปัญหาที่สำคัญที่สุดงานผลิตเชิงอุตสาหกรรมคือปัญหาด้านการสึกหรอของเครื่องมือตัดซึ่งส่งผลโดยตรงต่อ

ค่าใช้จ่ายในการผลิต และยังก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพผิวและการสั่นสะเทือนตามมาอีกด้วย ปัญหาการสึกหรอของเครื่องมือตัดเกิดจากหลายปัจจัยเช่นเกิดจากแรงในการตัดระหว่างคมมีดกับชิ้นงานที่ส่งผลให้เกิดการสึกหรอ หรือเกิดจากอุณหภูมิในการตัดที่มากเกินไปทำให้มีดตัดเกิดการอ่อนตัวและแตกหักง่าย เป็นต้น เมื่อพิจารณาถึงกลไกในการตัดจะพบว่าแรงเสียดทานเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ก่อให้เกิดแรงตัดและความร้อนบนเครื่องมือตัดซึ่งส่งผลให้เกิดการสึกหรอตามมา

2. กลไกในการตัด (cutting mechanism) [1]

ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานนั้นสามารถแบ่งได้เป็นหลายวิธีการ เช่นกระบวนการกลึง กระบวนการการ milling และกระบวนการเจาะ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ถึงแม้ว่าจะใช้เครื่องมือตัดที่มีรูปร่างที่แตกต่างกันแต่ก็อาศัยหลักการเดียวกันในการตัดเฉือนชิ้นงาน ซึ่งก็คือการตัดแบบตั้งฉาก (orthogonal cutting) โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของคมมีดตั้งฉากไปบนชิ้นงานทำให้เกิดการตัดเฉือนเนื้อของชิ้นงานให้หลุดออกไป แต่เมื่อพิจารณาการตัดที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นโดยพิจารณาการตัดในสามมิติจะเป็นการตัดแบบเฉียง (oblique cutting)

แรงที่ใช้ในการตัด (cutting force) เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาถึงพลังงานและภาระโหลดที่ส่งผลถึงการเปลี่ยนรูปของเครื่องมือตัดและวัสดุ การวัดค่าแรงที่ใช้ในกระบวนการตัดมักจะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติการขึ้นรูป (machinability) โดยแรงที่ใช้ในการตัดจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการตัด (cutting speed), อัตราการป้อน (feed rate), ระยะกินลึก (depth of cut), รูปร่างของเครื่องมือตัด (tool geometry) และคุณสมบัติของวัสดุและเครื่องมือตัด เป็นต้น โดยในกระบวนการตัดจะเกิดความเค้นเฉือนขึ้นตามแนว shear plane ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 a) การกลึงชิ้นงานประเภทท่อด้วยการตัดแบบตั้งฉาก b) ทฤษฎี shear plane ของ Ernst และ Merchant ในการตัดแบบตั้งฉาก

ในการพิจารณาการตัดแบบตั้งฉากซึ่งเสนอโดย Piispänen, Ernst และ Merchant [1] เสนอว่าเศษกลึงเกิดจากความเค้นตามแนวระนาบที่มุม ϕ เรียกว่าค่ามุมเฉือน (shear angle) โดยค่า ϕ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$\tan \phi = \frac{r_c \cdot \cos \alpha}{1 - r_c \cdot \sin \alpha} \quad [1]$$

โดย r_c คืออัตราส่วนการตัด

α คือมุม rake angle

$$r_c = \frac{a}{a_c} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad [2]$$

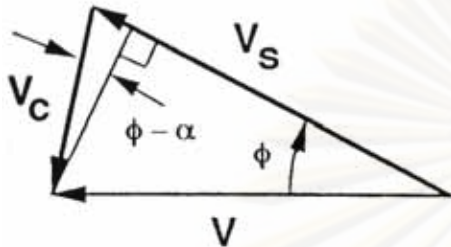
โดย a คือ uncut chip thickness

a_c คือ chip thickness

แรงรวมที่ปลายมีด, R จะกำหนดให้กระทำในมุม β ซึ่งเรียกว่าค่ามุมเสียดทาน (friction angle) โดยมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานดังสมการ

$$\tan \beta = \mu_e = \frac{P}{N} \quad [3]$$

โดย N และ P คือแรงที่ตั้งฉากกับขนานกับ rake face ต่อมาจะพิจารณาถึงความเร็วตามแนว Shear plane, V_s และความเร็วตามแนวมุมคายของเครื่องมือตัด, V_c ดังรูปที่ 3 ค่า V_s และ V_c สามารถหาได้จากความสัมพันธ์



