

รายงานการวิจัย

การปรับปรุงการกัดขึ้นรูปชิ้นงานวัสดุทางการแพทย์สำหรับการผลิตข้อต่อ
เทียมในประเทศไทย

**Machinability Improvement of Biocompatible Material for Implant
Prosthesis Manufacturing in Thailand**

โดย

อ.ดร.ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาชีพวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ
ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาล ที่สนับสนุนอุปกรณ์การวิจัย เช่นเครื่องจักร CNC
Machine Tool เครื่องวัดความหยาบผิว Surface Roughness Testerและสถานที่ในการทำวิจัยและเงิน
ส่งเสริมการวิจัย ตลอดจนการสนับสนุนครุภัณฑ์ Motion Analysis Microscope ที่ช่วยทำให้การศึกษาวิจัย
ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงกลไกในการตัดชิ้นวัสดุกัดชิ้นรูปได้ยากเพื่อลดแรงตัดที่เกิดขึ้นบน rake face ของมีดกลึงด้วยการใช้มีดกลึงแบบโรตารีโดยอาศัยเครื่อง CNC multitasking lathe ที่มีหัวกัด milling spindle เป็นตัวหมุนเม็ดมีดกลม โดยในการทดลองได้ใช้เพลากลม stainless steel 316L เป็นวัสดุในการทดสอบทั้งแบบที่มีการหมุนของเม็ดมีด(Driven rotary tool)และแบบที่เม็ดมีดอยู่กับที่(Stationary tool)เพื่อการเปรียบเทียบ จากผลการทดลองปรากฏว่าเศษกลึงที่ได้จากมีดกลึงแบบโรตารีมีขนาดบางกว่ามีดกลึงแบบเม็ดมีดอยู่กับที่ส่งผลให้ shear angle เพิ่มขึ้นแรงในการตัดจึงลดลง โดยที่ความเร็วตัด 90 m/min มีดกลึงแบบโรตารีมีอายุการใช้งาน(Tool life) ยาวนานกว่ามีดกลึงแบบที่เม็ดมีดอยู่กับที่ 34.12 เท่า

คำหลัก: มีดกลึงแบบโรตารี, แรงในการตัด, วัสดุกัดชิ้นรูปได้ยาก

Abstract

This research paper presented driven rotary tool to improve the cutting mechanism in machining of hard-to-cut material by reducing cutting force on tool rake face. In order to compare the effects of the driven rotary tool and stationary tool with the same cutting condition, the experiment was set up by preparing the rotary tool (round insert) that driven by the spindle on CNC multitasking lathe. The results of experiments show that chips from driven rotary tool were thinner than chips from stationary tool. Therefore, the cutting mechanism was improved. That means the shear angle was increased leading to reduction of cutting force. At cutting speed of 90 m/min the tool life of driven rotary tool is 34.12 times more than that of the stationary tool.

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

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ปรีทัศน์วรรณกรรม	
2.1 กลไกของการตัด (cutting mechanism)	3
2.2 อุณหภูมิและความร้อนที่เกิดจากการตัด (cutting temperature)	7
2.3 การสึกหรอของเครื่องมือตัด (tool wear)	8
2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 การทดลองศึกษาเบื้องต้น	
3.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของแรงเสียดทานกับ shear angle	18
ขั้นตอนการทดลอง	19
ผลการทดลอง	22
วิเคราะห์ผลการทดลอง	27
สรุปผลการทดลอง	28
บทที่ 4 การกักขังรูปชิ้นงานด้วยเครื่องมือตัดแบบโรตารี	
4.1 มีดกลึงแบบโรตารี	29
4.2 การออกแบบมีดกลึงแบบโรตารี	30
4.3 ผลของความเร็วที่มีต่อกลไกการตัดของเครื่องมือตัดแบบโรตารี	32
4.4 ผลของ oblique cutting กับ effective rake angle	33
4.5 การกลับทิศของแรงเสียดทานในการกลึงโดยใช้มีดกลึงแบบโรตารี	35
4.6 การทดลอง	36
ผลการทดลอง	37
วิเคราะห์ผลการทดลอง	39
สรุปผลการทดลอง	43
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก	46
ประวัตินักวิจัยและคณะ	55

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 กระบวนการเตรียมและความหยาบผิวของมีดกลึงที่ใช้ในการทดลอง	29
ตาราง 3.2 ผลการทดลอง	34
ตาราง 4.1 สรุปรูปร่างไขการทดลอง	44
ตาราง 4.2 ความหนาเศษกลึงที่ Cutting speed ต่างๆ	46

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แรงที่เกิดขึ้นในการตัดแบบ oblique	3
รูปที่ 2.2 แรง N และ P บน rake face ของการตัดแบบ oblique	4
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างการตัด b , ความกว้างเศษกลึง b_c , มุม inclination angle λ และมุมการไหลของเศษกลึง η ในการตัดแบบ oblique	4
รูปที่ 2.4 a) การกลึงชิ้นงานประเภทท่อด้วยการตัดแบบตั้งฉาก b) ทฤษฎี shear plane ของ Ernst และ Mechant ในการตัดแบบตั้งฉาก	5
รูปที่ 2.5 ทิศความเร็วในการตัดแบบตั้งฉาก	6
รูปที่ 2.6 จุดที่เกิดความร้อนขึ้นขณะตัดชิ้นงานบนเครื่องมือตัด	7
รูปที่ 2.7 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าสัมผัส chip/tool interface และที่ผิวหลบ	8
รูปที่ 2.8 การยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุ 2 ชนิด	9
รูปที่ 2.9 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear)	10
รูปที่ 2.10 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวคาย (crater wear)	10
รูปที่ 2.11 การสึกหรอที่ปลายมีด (nose wear)	11
รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ของพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบกับการกำหนดอายุการใช้งานของใบมีด	11
รูปที่ 2.13 การพัฒนาของการสึกหรอ wear land	12
รูปที่ 2.14 การออกแบบเครื่องมือตัดให้สามารถฉีดพ่นสารหล่อเย็นให้เข้าสู่หน้าสัมผัสโดยตรง	13
รูปที่ 2.15 a) coordinate system ใน 1D VAM b) การเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดใน 1D VAM	15
รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดเป็นรูปวงรีใน 2D VAM	15
รูปที่ 2.17 2D VAM ที่พัฒนาโดย Shamoto และ Moriwaki	16
รูปที่ 2.18 แรงตัดที่เกิดขึ้นในการทดลอง vibration assist machining โดย Shamoto และ Moriwaki	16
รูปที่ 2.19 ทิศของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจาก vibration assist machining	17
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมเฉือน ϕ กับค่าแรงตั้งฉากในแนวการตัด K_z	19
รูปที่ 3.3 มีดกลึงที่ได้จากการเจียรผิว ($R_a = 1.55 \mu m$)	20
รูปที่ 3.5 มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิวด้วยกระดาษทรายและผงอลูมิน่า ($R_a = 0.06 \mu m$)	21
รูปที่ 3.6 เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.21 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$	22
รูปที่ 3.7 เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.30 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$	23

รูปที่ 3.8 เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.42 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$	23
รูปที่ 3.9 เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.54 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$	24
รูปที่ 3.10 เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.60 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$	24
รูปที่ 3.11 เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.74 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$	25
รูปที่ 3.12 เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.82 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$	25
รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบผิว R_a กับค่ามุมเฉือน ϕ ที่ความลึกตัด a ต่างๆ	27
รูปที่ 4.1 การกลึงโดยใช้มีดกลึงแบบโรตารี	29
รูปที่ 4.2 เครื่อง CNC แบบ multitasking 9 แกนการเคลื่อนที่	30
รูปที่ 4.3 ต่อมมีดกลึงแบบโรตารี	31
รูปที่ 4.4 มีดกลึงแบบโรตารีที่ติดตั้งอยู่กับเครื่อง Lathe multitasking CNC	32
รูปที่ 4.5 ความเร็วขณะทำการกลึงด้วยมีดกลึงแบบโรตารี	32
รูปที่ 4.6 Normal rake angle	33
รูปที่ 4.7 Velocity rake angle	33
รูปที่ 4.8 Effective rake angle	33
รูปที่ 4.9 geometric ของ Effective rake angle	34
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง inclination angle กับ effective rake angle	35
รูปที่ 4.11 ทิศทางของแรงเสียดทานในการกลึงแบบโรตารี	36
รูปที่ 4.12 tool wear ที่ cutting speed 50 m/min	37
รูปที่ 4.13 tool wear ที่ cutting speed 70 m/min	38
รูปที่ 4.14 tool wear ที่ cutting speed 90 m/min	38
รูปที่ 4.15 tool life(maximum flank wear 0.3 mm criteria) กับ cutting speed ratio ที่ความเร็วตัดต่างๆ	39
รูปที่ 4.17 การสึกหรอของเม็ดมีด a)เม็ดมีดอยู่กับที่ b)เม็ดมีดจากมีดกลึงแบบโรตารี	40
รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายขณะทำการกลึงชิ้นงานที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง a)เม็ดมีดอยู่กับที่ b) มีดกลึงแบบโรตารี CR =0.4 c) มีดกลึงแบบโรตารี CR =1.4	41

	หน้า
รูปที่ 4.19 ลักษณะผิวของเศษกลึง a) มีดมีดอยู่กับที่ b) มีดกลึงแบบโรตารี CR =0.4 c) มีดกลึงแบบโรตารี CR =1.4	42
รูปที่ 4.20 chip formation เมื่อมีดเกิดการสึกหรอ	42
รูปที่ ข.1 เขตของการสึกหรอตามมาตรฐานสากล (ISO 3685 : 1993 (E))	53

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

a คือความหนาเศษกึ่งก่อนตัด (uncut chip thickness)

a_c คือความหนาเศษกึ่ง

F_n คือแรงที่ตั้งฉากกับขอบการตัด (รูปที่ 2.1)

F_p คือแรงที่ตั้งขนานกับขอบตัด (รูปที่ 2.1)

F_c คือแรงที่ตั้งขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด (cutting force)

F_z คือ thrust force

k คือค่า flow stress

N คือแรงที่ตั้งฉาก กับ rake face ของเครื่องมือตัด (รูปที่ 2.2)

P คือแรงที่ตั้งขนาน กับ rake face ของเครื่องมือตัด (รูปที่ 2.2)

q_c คือความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพพลาสติกทุติยภูมิ (secondary plastic deformation)

q_f คือความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานบริเวณหน้าสัมผัสระหว่างมีดตัดกับชิ้นงาน

q_p คือความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพพลาสติกปฐมภูมิ (primary plastic deformation)

r_c คืออัตราส่วนการตัด

T คืออายุมีดตัด, นาที

V_B คือขนาดการสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear)

V_c คือความเร็วตามแนวมุมคายของเครื่องมือตัด

V_{chip} คือความเร็วของเศษกึ่ง

V_r คือความเร็วของชิ้นงานเมื่อเทียบกับเม็ดมีดในการกลึงแบบโรตารี

V_s คือความเร็วตามแนว shear plane

V_w คือความเร็วตัดในการกลึงแบบโรตารี

α_n คือมุมคายของเครื่องมือตัด (normal rake angle)

α_e คือ effective rake angle

α_v คือ velocity rake angle

β คือค่ามุมเสียดทาน (friction angle)

η คือมุมการไหลของเศษกึ่ง (chip flow angle)

η_f คือมุมการไหลของเศษกึ่ง (chip flow angle) ที่ได้จากการวัดแรงตัด

η_w คือมุมการไหลของเศษกึ่ง (chip flow angle) ที่ได้จากการวัดความหนาเศษกึ่ง

λ คือมุม inclination angle

ϕ คือมุม shear angle

μ_e คือสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้งานข้อเทียม (Prosthesis) ในการผ่าตัดทดแทนข้อต่อที่เสื่อมสภาพในผู้ป่วยสูงอายุสูงมากขึ้น แต่เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตข้อเทียมขึ้นใช้ตัวเองภายในประเทศ ดังนั้นข้อเทียมที่ใช้ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศทั้งหมดส่งผลให้ข้อเทียมมีค่าแพง การวิจัยและพัฒนาเพื่อให้สามารถผลิตข้อเทียมขึ้นใช้ได้ในประเทศจึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งยวดเพื่อตอบสนองความต้องการที่จะมีเพิ่มขึ้นในอนาคต

ในการผลิตข้อเทียมจำเป็นต้องใช้วัสดุทางการแพทย์ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถใช้ได้ในร่างกายมนุษย์ (biocompatible) ซึ่งวัสดุที่ใช้ในปัจจุบันคือโลหะจำพวกไทเทเนียม (titanium) ,โคบอลท์ โครเมียม (cobalt chromium) และ สแตนเลส สตีล (stainless steel) เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญในงานเชิงวิศวกรรมเนื่องจากคุณสมบัติความแข็งแรงต่อน้ำหนัก (strength-to-weight) ที่ดีและความสามารถในการทนการกัดกร่อน (corrosion resistance) ที่สูง ปัจจุบันมีการใช้งานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในวงการวิศวกรรมชีวเวช (biomedical engineering) แต่เนื่องจากโลหะเหล่านี้ มีความสามารถในการขึ้นรูป (machinability) ที่ต่ำ โดยจัดเป็นวัสดุที่ขึ้นรูปได้ยาก (hard-to-cut material) จึงประสบปัญหาในกระบวนการผลิตหลายประการเช่น การสึกหรอของเครื่องมือตัด (tool wear) ปัญหาความราบเรียบของพื้นผิว(surface roughness) ปัญหาการสั่นสะเทือน (vibration) และปัญหาการทำปฏิกิริยาของเนื้อชิ้นงานกับมีดกัด (chemical reaction) เป็นต้น การแก้ปัญหาจำเป็นต้องอาศัยการวิจัยและพัฒนาเทคนิควิธีการให้สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่เนื่องจากในประเทศไทยการใช้งานวัสดุที่ขึ้นรูปได้ยาก ยังอยู่ในวงที่จำกัดดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาเทคนิคและวิธีการขึ้นรูปวัสดุที่ขึ้นรูปได้ยากได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะมุ่งเน้นไปที่การลดปัญหาการสึกหรอของเครื่องมือตัดเนื่องจากการผลิตข้อเทียมในเชิงอุตสาหกรรมต้นทุนการผลิตเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด หากงานวิจัยสามารถหาเทคนิคการลดการสึกหรอแม้จะเพียงเล็กน้อยแต่เมื่อใช้ในการผลิตจำนวนมากแล้วจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตไปได้อย่างมากส่งผลให้ราคาชิ้นงานถูกลง เทคนิควิธีการที่วิจัยได้ได้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวัสดุที่ขึ้นรูปได้ยากประเภทอื่นในระบบอุตสาหกรรมของประเทศไทยได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงกลไกการกัดขึ้นรูปชิ้นงาน (Cutting Mechanism) ในการผลิตข้อต่อเทียมที่ใช้ภายในร่างกายด้วยวัสดุทางการแพทย์ (Biocompatible Material)
2. เพื่อปรับปรุง Machinability ของการกัดขึ้นรูปชิ้นงานที่ใช้วัสดุทางการแพทย์ (Biocompatible Material) ให้มีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1. เครื่องมือตัดที่ใช้ในงานวิจัยคือมีดกลึง
- 1.3.3. การสึกหรอของมีดกลึงจะวัดตามมาตรฐาน ISO 3685

1.3.4.วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยคือวัสดุทางการแพทย์ เช่น โลหะไทเทเนียม Ti-6Al-4V หรือ สเตนเลส สตีลเกรด 316 L เป็นต้น

1.3.5.การทดลองในงานวิจัยจะอาศัยเครื่อง CNC (computer numerical control) ในการควบคุมเครื่องมือตัด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1.สามารถพัฒนาเทคนิควิธีการขึ้นรูปวัสดุกัดขึ้นรูปได้ยากได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.2.สามารถนำเอาองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานผลิตข้อเทียมเพื่อใช้ในประเทศไทย

1.4.3.สามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม

1.4.4.สามารถพัฒนาการวิจัยต่อเนื่องเพื่อผลิตข้อเทียมทางการแพทย์ชนิดอื่นได้

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1.5.1 ทำการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุกัดขึ้นรูปได้ยากที่จะนำมาใช้ในการผลิตข้อเทียมอันได้แก่ โลหะไทเทเนียม Ti-6Al-4V และ stainless steel 316L โดยศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุ (material properties) การใช้งานและความเป็นไปได้ในการจัดหาในประเทศไทย

1.5.2 สํารวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปวัสดุกัดขึ้นรูปได้ยากโดยศึกษาถึงเทคนิควิธีการที่ใช้ในการขึ้นในปัจจุบันและศึกษาปัญหาที่พบในงานการผลิตจริงเพื่อนำมาปรับปรุงให้การขึ้นรูปมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

1.5.3 ศึกษาหลักการการตัด อุณหภูมิในการตัดและการสึกหรอของเครื่องมือตัดรวมถึงมาตรฐานในการวัดการใช้งานเครื่องมือตัดโดยยึดตามมาตรฐาน ISO 3685

1.5.3 เลือกวิธีการและปัจจัยที่จะทำการพัฒนาและปรับปรุงการขึ้นรูปวัสดุกัดขึ้นรูปได้ยาก โดยในงานวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การลดแรงที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือตัดเพื่อจุดประสงค์ให้ลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดลดลง

1.5.4 ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาแนวโน้มความเป็นไปได้ของเทคนิควิธีการที่เลือกใช้

1.5.5 ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

1.5.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.7 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

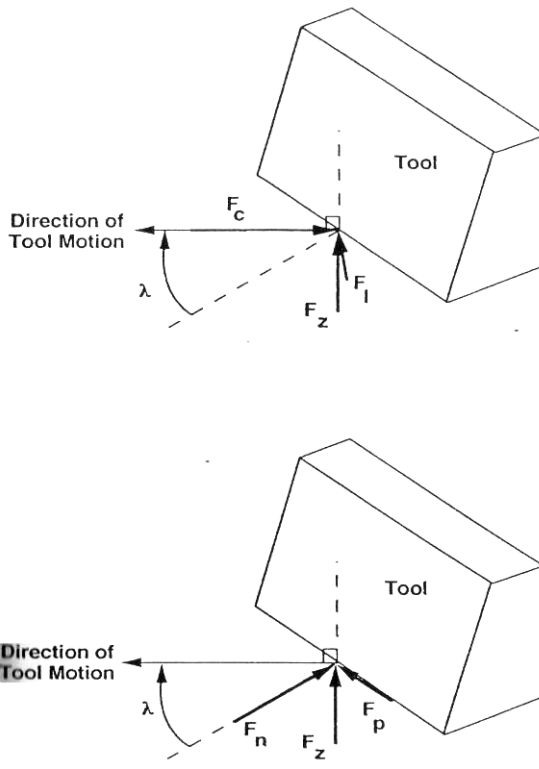
1.5.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรม

2.1.กลไกของการตัด (Cutting mechanism) [1]

ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานนั้นสามารถแบ่งได้เป็นหลายวิธีการเช่นการกลึง (turning) การ milling และการเจาะ (drilling) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ถึงแม้ว่าเครื่องมือจะมีรูปร่างแตกต่างกันแต่ก็อาศัยหลักการเดียวกันในการตัดชิ้นงาน ซึ่งการตัดแบบพื้นฐานในสองมิติจะเป็นการตัดแบบตั้งฉาก (orthogonal cutting) โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของคมมีดตั้งฉากไปบนชิ้นงานทำให้เกิดการหลุดของเนื้อชิ้นงานแต่เมื่อพิจารณาการตัดที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นโดยพิจารณาการตัดในสามมิติจะเป็นการตัดแบบเฉียง (oblique cutting) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แรงที่เกิดขึ้นในการตัดแบบ oblique

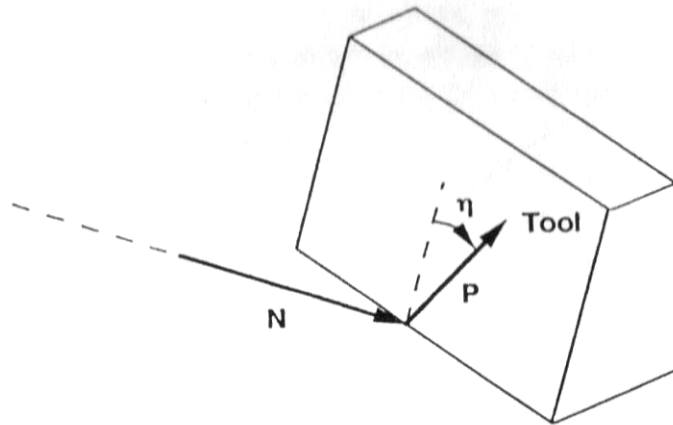
ในการพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นบนเครื่องมือตัดจะพิจารณาได้ดังนี้ แรง F_n คือแรงที่ตั้งฉากกับขอบการตัด, F_c คือแรงที่ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด (cutting force), F_p คือแรงที่ขนานกับขอบตัด, F_z คือแรงที่ตั้งฉากกับระนาบของแรง F_n และ F_p (thrust force); F_l คือแรงที่ตั้งฉากกับระนาบของแรง F_c และ F_z แรง F_c, F_l, F_n และ F_p มีความสัมพันธ์กันโดยมุมเอียง λ ตามสมการ

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

หากพิจารณาจาก rake face ของเครื่องมือตัดตั้งรูปที่ 2.2 จะสามารถพิจารณาแรงได้เป็นสองแรงคือแรง N และ P ซึ่งเป็นแรงที่ตั้งฉาก และขนานกับ rake face ตามลำดับ สามารถหาได้ดังสมการ

$$N = F_n \cdot \cos \alpha - F_z \cdot \sin \alpha$$

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

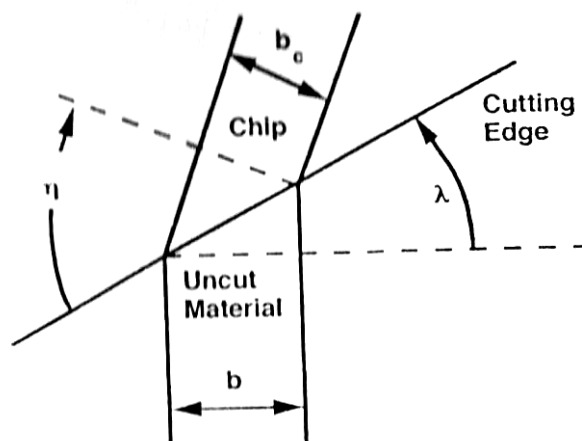


รูปที่ 2.2 แรง N และ P บน rake face ของการตัดแบบ oblique

โดย α คือมุมคายของเครื่องมือตัด (normal rake angle) และ η คือมุมการไหลของเศษกลึง (chip flow angle) ซึ่งเป็นมุมที่วัดจากการไหลของเศษกลึงและตั้งฉากกับขอบการตัดซึ่งสามารถหาได้สองวิธีคือการวัดจากแรงในการตัด η_f หาได้จากความสัมพันธ์

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

หรือหาได้จากการวัดความกว้างของเศษกลึง η_w ตามรูปที่ 2.3



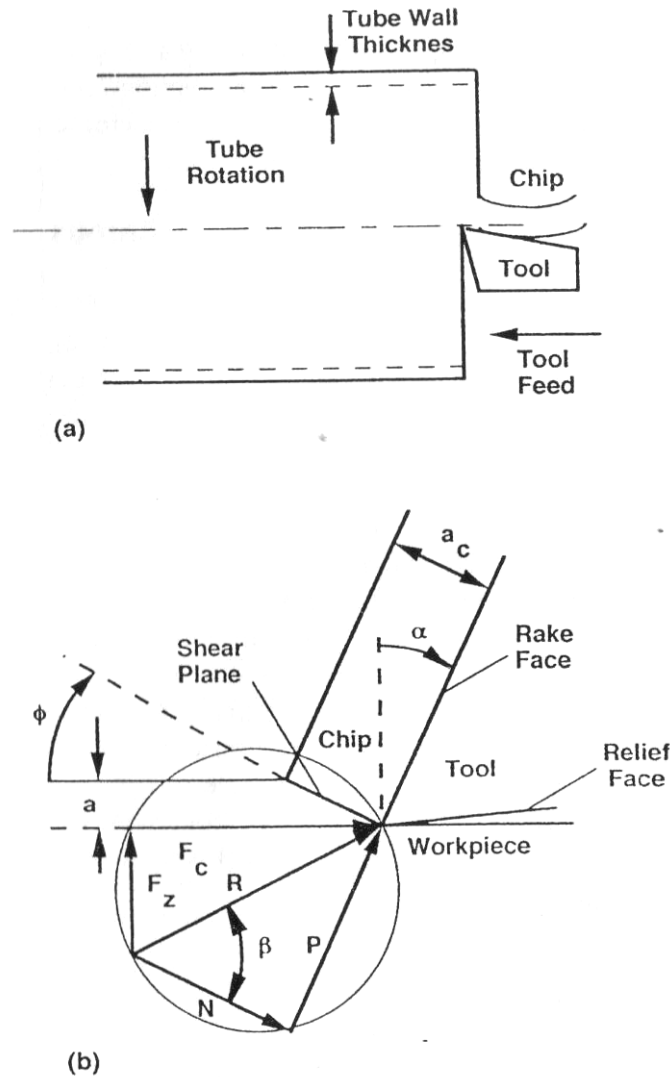
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างการตัด b, ความกว้างเศษกลึง b_c มุม inclination angle λ และมุมการไหลของเศษกลึง η ในการตัดแบบ oblique

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) เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาถึงพลังงานและภาวะโหลดที่ส่งผลถึงการเปลี่ยนรูปของเครื่องมือตัดและวัสดุ การวัดค่าแรงที่ใช้ในกระบวนการตัดมักจะถูกนำไปใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติการขึ้นรูป (machinability) โดยแรงที่ใช้ในการตัดจะขึ้นกับความเร็วในการตัด (cutting speed), อัตราการป้อน (feed rate), ระยะกินลึก (depth of cut), รูปร่างของเครื่องมือตัด (tool geometry) และคุณสมบัติของวัสดุและเครื่องมือตัด ในกระบวนการตัดจะเกิดความเค้นเฉือนขึ้นตามแนว shear plane ดังรูปที่ 2.4



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

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

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

โดย r_c คืออัตราส่วนการตัด

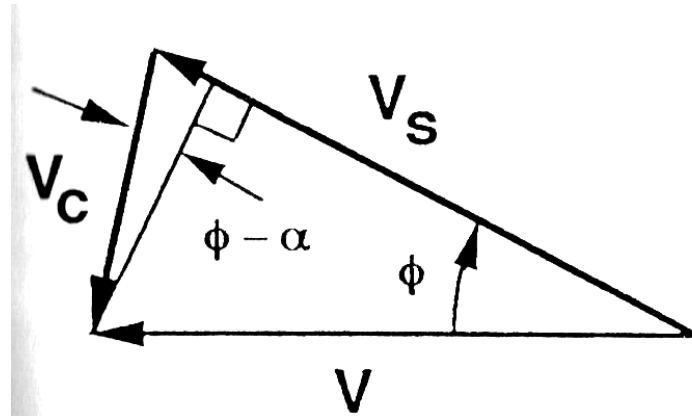
$$r_c = \frac{a}{a_c} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (2-6)$$

แรงรวมที่ปลายมีด, R จะกำหนดให้กระทำในมุม β ซึ่งเรียกว่าค่ามุมเสียดทาน (friction angle) โดยมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานดังสมการ

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

ต่อมาจะพิจารณาถึงความเร็วตามแนว Shear plane, V_s และความเร็วตามแนวมุมคายของเครื่องมือตัด, 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 ทิศความเร็วในการตัดแบบตั้งฉาก

จากกฎการอนุรักษ์มวลจะได้

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

ภายใต้ข้อกำหนดเหล่านี้ค่าแรงในการตัด F_c และแรงในแนวแกน F_z สามารถหาได้จากสมการ

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

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

สำหรับวัสดุเหนียว (ductile work material) เช่นเหล็กคาร์บอนต่ำหรือโลหะอลูมิเนียมค่า k ซึ่งคือค่า flow stress จะมีค่าใกล้เคียงกับค่า yield stress ของวัสดุชนิดนั้น ซึ่งจะมีค่าประมาณ หนึ่งในสามของค่าความแข็งดังนั้นในกรณีที่ไม่สามารถทำการทดลองหาค่า k ได้จะกำหนดให้ค่า $k = HB / 3$

ในการหาค่า ϕ เพื่อใช้ในการคำนวณแรงที่ใช้ในการตัด Merchant ได้กำหนดให้กำลังในการตัด (cutting power) สามารถหาได้จาก $V \cdot F_c$ และค่า ϕ จะมีค่าที่ทำให้ใช้กำลังน้อยสุด หากค่า k และ β ไม่ขึ้นกับ ϕ จะได้ความสัมพันธ์ตามสมการ

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

ภายใต้ข้อกำหนดนี้ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นตาม Shear plane

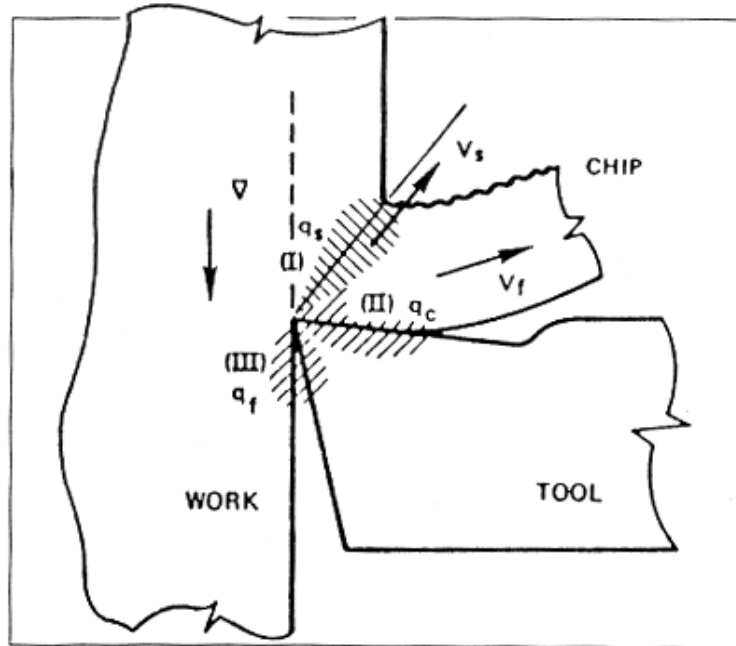
2.2. อุณหภูมิและความร้อนที่เกิดจากการตัด [2]

พลังงานกลที่เกิดจากการตัดจะเปลี่ยนแปลงเป็นความร้อนทำให้เกิดอุณหภูมิตัดที่สูงขึ้น โดยความร้อนหลักที่เกิดขึ้นในการตัดแสดงดังรูปที่ 2.6

1. จุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสภาวะพลาสติกปฐมภูมิ (primary plastic deformation), q_s เพราะถูกแรงตัดเฉือนกระทำแล้วขยายตัวไปตามทิศทางตัดกลึง

2. จุดที่สัมผัสระหว่างเศษกลึงที่ถูกแรงตัดเฉือนกระทำและเสียดสีไปกับมุมคายของมีดกลึงจะเกิดสภาวะพลาสติกทุติยภูมิ (secondary plastic deformation), q_c

3. จุดที่สัมผัสระหว่างมีดกลึงกับชิ้นงานเกิดการเสียดสีกันบริเวณหน้ามีดและเกิดความร้อนขึ้น q_f



รูปที่ 2.6 จุดที่เกิดความร้อนขึ้นขณะตัดชิ้นงานบนเครื่องมือตัด

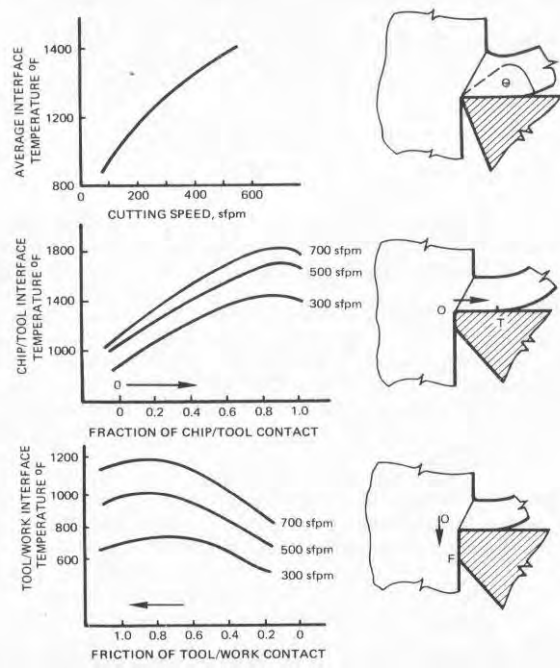
ความร้อนที่เกิดขึ้นที่บริเวณการเปลี่ยนแปลงสภาวะพลาสติก q_s และที่จุดที่สัมผัสระหว่างเศษกลึงที่ถูกแรงตัดเฉือนกระทำและเสียดสีไปกับมุมคายของมีดกลึง q_c สามารถหาได้จากพลังงานที่เกิดจากการตัดตั้งสมการ

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

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

(2-12)[20]

เนื่องจากอุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกับการสึกหรอของเครื่องมือตัด ความร้อนที่เกิดจากแรงเฉือนหลักส่วนหนึ่งจะส่งผ่านไปยังเศษกลึง และอีกส่วนหนึ่งจะผ่านไปยังชิ้นงาน สำหรับความร้อนที่เกิดจากความเสียดทานจะส่งผ่านไปที่เครื่องมือตัดและชิ้นงาน โดยความร้อนที่กระจายไปยังเศษกลึง, ชิ้นงานและเครื่องมือตัดได้ถูกทำการทดลองโดย Schmidt (2) และแสดงผลดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าสัมผัส chip/tool interface และที่ผิวหลบ

ความร้อนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทเข้าสู่เศษกลึงและหลุดออกไปจากตัวชิ้นงานและมีบางส่วนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวชิ้นงานและเครื่องมือตัด ดังนั้นความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ชิ้นงานและเครื่องมือตัดนี้จะมากขึ้นเมื่ออัตราการตัดชิ้นงาน (rates of metal removal) ลดลง

2.3.การสึกหรอของเครื่องมือตัด (tool wear) [3]

2.3.1.กลไกของการสึกหรอ

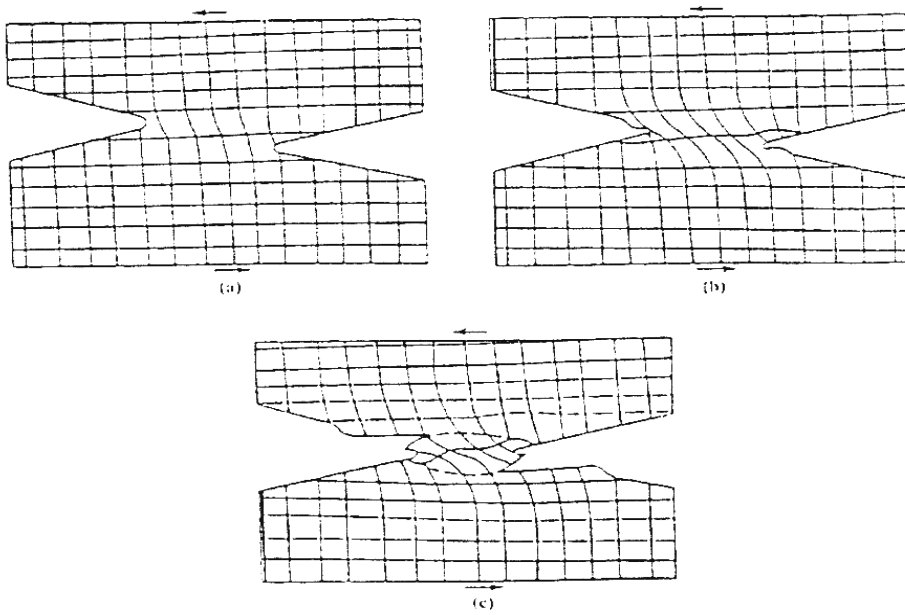
การสึกหรอของเครื่องมือตัด (tool wear) หมายถึง การใช้งานจนหมดสภาพระหว่างทำงานตัดเนื้อที่ส่วนของมีดตัดถูกกระทำด้วยพลังงานความร้อน และพลังงานกล ซึ่งกลไกการสึกหรอเนื่องจากการขัดสี จากการศึกษาลักษณะของการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานทั้งสองชิ้นขัดกันพบว่ามีอยู่ 4 ลักษณะ คือ

2.3.1.1.การสึกหรอเนื่องจากการขัดสี (abrasion Wear)

เกิดจากส่วนประกอบบางตัวที่คมหรือแข็งของเนื้อชิ้นงาน เมื่อส่วนประกอบเหล่านี้สัมผัสและถูไถไปบนผิวเครื่องมือตัด จึงเกิดการขัดสีกันและสึกหรอได้ เหล็กกล้า เหล็กหล่อ และนิกเกิลผสม ที่มีส่วนประกอบที่แข็งของคาร์ไบด์ ออกไซด์และไนไตรต์จะเป็นสาเหตุทำให้เครื่องมือสึกหรอได้ง่าย และที่สังเกตได้ง่ายคือเมื่อทำการกลึงชิ้นส่วนงานหล่อที่มีสเกลของออกไซด์ หรือที่มีทรายฝังอยู่จะทำให้เครื่องมือสึกหรอมากและรวดเร็ว การสึกหรอแบบนี้เกี่ยวข้องกับ การตัด และขึ้นอยู่กับความแข็ง ความยืดหยุ่น และรูปร่าง ของผิวหน้าทั้งสองด้วย

2.3.1.2 การสึกหรอเนื่องจากการยึดเกาะของวัสดุ (adhesion wear)

การสึกหรอเนื่องจากการยึดเกาะของวัสดุ (adhesion wear) เกิดจากการที่ผิววัสดุ 2 ชนิดรวมยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน อันเนื่องมาจากแรงอัดและการเยิ้มติดกัน แล้วเกิดแรงเฉือนจนทำให้บริเวณที่ยึดเกาะเป็นเนื้ออันเดียวกันนั้น ขาดออกจากวัสดุเดิมดังแสดงตามข้อสันนิษฐาน ดังรูปที่ 2.8 (a) และ (b) แล้วเกิดการฉีกขาดดังแสดงในรูป (c)



รูปที่ 2.8 การยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุ 2 ชนิด

ขณะตัดโลหะมักจะเกิดเหตุการณ์เหล่านี้ได้ เนื้อวัสดุของปลายคมตัดจะแตกและติดไปกับเศษชิ้นงานได้ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะตัดโลหะ และแรงกระทำที่เกิดขึ้นจะมีอิทธิพลต่อการเกิดการยึดเกาะกันของวัสดุแต่ละคู่ (เครื่องมือตัดกับชิ้นงาน) การยึดเกาะนี้จะเกิดที่ความเร็วตัดต่ำๆแต่จะขึ้นกับเวลา และมีแนวโน้มว่าจะเกิดน้อยลงเมื่อใช้ความเร็วตัดสูงๆ ถ้าเป็นการตัดที่รุนแรงหรือมีการสั่นสะเทือนหรือกระแทกเป็นช่วงๆ จะทำให้เกิดการยึดเกาะเร็วขึ้น และสึกหรอมาก

2.3.1.3. การสึกหรอเนื่องจากการแพร่ซึมส่วนผสมเคมี (diffusion Wear)

การสึกหรอเนื่องจากการแพร่ซึมส่วนผสมเคมี (diffusion Wear) เคมีนี้หรือของธาตุเหล่านี้เกิดในสถานะของแข็ง (solid – state diffusion) ที่อะตอมเคลื่อนย้ายจาก lattice หนึ่ง จากที่มีอะตอมเข้มข้นกว่าไปยังที่มีอะตอมเบาบางกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า บรรยากาศแวดล้อมมากก็ยิ่งมีการแพร่ซึม ส่วนผสมได้มากขึ้น ขณะตัดโลหะ เมื่อเกิดการยึดเกาะของวัสดุ และเกิดอุณหภูมิสูงเพียงพอในบริเวณที่ยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกันนี้ จะเกิดการไหลของอะตอมจากเนื้อวัสดุเครื่องมือตัดไปยังเนื้อชิ้นงาน ซึ่งปริมาณการแพร่ซึมจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเนื้อวัสดุทั้งสอง และระดับการสั่นของอะตอมซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าเวลาที่สัมผัสยึดเกาะกันอยู่นานก็จะแพร่ซึมได้มาก แต่ถ้าใช้ความเร็วตัดสูงก็จะแพร่ซึมได้น้อย เครื่องมือตัดที่ทำจากเหล็กกล้าไฮ-สปีด จะมีอะตอมของธาตุคาร์บอนของเครื่องมือตัดแพร่ซึมเข้าไปสู่วิวชิ้นงาน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมบริเวณนี้ คุณสมบัติของเครื่องมือตัดก็จะเปลี่ยนไป จะสึกหรอได้ง่าย

2.3.1.4 การสึกหรอเนื่องจากการล้า (fatigue wear)

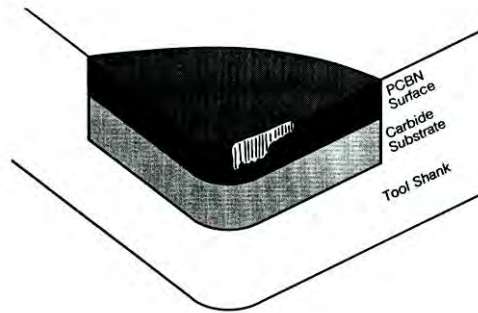
เมื่อผิวของวัสดุหนึ่งมีปฏิกิริยาขึ้นมาแล้วขัดสีไปบนผิวหน้าของวัสดุอีกชนิดหนึ่ง จะทำให้เกิดแรงกดขึ้นที่ผิวหน้าข้างหน้าปฏิกิริยา ขณะเดียวกัน ก็เกิดแรงดึงขึ้นข้างหลังปฏิกิริยา ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการล้า (fatigue failure) ตัวขึ้น ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วจะทำให้เกิด crack ขึ้นและจะดำเนินต่อไปยังผิวหน้าทำให้ผิวหน้าหลุดออกไปในกรณีที่พบทั่วไปปรากฏว่าผิวที่หลุดมาโดยใช้วิธีนี้มักเป็น oxide film ดังนั้นการสึกหรอเนื่องจากการล้าตัวนี้จึงเกิดขึ้นกับ oxide film มากกว่าโลหะ

2.3.2.ชนิดการสึกหรอบนคมตัดของเครื่องมือตัด

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

2.3.2.1.การสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear)

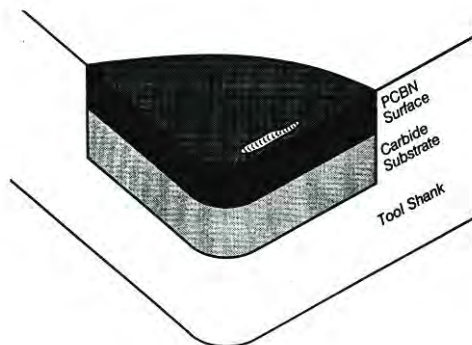
การสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear) จะเกิดขึ้นเป็นแนวยาวด้านข้างของคมตัดตั้งในรูปที่ 29 การสึกหรอชนิดนี้เกิดจากการขัดสีกันระหว่างด้านข้างของมีดกลึงกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือน เมื่อการสึกหรอบนผิวหลบเกิดขึ้นมากก็จะมีอัตราการขัดสีเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องการกำลังสำหรับการตัดเฉือนมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.9 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear)

2.3.2.2.การสึกหรอบนผิวคาย (Crater wear)

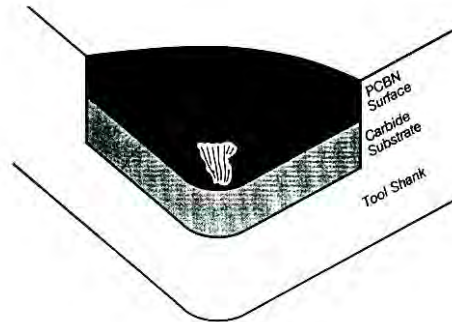
การสึกหรอบนผิวคาย (Crater wear) จะมีลักษณะเป็นหลุมหรือเป็นร่องลึก เกิดใกล้ๆ กับคมตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.10 การสึกหรอบนผิวคายเกิดจากการไหลของเศษกลึงไปบนผิวคายของมีดกลึง เมื่อการสึกหรอบนผิวคายเกิดขึ้นมากในที่สุดก็จะทำให้คมตัดเกิดการแตกหักได้