รูปที่ 2 ทิศความเร็วในการตัดแบบตั้งฉาก

$$\frac{V}{\cos(\phi - \alpha)} = \frac{V_s}{\cos \alpha} = \frac{V_c}{\sin \phi} \quad [4]$$

โดย V คือความเร็วของเครื่องมือตัดที่เคลื่อนที่ไปขณะทำการตัดเฉือน

จากกฎการอนุรักษ์มวลจะได้ว่า

$$V \cdot a = V_c \cdot a_c \quad [5]$$

ภายใต้ข้อกำหนดเหล่านี้ค่าแรงในการตัด F_c และแรงในแนวแกน F_z สามารถหาได้จากสมการ

$$F_c = \frac{k \cdot a \cdot b \cdot \cos(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)} \quad [6]$$

$$F_z = \frac{k \cdot a \cdot b \cdot \sin(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)}$$

โดยค่า k คือ flow stress และค่า b คือ ความหนาของเศษกลึงซึ่งในการหาค่า ϕ เพื่อใช้ในการคำนวณแรงที่ใช้ในการตัด Merchant ได้กำหนดให้กำลังในการตัด (cutting power) สามารถหาได้จาก $V \cdot F_c$ และค่า ϕ จะมีค่าที่ทำให้ใช้กำลังน้อยสุด หากค่า k และ β ไม่ขึ้นกับ ϕ จะได้ความสัมพันธ์ตามสมการ

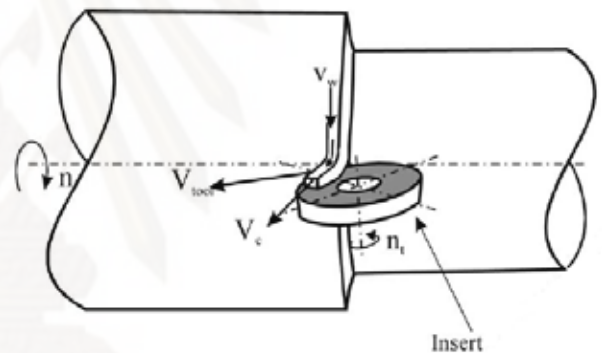
$$\phi = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\alpha}{2} \quad [7]$$

ภายใต้ข้อกำหนดนี้ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ Shear plane

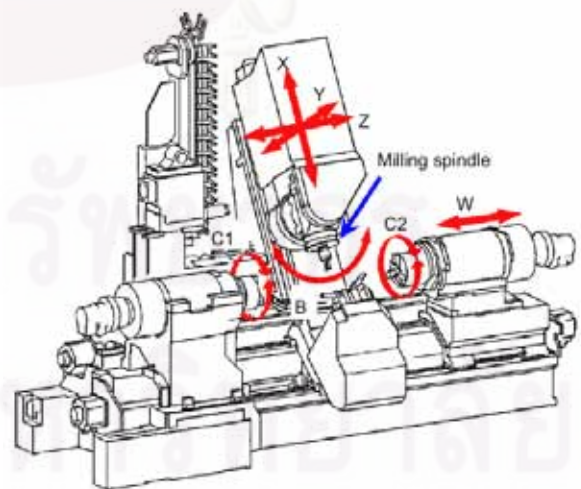
3. มีดกลึงแบบโรตารี

มีดกลึงแบบโรตารีจะอาศัยหลักการเกี่ยวกับการตัดเฉือนชิ้นงานแบบเดียวกับการกลึงโดยอาศัยมีดมีดกลึงแบบกลมในการตัดโดยจะเพิ่มการหมุนของมีดมีด