รูปที่ 2.10 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวคาย (crater wear)

2.3.2.3. การสึกหรอที่ปลายมีด (Nose wear)

การสึกหรอที่ปลายมีด (Nose wear) เป็นการสึกหรอที่ปลายมีดกึ่งหรือจุดที่เกิดการเสียดสีระหว่างปลายมีดกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือนดังแสดงในรูปที่ 2.11 การสึกหรอที่ปลายมีด บนคมตัดจะส่งผลกับคุณภาพของผิวชิ้นงาน

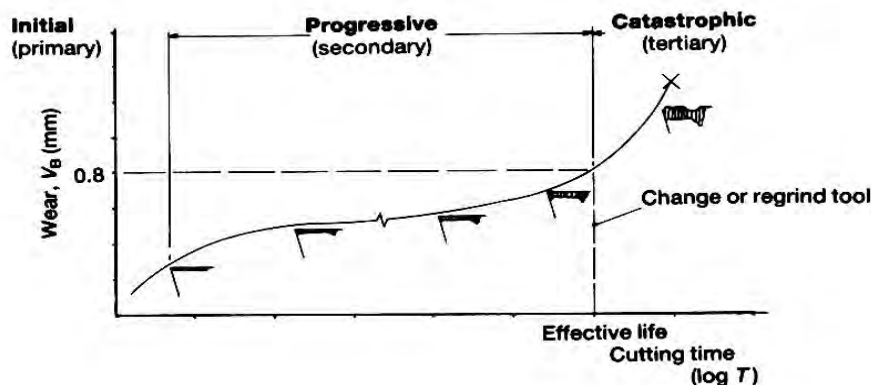


รูปที่ 2.11 การสึกหรอที่ปลายมีด (nose wear)

2.3.3. การสึกหรอคมมีด กับการอายุการใช้งาน

การสึกหรอของคมตัดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า มีดมีการหมดสภาพมีขนาดเกินที่กำหนดไว้ ซึ่งขนาดของการสึกหรอของคมตัดที่ใช้เป็นเครื่องมือในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัดนั้น อาจจะสามารถประมาณจากขนาดของการสึกหรอแบบหลุมบนผิวคายหรือขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบก็ได้ ขนาดของการสึกหรอที่ใช้ในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัด จะเป็นขนาดของการสึกหรอที่ถึงจุดที่การสึกหรอเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลกระทบต่อสมบัติที่จะใช้งานต่อไป ซึ่งเรียกจุดนี้ว่าจุดวิกฤติ (Critical point) เช่น ถ้าพิจารณาพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear) ในระหว่างอายุของใบมีดจะพบว่ามี 3 ชั้น คือ การสึกหรอขั้นแรก (primary wear or Initial wear)

การสึกหรอขั้นที่สอง (Secondary wear or progressive wear) และขั้นสุดท้ายเป็นการสึกหรอขั้นที่สาม (tertiary wear or catastrophic wear) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ของพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบ กับการกำหนดอายุการใช้งานของใบมีด

การสึกหรอขั้นแรกเกิดขึ้นเมื่อนำมีดกึ่งที่เพิ่งลับใหม่ หรือใบมีดใหม่มาใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงาน คมตัดก็จะเกิดความเสียหายอย่างรวดเร็วจากรูปที่ 2.12 กราฟแสดงขนาดของการสึกหรอเทียบกับเวลา แสดง

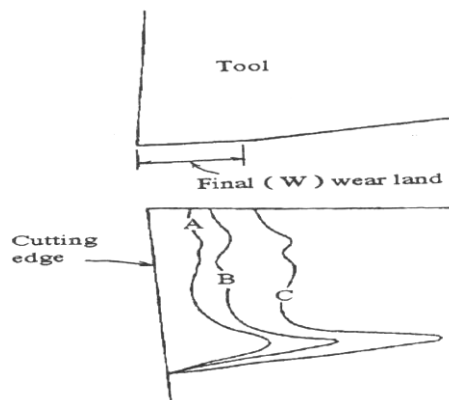
ให้เห็นว่าอัตราการสึกหรอในขั้นแรกจะสูงมากซึ่งอัตราการสึกหรอนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้ในการตัดเฉือน และวัสดุของชิ้นงานที่ทำการตัดเฉือน

การสึกหรอขั้นที่สองโดยในการสึกหรอในขั้นนี้เป็นการสึกหรอที่ดำเนินต่อเนื่องมาจากการสึกหรอในขั้นแรก แต่การสึกหรอเพิ่มขึ้นในลักษณะคองที่ คืออัตราการสึกหรอน้อยกว่าช่วงแรก จุดสิ้นสุดของการสึกหรอในช่วงนี้จะเรียกว่าจุดวิกฤติของการสึกหรอบนผิวหอบ (Critical point of flank wear) หรือเรียกว่า critical flank ซึ่งจุดนี้มักใช้เป็นจุดสิ้นสุดของอายุการใช้งานของใบมีดในกรณีนี้จะสิ้นสุดเมื่อการสึกหรอบนผิวหอบ (flank wear, V_B) มีขนาดมากกว่า 0.3 มม.

การสึกหรอขั้นที่สาม การสึกหรอในขั้นนี้เป็นการสึกหรอขั้นสุดท้าย การสึกหรอจะเกิดขึ้นมากและรวดเร็วซึ่งจะนำไปสู่การสูญเสียสภาพการใช้งาน (Failure) ของใบมีด insert การสูญเสียสภาพการใช้งานนี้เกิดจากการประกอบกันของการสึกหรอบนผิวหอบที่มีค่าสูงกับการการสึกหรอบนผิวคายที่มีขนาดใหญ่

2.3.4. การวัดอายุของมีด (measuring tool life)

การศึกษาถึงการวัดอายุของมีดทำให้เราสามารถทราบถึงการแตกหักที่เกิดจากชิ้นงานการสึกหรอมากเกินไปทำให้เกิดการแตกหักของปลายมีดคมตัด หรืออาจเกิดการสึกหรอใช้งานไม่ได้ และทำให้ข้อแตกต่างของการออกแบบ และการเลือกเครื่องมือไม่เหมาะสม ปกติอายุคมมีดของมีดจะเกิดประโยชน์หรือประสิทธิภาพสูงสุดในขบวนการผลิตและจะทำให้เกิดการสึกหรอที่มีลักษณะค่อยๆ เกิดที่ด้านข้างของมีดตัด (มีดตัดทำงานติดต่อกัน) ส่วนการสึกหรอด้านหน้านั้นเกิดจากเศษกลึงที่ไหลออกจากมีดตัดหรือในพื้นที่ที่เท่าๆกัน การสึกหรอที่เกิดจากเศษกลึงไหลผ่านมีดตัดจะทำให้เกิดการสึกหรอลักษณะเป็นแอ่งลึกบน Rank face ถ้าอธิบายในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การพัฒนาของการสึกหรอ wear land

ถึงอย่างไรการสึกหรอด้านหน้าที่เกิดจากการตัด จะทำให้การตรวจสอบความแข็งและปกติการสึกหรอด้านข้างจะมีอิทธิพลมากที่สุดที่ทำให้มีดตัดเกิดความเสียหาย และจะเป็นการวัดอายุมีดตัดที่เหมาะสมในการสึกหรอส่วนนี้ ปัญหาที่เกี่ยวกับการสึกหรอด้านข้างของมีดตัดลักษณะค่อยๆ เกิดและ จะทำให้ทราบถึงอายุของมีดตัด

Frederick W. Taylor ได้ทดลองปฏิบัติงานและได้แสดงการเปรียบเทียบลำดับของ เครื่องมือตัด และเสนอแนวคิดว่า ช่วงเวลา 20 นาทีแรกของการตัด มีดจะมีอายุมากที่สุดหลังจากเพิ่มความเร็วดัด จะทำให้มีดตัด

เกิดการอ่อนตัวลงภายหลังจาก 20 นาที ของการปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของการสึกหรอที่เร็วที่สุด และถูกต้องจะสัมพันธ์กับ การทำงานของเครื่องจักรชิ้นส่วน

ต่อมาในปี 1907 Taylor ได้แสดงเอกสารความสัมพันธ์ระหว่างอายุมีดตัดและความเร็วในการตัดได้ใกล้เคียงมากที่สุด และได้เป็นสมการดังต่อไปนี้

$$VT^n = C \quad (2-12)$$

V = ความเร็วตัด

T = อายุมีดตัด , นาที

n = ค่าขึ้นอยู่กับเครื่องมือและชิ้นงาน

C = ค่าคงที่ กำหนดจากวัสดุของชิ้นงานหรือมีดตัดในเวลา 1 นาที

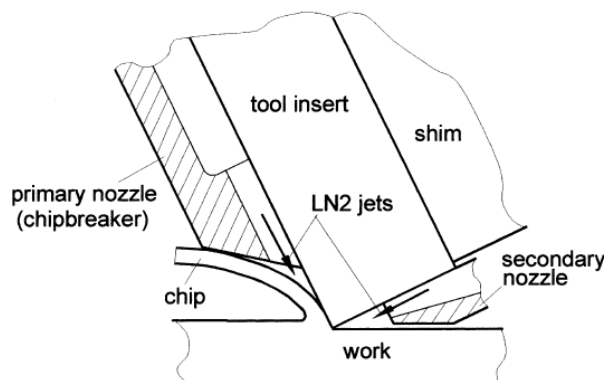
สมการนี้มีชื่อเรียกว่า สมการของเทย์เลอร์หรือ สมการอายุใช้งานของมีดตัด

2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้สาร Cryogenic ในการหล่อเย็นขณะทำการขึ้นรูปวัสดุกัดขึ้นรูปได้ยาก

เทคโนโลยีการใช้ความเย็นต่ำ (Cryogenic) คือการใช้สารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -120°C [18] ในการทำความเย็น ในปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายวงการเช่น การเก็บรักษาน้ำเชื้อในวงการเกษตรหรือในทางการแพทย์ การทำความเย็นในงานทางอวกาศ รวมถึงในวงการอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ซึ่งการใช้สารความเย็นต่ำสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการขึ้นรูปวัสดุกัดขึ้นรูปได้ยากได้

Shane Y. Hong, Yucheng และ Ding, Woo-cheol Jeong [11] ได้ทำการทดลองใช้ในโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็นในการขึ้นรูปโลหะไทเทเนียมโดยศึกษาความสัมพันธ์แรงเสียดทานบริเวณหน้าสัมผัสเศษกับเครื่องมือตัดที่เกิดขึ้นขณะทำการขึ้นรูป ในการทดลองได้ติดตั้งหัวฉีดไนโตรเจนเหลวที่บริเวณ chip breaker ดังรูปที่ 2.14 เพื่อให้ไนโตรเจนเหลวฉีดเข้าถึงหน้าสัมผัสโดยตรง ผลการทดลองปรากฏว่าการใช้ไนโตรเจนเหลวช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานไปได้มาก และช่วยเพิ่มมุมเฉือนและลดขนาดของความกว้างของ secondary deformation zone แต่ผลของความเย็นกลับทำให้เนื้อชิ้นงานมีความแข็งแรงขึ้นส่งผลให้แรงในการตัดเพิ่มขึ้น ดังนั้นข้อเสนอแนะในการทดลองคือการปรับหัวฉีดให้ไนโตรเจนเหลวฉีดโดนเนื้อวัสดุให้น้อยลงและโดนเครื่องมือตัดให้มากขึ้น



รูปที่ 2.14 การออกแบบเครื่องมือตัดให้สามารถฉีดพ่นสารหล่อเย็นให้เข้าสู่หน้าสัมผัสโดยตรง

K.A. Venugopal ,S. Paul b และA.B. Chattopadhyay[12] ได้ทำการทดลองโดยใช้ในโตรเจนเหลวในการหล่อเย็นเครื่องมือตัดและศึกษาถึงการเกิดการสึกหรอของเครื่องมือตัดในการทดลองได้ใช้เพลาลโลหะ

ไทเทเนียม Ti-6Al-4V และกลึงด้วยมีดกลึง microcrystalline uncoated carbide ภายใต้สภาวะ dry cut, ใช้สารหล่อเย็นทั่วไปและใช้สารหล่อเย็นไนโตรเจนเหลวโดยทดลองในการในช่วงการตัด 70-100 m/min ผลปรากฏว่าการใช้ไนโตรเจนเหลวช่วยลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดโดยช่วยลด adhesion-dissolution-dissolution tool wear

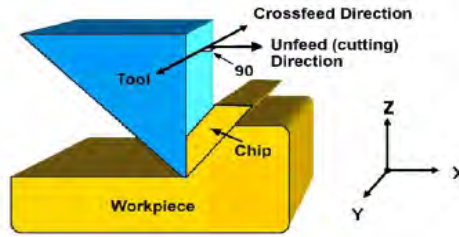
Ahsan Ali Khan และ Mirghani I. Ahmed [13] ได้ทำการทดลองออกแบบเครื่องมือนำไนโตรเจนเหลวฉีดพ่นเข้าสู่บริเวณตัดโดยทดลองขึ้นรูปสแตนเลส สตีล ผลการทดลองปรากฏว่าการใช้ไนโตรเจนเหลวช่วยให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดสูงขึ้นกว่าการตัดแบบใช้สารหล่อเย็นทั่วไปถึงสี่เท่าและการใช้ไนโตรเจนเหลวจะมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อความเร็วตัดสูงขึ้นเนื่องจากที่ความเร็วตัดสูงสารหล่อเย็นทั่วไปไม่สามารถระบายความร้อนได้ทันดังนั้นการใช้สารหล่อเย็นประเภท cryogenic จึงเหมาะกับการตัดที่ความเร็วรอบตัดสูง

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิตัดจะพบว่าการขึ้นรูปวัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำเช่นไทเทเนียม(Ti-6Al-4V)มีค่า $k=7$ W/m.K [4] หรือสแตนเลส สตีลมีค่า $k= 13.4$ W/m.K [17] การใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็นจะช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดได้มากกว่าสารหล่อเย็นทั่วไป แต่จากการศึกษาวิจัยพบว่าการใช้ไนโตรเจนเหลวในการหล่อเย็นยังมีปัญหาเรื่องความแข็งแรงของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากไนโตรเจนเหลวที่ฉีดเข้าสู่บริเวณตัดกลับทำให้ชิ้นงานมีอุณหภูมิลดลงด้วยเมื่ออุณหภูมิของชิ้นงานลดลงจะส่งผลให้ความแข็งแรงของชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วยดังนั้นจึงต้องใช้แรงในการตัดเพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยจะศึกษาเทคนิควิธีการใช้ไนโตรเจนเป็นสารหล่อเย็นให้มีประสิทธิภาพโดยไม่ทำให้แรงในการตัดเพิ่มขึ้น

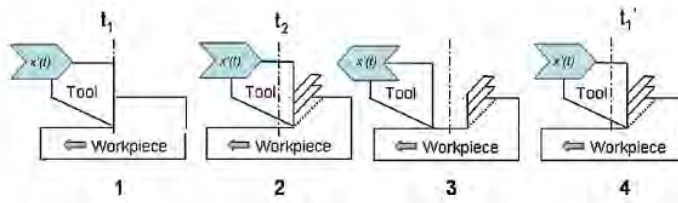
J. Barry , G. Byrne, D. Lennon [14] ได้ทำการทดลองศึกษาการเกิดเศษกลึงแบบ saw-tooth ซึ่งเป็นลักษณะเศษกลึงที่เกิดขึ้นในวัสดุ hard to cut โดยการศึกษาจะใช้วิธี acoustic emission (AE) ในการวิเคราะห์การเกิดเศษกลึง saw-tooth ในการทดลองได้ใช้ โลหะไทเทเนียม Ti-6Al-4V ภายใต้สภาวะความเร็วตัด 0.25-3 m/s อัตราป้อน 20-100 μm พบว่าที่สภาวะนี้เกิดเศษกลึง saw-tooth ขึ้นและได้สรุปว่าเศษกลึง saw-tooth เกิดจาก thermo-plastic instability และลักษณะเฉพาะตัวของกระบวนการขึ้นรูปโลหะไทเทเนียมอีกประการหนึ่งคือการเชื่อมติดกันระหว่างเศษกลึงกับเครื่องมือตัด พบว่ามีความสัมพันธ์กับความเร็วตัด โดยยิ่งความเร็วตัดสูงจะทำให้เกิดการเชื่อมติดที่สูงตามไปด้วยและการเชื่อมติดยังเป็นต้นกำเนิดเสียงสำคัญในการขึ้นรูปไทเทเนียมที่ความเร็วตัดสูงกว่า 0.5 m/s รวมถึงทำให้เกิดอัตราส่วนเศษกลึงที่มากขึ้นซึ่งแตกต่างจากการกัดเหล็กแข็งชนิดอื่นที่มักจะคงที่

Vibration assisted machining (VAM) เป็นเทคนิคการขึ้นรูปวัสดุที่อาศัยการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดโดยมีการกระจัดขนาดเล็กและความถี่สูงการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดทำให้ผิวสัมผัสระหว่างเครื่องมือตัดกับวัสดุแยกออกจากกันเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง ส่งผลให้ค่าแรงตัดและขนาดความกว้างของเศษกลึงลดลง เทคนิคนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในการขึ้นรูปวัสดุเพื่อปรับปรุงคุณภาพผิวของชิ้นงานความแม่นยำของการกัดรวมถึงการยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด

เทคนิค vibration cutting ถูกใช้ครั้งแรกในปี 1950 โดยในตอนเริ่มต้นจะเป็นการสั่นในแกนเดียวหรือ 1D VAM ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดตามเวลาดังรูปที่ 2.15



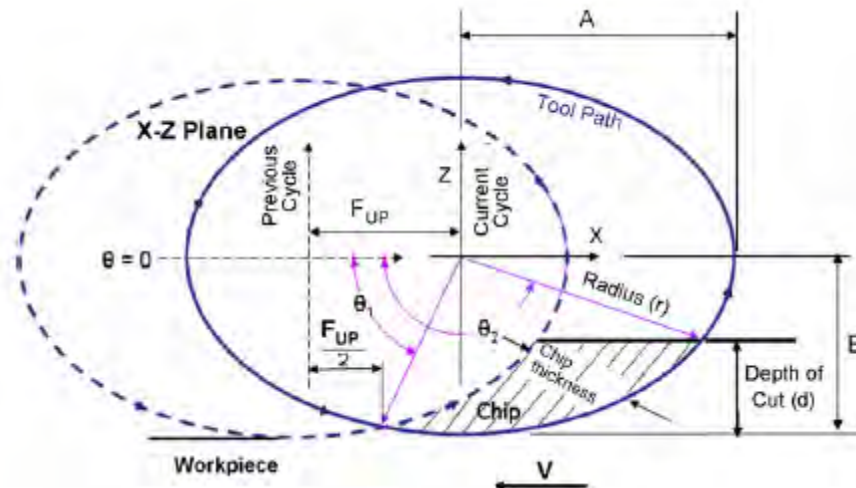
a)



b)

รูปที่ 2.15 a) coordinate system ใน 1D VAM b) การเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดใน 1D VAM

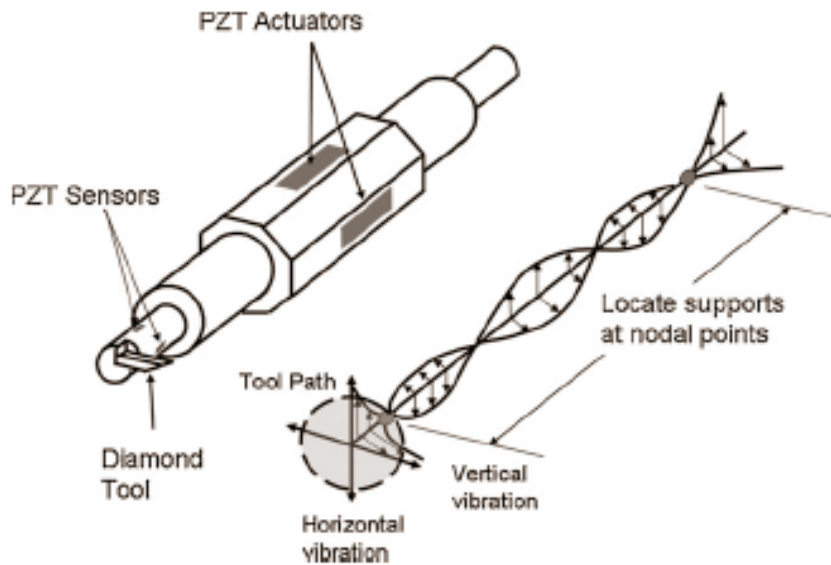
จากนั้นได้มีการพัฒนาเทคนิค 2D VAM โดยเพิ่มการเคลื่อนที่ในแนวตั้งทำให้ได้การเคลื่อนที่ของปลายเครื่องมือตัดเป็นดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดเป็นรูปวงรีใน 2D VAM

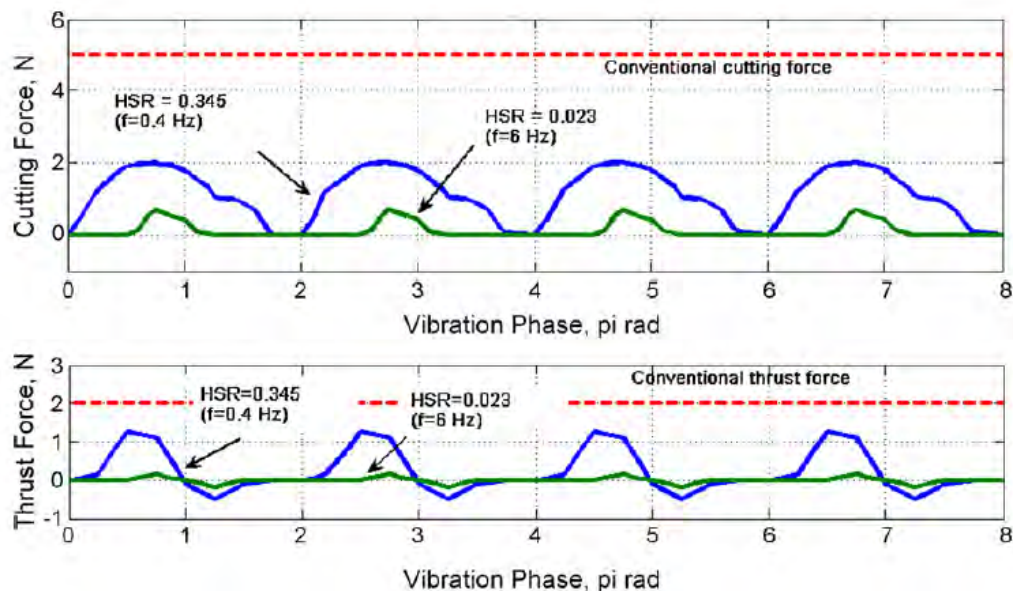
Brinksmeier และ Glabe [15] ได้ออกแบบระบบ 2D VAM โดยการออกแบบเครื่องมือตัดให้มีจุดศูนย์กลางมวลอยู่ห่างจาก centerline ของระบบ 1D ultrasonic ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบ 2D VAM เป็นรูปวงรีซึ่งสามารถเปลี่ยนระยะกระจัดได้โดยการปรับน้ำหนักถ่วง ระบบนี้ทำงานที่ความถี่ 20 kHz และมีการกระจัด 6 μm

Moriwaki และ Shamoto ได้พัฒนาระบบ 2D VAM ดังรูปที่ 2.17 โดยอาศัย piezoelectric actuator ในการสร้างการกระจัด การปรับเฟสของ actuator สองตัวจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของปลายเครื่องมือตัดเป็นรูปวงรี ระบบนี้ใช้ความถี่ในช่วง 20-40 kHz และมีการกระจัดอยู่ในช่วง 3 μm x 3 μm ถึง 8 μm x 4 μm (AxB)

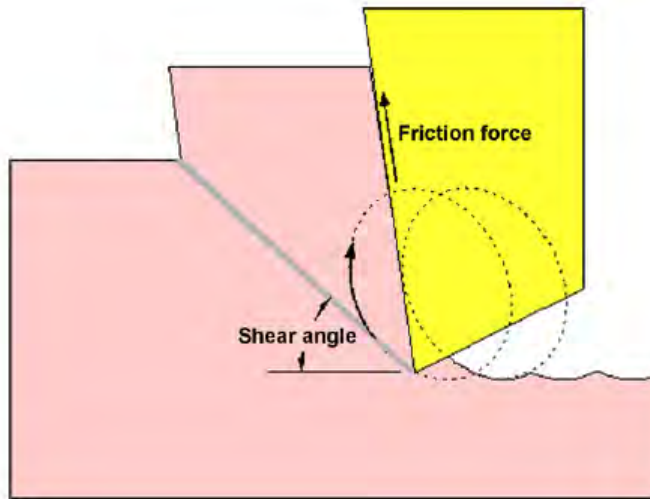


รูปที่ 2.17 2D VAM ที่พัฒนาโดย Shamoto และ Moriwaki

การลดแรงตัดเป็นจุดเด่นที่สำคัญของ vibration assist machining โดยจากการทดลองของ Shamoto และ Moriwaki ใช้ vibration assist machining พบว่าแรงที่ใช้ในการตัดลดลงประมาณ 40 % และ thrust force ลดลงถึง 60 % โดยแสดงผลการทดลองดังรูปที่ 2.18 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละรอบการตัด thrust force จะมีทิศทางกลับด้านดังนั้นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าสัมผัส rake face กับเศษกลึงจะกลับทิศกับการตัดแบบปกติดังรูปที่ 2.19 ส่งผลให้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเป็นตัวช่วยในการดันเศษกลึงให้หลุดออกไปง่ายขึ้นแทนที่จะขัดขวางการหลุดออกไปการกลับทิศแรงเสียดทานแบบนี้ไปสู่การลดแรงในการตัดรวมถึงลดพลังงานและความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัดได้อีกด้วย



รูปที่ 2.18 แรงตัดที่เกิดขึ้นในการทดลอง vibration assist machining โดย Shamoto และ Moriwaki



รูปที่ 2.19 ทิศของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจาก vibration assist machining

เทคนิค vibration assist machining เป็นเทคนิคที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการขึ้นรูปวัสดุกัดขึ้นรูปได้ยากแต่เนื่องจากการสร้างการเคลื่อนที่ของหัวเครื่องมือตัดต้องใช้ piezoelectric actuator ในการบังคับการเคลื่อนที่หัวเครื่องมือตัดซึ่งยังมีราคาแพงดังนั้นในงานวิจัยจะอาศัยเทคนิควิธีการอื่นมาประยุกต์ให้มีหลักการเดียวกับ vibration assist machining โดยจะทำให้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีทิศทางกลับด้านและให้ผลเช่นเดียวกับ vibration assist machining

บทที่ 3

การทดลองศึกษาเบื้องต้น

ในการเกิดการสึกหรอของเครื่องมือตัดนั้นเกิดจากสองสาเหตุสำคัญคือแรงในการตัดและอุณหภูมิของเครื่องมือตัด โดยแรงในการตัดนั้นจะส่งผลโดยตรงกับการสึกหรอของเครื่องมือตัดนั้นคือยิ่งมีแรงในการตัดสูงอัตราการสึกหรอของเครื่องมือตัดก็จะสูงตามไปด้วย และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงของเครื่องมือตัดลดลง ดังนั้นในการแก้ปัญหาการสึกหรอของเครื่องมือตัดจึงมุ่งเน้นความสำคัญไปที่การลดแรงที่เกิดจากการตัดและซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดยาวนานขึ้น

3.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของแรงเสียดทานกับ shear angle

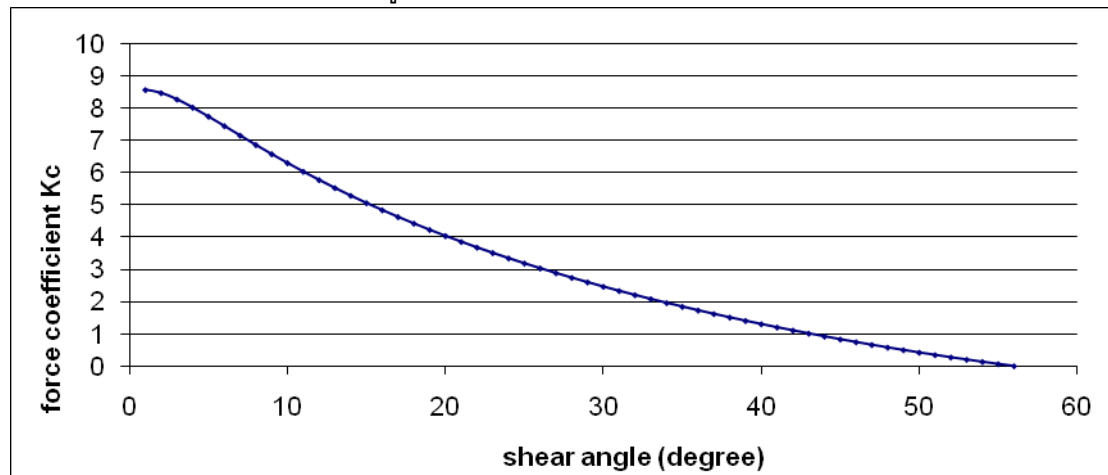
จากการพิจารณากลศาสตร์ของการตัดจะพบว่าแรงที่เกิดขึ้นในขณะตัดได้แก่

$$\begin{aligned} F_c &= k \cdot a \cdot b \cdot K_c \\ F_z &= k \cdot a \cdot b \cdot K_z \end{aligned} \quad (3-1)$$

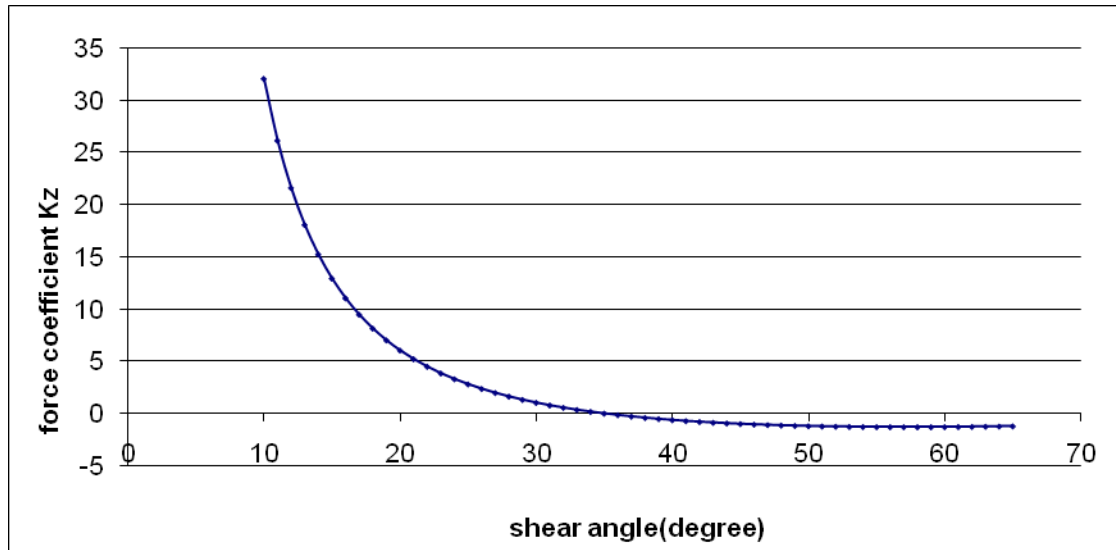
โดยกำหนดให้

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{\cos(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)} \\ K_z &= \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)} \end{aligned} \quad (3-2)$$

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

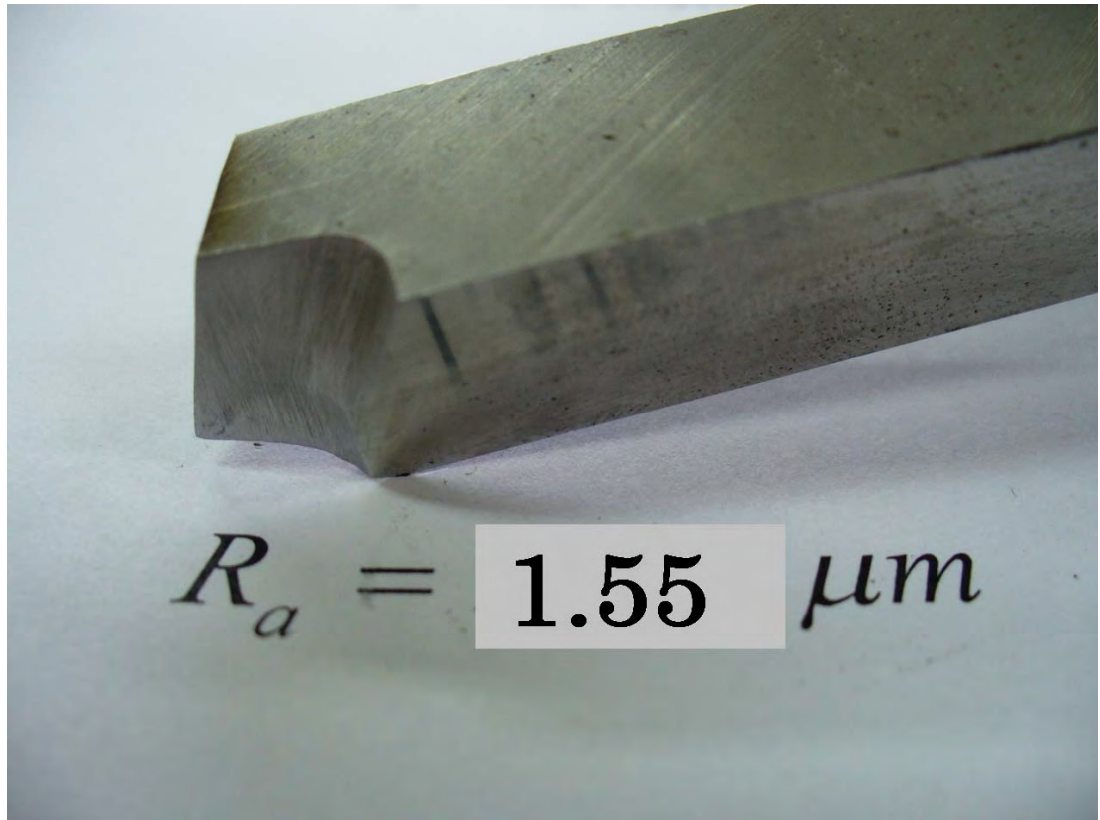
จากกราฟจะเห็นได้ว่ายิ่งค่ามุมเฉือน ϕ เพิ่มขึ้นจะยิ่งทำให้แรงในการตัดลดลงและเนื่องจากค่ามุมเฉือนกับค่ามุมเสียดทาน β มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$\phi = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\alpha}{2} \quad (3-3)$$

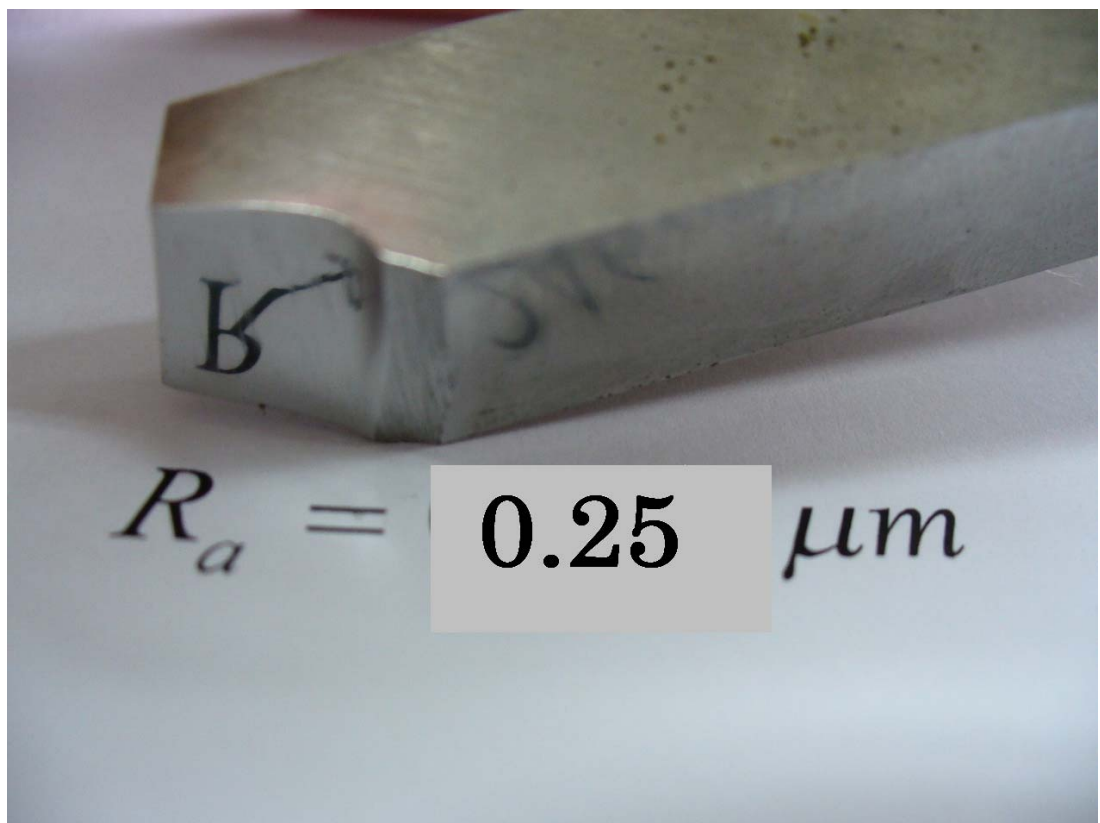
ซึ่งจะพบว่าค่ามุมเฉือนจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่ามุมเสียดทานลดลงดังนั้นในการทดลองจะอาศัยเทคนิค abrasive polishing ในการลดแรงเสียดทานที่บริเวณผิวสัมผัส (tool/chip interface) ซึ่งจะส่งผลให้ค่า β ลดลงนั่นเอง

ขั้นตอนการทดลอง

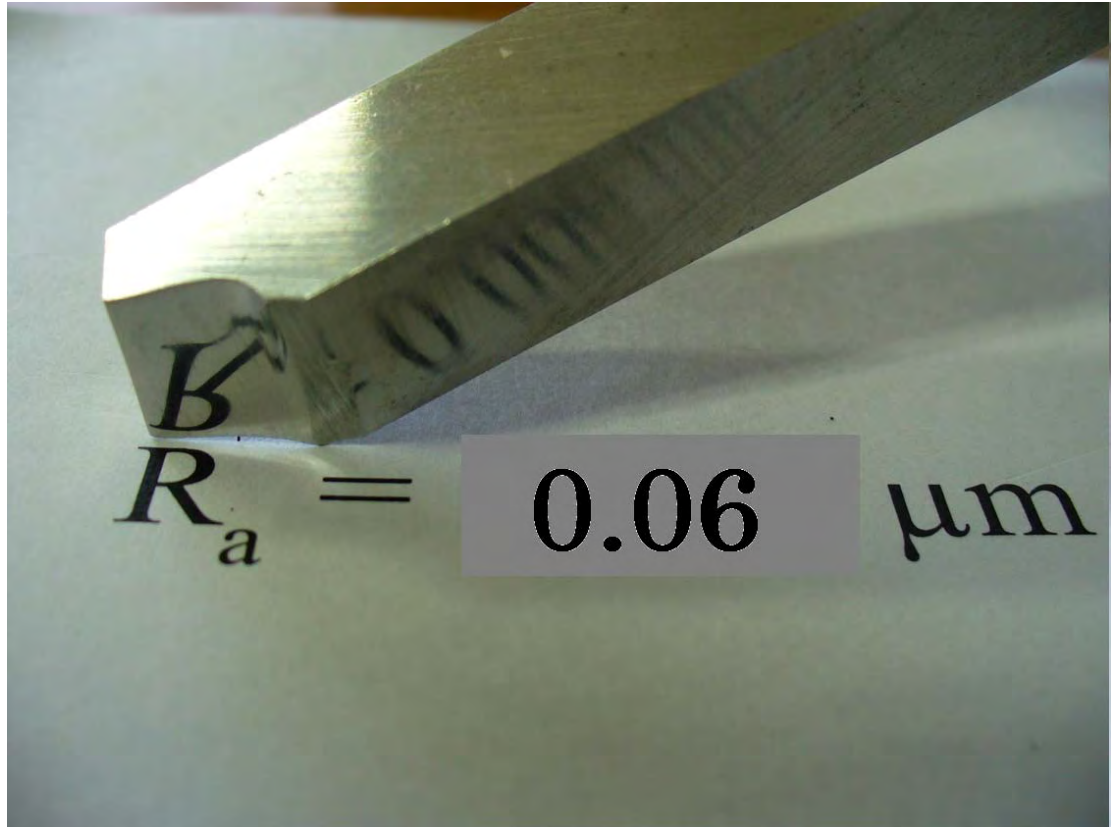
ในการทดลองจะเริ่มต้นจากการเจียรมีดกลึงคาร์ไบด์ให้มีมุมคาย rake angle และมุมหลบ (clearance angle) ให้มีขนาดเท่ากันซึ่งเท่ากับ 15° และ 8° ตามลำดับจำนวนสามเล่ม จากนั้นจึงนำมีดกลึงเล่มที่หนึ่งไปทำการขัดผิวที่บริเวณ rake face ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200 ตามลำดับ และมีดกลึงเล่มที่สองขัดผิวที่บริเวณ rake face ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 800 และ 1200 ใช้แปรงขัดชุบผงลูมินาขนาด $1 \mu m$ 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 3.3 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 มีดกลึงที่ที่ได้จากการเจียรผิว ($R_a = 1.55 \mu m$)



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



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

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 $1 \mu m$	0.06

ตารางที่ 3.1 กระบวนการเตรียมและความหยาบผิวของมีดกลึงที่ใช้ในการทดลอง

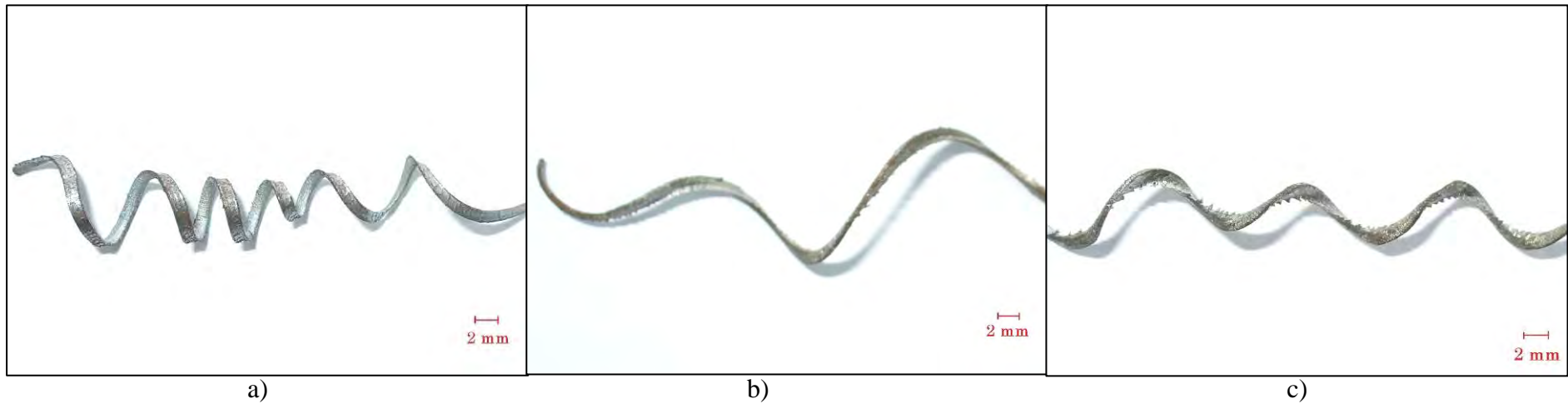
เมื่อเตรียมมีดทั้งสามเล่มขั้นต่อไปจะเป็นการทดลองนำมีดไปกลึงชิ้นงานเหล็กเพลา mild steel (111 HB) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm เพื่อนำเศษกลึงมาหาขนาดความหนาเศษกลึง (chip thickness), a_c โดยทำการตั้งสภาวะการตัด (cutting condition) ของเครื่องกลึงแบบกึ่งอัตโนมัติของ Win Ho Technology Industrial Co.,Ltd ไว้ที่ความเร็วตัด 170 rpm ระยะกินลึก (depth of Cut), b 2 มิลลิเมตร, มุมตัด (approach angle) 90° ที่ความลึกตัด, a ที่ระยะ 0.21 0.30 0.42 0.54 0.60 0.74 และ 0.82 ตามลำดับและเป็น การตัดแบบ dry cut เพื่อนำไปคำนวณค่ามุมเฉือน ϕ ด้วยความสัมพันธ์ตามสมการ(2-5)และ(2-6)ตามลำดับ