ขณะทำการตัดชิ้นงาน(n)ดังแสดงในรูปที่ 3 ในการควบคุมการหมุนของมีดมีดกลึงจะอาศัยหัวหมุน milling ของเครื่อง cnc multitasking lathe ในการควบคุมรอบการหมุนดังแสดงในรูปที่ 4 ในการกลึงแบบโรตารีนั้นกลไกการตัดจะมีความซับซ้อนกว่าการกลึงแบบปกติที่หน้ามีดไม่มีการเคลื่อนที่ซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างในเรื่องทิศทางของแรงเสียดทานความเร็วในการตัด และความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของ Coolant เป็นต้นซึ่งจะส่งผลช่วยให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดยาวนานขึ้น [2] ดังนั้นการใช้มีดกลึงแบบโรตารีจึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในงานขึ้นรูปวัสดุประเภทกัดขึ้นรูปได้ยากได้เป็นอย่างดี



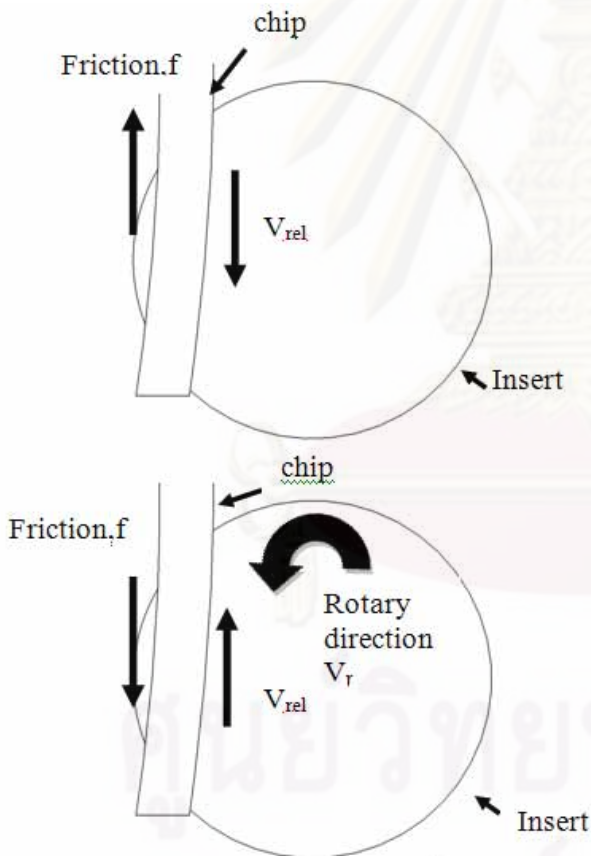
รูปที่ 3 เครื่องมือตัดแบบโรตารี



รูปที่ 4 เครื่อง cnc multitasking lathe ที่มีหัว milling ประกอบอยู่ [10]

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของเศษกลึงที่เกิดขึ้น

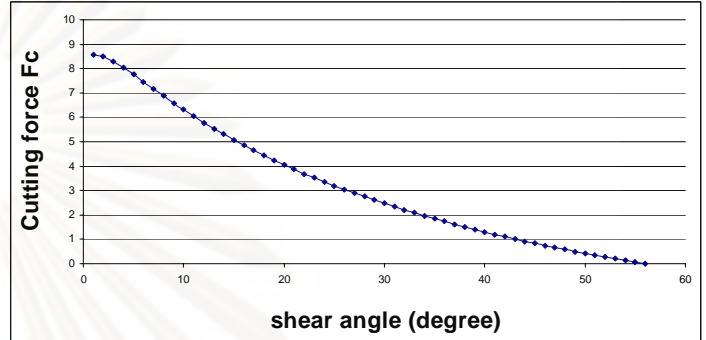
บนหน้ามีดจะพบว่าทิศทางของแรงเสียดทานจะขึ้นกับทิศทางความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างเศษกลึงกับหน้ามีด โดยในการกลึงปกติที่เม็ดมีดไม่มีการเคลื่อนที่ ($V_r = 0$) เศษกลึงจะมีความเร็ว V_{rel} ดังรูปที่ 5a) ส่งผลให้เกิดแรงเสียดทาน, f ในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของเศษกลึง ซึ่งแรงเสียดทานนี้จะส่งผลให้เกิด cutting force บนปลายมีด แต่เมื่อพิจารณาการตัดแบบโรตารี จะพบว่าเมื่อความเร็วของมีดมีค่ามากกว่าความเร็วของเศษกลึงแล้ว ($V_r > V_c$) ความเร็วสัมพัทธ์ของเศษกลึงกับหน้ามีดจะมีทิศทางเปลี่ยนไปดังรูป 5b) ส่งผลให้ทิศทางของแรงเสียดทานกลับทิศโดยจะช่วยดันเศษกลึงให้หลุดออกไปได้ง่ายขึ้น