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

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

ผลการทดลอง

จากการกลึงเหล็กเพลลาที่สภาวะตัดการกลึงแห่งที่ความเร็วตัด 170 rpm ระยะกินลึก (depth of Cut), b 2 มิลลิเมตร, มุมตัด (approach angle) 90° ที่ความลึกตัด, a ที่ระยะ 0.21 0.30 0.42 0.54 0.60 0.74 และ 0.82 ตามลำดับที่ปรากฏว่าได้เศษกลึงตามลักษณะดังรูป



รูปที่ 3.6 เศษกลึงที่ความลึกตัด 0.21 mm จากมีดกลึง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$



a)

b)

c)

รูปที่ 3.7 เศษกึ่งที่ความลึกตัด 0.30 mm จากมีดกึ่ง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$



a)

b)

c)

รูปที่ 3.8 เศษกึ่งที่ความลึกตัด 0.42 mm จากมีดกึ่ง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$

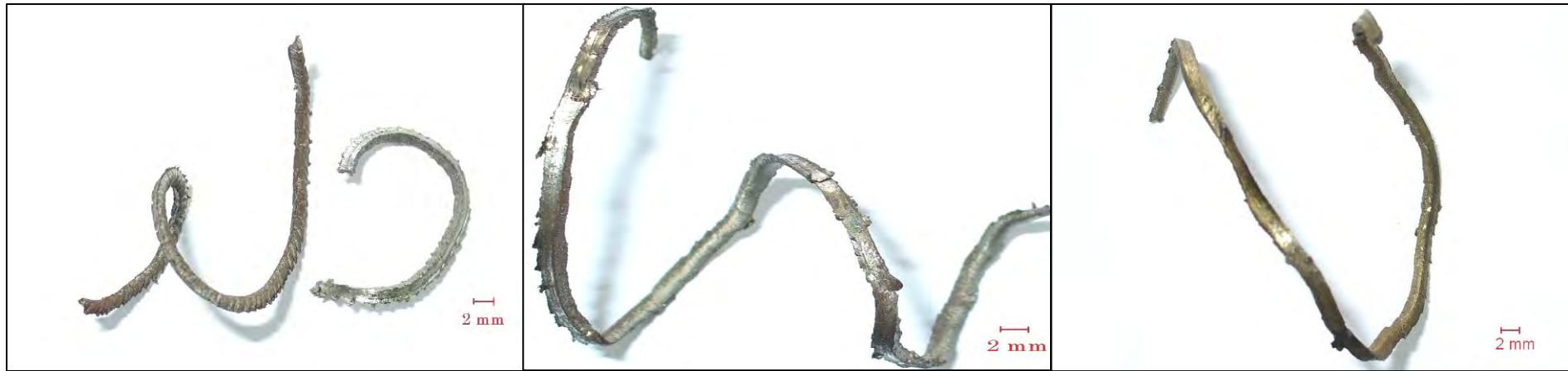


a)

b)

c)

รูปที่ 3.9 เศษกลิ้งที่ความลึกตัด 0.54 mm จากมีดกลิ้ง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$



a)

b)

c)

รูปที่ 3.10 เศษกลิ้งที่ความลึกตัด 0.60 mm จากมีดกลิ้ง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$



a)

b)

c)

รูปที่ 3.11 เศษกลิ้งที่ความลึกตัด 0.74 mm จากมีดกลิ้ง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$



a)

b)

c)

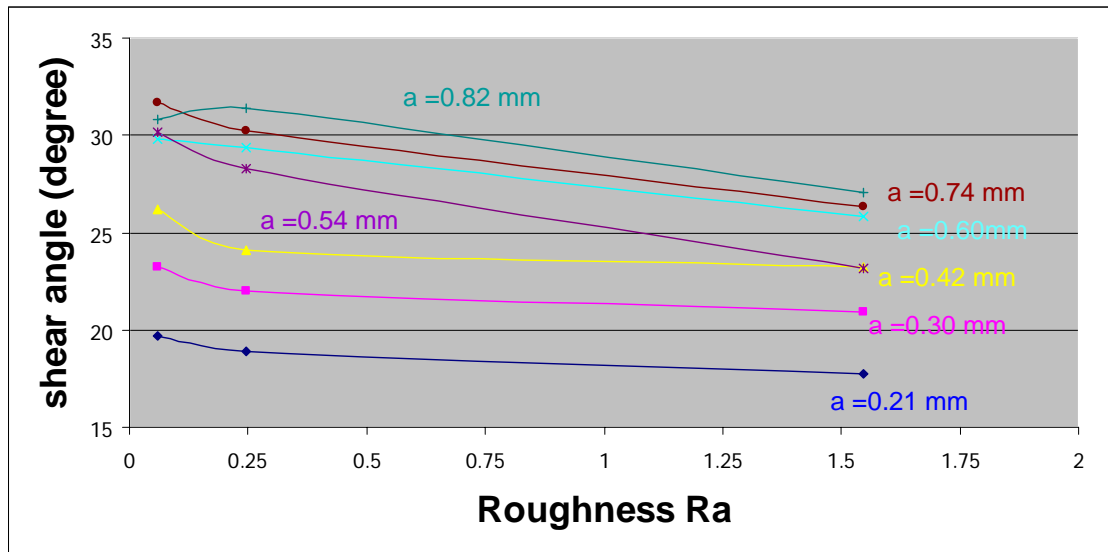
รูปที่ 3.12 เศษกลิ้งที่ความลึกตัด 0.82 mm จากมีดกลิ้ง a) $R_a = 1.55 \mu m$ b) $R_a = 0.25 \mu m$ c) $R_a = 0.06 \mu m$

จากนั้นทำการวัดความหนาของเศษกลึงด้วยไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo 0.01 mm) โดยทำการวัดขนาดบนตัวเศษกลึง 3 จุดต่อ 1 ชิ้นและทำการหาค่าเฉลี่ยก่อนบันทึกผลการวัดลงในตาราง

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ความหนาผิวของใบมีดกลึง (μm)	ที่ความลึกตัด, a (mm)	ความหนาเศษกลึง, a_c (mm)	r_c	มุมเงี่ยง 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

วิเคราะห์ผลการทดลอง

-ที่ความลึกตัด 0.21 -0.74 mm มีดกลึงที่มีค่าความหยาบผิวน้อยจะทำให้เกิดเศษกลึงที่มีค่ามุมเฉือนมากกว่าซึ่งส่งผลให้แรงที่ใช้ในการตัดน้อยกว่า โดยเมื่อพิจารณาค่าแรงที่ใช้ในการตัดจะพบว่า มีดกลึงที่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 0.06 \mu m$) จะเกิดแรงในการตัดน้อยกว่ามีดกลึงที่ไม่ผ่านการขัดผิว ($R_a = 1.55 \mu m$) เช่นเมื่อพิจารณาที่ความลึกตัด 0.6 mm ค่าแรงตัด F_c และ F_z ลดลง 73.84% และ 27.28% ตามลำดับ

-ที่ความลึกตัด 0.82 mm จะพบว่า มีดกลึงที่มีความหยาบผิว $R_a = 0.06 \mu m$ มีค่ามุมเฉือนที่น้อยกว่ามีดกลึงที่มีความหยาบผิว $R_a = 0.25 \mu m$ ซึ่งเมื่อสังเกตจากการเกิดเศษกลึงจากมีดทั้งสองแล้วจะพบว่า เศษกลึงที่เกิดจากมีดกลึง $R_a = 0.06 \mu m$ มีลักษณะใหม่เกิดขึ้นมากและสำหรับเศษกลึงที่เกิดจากมีดกลึง $R_a = 0.25 \mu m$ จะมีลักษณะเป็นพื้นเลื้อยซึ่งจากลักษณะของเศษกลึงทั้งสองบ่งบอกได้ว่าการตัดในสภาวะตัดนี้เป็นการตัดในสภาวะที่ไม่เหมาะสมและอาจจะมีปัจจัยที่อยู่นอกเหนือการทดลองที่ส่งผลต่อความหนาของเศษกลึงได้เช่นความร้อนซึ่งจะส่งผลให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้

-จากการพิจารณาถึงเศษกลึงที่เกิดขึ้นจะพบว่าที่ความลึกตัด 0.21-0.30 mm เศษกลึงจากมีดกลึงทั้งสามเล่มมีความต่อเนื่องเป็นเศษกลึงประเภท spring type chip ซึ่งถือได้ว่าเป็นเศษกลึงที่เป็นที่ต้องการซึ่งเกิดจากแรงตัดที่ต่อเนื่องและเศษกลึงไม่ขาดออกจากกันทำให้ได้คุณภาพผิวของชิ้นงานที่ดี

-จากการพิจารณาถึงเศษกลึงที่เกิดขึ้นจะพบว่าที่ความลึกตัด 0.42-0.74 mm 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

-จากการพิจารณาถึงเศษกลึงที่เกิดขึ้นจะพบว่าที่ความลึกตัด 0.82 mm เศษกลึงที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นพื้นเลื้อยและเกิดการไหม้ของเศษกลึงซึ่งเป็นเศษกลึงที่ควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดขึ้นบ่งบอกถึงสภาวะการตัดที่ไม่เหมาะสมเพราะทำให้เกิดแรงตัดและความร้อนสูงจะทำให้เครื่องมือตัดสึกหรอเร็วและทำให้คุณภาพของชิ้นงานลดลง

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าการลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสหน้า rake face กับเศษกลึงมีผลทำให้ค่ามุมเฉือนลดลงตามทฤษฎี และเมื่อพิจารณาถึงค่ามุมเฉือนที่เพิ่มขึ้นที่ความลึกตัด 0.6 mm ซึ่งเป็นค่าความลึกที่มีดกลึงที่ผ่านการขัดมีค่ามุมเฉือนเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ 7.051° ส่งผลให้ค่าแรงตัด F_c และ F_z ลดลง 73.84% และ 27.28% ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมเฉือนยังสามารถเพิ่มได้มากขึ้นอีกหากเราสามารถลดแรงเสียดหรือกลับทิศแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสได้เหมือนกับเทคนิค vibration assist machining ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นเนื้อหาหลักของงานวิจัยต่อไป

บทที่ 4

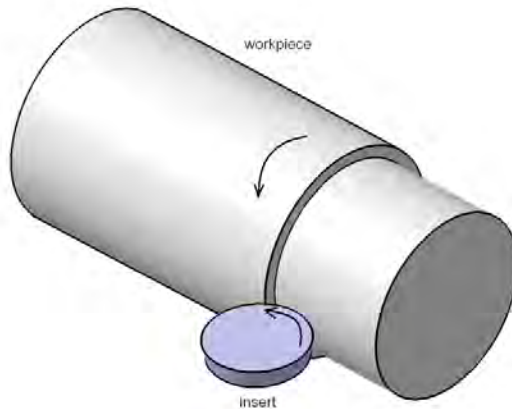
การกัดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องมือตัดแบบโรตารี

การออกแบบเครื่องมือตัดแบบโรตารี

จากการทดลองข้างต้นพบว่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่าง Rake face ของเครื่องมือตัดกับเศษกลึงมีผลต่อแรงในการตัด ดังนั้นจุดมุ่งหมายในการวิจัยคือการลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นหรือทำให้ทิศทางของแรงเสียดเปลี่ยนไปเพื่อช่วยลดแรงในการตัดซึ่งในงานวิจัยนี้จะเสนอหลักการใช้ driven rotary tool ในการกลับทิศของแรงเสียดทาน

4.1 มีดกลึงแบบโรตารี

มีดกลึงแบบโรตารี (Self-propelled rotary tool) คือการกลึงที่มีดมีดกลมหมุนรอบแกนตัวเองขณะที่ทำการตัดเฉือนชิ้นงาน คมตัดของมีดมีดจะเคลื่อนที่ตลอดเวลาในขณะที่ทำการกลึง ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การกลึงโดยใช้มีดกลึงแบบโรตารี

การหมุนของมีดมีดในการกลึงแบบโรตารีส่งผลต่อกลไกในการตัดทำให้แตกต่างจากการกลึงแบบปกติที่มีดมีดอยู่กับที่โดยการกลึงแบบโรตารีมีข้อดีหลายประการเช่น

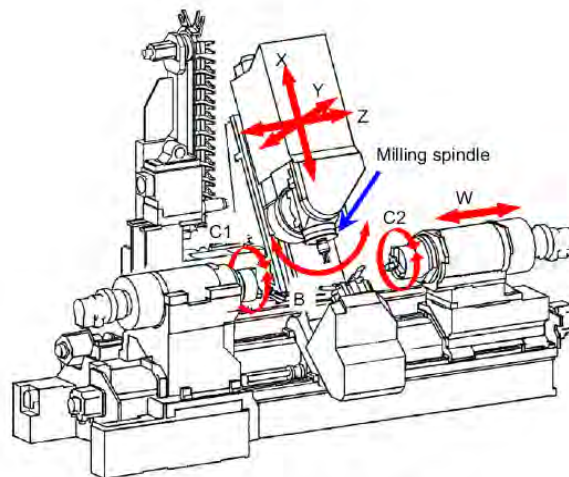
- 1.การเพิ่มประสิทธิภาพในการคลายความร้อนของ coolant เนื่องจากการหมุนของมีดมีดทำให้คมตัดส่วนที่ทำการตัดสามารถหมุนออกมาจับ coolant ได้โดยตรงก่อนที่จะกลับไปตัดเฉือนชิ้นงานอีกครั้ง จากที่กล่าวมาแล้วในการขึ้นรูปวัสดุ hard-to-cut พบว่าปัญหาด้านความร้อนเป็นปัญหาที่สำคัญเนื่องจากวัสดุ hard-to-cut ส่วนใหญ่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจึงมีส่วนสำคัญในการยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด โดยปกติแล้วเมื่อใบมีดติดอยู่กับที่บริเวณหน้าผิวสัมผัสระหว่างหน้ามีดกับเศษกลึงซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความร้อนจาก deformation ขึ้นจะสัมผัสกับ coolant ได้ไม่เต็มที่เนื่องจากมีเศษกลึงเป็นตัวบังไว้ แต่ในการตัดแบบโรตารีนั้นเนื่องจากหน้าสัมผัสระหว่างหน้ามีดและเศษกลึงมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาดังนั้นขณะที่หน้ามีดหมุนออกมาจากบริเวณตัดก็จะสามารถจับ coolant ได้เต็มที่ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งส่งผลดีกับการกัดขึ้นรูปวัสดุประเภท hard to cut

- 2.การแบ่งเบาภาระ load ที่เกิดขึ้นบนคมมีดตัด เมื่อเปรียบเทียบกับกรกลึงแบบมีดกลึงอยู่กับที่คมตัดจะรับภาระ load จากแรงในการตัดอยู่จุดเดียวตลอดเวลาแต่สำหรับการกลึงแบบโรตารีคมตัดจะกระจาย load ที่เกิดขึ้นไปทั่วคมตัดทำให้การสึกหรอของมีดมีดกลึงลดลงอายุการใช้งานของมีดมีดจึงยาวนานขึ้น

ในการกลึงแบบโรตารีนั้นกลไกการตัดจะมีความซับซ้อนกว่าการกลึงแบบปกติที่หน้ามีดไม่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งผลของการหมุนจะก่อให้เกิดความแตกต่างในเรื่องทิศทางของแรงเสียดทาน ความเร็วในการตัด และความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของ coolant เป็นต้นซึ่งจะส่งผลให้การตัดแบบโรตารีมีความเหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุประเภท hard-to-cut ได้เป็นอย่างดี

4.2 การออกแบบมีดกลึงแบบโรตารี

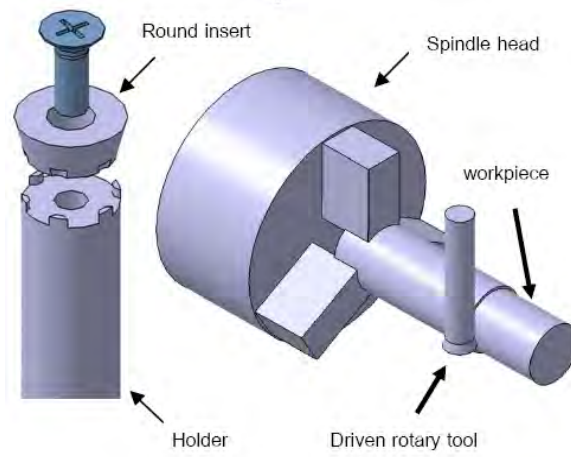
มีดกลึงแบบโรตารีจะใช้มีด insert กลมหมุนรอบแกนตัวเองขณะที่ทำการตัดชิ้นงาน โดยการหมุนมีดมีดนั้นได้ประยุกต์ใช้เครื่อง CNC แบบ multitasking ในการทดลองซึ่งสามารถกลึงชิ้นงานโดยที่หัว milling เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบในการหมุนของมีดมีด โดยมีด insert กลมที่ใช้จะเป็นมีด insert ขนาดมาตรฐานที่มีใช้กันอยู่ในท้องตลาดโดยในงานวิจัยนี้จะอาศัยเครื่อง โดยเครื่อง CNC ที่ใช้ในการทดลองคือ Mazak Integrex 100 - IV ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เครื่อง CNC แบบ multitasking 9 แกนการเคลื่อนที่

เครื่อง cnc multitasking ที่ใช้จะเป็นเครื่องที่สามารถทำงานได้ 9 แกนคือแกนการหมุนของหัวกลึง (C1) แกนการเคลื่อนที่ของหัว milling (X,Y,Z และ B) แกนหมุนของ sub spindle (C2) แกนการเคลื่อนที่ของ sub spindle (W) และแกนการเคลื่อนที่ของ lower turret (X2,Z2) ในการใช้งานเพื่อให้เกิดการกลึงแบบโรตารีจะอาศัยหัวหมุนของ milling ในการควบคุมการหมุนของมีดมีดและอาศัยการเคลื่อนที่ในแนว (Y,Z) ในการ feed มีดมีดและใช้แกนหมุน C1 ในการกำหนด cutting speed การใช้หัว milling ของเครื่อง cnc ในการหมุนมีดมีดกลึงทำให้สามารถควบคุมรอบการหมุนได้อย่างถูกต้องแม่นยำรวมถึงตำแหน่งการกลึงและอัตราการ feed

ด้ามมีดกลึงที่ใช้ในการหมุนมีดมีดมีลักษณะดังรูปที่ 4.3 โดยทำการติดด้ามมีดเข้ากับหัว milling ของเครื่อง CNC



รูปที่ 4.3 ต่อมมีตกลึงแบบโรตารี

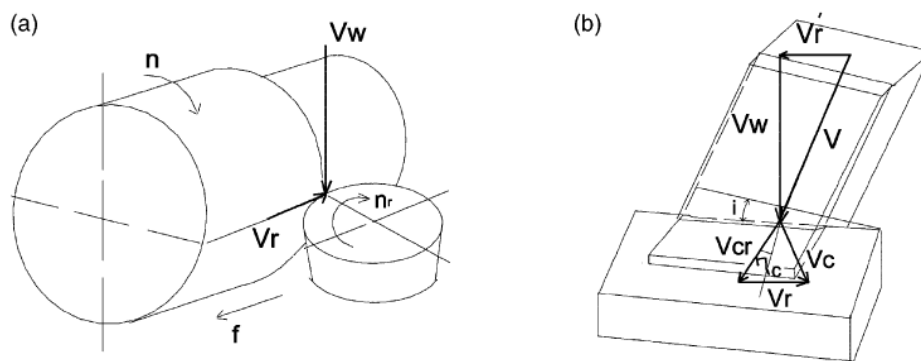


รูปที่ 4.4 มีดกลึงแบบโรตารีที่ติดอยู่กับเครื่อง Lathe multitasking CNC

ในการกลึงแบบโรตารีนั้นในขณะที่ทำการตัดเฉือนชิ้นงานคมตัดของเม็ดมีดไม่ได้อยู่กับที่ตลอดเวลาเหมือนการกลึงแบบปกติ โดยผลจากการหมุนของเม็ดมีดจะทำให้เกิดความเร็วของการตัดแบบ oblique cutting ซึ่งแตกต่างจากการตัดแบบปกติที่เม็ดมีดไม่มีการหมุนซึ่งเป็น orthogonal cutting

4.3 ผลของความเร็วที่มีต่อกลไกการตัดของเครื่องมือตัดแบบโรตารี [24]

โดยในการกลึงแบบโรตารีนั้นความเร็วในการหมุนของเม็ดมีด V จะส่งผลต่อมุม inclination angle โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความเร็วขณะทำการกลึงด้วยมีดกลึงแบบโรตารี

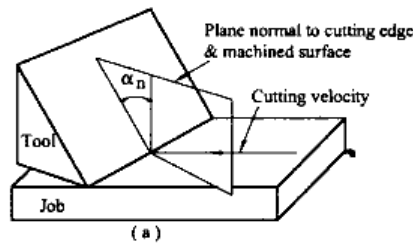
ความเร็วในการตัด V_w จะมีทิศตั้งฉากกับคมตัดส่วนความเร็วบนเม็ดมีดจะมีทิศตามแนวรัศมีของคมตัดและ V_r คือความเร็วของชิ้นงานเมื่อเทียบกับเม็ดมีด กำหนดให้ V คือความเร็วรวมของชิ้นงานเมื่อเทียบกับเม็ดมีด ซึ่งความเร็ว V นี้จะทำให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ไปตามคมตัดโดยมีมุม inclination angle, i ดังรูปซึ่งเป็นเสมือนการตัดแบบ

oblique cutting โดยมุม equivalent inclination angle สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ $\tan i = \frac{V_r}{V_w}$ ส่งผลให้

สามารถในการพิจารณาการตัดของมีดกลึงแบบโรตารีสามารถพิจารณาเป็นการตัดแบบ oblique cutting ได้

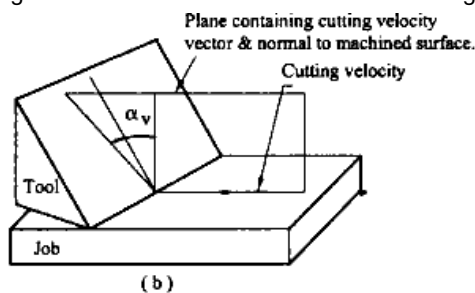
4.4 ผลของ oblique cutting กับ effective rake angle [25]

ในการตัดแบบ oblique cutting จะพบว่ากลไกการตัดจะแตกต่างจาก orthogonal cutting ซึ่งในการตัดแบบ oblique cutting จะมีมุม rake angle 3 แบบ คือ



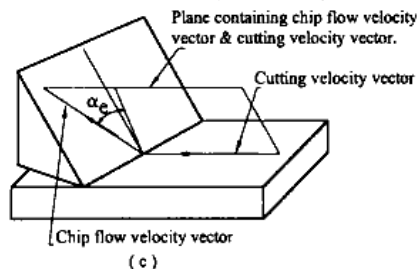
รูปที่ 4.6 Normal rake angle

a) normal rake angle, α_n ซึ่งเป็นมุมที่วัดจากหน้ามีดไปยังเส้นตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วตัดโดยวัดบนระนาบตามคมตัดดังรูปที่ 4.6 normal rake angle นี้จะพิจารณาเหมือนกับการตัดแบบ orthogonal cutting



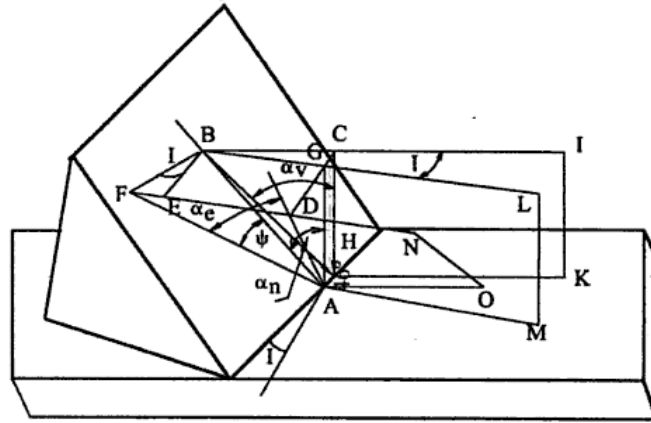
รูปที่ 4.7 Velocity rake angle

b) velocity rake angle, α_v ซึ่งเป็นมุมที่วัดจากหน้ามีดไปยังเส้นตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วตัดโดยวัดบนระนาบขนานไปกับทิศทางของความเร็วตัดดังรูปที่ 4.7 ซึ่งเมื่อพิจารณาการกลึงแบบ oblique cutting จะพบว่าทิศทางความเร็วในการตัดจะทำมุม i กับหน้ามีดดังนั้น velocity rake angle จะแปรผันโดยตรง inclination angle



รูปที่ 4.8 Effective rake angle

c) Effective rake angle, α_e ซึ่งเป็นมุมที่วัดจากหน้ามีดไปยังเส้นตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วตัดโดยวัดบนระนาบตามความเร็วในการตัดและ chip velocity vector ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่ง effective rake angle จะเป็น rake angle ที่สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการตัดแบบ oblique cutting



รูปที่ 4.9 geometric ของ Effective rake angle

ในการพิจารณาเพื่อหา effective rake angle โดยดูจาก geometric ดังรูป 4.9

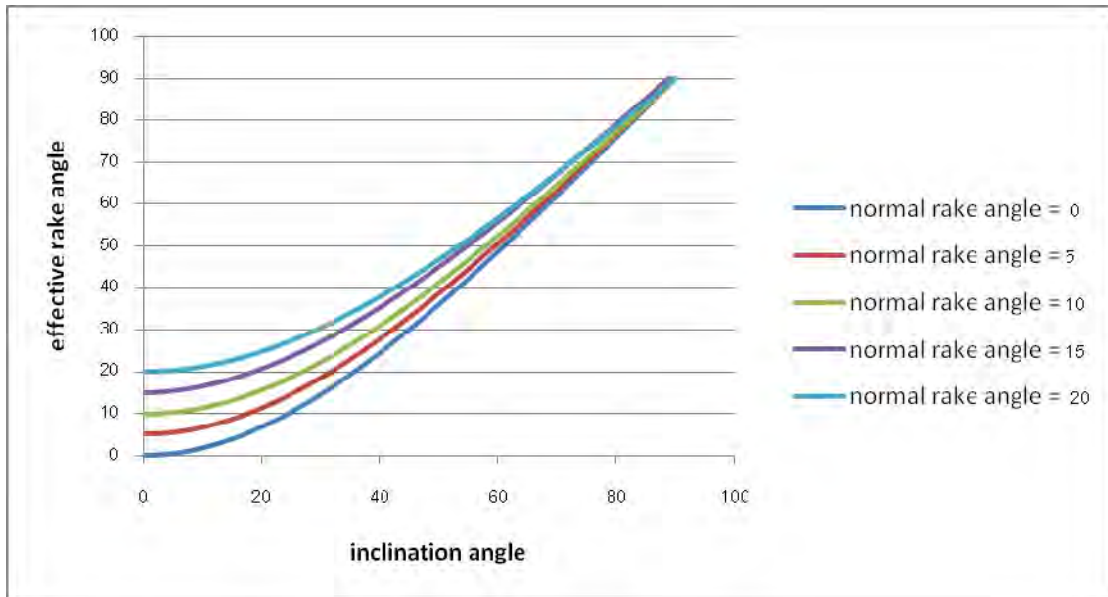
$$\sin \alpha_e = \frac{DF}{AF} = \frac{FE + ED}{AF}$$

จากรูป 4.9 $ED = BC$ และ $\angle BCD = 90^\circ$ จะได้

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

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

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสมการนี้จะพบว่าในการคำนวณหาค่า Effective rake angle จะต้องทำการวัด chip flow angle ซึ่งต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าทำให้ไม่สามารถหาคำนวณในเชิงตัวเลขต่อได้ดังนั้นจึงทำการตั้ง assumption เพิ่มเติมโดยอาศัย Stabler's rule โดยกำหนดให้ chip flow angle มีค่าเท่ากับ inclination angle ดังนั้นจะได้ว่า $\sin \alpha_e = \sin^2 i + \cos^2 i \sin \alpha_n$ ซึ่งจากสมการดังกล่าวจะสามารถลดค่าตัวแปร chip flow angle ลงไปได้ ซึ่งจากตามสมการนี้จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง effective rake angle กับ ค่ามุม inclination angle ดังรูปที่ 4.10



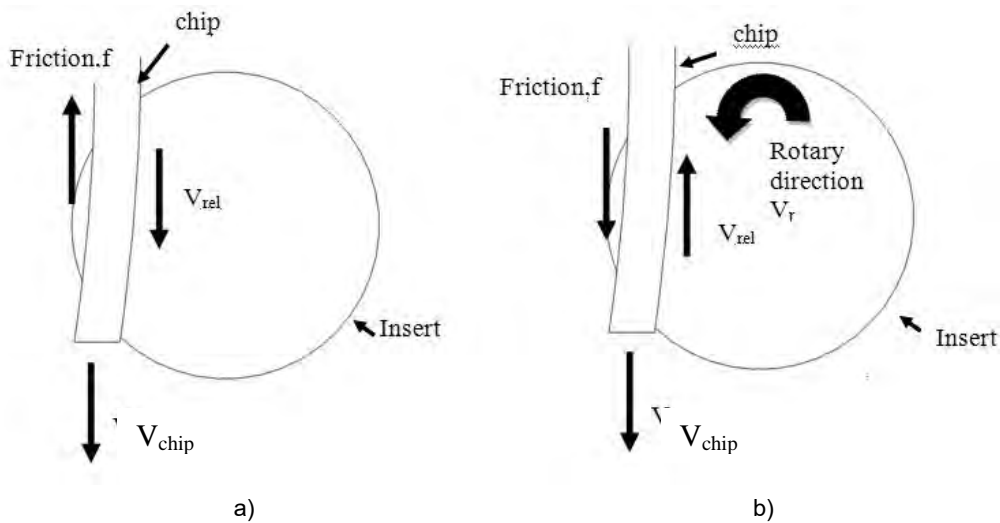
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง inclination angle กับ effective rake angle

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่า Inclination angle ค่า effective angle ก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งการเพิ่มค่า inclination angle สามารถทำได้โดยการเพิ่ม cutting speed ratio ให้เพิ่มขึ้นนั่นเอง

ผลของ rake angle เมื่อพิจารณาการตัดแบบ orthogonal จากทฤษฎีของ merchant จะพบว่าการเพิ่ม rake angle ให้มากขึ้นจะลดแรงในการตัดให้ลดลงแต่ในขณะเดียวกันการเพิ่ม rake angle จะส่งผลคมของมีดตัดแหลมขึ้นซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงของมีดตัดให้แตกหักง่ายขึ้นแต่สำหรับการเพิ่ม effective rake angle จะไม่ส่งผลต่อ geometry ของมีดดังนั้นจึงไม่ทำให้ความแข็งแรงของมีดลดลงไปแต่ทำให้แรงในการตัดลดลงซึ่งจุดดีนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับมีดกลึงแบบโรตารีที่ซึ่งสามารถปรับมุม effective rake angle ได้ด้วยการปรับ cutting speed ratio นั่นเอง

4.5 การกลับทิศของแรงเสียดทานในการกลึงโดยใช้มีดกลึงแบบโรตารี

ในการกลึงชิ้นงานแบบโรตารีนั้นจะพบว่าทิศทางความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างหน้ามีดและเศษกลึงมีผลต่อทิศทางของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบนเศษกลึงโดยเมื่อพิจารณาการกลึงแบบ facing จะพบว่าทิศทางความเร็วของเศษกลึงจะขนานไปกับการหมุนของเม็ดมีดกลึงซึ่งจะส่งผลให้ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างเศษกลึงกับหน้ามีดเปลี่ยนทิศไป



รูปที่ 4.11 ทิศทางของแรงเสียดทานในการกลึงแบบโรตารี

เมื่อพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นขณะทำการตัดตามรูปที่ 4.11 การเคลื่อนที่ของเศษกลึงบนหน้ามีดจะส่งผลกระทบต่อทิศทางของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบนเมตมีดโดยในการกลึงแบบปกติที่เมตมีดไม่มีเคลื่อนที่ ($V_r = 0$) แต่เศษกลึงจะมีความเร็ว V_{chip} ส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างหน้าสัมผัสของหน้ามีดไปในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 4.11 a) แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้แรงในการตัดเพิ่มขึ้นและยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความร้อนบนเมตมีด และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นยังมีส่งผลให้เศษกลึงหลุดออกไปจากหน้ามีดได้ยากขึ้นด้วย แต่เมื่อพิจารณาการกลึงโดยใช้เมตมีดแบบโรตารีแล้วจะพบว่าเมื่อความเร็วของเมตมีดมีค่ามากกว่าความเร็วของเศษกลึง ($V_r > V_{chip}$) แล้วความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างเศษกลึงและเมตมีดจะมีทิศทางตรงข้ามดังรูปที่ 4.11 b) ส่งผลให้ทิศของแรงเสียดทานเปลี่ยนไปทิศของแรงเสียดทานที่เปลี่ยนไปนี้จะช่วยทำให้เศษกลึงหลุดออกจากหน้ามีดได้ง่ายขึ้น

เมื่อพิจารณาถึง shear angle จากความสัมพันธ์ระหว่าง shear angle และ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของ Merchant $\phi = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\alpha}{2}$ จะพบว่าเมื่อแรงเสียดทานกลับทิศจะส่งผลให้ shear angle เพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้แรงในการตัดลดลงนั่นเอง และเมื่อพิจารณาจากทิศทางของแรงเสียดทานที่เปลี่ยนไปนี้จะเห็นได้ว่าจากพฤติกรรมการลดแรงเสียดทาน β ยิ่งทำให้ shear angle เพิ่มมากขึ้น

4.6 การทดลอง

ในการทดลองจะอาศัยหลักการกลับทิศของแรงเสียดทานที่กล่าวมาข้างต้นโดยทดลองกลึงชิ้นงาน stainless steel 316L แล้วจึงนำมาพิจารณา tool wear ที่เกิดขึ้นโดยเปรียบเทียบกับมีดกลึงที่ไม่มีการหมุน จุดประสงค์การทดลอง

1. ศึกษาการกลึงโดยใช้เครื่องมือตัดแบบโรตารีที่มีการหมุนของเมตมีดมากกว่าความเร็วตัด
2. ศึกษาการเกิดเศษกลึงในการกลึงโดยใช้มีดกลึงแบบโรตารีโดยอาศัยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงในการบันทึกภาพ

ขั้นตอนการทดลอง

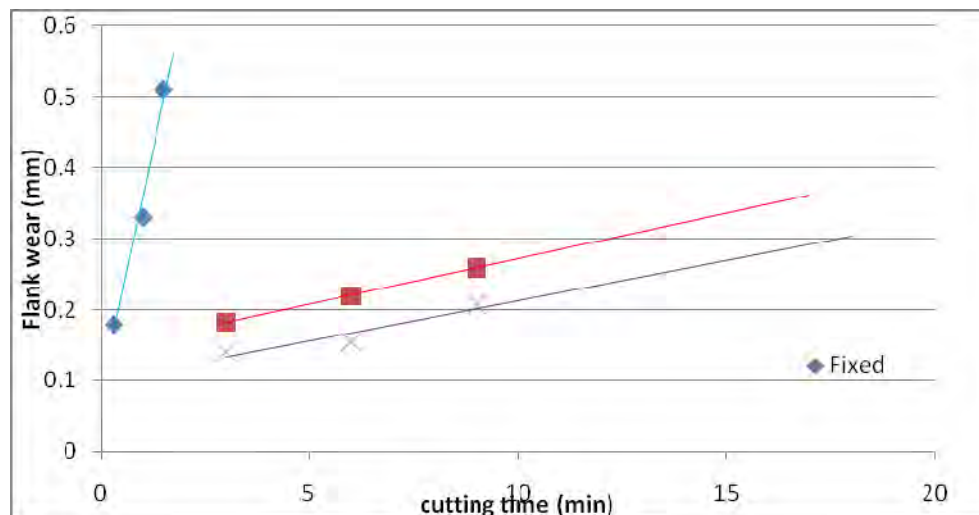
การทดลองศึกษาผลของการหมุนของเม็ดมีดกลึงแบบโรตารีกับอายุการใช้งาน

ในการทดลองจะอาศัยเม็ดมีดกลึงแบบโรตารีในการศึกษาผลกระทบของการกลับทิศของแรงเสียดทานที่เกิดจากการหมุนของเม็ดมีดที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัด โดยเครื่องมือตัดแบบโรตารีที่ใช้จะติดอยู่กับหัว milling ของเครื่อง CNC สามารถปรับรอบการหมุนได้ตั้งแต่ 0-10000 rpm โดยในการทดลองจะใช้เม็ดมีดกลึง WIDIA RDMT1605MOTX ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 mm ในการทดสอบและกลึงชิ้นงาน stainless steel 316L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 mm โดยทำการกลึงที่ ความเร็วในการตัด 50, 70 และ 90 m/min โดยทดลองปรับอัตราส่วนความเร็วในการหมุนของเม็ดมีดโรตารีกับความเร็วในการตัด (Cutting speed Ratio, CR) เป็น 0 (เม็ดมีดอยู่กับที่) 0.4 และ 1.4 เท่าของความเร็วในการตัด ในการทดลองจะทำการทดลองกลึง stainless steel เป็นชุดชุดละ 3 นาทีแล้วจึงนำมาวัดขนาด flank wear ที่เกิดขึ้นบนหน้ามีดและทำการกลึงต่อจนครบตามที่ต้องการเป็น cutting time รวม 9 นาที

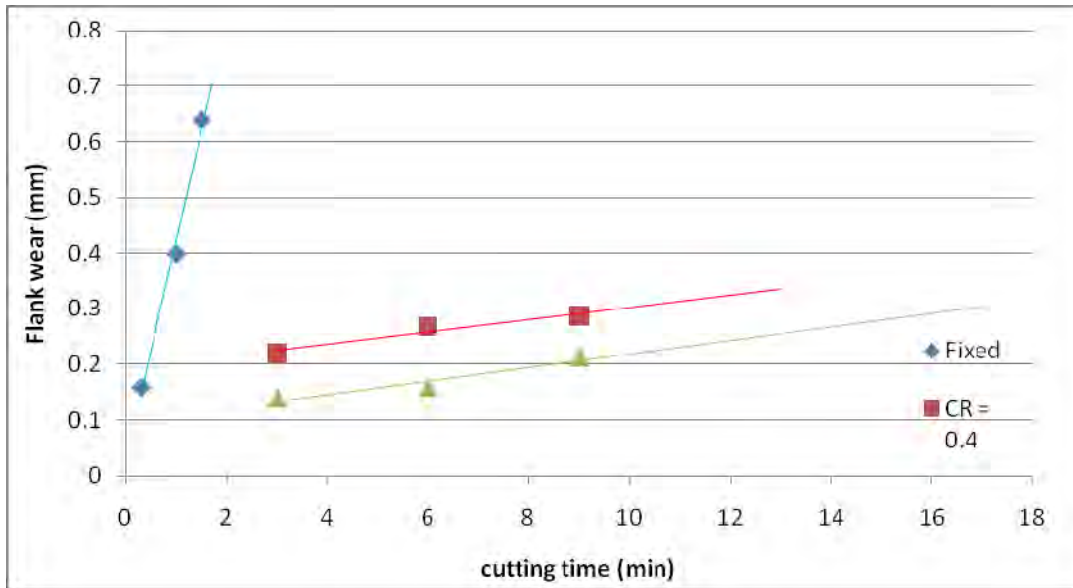
วัสดุที่ใช้ทดลอง	Stainless steel 316L
ขนาดชิ้นงาน	32 mm
ความเร็วในการตัด (cutting speed)	50, 70, 90
อัตราส่วนความเร็วในการตัด(cutting speed ratio,CR)	0(fixed),0.4 และ 1.4
ระยะเวลาในการทดลอง(นาที)	3 6 9
อัตราการป้อน (feed)	0.2
ระยะกินลึก (depth of cut)	0.4

ตารางที่ 4.1 สรุปเงื่อนไขการทดลอง

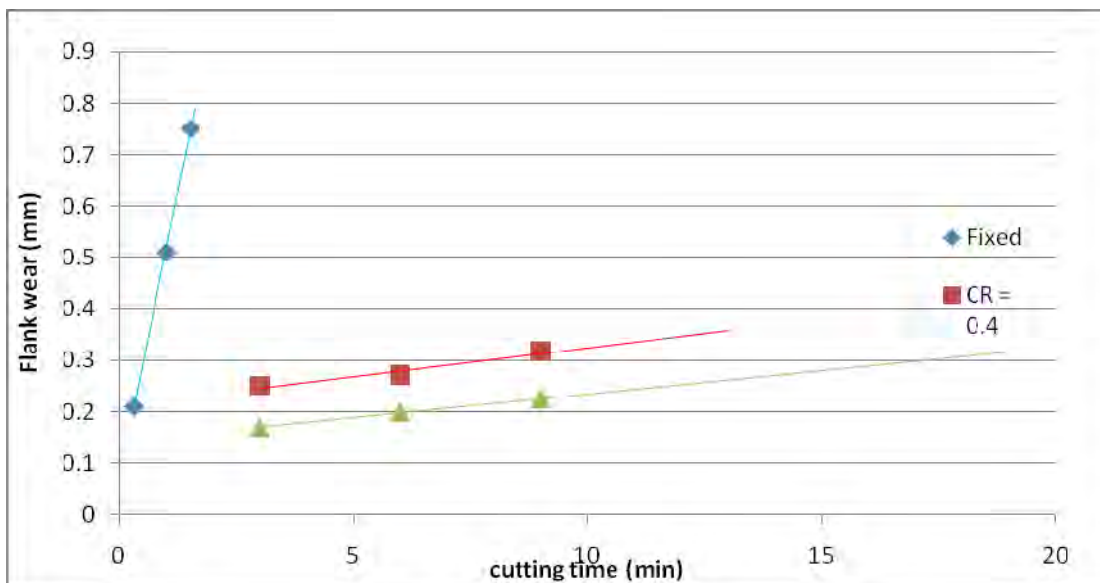
ผลการทดลอง



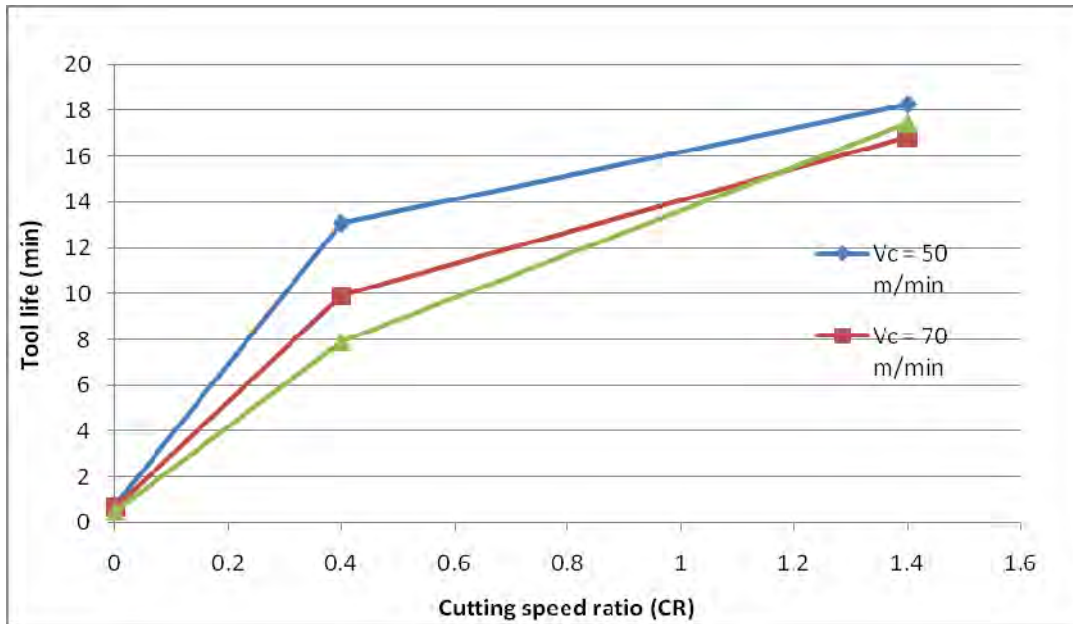
รูปที่ 4.12 tool wear ที่ cutting speed 50 m/min