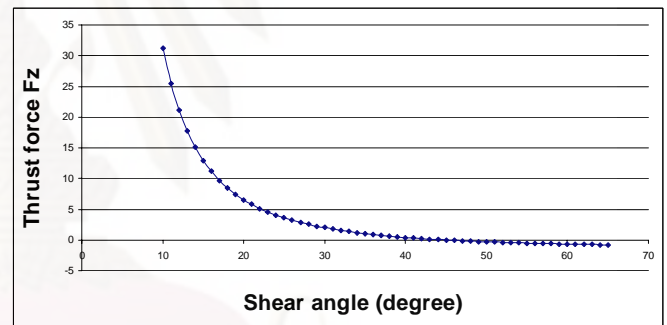
รูปที่ 5 แสดงทิศของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นขณะทำการกลึงชิ้นงาน a) เม็ดมีดอยู่กับที่ ($V_r = 0$) b) เม็ดมีดมีการหมุน ($V_r > V_c$)

4. การทดลองเพื่อศึกษาผลของการหมุนของมีดกลึงแบบโรตารีกับ shear angle

จากการพิจารณากลไกของการตัดจะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นในขณะตัดจะขึ้นกับค่า shear angle, ϕ ซึ่งเมื่อพล็อตค่า F_c และ F_z เทียบกับค่า ϕ จากสมการที่ [6] โดยให้ β เป็นค่าคงตัวจะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฉือน ϕ กับค่าแรงขนานในแนว K_c



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฉือน ϕ กับค่าแรงตั้งฉากในแนวการตัด K_z

จากกราฟจะเห็นได้ว่ายิ่งค่ามุมเฉือน ϕ เพิ่มขึ้นจะยิ่งทำให้แรงในการตัดลดลงและเนื่องจากค่ามุมเฉือนกับค่ามุมเสียดทาน β มีความสัมพันธ์กันตามสมการ[7]

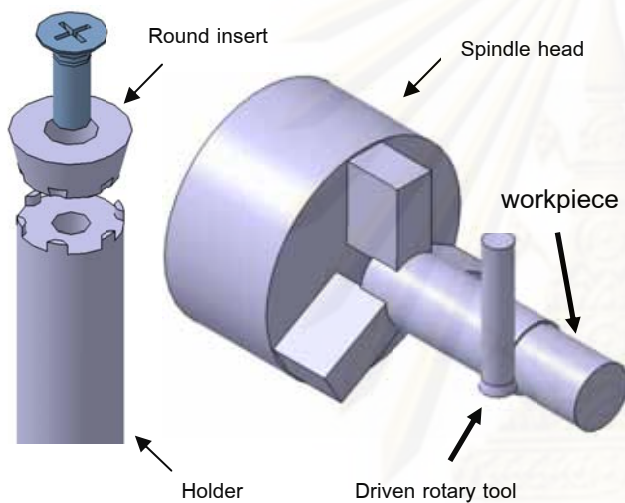
$$\phi = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\alpha}{2}$$

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง shear angle และ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของMerchant ตามสมการ จะพบว่าในการกลึงชิ้นงานปกติที่ไม่มีการหมุนของใบมีดค่า shear angle จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่ามุมเสียดทาน β ลดลง แต่สำหรับมีดกลึงแบบโรตารีที่มีการหมุนของใบมีดตัดที่เร็วกว่าความเร็วของเศษกลึง

แล้วทิศของแรงเสียดทานจะมีทิศตรงข้ามกับการตัดแบบปกติ ดังนั้นค่า β ในสมการจึงมีเครื่องหมายเป็นลบ ซึ่งจะยิ่งช่วยให้ shear angle มีค่าเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง

5. ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองเบื้องต้นเพื่อดูการใช้งานของเครื่องมือตัดจะอาศัยมีดกลึงแบบโรตารีในการกลึงชิ้นงาน stainless steel 316L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm ที่สภาวะต่างๆกันเพื่อวิเคราะห์สภาพเศษกลึงซึ่งจะนำไปสู่การคำนวณ shear angle



รูปที่ 8 มีดกลึงแบบโรตารีที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองจะใช้เม็ดมีดกัดวงกลม WIDIA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm และใช้เครื่อง cnc multitasking MAZAK intergex 100 IV ในการกลึงชิ้นงานโดยเม็ดมีดจะติดอยู่กับก้านจับตั้งรูปที่ 8 และก้านจับจะติดอยู่กับหัว milling ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ 5 axis และสามารถควบคุมความเร็วรอบการหมุนได้ โดยในการทดลองกลึงเบื้องต้นจะใช้ cutting condition ดังนี้

Cutting speed V_w : 70 m/min

Rotary speed V_c : 1600 RPM (80 m/min)

Feed, a : 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 mm/rev

Depth of cut : 0.4 mm

โดยทำการกลึงชิ้นงานด้วยมีดกลึงแบบโรตารีทั้งแบบที่มีการหมุนของเม็ดมีดและแบบที่เม็ดมีดอยู่กับที่

เพื่อเปรียบเทียบเศษกลึงที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทั้งสองแล้วจึงนำมาวิเคราะห์ผลคำนวณหา shear angle

6. ผลการทดลอง

จากนั้นทำการวัดความหนาของเศษกลึงด้วยไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo 0.01 mm) โดยทำการวัดขนาดบนตัวเศษกลึง 3 จุดต่อ 1 ชิ้นและทำการหาค่าเฉลี่ยและนำไปคำนวณค่า shear angle ได้ผลการทดลองตามรูปที่ 9 และ 10

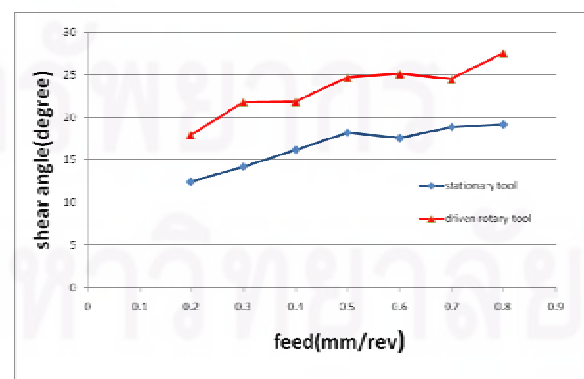
a)



b)



รูปที่ 9 การวัดความหนาเศษกลึงที่ feed 0.4 mm/rev ด้วยไมโครมิเตอร์ a)เม็ดมีดอยู่กับที่ b)เม็ดมีดหมุน



รูปที่ 10 ผลการทดลอง

AMM

7.วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการพิจารณาความหนาของเศษกลิ้งที่ได้จากการตัดที่ feed ต่างๆกันพบว่าเมื่อตัดกลิ้งที่เม็ดมีดมีการหมุนจะได้เศษกลิ้งที่มีขนาดบางกว่าเมื่อตัดกลิ้งที่เม็ดมีดอยู่กับที่ส่งผลให้ค่า shear angle มีค่ามากกว่าเนื่องจากในการกลิ้งที่มีเม็ดมีดมีการหมุนของเม็ดมีดนั้นความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างเศษกลิ้งกับหน้ามีดจะมีทิศตรงข้ามกับการกลิ้งแบบธรรมดาที่เม็ดมีดไม่มีการหมุนส่งผลให้ค่ามุมเสียดทานมีค่าเป็นลบซึ่งเมื่อพิจารณาสมการ[7]จากความสัมพันธ์ระหว่าง shear angle และค่ามุมเสียดทาน β จะเห็นได้ว่าการกลับทิศของมุมเสียดทานนี้จะยิ่งช่วยเพิ่มค่า shear angle ให้มากขึ้นสอดคล้องกับผลการทดลอง เมื่อพิจารณาค่าแรงที่ใช้ในการตัดจากสมการ[6]จะพบว่าเมื่อตัดกลิ้งที่มีการหมุนของเม็ดมีดจะเกิดแรงในการกลิ้งน้อยกว่าเมื่อตัดกลิ้งที่เม็ดมีดอยู่กับที่ เช่นเมื่อพิจารณาที่ feed 0.4 mm/rev ค่าแรงตัด F_c และ F_z ลดลง 33.91% และ 63.90% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของ coolant จะพบว่าเครื่องมือตัดที่มีการหมุนน่าจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เนื่องจากขณะที่ทำการตัดชิ้นงานนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจากการตัดจะเกิดขึ้นที่บริเวณจุดสัมผัสระหว่าง rake face และผิวเศษกลิ้งซึ่งในการตัดแบบปกติที่ไม่มีการหมุนของเม็ดมีดจุดสัมผัสที่เกิดความร้อนนี้เป็นจุดเดี่ยวตลอดช่วงการตัดและ coolant ยังไม่สามารถสัมผัสจุดเกิดความร้อนได้โดยตรงเนื่องจากมีเศษกลิ้งบังอยู่ แต่สำหรับการกลิ้งแบบโรตารีที่มีการหมุนของเม็ดมีดจะเห็นได้ว่าขณะที่เม็ดมีดนั้นจุดสัมผัสที่ทำการตัดเนื้อชิ้นงานสามารถสัมผัส coolant ได้โดยตรง

8.สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าการหมุนของเม็ดมีดแบบโรตารีมีผลทำให้ค่า shear angle เพิ่มขึ้นตามทฤษฎี และเมื่อพิจารณาถึงค่ามุมเฉือนที่เพิ่มขึ้นที่ feed 0.8 mm/rev ซึ่งเป็นค่า feed ที่มีค่ามุมเฉือนเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ 8.39° ส่งผลให้ค่าแรงตัด F_c และ F_z ลดลง

33.91% และ 63.90% ตามลำดับ ซึ่งค่า shear angle ยังสามารถเพิ่มได้มากขึ้นอีกหากเราสามารถเพิ่มแรงเสียดทานให้มากขึ้น

9.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงิน ทุน สนับสนุน จากงบประมาณแผ่นดิน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

10.เอกสารอ้างอิง

- [1].David A. Stephenson and John S.Agapiou ,*Metal cutting theory and practice*,Marcel Dekker,Inc New York,1990
- [2]. Hiroyuki Sasahara ,Atsushi Kato, Hiroshi Nakajima, Hiromas Yamamoto, Toshiyuki Muraki, Masaomi Tsutsumi, High-speed rotary cutting of difficult-to-cut materials on multitasking lathe, International Journal of Machine Tools & Manufacture 48(2008) page 841-850
- [3].Milton C.Shaw,*Metal cutting principle*,Oxford University Press,Newyork,1984
- [4].Gwidon W.Stachowiak and Andrew W.Batchelor, Engineering Tribology Third Edition,Elsevier,Inc Burlington USA,2005
- [5]. A. Molinari, A. Moufki, *The Merchant's model of orthogonal cutting revisited:A new insight into the modeling of chip formation*,International Journal of Mechanical Sciences 50 (2008)page124–131
- [6].Shuting Lei,Wenjie Liu,High-speed machining of titanium alloys using the driven rotary tool, International Journal of Machine Tools & Manufacture 42 (2002) page 653-661


















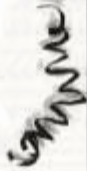



ภาคผนวก ข

ลักษณะการเกิดเศษกึ่งตามมาตรฐาน ISO 3685

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chip-form Classification

1	2	3	4	5	6	7	8
RIBBON CHIPS	TUBULAR CHIPS	CORK SCREW CHIPS	HELICAL CHIPS	SPIRAL CHIPS	ARC CHIPS	ELEMENTAL CHIPS	NEEDLE CHIPS
							
Short	Short	Short	Short	Flat	Loose		
							
Long	Long	Long	Long	Conical	Connected		
							
Snarled	Snarled	Snarled	Snarled	Short			

รูปที่ ๓.1 ลักษณะการเกิดเศษกลึง(Chip formation) ตามมาตรฐาน ISO 3685

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



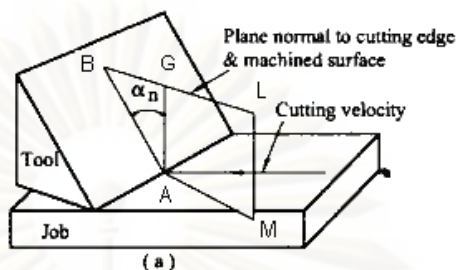
ภาคผนวก ค

Effective rake angle ในการตัดแบบเฉียง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