ຮູບທີ່ 4.13 tool wear ທີ່ cutting speed 70 m/min



ຮູບທີ່ 4.14 tool wear ທີ່ cutting speed 90 m/min



รูปที่ 4.15 tool life(maximum flank wear 0.3 mm criteria) กับ cutting speed ratio ที่ความเร็วตัดต่างๆ

Cutting speed (m/min)	Chip thickness (mm)		
	Fixed	CR = 0.4	CR = 1.4
50	0.161	0.154	0.091
70	0.185	0.176	0.103
90	0.196	0.199	0.110

ตารางที่ 4.2 ความหนาเศษกลึงที่ cutting speed ต่างๆ

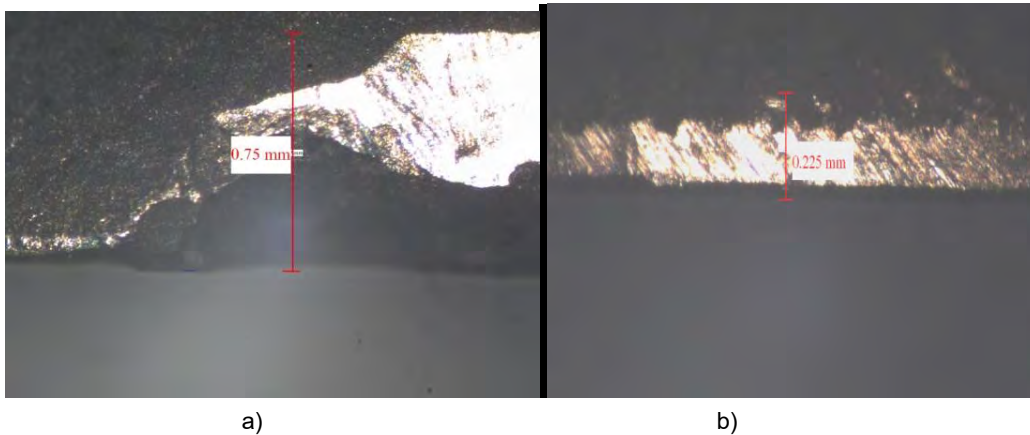
วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.จากการพิจารณาการสึกหรอของเม็ดมีดตัดที่ได้จากการทดลองปรากฏว่าเมื่อค่า cutting speed ratio เพิ่มขึ้นอายุการใช้งานของเม็ดมีดก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากการเพิ่มค่า cutting speed ratio จะส่งผลให้มุม inclination angle มีค่าเพิ่มขึ้นและการเพิ่มขึ้นของมุม inclination angle นี้จะส่งผลให้ effective rake angle เพิ่มขึ้นตามสมการ $\sin \alpha_e = \sin^2 i + \cos^2 i \sin \alpha_n$ การเพิ่มของ rake angle จะส่งผลให้ค่าแรงในการตัดลดลงซึ่งส่งผลให้เกิดการสึกหรอน้อยลงตามผลการทดลอง

2.เมื่อพิจารณาถึงความหนาเศษกลึงที่เกิดขึ้นจะพบว่าเศษกลึงที่ได้จากการกลึงด้วยมีดกลึงแบบโรตารีจะมีขนาดเศษกลึงที่บางกว่าเนื่องจากการกลับทิศของแรงเสียดทานส่งผลให้ shear angle มีค่ามากขึ้นตามสมการของ Merchant $\phi = 45^\circ - \frac{\beta}{2} + \frac{\alpha}{2}$ ซึ่งการกลับทิศของแรงเสียดทาน β จะยิ่งทำให้ shear angle มากซึ่งส่งผลให้เศษกลึงที่ได้มีขนาดบางลง

3.เมื่อพิจารณาการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนเม็ดมีดจะพบว่ามีการมีดกลึงที่เม็ดมีดอยู่กับที่นั้นจะมีการแตกหักเป็นแบบแตกหัก(crack) ดังรูปที่ 4.17 a) แต่ในขณะที่เม็ดมีดจากมีดกลึงแบบโรตารีจะมีลักษณะเป็นการสึกหรอ

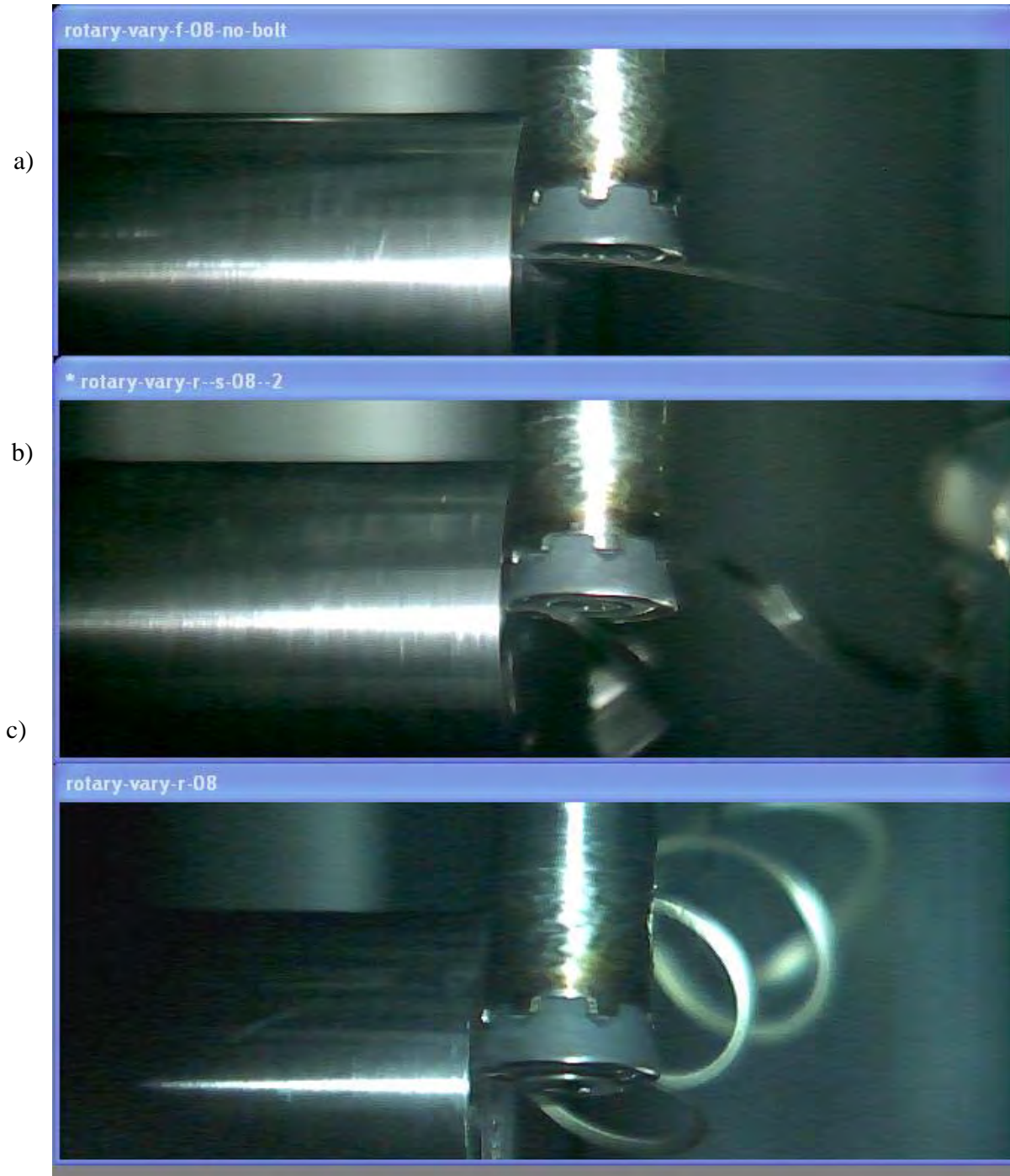
ดังรูปที่ 4.17 b) ซึ่งการแตกหักที่เกิดขึ้นในมิดกึ่งแบบอยู่กับที่นั้นเกิดจากแรงตัดที่มากส่งผลให้อายุการใช้งานของเม็ดมีดสั้นลงมาก



รูปที่ 4.17 การสึกหรอของเม็ดมีด a)เม็ดมีดอยู่กับที่ b)เม็ดมีดจากมิดกึ่งแบบโรตารี

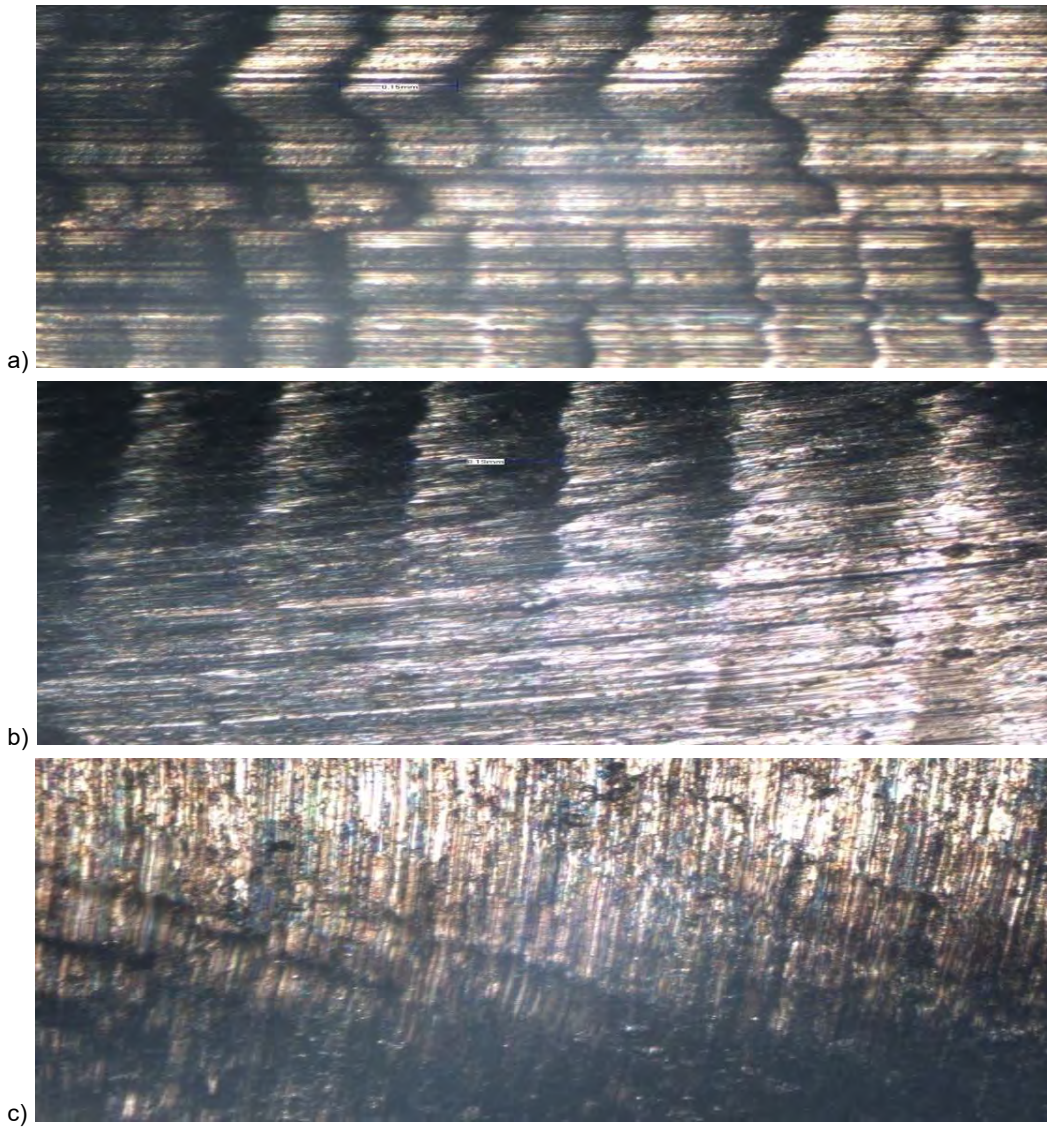
4.เมื่อพิจารณาอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดโดยพิจารณาอายุการใช้งานตามมาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E) ได้กำหนดการวัดขนาดของการสึกหรอบนผิวหอบ (flank wear) ไว้ไม่เกิน 0.3 mm ซึ่งจากข้อกำหนดนี้ มิดกึ่งแบบโรตารีที่ความเร็วตัด 90 m/min จะมีอายุการใช้งานที่มากกว่ามิดกึ่งที่ไม่หมุน 34.12 เท่า

5.เมื่อพิจารณา chip formation จากกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงจะพบว่าเศษกึ่งที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันโดยเมื่อพิจารณาเศษกึ่งที่เกิดจาก cutting speed ratio ต่างกันจะมีลักษณะไม่เหมือนกันโดยเศษกึ่งที่ได้จากมิดกึ่งแบบอยู่กับที่จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงแบบ ribbon type ส่วนเศษกึ่งที่ได้จากมิดกึ่งแบบโรตารีจะเป็นแบบ spring type ซึ่งเป็นลักษณะเศษกึ่งที่ดีกว่า และเศษกึ่งที่ได้จากมิดกึ่งแบบโรตารีจะมีความหนาของเศษกึ่งที่บางกว่า

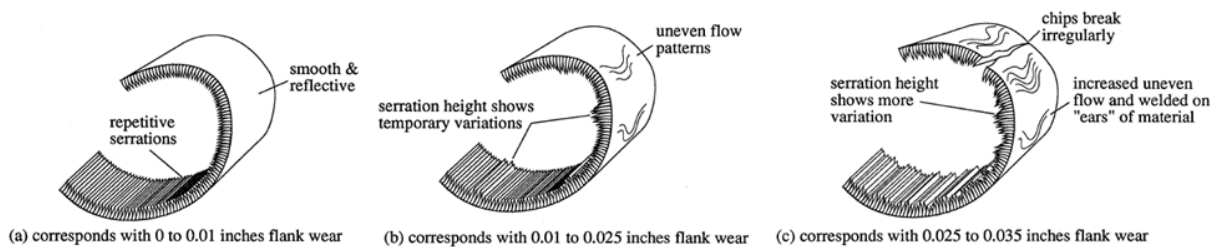


รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายขณะทำการกลึงชิ้นงานที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง a) มีดมีดอยู่กับที่
b) มีดกลึงแบบโรตารี CR = 0.4 c) มีดกลึงแบบโรตารี CR = 1.4

6. จากการพิจารณาลักษณะเศษกลึงที่เกิดขึ้นปรากฏว่าเศษกลึงที่ได้จากการทดลองด้วยมีดกลึงแบบโรตารีจะมีผิวเศษกลึงที่ราบเรียบกว่าการกลึงแบบที่มีดกลึงอยู่กับที่ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ลักษณะผิวของเศษกลึง a) มีตมิตอยู่กับที่ b) มีตกลึงแบบโรตารี CR = 0.4
c) มีตกลึงแบบโรตารี CR = 1.4



รูปที่ 4.20 chip formation เมื่อมีตเกิดการสึกหรอ ซึ่งโดยปกติเมื่อมีตมีการสึกหรอหรือที่ลดลงนั้นจะก่อให้เกิดแรงในการตัดที่เพิ่มมากขึ้นดังนั้นการพิจารณาผิวเศษกลึงจึงสามารถบอกได้ถึงสภาวะการตัดดังรูปที่ 4.20 เศษกลึงที่มีแรงตัดมากและไม่สม่ำเสมอจะเกิด uneven flow

ขึ้นซึ่งจากการทดลองจะพบว่าเศษกลิ้งที่ได้จากมีดกลิ้งที่อยู่กับที่ (รูปที่ 4.18 a) จะเกิด uneven flow ขึ้นเป็นรอยขนาดใหญ่อย่างเด่นชัดแสดงให้เห็นถึงแรงในการตัดที่ไม่ราบเรียบแต่ในขณะที่เศษกลิ้งที่ได้จากการกลิ้งด้วยมีดกลิ้งแบบโรตารีที่มีค่า CR 0.4 และ 1.4 (รูปที่ 4.18 b) และ c) ตาหาลำดับ) จะเห็นได้ว่า uneven flow ของเศษกลิ้งมีขนาดน้อยลงซึ่งเป็นผลมาจากแรงตัดที่น้อยลงนั่นเอง

7. ในการตัดแบบปกติ orthogonal cutting ที่มีดตัดไม่มีการหมุนนั้นการเพิ่ม rake angle จะช่วยให้แรงในการตัดลดลงแต่ในขณะเดียวกันการเพิ่มมุม rake angle จะส่งผลให้ความแข็งแรงของคมมีดลดลงเนื่องจากคมมีดจะมีมุมที่แหลมขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง แต่การเพิ่ม effective rake angle จากการหมุนของมีดกลิ้งแบบโรตารีนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของมีดมีดส่งผลให้เม็ดมีดแบบโรตารีมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่ามีดกลิ้งแบบโรตารีสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของเม็ดมีดได้ด้วยการลดแรงในการตัดซึ่งมีผลมาจาก cutting mechanism ที่เปลี่ยนไปคือ

1. ค่า cutting speed ratio จะส่งผลให้ effective rake angle ของมีดกลิ้งมีค่ามากขึ้นส่งผลให้แรงในการตัดลดลงการสึกหรอของเครื่องมือตัดจึงลดลง

2. การหมุนของเม็ดมีดที่มีความเร็วสูงสามารถกลับทิศของแรงเสียดทานบริเวณสัมผัสระหว่างหน้ามีดและเศษกลิ้งส่งผลให้เกิดแรงดันเศษกลิ้งให้หลุดออกไปได้ง่ายขึ้น

จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วตัด 90 m/min มีดกลิ้งแบบโรตารีจะมีอายุการใช้งานมากกว่ามีดกลิ้งที่ไม่มีการหมุน 34.12 เท่า

บรรณานุกรม(Bibliography)

- [1].David A. Stephenson and John S. Agapiou,*Metal cutting theory and practice*,Marcel Dekker,Inc New York
- [2]. Amitabha Bhattacharyya and Inyong Ham, *Design of Cutting Tools use of metal cutting theory*, ASTME ,Dearborn,Michigan ,1969
- [3]. Roy A.Lindberg,*Processes and materials of manufacture*,Prentice-Hall,inc Englewood Cliffs,New Jersey ,
- [4]. Lutjering and J.C.Williams, *Titanium Second Edition, Engineering Materials and Processes* ,Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003,2007
- [5].Milton C.Shaw,*Metal cutting principle*,Oxford University Press,Newyork,1984
- [6].Yusuf Altintas,*Manufacturing Automation Metal cutting Mechanics,Machine Tool Vibrations,and CNC Design*,Cambridge University Press,New York USA,2000
- [7].Gwidon W.Stachowiak and Andrew W.Batchelor, *Engineering Tribology Third Edition*,Elsevier,Inc Burlington USA,2005
- [8]. 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
- [9].A.R.Jha, *Cryogenic Technology and Applications* , Elsevier,Inc ,2006
- [10].A.Arkharev,I. Marfenina and Ye.Mikulín, *Theory and Design of Cryogenic Systems*,Mir Publishers,1981
- [11]. Shane Y. Hong , Yucheng Ding, Woo-cheol Jeong, *Friction and cutting forces in cryogenic machining of Ti-6Al-4V* , Wear 261 (2006) 760–766
- [12]. K.A. Venugopal, S. Paul, A.B. Chattopadhyay, *Tool wear in cryogenic turning of Ti-6Al-4V alloy*, *Cryogenics* 47 (2007) 12–18
- [13]. Ahsan Ali Khan, Mirghani I. Ahmed, *Improving tool life using cryogenic cooling*, Journal of Materials Processing Technology(2007)
- [14]. J. Barry , G. Byrne, D. Lennon, *Observations on chip formation and acoustic emission in machining Ti-6Al-4V alloy*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 41, (2001) page1055–1070
- [15]. D.E. Brehl , T.A. Dow, *Review of vibration-assisted machining*,Precision Engineering,(2007)
- [16]. <http://ucg.uigi.com/index.html> nitrogen properties
- [17]. <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=863>
- [18]. Philippe Lebrun, *Cryogenics*, Key to Advanced Science and Technology
- [19]. Renaud Metz, Celine Machado, Mourad Houabes,Mazen Elkhatib, Mehrdad Hassanzadeh, *Nitrogen spray atomization of molten tin metal:Powder morphology characteristics*, journal of materials processing technology 195 (2008) 248–254

- [20]. D. Ulutan, I. Lazoglu*, C. Dinc, *Three dimensional temperature predictions in machining processes using finite difference method*, Journal of Materials Processing Technology (2007)
- [21]. Rui Li · Albert J. Shih, Finite element modeling of 3D turning of titanium, Int J Adv Manuf Technol (2006) 29: 253–261, Springer-Verlag London Limited 2005
- [22]. SAMUEL O. AWONORIN, Film boiling characteristics of liquid nitrogen sprays on a heated plate, *Int. J. Heat Mass Transfer*
- [23]. Frank P. Incropera and David P. Dewitt, Introduction to Heat transfer, John Wiley & Sons, Inc Newyouk, 2002
- [24]. Shuting Lei , Wenjie Liu, High-speed machining of titanium alloys using the driven rotary tool, International Journal of Machine Tools & Manufacture 42 (2002) 653–661
- [25]. B.L. Juneja, G.S. Sekhon Nitin Seth, Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools, New age international(P) Limited, Publishers 2005

ภาคผนวก ก

ข้อมูลกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง KEYENCE VW-6000





No need for major equipment investment
Setup made easy

Space-saving specs are perfect for any on-site application
Stand alone design with built-in light source and LCD monitor

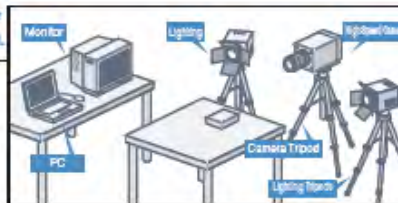
The WV-8000 features built-in lighting and an LCD monitor - both items that are separate in conventional products. The system has been reduced to the bare essentials, eliminating the need to make large investments in equipment. With the WV-8000's space-saving specs, you'll be surprised at just how easy it is to achieve high-speed recording even in on-site applications and laboratories where space is limited.

This is all the equipment you need to record high-speed video



Conventionally... Conventional configurations require a considerable amount of equipment.

Conventional configurations for high-speed recording require a considerable amount of equipment including a monitor, camera tripod, lighting tripods and a PC. They are not practical if you want to record anywhere at any time.



Conventional systems for high-speed recording require a considerable amount of equipment and take a long time to set up. The VW-8000 only has a controller, lens, and tripod. This revolutionary system with space-saving specs allows you to record when and where you need to. The VW-8000 provides the perfect solution to avoid the tedious preparations involved with setting up a conventional system.

Quick Adjustment Mechanism Macro Zoom Unit

One of the most difficult aspects of high-speed recording has been adjusting the lighting appropriately. We took a completely fresh look at this issue and designed a macro zoom unit with built-in lighting. Lighting coverage and angle can be adjusted freely to suit the target.

Macro Zoom Unit
6x optical zoom
VW-Z1

Hyper Spot Lighting
Lighting zooms in sync with the field of view, ensuring optimum brightness.

Focus Ring

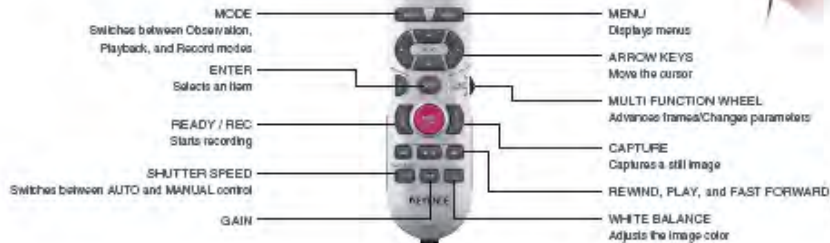


Quick Adjustment Mechanism
Lighting position can be adjusted according to obstacles around the target.

Aperture Ring
Zoom Ring

Access frequently-used functions from the console Easy hand-held operation

Frequently-used functions are concentrated on this special console. The console provides easy, efficient operation by enabling high-speed recording at the push of a button - perfect for on-site multi-tasking.

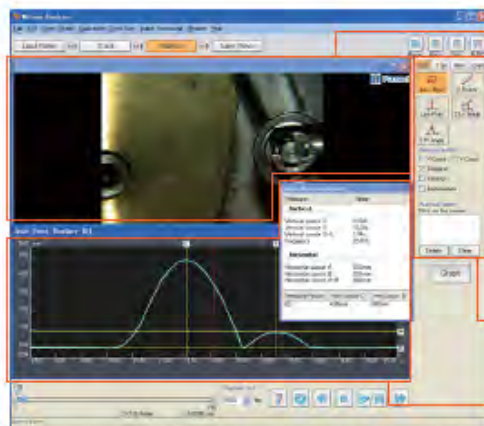


Previously impossible Quantifying motion



Flexible motion analysis Moving target analysis software

The VW-6000 automatically tracks moving objects in recorded footage to quantify speed, distance, angle, and other measurements. This lets you analyze not only how a target is moving, but how far a target is moving.



Video Display Window

Allows the operator to check changes at a specified point on the video.

Menu Window

Used to specify what to analyze.

Analysis Results

Played in sync with video. Accurately check graphs against images.

Simultaneous display of video footage and wave form graph data. It is also possible to synchronize playback of video footage and graph data, allowing the operator to accurately check specific values at points in the video where changes occur. By using actual figures and video footage to check axial wobble, robot arm behavior can be quantified. It is now possible to gain more accurate and reliable analysis results.

Principles of Moving Target Analysis

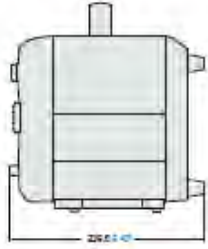
The movements of specified points in the video are tracked within the frame and position coordinates are calculated. As a result, distance and speed are calculated from time and XY calibration values.



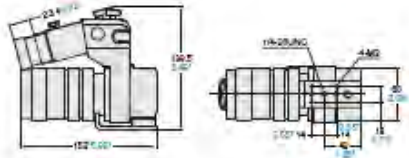
Dimensions

Unit: mm (in)

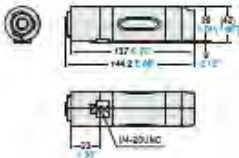
Controller VW-6000/VW-5000



Macro Zoom Unit VW-Z1



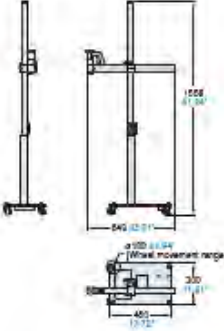
Color Camera Unit VW-100C
Monochrome Camera Unit VW-100M



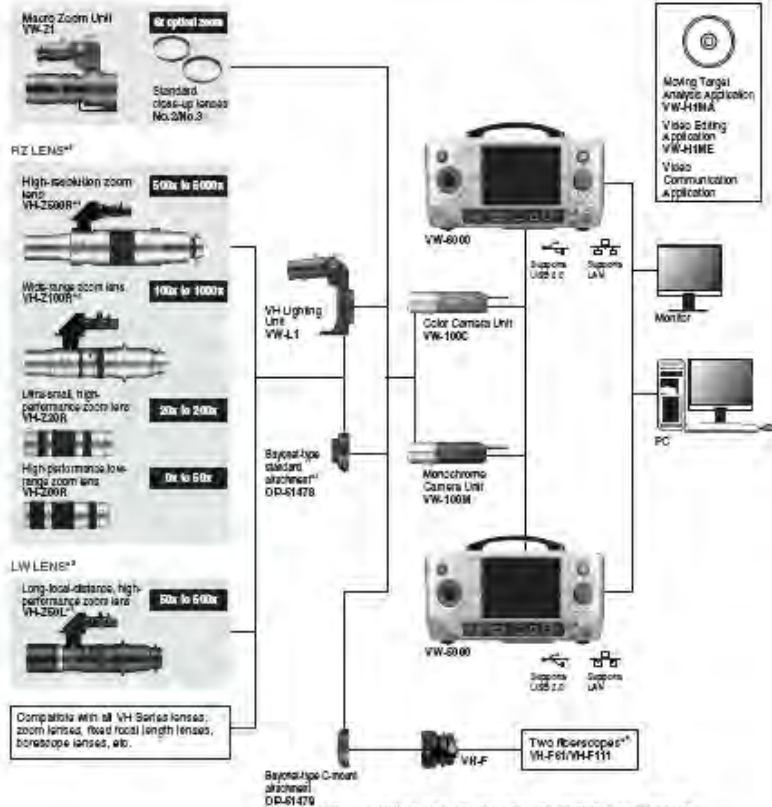
VH Lighting Unit VW-L1



Free-Angle Stand VW-S100A



System Configuration Diagram



¹⁾ Requires VW Vertical Illumination Cap (CP-4420) or VHX Fiber Cable (CB-S140) and VW-VHX Cap (CP-2705).
²⁾ Attachment for VH-200/VH-2100R/VH-2500R/VH-2400 is CP-S1547.
³⁾ Magnification on 15" monitor.
⁴⁾ Requires attachment of VHX Fiber Cable Adapter (CP-S1482) and VW-VHX Cap (CP-2705).

- Optional
- Close-up lenses No. 1 (071682) No. 4 (071683)
 - Free-angle stand VW-S100A
 - Tripod 071031
 - Free-angle observation system VH-S30
 - Anti-vibration, High-magnification observation system VH-S5

Specifications

I Controller

Model		VW-6000	VW-5000
LCD monitor	Size	Color LCD (TFT) 8.4"	Color LCD (TFT) 8.4"
	Screen size	170.4 (H) x 127.3 (V) mm 6.71" (H) x 5.03" (V)	170.4 (H) x 127.3 (V) mm 6.71" (H) x 5.03" (V)
	Pixel pitch	0.213 (H) x 0.213 (V) mm 0.01" (H) x 0.01" (V)	0.213 (H) x 0.213 (V) mm 0.01" (H) x 0.01" (V)
	Number of pixels	800 (H) x 600 (V) SVGA	800 (H) x 600 (V) SVGA
	Display color	Approx. 16 million	Approx. 16 million
Recording media	Brightness	350 cd/m ² (typical)	350 cd/m ² (typical)
	Self-protect system (For high-level recording)	2 GB	512 MB
Image format	Hard drive	160 GB (Includes reserved system space of 20 GB)	160 GB (Includes reserved system space of 20 GB)
	Video	Compressed: JPEG 2000 Uncompressed: Uncompressed AVI	Compressed: JPEG 2000 Uncompressed: Uncompressed AVI
Terminal block I/O	Still images	Compressed: JPEG Uncompressed: TIFF	Compressed: JPEG Uncompressed: TIFF
	Recording start input (TRIG IN)	No-voltage input	No-voltage input
	Photo start input (CAPTURE)	No-voltage input	No-voltage input
	Still image input (PAUSE)	No-voltage input	No-voltage input
	Sync output (SYNC OUT)	NPN open collector output	NPN open collector output
	Video trigger output (TRIG OUT)	NPN open collector output	NPN open collector output
	Service power supply (+12V)	12 VDC 100mA	12 VDC 100mA
Video output	Analog RGB	1280 x 1024 or 800 x 600 pixels	1280 x 1024 or 800 x 600 pixels
	USB 2.0 ports	Type A Type B	4x
LAN ports	For external PC communication (No communication software)	For external PC communication (No communication software)	For external PC communication (No communication software)
	For internal PC communication (No communication software)	For internal PC communication (No communication software)	For internal PC communication (No communication software)
Power supply	For external PC communication	RL-45 (100BASE-TX)	RL-45 (100BASE-TX)
	Voltage	100 to 240 VAC ±10% 50/60 Hz	100 to 240 VAC ±10% 50/60 Hz
Environmental resistance	Power consumption	200 VA max.	200 VA max.
	Ambient temperature	5 to 40°C (41 to 104°F)	5 to 40°C (41 to 104°F)
Weight	Relative humidity	35 to 80% RH (No condensation)	35 to 80% RH (No condensation)
	Controller	Approx. 7.1 kg	Approx. 7.1 kg
Dimensions	Controller	410 (W) x 215 (H) x 230 (D) mm 16.14" (W) x 8.48" (H) x 9.08" (D)	410 (W) x 215 (H) x 230 (D) mm 16.14" (W) x 8.48" (H) x 9.08" (D)
	Controller	410 (W) x 215 (H) x 230 (D) mm 16.14" (W) x 8.48" (H) x 9.08" (D)	410 (W) x 215 (H) x 230 (D) mm 16.14" (W) x 8.48" (H) x 9.08" (D)
Software	Easy recording	Yes	Yes
	Quick preview feature	Yes	Yes
	Extended-play recording	Yes (50 fps: max. 4 hr, 60 fps: max. 15 hr, 15 fps: max. 62 hr)	Yes (50 fps: max. 4 hr, 60 fps: max. 15 hr, 15 fps: max. 62 hr)
	Image touch up	Yes	Yes
	Comment display	Yes	Yes
	Timer recording	Yes	No
	Memory split	Yes	No
	Dimension measurement	Yes	No
	High quality depth composition	Yes	No
	Quick 3D display	Yes	No
	Moving target analysis	Yes (1 point track)	No

I Camera

Model		VW-1000 (Color Camera Unit)	VW-100M (Monochrome Camera Unit)
Image receiving element		1/2" CMOS image sensor	1/2" CMOS image sensor
Image element resolution		640 x 480	640 x 480
Scanning system		Progressive	Progressive
Maximum recording resolution (Maximum recording time ^{*)}	250fps max.	640 x 480 (22.4 s ^{*)})	640 x 480 (22.4 s ^{*)})
	500fps	640 x 240 (22.4 s)	640 x 240 (22.4 s)
	1000fps	256 x 256, 640 x 118 (26.2 s)	256 x 256, 640 x 118 (26.2 s)
	2000fps	256 x 128, 640 x 58 (26.1 s)	256 x 128, 640 x 58 (26.1 s)
	4000fps	128 x 120, 256 x 68 (26.0 s)	128 x 120, 256 x 68 (26.0 s)
	6000fps	128 x 60, 256 x 34 (27.7 s)	128 x 60, 256 x 34 (27.7 s)
	16000fps	64 x 30 (35.8 s)	64 x 30 (35.8 s)
24000fps	64 x 32 (35.1 s)	64 x 32 (35.1 s)	
Maximum recording pixels (When saving still images)		1600 x 1440 (When using pixel shift)	640 x 480
Electronic shutter		AUTO, MANUAL (1/250 to 1/870000 s), LONG SHUTTER (100, 200, 300 ms)	AUTO, MANUAL (1/30 to 1/870000 s), LONG SHUTTER (100, 200, 300 ms)
White balance		MANUAL, PUSH-SET	MANUAL, PUSH-SET
Lamp	Lamp	80 W metal halide lamp	80 W metal halide lamp
	Lifetime	2000 hr (average)	2000 hr (average)
Color temperature		3000 K	6400 K
Weight		Approx. 510 g	Approx. 420 g

*1 Recording time for VW-6000. *2 Recording time at 250 fps.

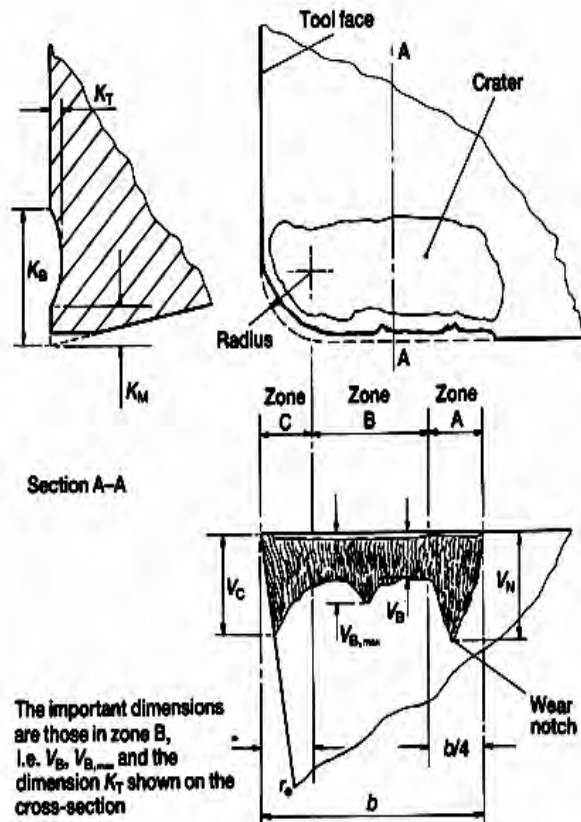
I Detailed Modules

Controller		Records and plays video and still images
Software	Easy recording software	Sets and records video via flow chart
	MeasArea measurement software	Measures dimensions and area (VW-6000 only)
	Depth composition 3D display software	Loads multiple, in-focus images of the target at various heights to create a single composite 3D image (VW-6000 only)
	Camera setting image touch-up software	Corrects images to make them easier to observe
Comment input software		Enables comments including text or highlighting to be added to images

ภาคผนวก ข

ข้อกำหนดเกี่ยวกับการสึกหรอบนคมตัดของใบมีดกลึงตามมาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E)

มาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E) ได้มีการแบ่งเขตของการสึกหรอบนผิวหลบบนใบมีดกลึงเพื่อให้การวัดขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบเป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดยเขตของการสึกหรอบนผิวหลบ แสดงในรูป ข-1



รูปที่ ข.1 เขตของการสึกหรอตามมาตรฐานสากล (ISO 3685 : 1993 (E))

มาตรฐาน ISO 3685 ได้แบ่งเขตของการสึกหรอบนผิวหลบออกเป็น 3 เขต คือ เขต A เขต B และเขต C โดยกำหนดให้ b เป็นระยะป้อนลึกในการตัดเฉือนชิ้นงาน

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

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

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

มาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E) ได้กำหนดการวัดขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบ โดยกำหนดให้ทำการวัดขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบในช่วงกว้างของเขต B และกำหนดให้ V_B เป็นขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบเฉลี่ย ส่วน $V_{B \max}$ เป็นขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบสูงสุด นอกจากนี้มาตรฐาน ISO 3685 : 1993 (E) ยังมีข้อกำหนดในการใช้ขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบเป็นเครื่องมือในการบ่งบอกการเสื่อมสภาพและการลื่นสภาพของใบมีด โดยกำหนดให้เลือกใช้ได้สองกรณี คือถ้าเลือกใช้ขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบ เฉลี่ย จะกำหนดให้ใบมีดเสื่อมสภาพและการลื่นสภาพเมื่อขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบเฉลี่ย (V_B) มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.3 mm และถ้าเลือกใช้ขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบสูงสุดจะกำหนดให้ใบมีดเสื่อมสภาพและการลื่นสภาพเมื่อขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบสูงสุด ($V_{B \max}$) มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.6 mm ตำแหน่งของ V_B และ $V_{B \max}$ แสดงในรูปที่ ข.1

ประวัตินักวิจัยและคณะ

นักวิจัยหลัก

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Pairat Tangpornprasert
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-7098-00237-84-2
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์
โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์ 0-2218-6749 โทรสาร 0-2252-2889 Email: pairat.t@chula.ac.th
5. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	สาขา	ปีที่จบ	สถาบันและประเทศ
ปริญญาเอก	Engineering Synthesis	2547	The University of Tokyo, Japan
ปริญญาโท	Mechanical Engineering	2540	Chulalongkorn University, Thailand
ปริญญาตรี	Mechanical Engineering	2532	Chulalongkorn University, Thailand

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
6.1 Biomechanics
6.2 Advanced Manufacturing
6.3 Nano-Micro Machining
6.4 Robotics and Control
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่

- Tangpornprasert, P., Virulsri, C., and Keeratihattayakorn S.,
"Improvement of cutting mechanism by reducing friction on tool's rake face", the 22th National Mechanical Engineering Conference, Pathumthani, 15-17 October 2008.

- Virulsri, C., Tangpornprasert, P., Charoenboonvivat S., Prechakithavorn K., Rattanasook N., Wanakosum T., Phucharoen P. and Sukhawathanakarn S., "Design and Manufacturing of the above knee prosthesis for the amputees", the 22th National Mechanical Engineering Conference, Pathumthani, 15-17 October 2008.
- Virulsri, C., Tangpornprasert, and Phattaranithikhun, D., "Joints dynamic of human lower limb from image processing", the 22th National Mechanical Engineering Conference, Pathumthani, 15-17 October 2008.
- Tangpornprasert, P., Virulsri, C., Romtrairat, P. Limpawatthanasiri, T. and Panseetong, P., A Stress Distribution Analysis for Hip Prosthesis, Proceedings of the 21th National Mechanical Engineering Conference, Chonburi, 2007.
- Tangpornprasert, P., Virulsri, C., and Jiamluksanapaisarn, S., Surface Roughness Improvement by Sequence of Abrasive Particle Size, Proceedings of the 21th National Mechanical Engineering Conference, Chonburi, 2007.
- Tangpornprasert, P., Virulsri, C., Keeratihatayakorn, S., Kamtip, P. and Isvilanonda, V. and Sookchaiyaporn, S., The Design of Fixed-Bearing Knee Prosthesis with Internal-External Rotation, Proceedings of the 21th National Mechanical Engineering Conference, Chonburi, 2007.
- Virulsri, C., Tangpornprasert, P., and Phattaranithikhun, D., Kinematics Analysis of Human Knee Joint from Image Processing, Proceedings of the 21th National Mechanical Engineering Conference, Chonburi, 2007.
- Tangpornprasert, P., Virulsri, C., Keeratihatayakorn, S., Kamtip, P. and Isvilanonda, V. and Sookchaiyaporn, S., Design of Guide Surface for Fixed-Bearing Knee Prosthesis, The 5th National Conference on Biomedical Engineering, Bangkok, 2007.
- Tangpornprasert, P., Virulsri, C., Romtrairat, P. Limpawatthanasiri, T. and Panseetong, P., Stress Distribution Improvement in Hip Prosthesis, The 5th National Conference on Biomedical Engineering, Bangkok, 2007.
- Virulsri, C., Tangpornprasert, P., Romtrairat, P., Sirikolkarn, K. and Ngamlertsirichai, N., Design of Dynamic Stabilization for Lumbar Spine, The 5th National Conference on Biomedical Engineering, Bangkok, 2007.

- Virulsri, C. and Tangpornprasert, P., "Multi-Objective Topology Optimization for Posterior Fixation Device of Lumbar Spine", Proceedings of the 20th National Mechanical Engineering Conference, Nakhon Ratchasima, 2006.
- Virulsri, C., Tangpornprasert, P. and Pataranithikun, D., "Dynamics Analysis and Simulation of Human Knee Joint", Proceedings of the 20th National Mechanical Engineering Conference, Nakhon Ratchasima, 2006.
- Tangpornprasert, P., Virulsri, C., and Jiamluksanaphaisarn, S., "Surface Roughness Improvement by Abrasive Machining ", Proceedings of the 20th National Mechanical Engineering Conference, Nakhon Ratchasima, 2006.
- Pairat T. and Viboon S., "Machining State Determination and Remote Monitoring for Intelligent Machining Center", 6th Field-wise Seminar on Manufacturing Engineering AUN/SEED NET, 2005.
- Virulsri, J., Tangpornprasert, P. and Tadano, S., C Program and Finite Element Program ANSYS Interface Methodology for Topology Multi-Objective Optimization, Proceedings of the 19th National Mechanical Engineering Conference, Phuket, 2005.
- Pairat Tangpornprasert, Kentaro NUNOKAWA, Shin'ichi WARISAWA, and Mamoru MITSUISHI, "Ductile mode cutting with torsional vibration for glass material" Proceedings ASPE 2003 Annual Meeting, Vol 28, pp.515-518., 2003.
- パイラット タンポンプラサート, 割澤伸一, 布川健太郎, 光石衛 : ねじり振動によるガラスの延性モード切削、日本機械学会 2003 年度年次大会, 2903Vol.IV pp.279-280, 2003.
- パイラット・タンポンプラサート、割澤伸一、光石衛 : 高速切削によるガラスの延性モード微細加工、2003 年度精密工学会秋季大会、D67、 p.178, 2003.
- Shin'ichi WARISAWA, Takashi KARINO, Pairat TANGPORNPRASERT, and Mamoru MITSUISHI, "Development of a Micro Cutting and Deforming System for Glass Materials" Proceedings ASPE Annual Meeting, Vol 27, pp.310-315, 2002.

ผู้ช่วยวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย ศรัณย์ กীরติหัตถยากร
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Saran Keeratihattayakorn
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1-1007-00166-33-2
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์ 0-2218-6749 โทรสาร0-2252-2889
Email:saran462293@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	สาขา	ปีที่จบ	สถาบันและประเทศ
ปริญญาตรี	Mechanical Engineering	2549	Chulalongkorn University, Thailand