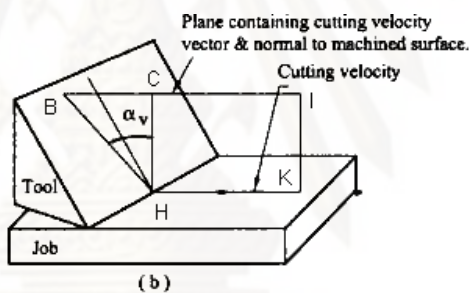
Effective rake angle ในการตัดแบบเฉียง [14]

ในการตัดแบบเฉียง (oblique cutting) จะพบว่ากลไกการตัดจะแตกต่างจากการตัดแบบตั้งฉาก (orthogonal cutting) ซึ่งในการตัดแบบเฉียงจะมีมุมคาย (rake angle) 3 แบบคือ



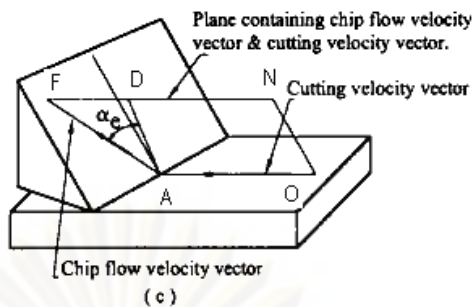
รูปที่ ค.1 Normal rake angle

a) normal rake angle, α_n ซึ่งเป็นมุมที่วัดจากหน้ามีดไปยังเส้นตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วตัดโดยวัดบนระนาบตามคมตัด(ระนาบ ABG)ดังรูปที่ ค.1 normal rake angle นี้จะพิจารณาเหมือนกับการตัดแบบตั้งฉาก



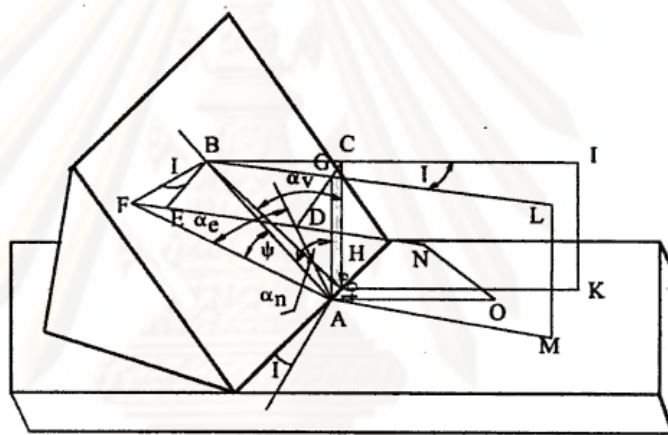
รูปที่ ค.2 Velocity rake angle

b) velocity rake angle, α_v ซึ่งเป็นมุมที่วัดจากหน้ามีดไปยังเส้นตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วตัดโดยวัดบนระนาบขนานไปกับทิศทางของความเร็วตัด(ระนาบ HBC)ดังรูปที่ ค.2 ซึ่งเมื่อพิจารณาการตัดแบบเฉียงจะพบว่าทิศทางความเร็วในการตัดจะทำมุมเอียง i กับหน้ามีดดังนั้น velocity rake angle จะแปรผันโดยตรงกับมุมเอียง



รูปที่ ค.3 Effective rake angle

c) Effective rake angle, α_e ซึ่งเป็นมุมที่วัดจากหน้ามีดไปยังเส้นตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วตัดโดยวัดบนระนาบตามความเร็วในการตัดและ chip velocity vector (ระนาบ ADF) ดังแสดงในรูปที่ ค.3 ซึ่ง effective rake angle จะเป็นมุมคายที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการตัดแบบเฉียง



รูปที่ ค.4 geometric ของ Effective rake angle

ในการพิจารณาเพื่อหา effective rake angle ดังแสดงในรูปที่ ค.4

$$\sin \alpha_e = \frac{DF}{AF} = \frac{FE + ED}{AF}$$

จากรูป ค.4 $ED = BC$ และ $\angle BCD = 90^\circ$ จะได้

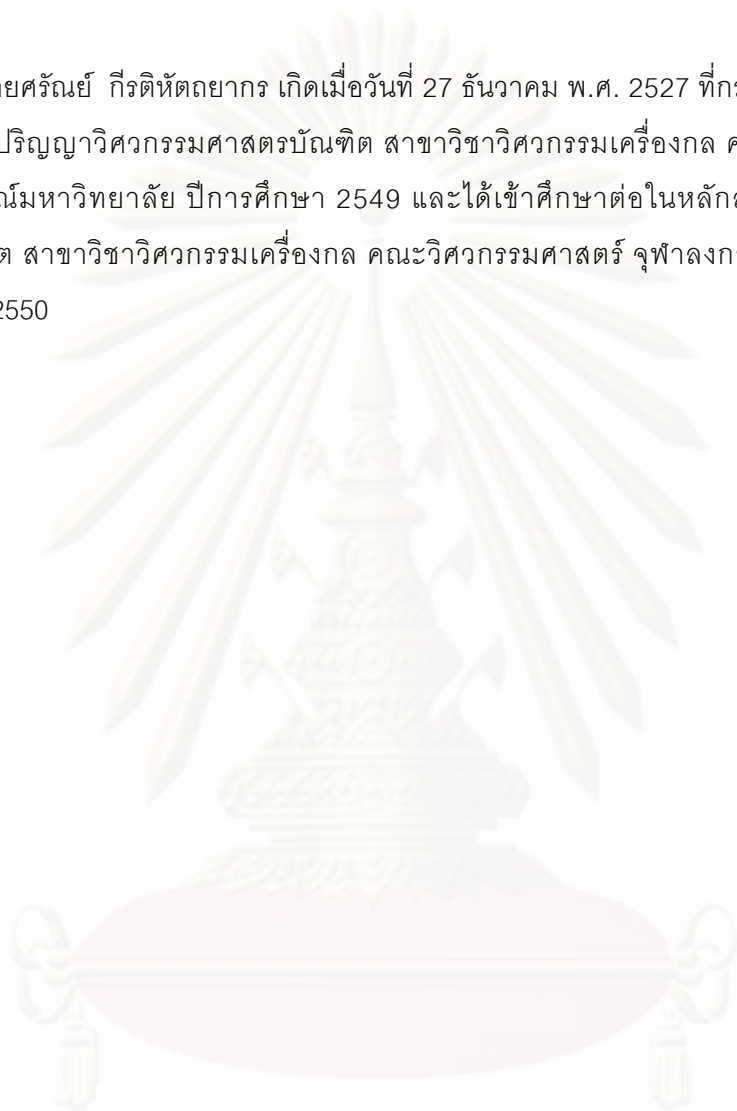
$$\sin \alpha_e = \frac{FE}{FB} \times \frac{FB}{AF} + \frac{BC}{BG} \times \frac{BG}{AB} \times \frac{AB}{AF} \text{ จะได้ว่า}$$

$$\sin \alpha_e = \sin i \sin \eta_c + \cos i \cos \eta_c \sin \alpha_n$$

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสมการนี้จะพบว่าในการคำนวณหาค่า effective rake angle จะต้องทำการวัดมุมการไหลของเศษกลึงซึ่งต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าทำให้ไม่สามารถหาค่าคำนวณในเชิงตัวเลขต่อได้ดังนั้นจึงทำการตั้งสมมุติฐานเพิ่มเติมโดยอาศัย Stabler's rule โดยกำหนดให้มุมการไหลของเศษกลึงมีค่าเท่ากับมุมเฉียงดังนั้นจะได้ว่า $\sin \alpha_e = \sin^2 i + \cos^2 i \sin \alpha_n$ ซึ่งจากสมการดังกล่าวจะสามารถลดค่าตัวแปร chip flow angle ลงไปได้

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศรัณย์ กীরติหัตถยากร เกิดเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2527 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2549 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย