

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. วัสดุमितและสมบัติทางกล (Tool Materials and Their Properties)

การขึ้นรูปวัสดุงานโดยการตัดเฉือน มีองค์ประกอบที่สำคัญและจำเป็นหลายประการ ที่จะทำให้กระบวนการปฏิบัติงานดำเนินไปตามระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีทฤษฎีที่กล่าวถึงการตัดเฉือน (Metal Cutting Theory) ในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ดังนี้ [3]

1.1 วัสดุमित (Tool Materials)

วัสดุที่นำมาใช้ในการทำมีดกลึง มีหลายชนิด ทั้งนี้เพื่อให้มีความเหมาะสมกับกระบวนการผลิต โดยแบ่งเป็นกลุ่มหลัก ๆ ได้ 8 กลุ่มดังนี้

1.1.1 เหล็กคาร์บอน (Carbon Tool Steels) ส่วนผสมหลักประกอบด้วย เหล็กกับคาร์บอน ในปริมาณ 0.6-1.4% เมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) จะทำให้มีความแข็ง 58-64 HRC (Rockwell Hardness Scale C) และทนความร้อนที่เกิดจากการตัดเฉือนได้ 200-250 องศาเซลเซียส ใช้ทำเครื่องมือตัดจำพวกใช้กับงานไม้ และตะไบ

1.1.2 เหล็กโลหะผสม (Alloy Tool Steels) คือวัสดุमितเหล็กคาร์บอนที่เพิ่มส่วนผสมจากวัสดุอื่นอีกเล็กน้อย คือ Chromium, Tungsten, Molybdenum, Vanadium ฯลฯ ทนความร้อนที่เกิดจากการตัดเฉือนได้ 250-300 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วตัดได้สูงกว่าวัสดุमित Carbon Tool Steels ประมาณ 20-40%

1.1.3 เหล็กความเร็วรอบสูง (High Speed Steel) คือ วัสดุमितโลหะผสม ที่มีส่วนผสมของ Chromium, Cobalt, Tungsten, และ Vanadium ฯลฯ ในปริมาณสูง เช่น Tungsten 8.5-19%, Chromium 3.8-4.6%, Manganese, Silicon และ Nickel ไม่เกิน 0.4%, Molybdenum 0.3-0.5%, Sulfur 0.03%, และ Phosphorus 0.030-0.035% เป็นต้น ทนความร้อนที่เกิดจากการตัดเฉือนได้ถึง 600 องศาเซลเซียส มีความแข็ง 62-65 HRC ใช้ทำมีดกลึง (Lathe Tool) มีดกัด (Milling Cutter) Reamer และ Tap เป็นต้น

1.1.4 เหล็กโลหะแข็ง (Carbides) ทำจากวัสดุที่เกิดจากส่วนผสมของวัสดุหลายชนิด แบ่งได้หลายจำพวก เช่น

1.1.4.1 เหล็กโลหะแข็งทังสเตน (Tungsten Cemented Carbide)

1.1.4.2 เหล็กโลหะแข็งไททาเนียมทังสเตน (Titanium-Tungsten Cemented Carbide)

1.1.4.3 เหล็กโลหะแข็งไททาเนียม ทังสเตน แทนทาลัม (Titanium-Tantalum Tungsten Cemented Carbide)

วัสดุกลุ่มนี้ทนความร้อนที่เกิดจากการตัดเฉือนได้ถึง 800-900 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นสูงประมาณ 9.5-15.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความแข็ง 87-92 HRC ใช้ความเร็วตัดได้สูงมากถึง 2,700 เมตรต่อนาทีในการตัดเฉือนเหล็กเหนียวที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength, σ_u) = 45 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร และ 5,000 เมตรต่อนาทีในการตัดเฉือนวัสดุงานที่มีความแข็งน้อย เช่น อลูมิเนียม ทองแดง ฯลฯ เนื่องจากวัสดุमितกลุ่มนี้มีความเปราะมาก โดยปกติจะทำเป็นชิ้นเล็ก ๆ (Inserted Tip) ติดเข้ากับลำตัวมีดซึ่งทำจากวัสดุที่มีความเหนียวสูงกว่าวัสดุเหล็กโลหะแข็งที่ทำเป็นคมตัด

1.1.5 วัสดุเม็ดเซรามิก (Ceramic Tool Materials or Cemented Oxides) ประกอบด้วยส่วนผสมหลักคือ Aluminum Oxide (Al_2O_3), Tungsten, Molybdenum, Boron, Titanium ฯลฯ ที่มีลักษณะเป็นผง กดขึ้นรูปและเชื่อมประสานด้วยความร้อนตามกรรมวิธี Sintering ทำเป็นชิ้นเล็กๆ เหมือนกับ Cemented Carbides แต่มีราคาสูงกว่า ทนแรงกดได้สูงมากถึง 500 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร มีความแข็ง 89-95 HR_A ทนความร้อนที่เกิดจากการตัดเฉือนได้ถึง 1,200 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วตัดได้สูงมากถึง 3,700 เมตรต่อนาทีในการตัดเฉือนเหล็กหล่อ แต่มีความเปราะสูงมากเช่นกัน คือมีความต้านทานแรงดัด (Bending Strength) ได้เพียง 45 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร โดยทั่วไปใช้สำหรับงานสำเร็จหรือกึ่งสำเร็จ ช่วยลดเวลางานลงได้อย่างมาก เนื่องจากใช้ความเร็วตัดได้สูง

1.1.6 เพชร (Diamonds) เป็นวัสดุที่ใช้ทำเป็นเม็ดตัดที่มีความแข็งมากที่สุด ไม่ค่อยมีปฏิกิริยาทางเคมีกับกรดและด่าง (ยกเว้นสารจำพวกกรด Sulfuric และ Potassium Dichromate) มีความเสียดทานต่ำ ทนต่อการเสียดสี โลหะเกาะติดได้ยาก ทนความร้อนที่เกิดจากการตัดเฉือนได้ถึง 1,500 องศาเซลเซียส แต่มีข้อเสียคือเปราะมากและมีราคาแพง จึงมีการผลิตเพชรเทียม (Synthetic Diamond) จากคาร์บอนภายใต้แรงดันและอุณหภูมิที่สูงมาก นำมาบดทำเป็นผงทำเป็น Abrasive Tool เช่น ล้อหินเจียรระโน แท่งหินขัด ตะไบ หินเจียรระโนงาน Honing และผง Lapping เป็นต้น

1.1.7 เหล็กกล้าตัวมิด (Structural Steels) เป็นโลหะจำพวกเหล็กคาร์บอน ที่ใช้ทำเป็นลำตัวมิด เนื่องจากมีความเหนียว แข็งแรง และช่วยลดต้นทุน จากการทำลำตัวมิดด้วยวัสดุเม็ดล้วนๆ เนื่องจากมีราคาแพงกว่า

1.1.8 สารเชิงทราย (Abrasive Materials) ทำขึ้นจากวัสดุจำพวกสารเชิงทรายเม็ดเล็กๆ ขึ้นรูปให้เป็นรูปทรงต่างๆ ด้วยการผสมสารยึดเกาะ (Bonding) มีหลายลักษณะเช่น แผ่นกลมแบน ทรงกระบอก แท่งสี่เหลี่ยม ฯลฯ ส่วนใหญ่ใช้ตัดเฉือนวัสดุงานสำเร็จที่ต้องการความเรียบของผิวงานมาก ๆ

1.2 รูปทรงทางเรขาคณิตของมีดกลึง (Lathe Tool Geometry)

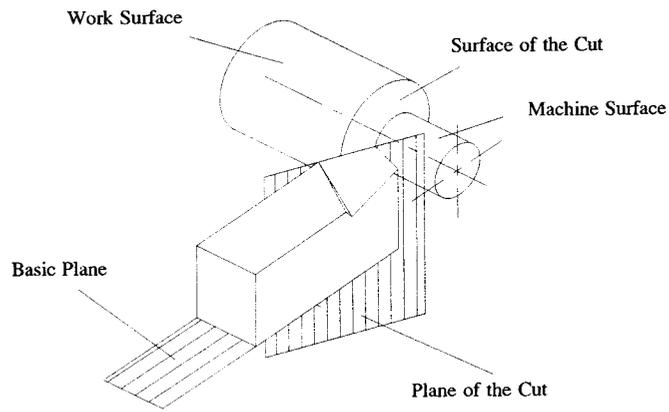
มีดกลึงเป็นเครื่องมือตัดเฉือนที่มีคมตัดเดียว (Single Point Tool) ใช้ในการขึ้นรูปวัสดุงานที่มีลักษณะที่เป็นทรงกระบอกตรง (Longitudinal Turning) ทรงกระบอกเรียว (Taper Turning) รูปทรงโค้งเว้า (Convex or Concave Turning) และงานกลึงปาดหน้า (Facing) เป็นต้น

1.2.1 มุมมีด (Tool Angle) คือรูปทรงของส่วนที่เป็นคมตัดที่มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม ถูกลับด้วยหินเจียรระโนให้มีมุมตามที่กำหนด การวัดมุมจะใช้วิธีเทียบกับระนาบอ้างอิงคือ Basic Plane, Plane of The Cut และ Reference Plane

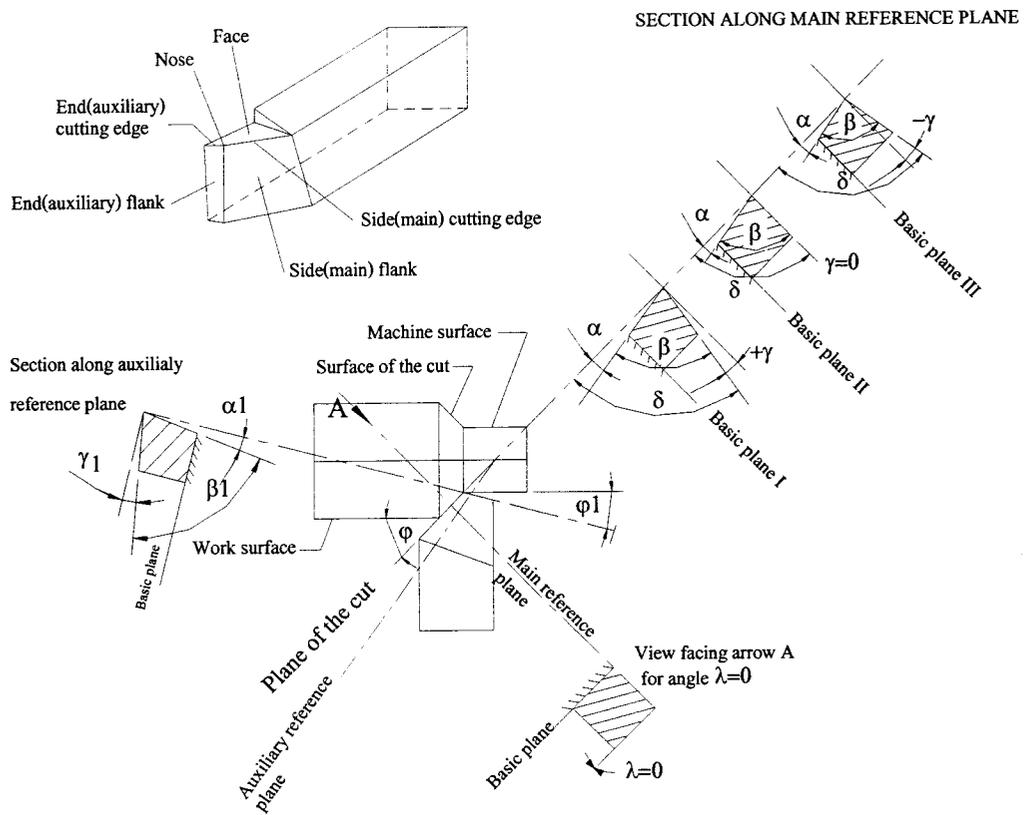
1.2.1.1 ระนาบการตัด (Plane of the Cut) คือระนาบที่สัมผัสกับผิวรอยตัด (Cut Surface) ขนานตามแนวขอบคมตัดด้านข้าง (Side or Main Cutting Edge) ดังรูปที่ 1

1.2.1.2 ระนาบพื้นฐาน (Basic Plane) คือระนาบที่ขนานกับแนวการเคลื่อนที่ของมีด หรือขนานกับแกนของชิ้นงาน ในกรณีที่เป็นกรกลึงปอก และตั้งฉากกับแนวแกนชิ้นงานในกรณีของงานกลึงปาดหน้า หรือเรียกว่าระนาบที่เป็นฐานจับยึดตัวมีด ดังรูปที่ 1 และ 2

1.2.1.3 มุมหลัก (Main Angle) ทำการวัดโดยเทียบกับระนาบอ้างอิงหลัก (Main Reference Plane) ซึ่งจะตั้งฉากกับระนาบของขอบคมตัดบนระนาบพื้นฐาน ประกอบด้วยมุมพีร์ (Relieve Angle) มุมลิ้ม (Wedge or lip Angle) มุมคายน (Rake Angle) และมุมตัด (Cutting Angle) โดยแสดงวิธีการวัดค่ามุมต่างๆ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 Plane of the Cut, Basic Plane และผิวงานต่างๆ ในงานกลึง [3]



รูปที่ 2 ผิวงาน (Workpiece Surface) และมุมมีดกลึงต่างๆ [3]

1.2.1.4 มุมฟรีด้านข้าง (Side or Main Relieve Angle, α) คือมุมที่อยู่ระหว่างระนาบของผิวฟรีหลัก (Main Flank) ของจุดซึ่งอยู่บนขอบคมตัดกับระนาบที่ถูกตัดเฉือน

1.2.1.5 มุมลิ้ม (Wedge Angle, β) คือมุมระหว่างผิวหน้ามีด (Tool Face) กับผิวฟรีหลัก

1.2.1.6 มุมคายด้านข้าง (Side Rake Angle, γ) คือมุมที่อยู่ระหว่างผิวคายเศษกับระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบการตัดเฉือน ซึ่งมีทั้งมุมบวก มุมลบ และมุมเป็นศูนย์ ดังรูปที่ 2

1.2.1.7 มุมตัด (Cutting Angle, δ) คือมุมที่อยู่ระหว่างผิวหน้ามีดกับระนาบการตัดเฉือน ในกรณีที่มุม Normal Side Rake Angle (γ) มีค่าเป็นบวก จะได้สมการของมุมดังนี้

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (2-1)$$

$$\delta + \gamma = 90^\circ \quad (2-2)$$

$$\alpha + \beta = \delta \quad (2-3)$$

$$\delta = 90^\circ - \gamma \quad (2-4)$$

ถ้าหากว่ามุม γ มีค่าเป็นลบ จะทำให้มุม $\delta > 90^\circ$

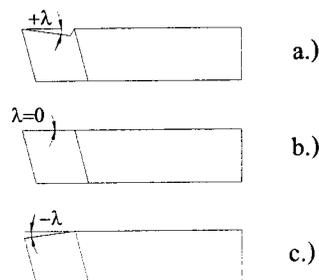
1.2.1.8 มุมฟรีปลายมีด (End relieve angle, α_1) คือมุมที่อยู่ระหว่างผิวฟรีปลายมีด (End Flank) กับระนาบที่ตัดผ่านคมตัดปลายมีด (End Cutting Edge) และตั้งฉากกับระนาบพื้นฐาน มุมฟรีปลายมีด จะวัดในระนาบช่วยอ้างอิง (Auxiliary Reference Plane) ซึ่งตั้งฉากกับระนาบกับแนวของคมตัดปลายมีด บนระนาบพื้นฐาน ซึ่งระนาบดังกล่าวจะใช้ในการวัดมุมคายปลายมีด (End Rake Angle, γ_1) ด้วยเช่นกัน

1.2.1.9 มุมตั้งเอียงคมตัด (Plan Approach Angle, ϕ) คือมุมที่อยู่ระหว่างแนวเส้นของคมตัดด้านข้างบนระนาบพื้นฐาน กับทิศทางการเดินป้อนของมีดกลึง

1.2.1.10 มุมคมตัดปลายมีด (End Cutting Edge Angle, ϕ_1) คือมุมที่อยู่ระหว่างแนวเส้นของคมตัดปลายมีด บนระนาบพื้นฐาน กับทิศทางการเดินป้อนของมีดกลึง

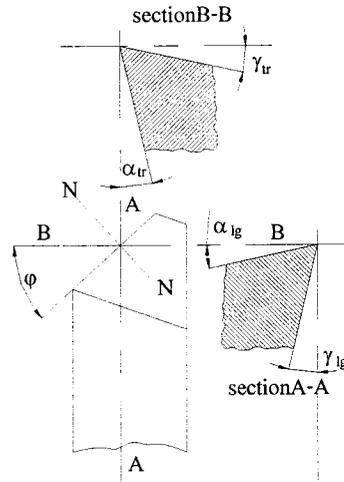
1.2.1.11 มุมปลายมีด (Nose Angle, ϵ_1) คือมุมที่เกิดจากการรวมกันของมุมตามแนวขอบคมตัดบนระนาบพื้นฐานซึ่ง $\phi + \epsilon + \phi_1 = 180^\circ$

1.2.1.12 มุมลาดเอียงคมตัดด้านข้าง (Angle of Inclination of the Side Cutting Edge, λ) คือมุมที่เกิดจากการรวมกันระหว่างเส้นขอบคมตัดกับเส้นที่ลากผ่านปลายมีด และขนานกับระนาบพื้นฐาน วัดมุมในระนาบที่ตัดผ่านขอบคมตัดด้านข้าง และตั้งฉากกับระนาบพื้นฐาน ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ซึ่งมีทั้งที่เป็นบวกเมื่อปลายมีด (Tool Nose) เป็นจุดสูงสุดของขอบคมตัด เป็นลบเมื่อปลายมีดเป็นจุดต่ำสุดของขอบคมตัด และเป็นศูนย์เมื่อขอบคมตัดขนานกับระนาบพื้นฐาน ดังรูปที่ 3

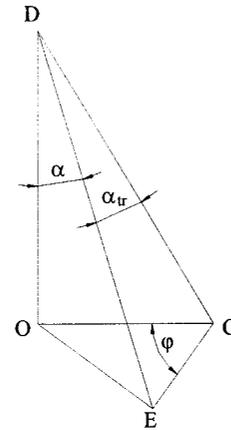


รูปที่ 3 แสดงลักษณะมุม Angle of Inclination a.) มุมเป็นบวก b.) มุมเป็นศูนย์ c.) มุมเป็นลบ [3]

การวัดขนาดของมุม γ และ α ในระนาบของผิวอ้างอิงหลัก (Main Reference Plane) เป็นสิ่งจำเป็นในการเจียระไนลับคมตัด โดยวัดเทียบในแนวแกนของมีด (Tool Axis) และเส้นตั้งฉากกับแนวแกนของมีด ดังรูปที่ 4 ถ้าวัดเทียบกับแนวแกนของมีดบนระนาบ A-A และขอบคมตัดด้านข้าง จะทำให้เกิดมุม γ_{lg} และ α_{lg} ในขณะที่ ในระนาบตัดขวาง B-B จะเกิดมุม γ_{tr} และ α_{tr} โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่าง α และ α_{tr} เป็นดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 การวัดมุมมีดกลึงในระนาบ Longitudinal [3]



รูปที่ 5 แสดงการหาค่ามุม α_{tr} [3]

ซึ่งค่ามุมต่างๆ มีความสัมพันธ์กันดังต่อไปนี้

$$\tan \alpha = OE / OD \quad (2-5)$$

$$\tan \alpha_{tr} = OC / OD \quad (2-6)$$

$$\begin{aligned} \tan \alpha / \tan \alpha_{tr} &= (OE \cdot OD) / (OD \cdot OC) \\ &= OE / OC \\ &= \sin \phi \end{aligned} \quad (2-7)$$

$$\begin{aligned} \tan \alpha / \tan \alpha_{tr} &= \sin \phi \tan \alpha_{tr} \\ &= \tan \alpha / \sin \phi \end{aligned} \quad (2-8)$$

$$\tan \alpha_{lg} = \tan \alpha / \cos \phi \quad (2-9)$$

$$\tan \gamma_{lg} = \tan \gamma \cos \phi - \tan \lambda \sin \phi \quad (2-10)$$

$$\tan \gamma_{tr} = \tan \gamma \sin \phi + \tan \lambda \cos \phi \quad (2-11)$$

$$\tan \gamma = \tan \gamma_{tr} \sin \phi + \tan \gamma_{lg} \cos \phi \quad (2-12)$$

2. องค์ประกอบของกระบวนการตัดเฉือนในงานกลึง (Elements of the Cutting Process in Turning Operation)

กระบวนการตัดเฉือน เพื่อการขึ้นรูปวัสดุงานโดยการกลึง จะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

2.1 การเคลื่อนที่เพื่อให้เกิดการตัดเฉือน (Cutting Operation)

ในกระบวนการนี้ มีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนพร้อมๆ กันของระบบต่างๆ ดังนี้

2.1.1 การเคลื่อนที่หลัก (Working Motion) หมายถึงการเคลื่อนที่เพื่อให้เกิดการตัดเฉือนอย่างต่อเนื่อง ประกอบด้วยการเคลื่อนที่พร้อมกันของระบบการทำงาน 2 ระบบคือ

2.1.1.1 การหมุนรอบจุดศูนย์กลางของชิ้นงาน (Primary Cutting Motion)

2.1.1.2 การเคลื่อนที่ของมีดกลึง (Feed Motion)

2.1.2 การจัดเตรียมงาน (Auxiliary Motion) หมายถึงการจัดเตรียมความพร้อมของเครื่องจักรเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในงานกลึง รวมทั้งการตรวจสอบสภาพ และความเที่ยงตรงของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้มีความพร้อม เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.3 ตัวแปรในการตัดเฉือน (Cutting Parameter) หมายถึงการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อกำหนดค่าความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกรอยตัด (Cutting Speed, Feed and Depth of Cut) โดยองค์ประกอบทั้ง 3 ประการ เป็นส่วนสำคัญที่มีอิทธิพลต่อระบบการตัดเฉือน ที่จะทำให้กระบวนการทำงานนั้น ๆ ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด

2.1.3.1 ความเร็วตัด (Cutting Speed) หมายถึง การเคลื่อนที่ของจุดที่อยู่ระหว่างคมตัดของมีดกับผิวของชิ้นงานที่กำลังเกิดการเคลื่อนที่รอบจุดศูนย์กลางขณะเกิดการตัดเฉือน โดยคิดที่ขนาดผิวงานนอกสุด คำนวณหาค่าได้จากสูตรต่อไปนี้

$$v = \pi D n / 1000 \quad \text{เมตรต่อนาที} \quad (2-13)$$

$$v = \text{ความเร็วตัด} \quad \text{เมตรต่อนาที}$$

$$D = \text{ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน} \quad \text{มิลลิเมตร}$$

$$n = \text{ความเร็วรอบการหมุนของชิ้นงาน} \quad \text{รอบต่อนาที}$$

ความเร็วตัดที่เกิดขึ้นในงานตัดเฉือนมีหลายลักษณะ แบ่งตามกระบวนการได้ดังนี้

(1) งานกลึงปอก (Longitudinal Turning) หมายถึงงานกลึงที่คมตัดของมีดกลึงเคลื่อนที่ตัดเฉือนเนื้อชิ้นงาน ในทิศทางขนานกับแนวแกนของจุดศูนย์กลางชิ้นงานที่กำลังหมุน ซึ่งความเร็วตัดนี้จะมีขนาดคงที่ในกรณีทำงานเป็นรูปทรงกระบอกและไม่ใช่การกลึงเรียว เมื่อชิ้นงานหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ ค่าความเร็วตัดสูงสุดคิดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผิววนอกสุดของชิ้นงาน

(2) งานกลึงปาดหน้า (Facing) หมายถึงงานกลึงที่คมตัดของมีดกลึงเคลื่อนที่ตัดเฉือนเนื้อชิ้นงานในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนของจุดศูนย์กลางชิ้นงานที่กำลังหมุน (ตามแนวรัศมี จากด้านนอกเข้าสู่จุดศูนย์กลาง หรือจากจุดศูนย์กลางออกมาด้านนอก) ในกรณีนี้ความเร็วตัดจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของรัศมีชิ้นงาน มีค่ามากที่สุดที่ด้านนอกและเป็นศูนย์ที่จุดศูนย์กลาง แต่การพิจารณาใช้ความเร็วตัดจะพิจารณาจากค่าสูงสุด

(3) งานคว้าน (Boring) หมายถึงงานกลึงขยายขนาดรูของชิ้นงาน โดยทั่วไปจะเป็นแบบ Longitudinal ความเร็วตัดคิดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในโตสุดขณะทำการตัดเฉือน

2.1.3.2 อัตราป้อน (Feed) หมายถึงระยะทางในการเคลื่อนที่ของมีดเข้าทำการตัดเฉือนชิ้นงานต่อหน่วยเวลา มี 3 ลักษณะดังนี้

(1) การป้อนตามยาว (Longitudinal Feed) หมายถึงคมตัดของมีดกลึงเคลื่อนที่ตัดเฉือนเนื้อชิ้นงานในทิศทางขนานกับแนวแกนของจุดศูนย์กลางชิ้นงานที่กำลังหมุน

(2) การป้อนตามขวาง (Cross Feed) หมายถึงคมตัดของมีดกลึงเคลื่อนที่ตัดเฉือนเนื้อชิ้นงาน ในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนของจุดศูนย์กลางชิ้นงานที่กำลังหมุน

(3) การป้อนเอียงทำมุม (Angular Feed) หมายถึงคมตัดของมีดกลึงเคลื่อนที่ตัดเฉือนเนื้อชิ้นงานในทิศทางทำมุมกับแนวแกนของจุดศูนย์กลางชิ้นงานที่กำลังหมุน เช่นงานกลึงเรียว เป็นต้น อัตราป้อน คำนวณหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$s = s_m / n \quad \text{มิลลิเมตร/รอบ} \quad (2-14)$$

s_m = ระยะทางการเคลื่อนที่ของมีด/นาที มิลลิเมตร/นาที

n = ความเร็วการหมุนของชิ้นงาน/นาที รอบ/นาที

2.1.3.3 ความลึกรอยตัด (Depth of Cut, t) หมายถึงความหนาของชั้นผิวงานวัสดุที่ถูกตัดเฉือนออกไปในแต่ละรอบการหมุน วัดตามทิศทางตั้งฉากกับผิวชิ้นงาน ขึ้นอยู่กับลักษณะงาน ดังสูตรต่อไปนี้

(1) งานกลึงขนานแนวแกนชิ้นงาน (Longitudinal Turning)

$$t = (D - D_o) / 2 \quad \text{มิลลิเมตร} \quad (2-15)$$

D = เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานก่อนการตัดเฉือน มิลลิเมตร

D_o = เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานหลังการตัดเฉือน มิลลิเมตร

(2) งานคว้าน (Boring)

$$t = (D_o - D) / 2 \quad \text{มิลลิเมตร} \quad (2-16)$$

D = เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานก่อนการตัดเฉือน มิลลิเมตร

D_o = เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานหลังการตัดเฉือน มิลลิเมตร

(3) งานกลึงปาดหน้า (Facing)

$$t = L - L_o \quad \text{มิลลิเมตร} \quad (2-17)$$

L = ความยาวชิ้นงานก่อนการตัดเฉือน มิลลิเมตร

L_o = ความยาวชิ้นงานหลังการตัดเฉือน มิลลิเมตร

(4) งานกลึงตัด (Cut Off Turning)

$$t = w \quad \text{มิลลิเมตร} \quad (2-18)$$

W = ความกว้างคมตัด มิลลิเมตร

3. ลักษณะของแรงที่กระทำบนมีดกลึง (Force Acting on the Cutting Tool)

ขณะทำการตัดเฉือนจะเกิดแรงกระทำเกิดขึ้นระหว่างมีดกับชิ้นงาน ดังรูปที่ 6. โดยแรงที่กระทำบนมีดกลึงเรียกว่าแรงต้านการตัดเฉือน โดยแรงลัพธ์ R (Resultant Force) เกิดจากผลรวมของแรงในระบบพิกัดฉาก ตามแนวแกนทั้ง 3 แกน ได้แก่

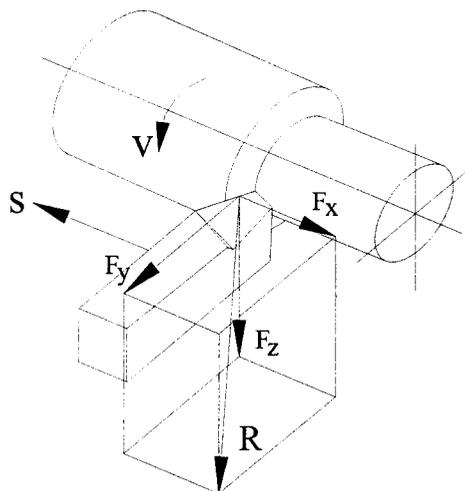
3.1 ตามแนวแกน Z (Vertical or Cutting or Tangential Force, F_z) คือแรงที่กระทำตามแนวสัมผัสพื้นผิวการตัดเฉือน ในทิศทางเดียวกับการหมุนของ Primary Cutting Motion

3.2 ตามแนวแกน X (Side or Axial Force, F_x) คือแรงที่กระทำขนานกับแนวแกนของชิ้นงาน ในทิศทางต้านการเคลื่อนที่ของมีด

3.3 ตามแนวแกน Y (Back or Radial Force, F_y) คือแรงที่กระทำตามระนาบแนวนอน ในทิศทางตั้งฉากกับแกนของชิ้นงานในแนวนอน หรือแรงที่กระทำตามแนวรัศมีของชิ้นงาน

เมื่อทำการรวมแรงทั้งสามแรง ให้เป็นปริมาณแบบเวกเตอร์ (Vector) จะได้แรงลัพธ์ (Resultant Force, R) ดังสมการ และรูปที่ 6.

$$R = (F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)^{0.5} \quad (2-19)$$



รูปที่ 6 แสดงองค์ประกอบของแรงลัพท์ (Resultant Force, R) ซึ่งประกอบด้วย F_x , F_y และ F_z [3]

ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดแรงลัพท์ (Resultant Force, R)

ในงานกลึงปอกชิ้นงานที่เป็นวัสดุแกนเหล็กเหนียว เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 38 มิลลิเมตร ด้วยมีดกลึง High Speed Steel ที่ความลึกรอยตัด 1.25 มิลลิเมตร ที่ความเร็วตัด 38 เมตรต่อนาที วัดแรงตัดที่เกิดขึ้นด้วย Lathe Tool Dynamometer ได้แรงในแนวแกนทั้ง 3 แกนดังนี้คือ $F_z = 14.91$ กิโลกรัม $F_x = 9.76$ กิโลกรัม และ $F_y = 6.65$ กิโลกรัมแรงลัพท์ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่าใด

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (2-19) } R &= (9.76^2 + 6.65^2 + 14.91^2)^{0.5} \\ &= 19.03 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

4. คุณภาพผิวงาน (Quality of Machine Surfaces)

การขึ้นรูปโดยการตัดเฉือน เพื่อให้ได้รูปแบบชิ้นงานตามที่ต้องการ จะต้องคำนึงถึงปัจจัยและผลที่จะเกิดขึ้นกับงานที่ทำสำเร็จ ซึ่งผลที่เกิดขึ้นหลังการตัดเฉือนอย่างหนึ่งคือคุณภาพผิวงาน โดยปกติของการผลิตทั่วไป มักจะต้องการงานที่มีคุณภาพผิวที่ดี เนื่องจากชิ้นงานที่มีคุณภาพผิวงานที่ดี จะมีผลต่อความสวยงามเมื่อมีการประกอบชิ้นส่วน และต่อความเสียหายเมื่อต้องมีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่สัมผัสกัน [4]

ลักษณะทั่วไปของผิวงานที่ผ่านการแปรรูปและผ่านการตัดเฉือน รวมทั้งองค์ประกอบหลัก ๆ ของสภาพผิวงาน เป็นดังรูปที่ 7 และ 8 ได้แก่

4.1 ผิวงาน (Surface) หมายถึงขอบเขตหรือบริเวณ ที่แยกออกจากส่วนเนื้อวัสดุงาน รูปร่างและลักษณะผิวงาน ระบุได้ด้วยรูปภาพ (Drawing) หรือคำอธิบายคำจำกัดความ (Descriptive Specifications)

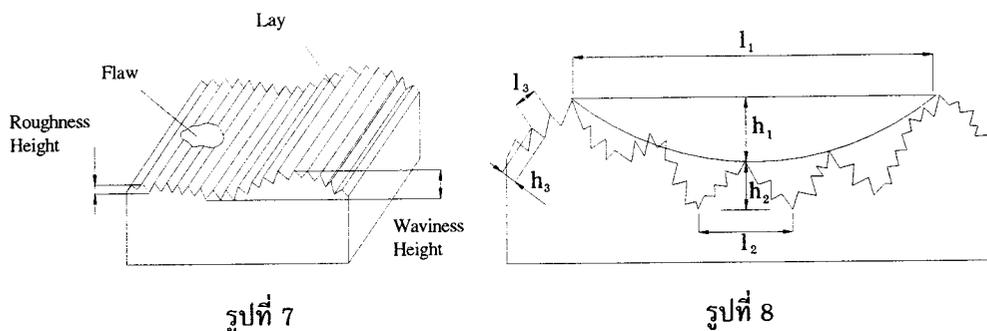
4.2 รูปทรงผิว (Profile) หมายถึงเส้นที่แสดงลักษณะพื้นผิวงาน ตลอดภาคหน้าตัดที่ถูกนำมาพิจารณา

4.3 ความหยาบของผิว (Roughness) หมายถึงความผิดปกติของผิวงานที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือนอันเนื่องมาจากคมตัดของมีด และจากอัตรารอบ

4.4 คลื่นของผิวงาน (Waviness) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงาน ที่มีระยะในการพิจารณากว้างกว่าช่วงความหยาบผิว เกิดขึ้นจากการ โกงตัวของทั้งชิ้นงาน และการหลวมคลอนของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล รวมทั้งการสั่นสะเทือนขณะทำการตัดเฉือน

4.5 ฟลอ (Flaw) หมายถึง ความผิดปกติของผิวงาน ที่เกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนผิวงาน เช่นรอยขีดข่วน รอยแตก รูพรุน เป็นต้น

4.6 เลย์ (Lay) หมายถึง แนวทิศทางของรอยสัน ส่วนยอดความหยาบของผิวที่ทำการตรวจสอบ



รูปที่ 7 ภาพสามมิติผิวงานหลังการตัดเฉือน [4] รูปที่ 8 ภาพด้านข้างผิวงานหลังการตัดเฉือน [4]

อัตราส่วนระหว่าง l/h จะเป็นตัวกำหนดลักษณะความผิดปกติของผิวงานดังต่อไปนี้

$l_1 / h_1 > 1000$ หมายถึง งานชิ้นนี้ไม่มีลักษณะกลม (Out of Roundness)

$l_2 / h_2 \geq 150 \leq 500$ หมายถึง ผิวงานมีลักษณะเป็นคลื่น (Waviness)

$l_3 / h_3 \leq 50$ หมายถึง ผิวงานที่สามารถวัดเพื่อตรวจสอบหาความเรียบของผิวงานได้

5. องค์ประกอบที่มีผลต่อความเรียบผิวงาน

คุณภาพผิวงานที่จะทำการตัดเฉือน สามารถกำหนดได้ว่าต้องการให้ผิวงานที่ได้ มีลักษณะอย่างไร จึงจะเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

- 5.1 ความแข็งแรงของเครื่องจักร และความเที่ยงตรงของวัสดุรองรับ (Bearing)
- 5.2 คุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการตัดเฉือนเป็นผิวสำเร็จของวัสดุงาน
- 5.3 ชนิด ประเภท และลักษณะของวัสดุมีด
- 5.4 การเลือกใช้วัสดุน้ำมันตัดเฉือน
- 5.5 ลักษณะของการเกิดเศษ
- 5.6 มุมมีดที่ใช้
- 5.7 ตัวแปรที่ใช้ในการตัดเฉือน ได้แก่ อัตราป้อน ความลึกรอยตัด และความเร็วตัด

6. ลักษณะของการเกิดเป็นคลื่น (Waviness) ของผิวงาน

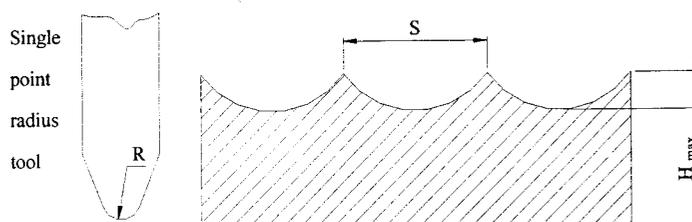
โดยปกติความผิดปกติของผิวงานดังกล่าว จะเกิดจากการสั่นสะเทือนระหว่างทำการตัดเฉือน ซึ่งมีสาเหตุมาจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- 6.1 การสั่นสะเทือนจากภายนอกเครื่องจักร
- 6.2 จากการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของชิ้นส่วนภายในของเครื่องจักร
- 6.3 ความบกพร่องจากระบบการทำงานของเครื่องจักร
- 6.4 เกิดจากการสั่นสะเทือนภายในของวัสดุเอง

7. องค์ประกอบของความเรียบของผิวงาน

จะเกิดจากปัจจัยที่สำคัญหลัก 2 ประการคือ อัตราป้อน และ ลักษณะของส่วนคมตัด เมื่อพิจารณาจากการตัดเฉือนที่ไม่มีการเกิดพอกมิดที่คมตัด (Built Up Edge, BUE) ความสูงของยอดผิวงานที่ขรุขระหาได้จากสมการต่อไปนี้

7.1 ในกรณีของมีดกลึงปลายมน (Single Point Radius Tool) ผิวงานจะมีลักษณะดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ภาพขยายลักษณะผิวงานที่เกิดจากการตัดเฉือนด้วยมีดกลึงแบบปลายมน (Single Point Radius Tool) [4]

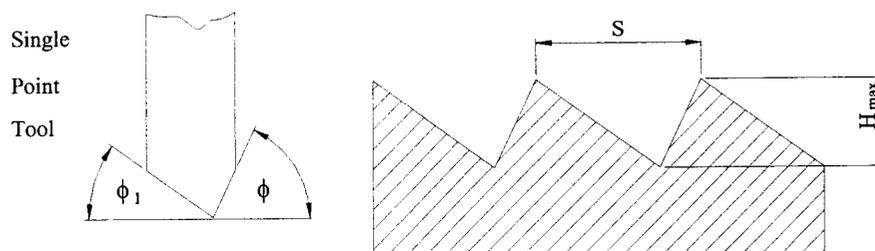
$$H_{max} = s^2 / 8R \quad \text{มิลลิเมตร} \quad (2-20)$$

$$H_{max} = \text{ยอดสูงสุดผิวงานที่ขรุขระ} \quad \text{มิลลิเมตร}$$

$$s = \text{อัตราป้อน/รอบ} \quad \text{มิลลิเมตรต่อรอบ}$$

$$R = \text{รัศมีปลายคมตัด} \quad \text{มิลลิเมตร}$$

7.2 ในกรณีของมีดกลึงแบบปลายแหลม (Single Point Turning Tool, Nose Radius = 0) ผิวงานจะมีลักษณะดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ลักษณะผิวงานที่เกิดจากการตัดเฉือนด้วยมีดกลึงแบบปลายแหลม (Single Point Tool) [4]

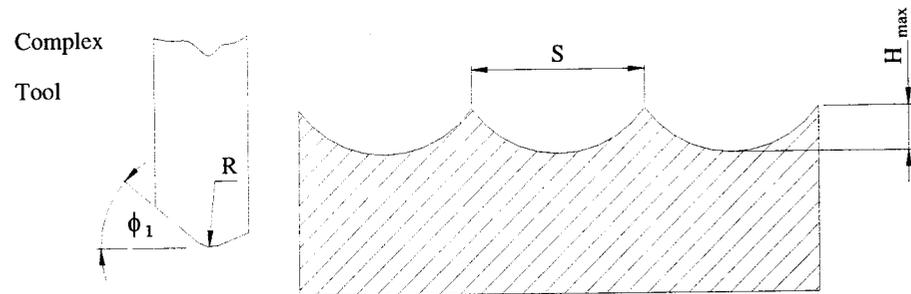
$$H_{max} = s / (\cot\phi + \cot\phi_1) \quad \text{มิลลิเมตร} \quad (2-21)$$

$$s = \text{อัตราป้อน / รอบ} \quad \text{มิลลิเมตรต่อรอบ}$$

ϕ = มุมคมตัดด้านข้าง (Side Cutting Edge Angle) องศา

ϕ_1 = มุมคมตัดปลายมีด (End Cutting Edge Angle) องศา

7.3 ในกรณีของมีดกลึงปลายคอมเพล็กซ์ (Complex Point Tool) ผิวงานจะมีลักษณะดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ลักษณะผิวงานที่เกิดจากการตัดเฉือนด้วยมีดกลึงปลายแบบคอมเพล็กซ์ [4]

$$H_{max} = s \tan \phi_1 + (R/2 \tan^2 \phi_1) - (2sR \tan^3 \phi_1)^{0.5} \quad (2-22)$$

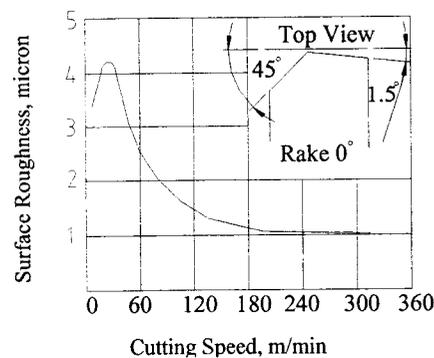
s = อัตราป้อน/รอบ มิลลิเมตรต่อรอบ

R = รัศมีปลายคมตัด มิลลิเมตร

ϕ_1 = มุมคมตัดปลายมีด องศา

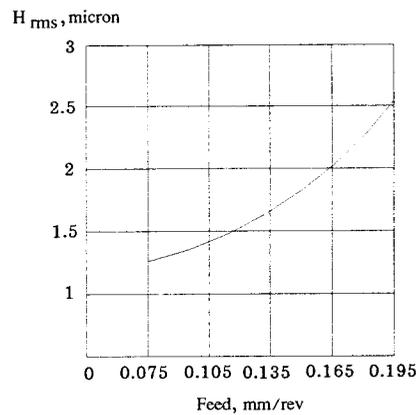
8. ปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิวงาน

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อความเรียบผิวงาน จากการศึกษาเพื่อหาความเรียบผิวงานที่ได้จากการตัดเฉือน ที่อัตราป้อน 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกกรอยตัด 3.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วตัดขนาดต่างๆ จะได้ความเรียบผิวงานดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 12 [5]



รูปที่ 12 ผลกระทบของความเร็วตัดที่มีต่อความเรียบผิวงาน [5]

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเรียบของผิวงานอีกประการหนึ่งคืออัตราการป้อน (Feed Rate) ซึ่งโดยปกติแล้วอัตราการป้อนต่ำ จะให้ค่าความเรียบผิวงานดีกว่าอัตราการป้อนที่มากกว่า ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ผลกระทบของอัตราป้อนที่มีต่อความเรียบผิวงาน [3]

$$R_A = f^2 / (32-R) \text{ ไมครอน} \quad (2-23)$$

f = อัตราป้อน/รอบ มิลลิเมตรต่อรอบ

R = รัศมีปลายมีด มิลลิเมตร

9. การสึกหรอของมีดกลึง (Tool Wear)

ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการตัดเฉือน ซึ่งมีผลกระทบอย่างสูงต่อกระบวนการปฏิบัติงาน และกระทบต่อผลผลิตที่ได้ ก็คือการสึกหรอของคมตัด ซึ่งมีสาเหตุและองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

9.1 สาเหตุของการสึกหรอ (Causes of Wear)

ผิววัสดุงานเมื่อเกิดการเสียดสี จะทำให้ผิวงานบริเวณนั้นเกิดการสึกหรอ อันเนื่องมาจาก

9.1.1 จากการขีดของผิวที่แข็งกว่าบนผิวที่อ่อนกว่าและการหลอมเชื่อมของผิวที่สัมผัสกัน (Abrasion and Adhesion Process)

9.1.2 จากการแพร่ของอะตอม (Diffusion) จากผิวที่มีความหนาแน่นของอะตอมมากกว่า ไปยังผิวงานที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า โดยมีแรงกดและความร้อนเป็นตัวเสริม

9.1.3 เกิดจากกระบวนการทางเคมี เช่น Oxidation (การเกิดออกไซด์หรือเป็นสนิม) และ Galvanization เช่นการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างวัสดุ เช่นมีด High Speed Steel กับวัสดุสแตนเลสอัลลอย (16-25-6, S-816) เป็นต้น

9.2 ลักษณะการสึกหรอของมีดกลึง (Geometry of Wear Forms)

การสึกหรอของมีดกลึง จะเกิดขึ้นที่ 2 บริเวณ คือที่ผิวฟรีด้านข้าง (Frank) เรียกว่า Frank Wear และที่ผิวคายเศษ (Rake Surface) เรียกว่า Crater Wear ดังรูปที่ 14 โดยการสึกหรอที่บริเวณ Frank Surface มักจะเกิดขึ้นก่อนและมีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากว่าความเร็วของการเสียดสีระหว่างผิวงานกับคมตัดมีค่ามากกว่าความเร็วของเศษ ถ้าพลังงานที่ทำให้เกิดการสึกหรอ ณ เวลาใด ๆ มีค่าเท่ากันจะได้สมการของการสึกหรอต่อไปนี้

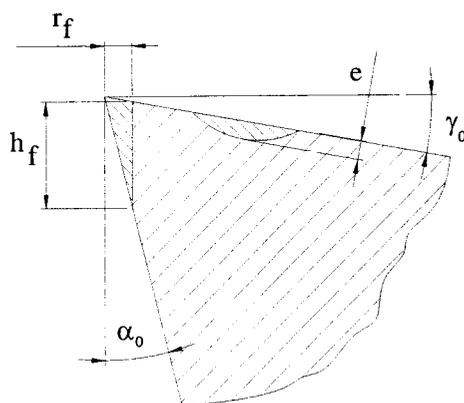
$$r_f = h_f \tan \alpha_o / (1 - \tan \gamma_o \tan \alpha_o) \quad (2-24)$$

$$e \text{ at time } T = r_f \text{ at time } T$$

$$= h_f \tan \alpha_o / (1 - \tan \gamma_o \tan \alpha_o) \quad (2-25)$$

ถ้าหากว่า $\gamma_o = 0$ องศา, $\alpha_o = 8$ องศา และ $h_f = 1$ มิลลิเมตร

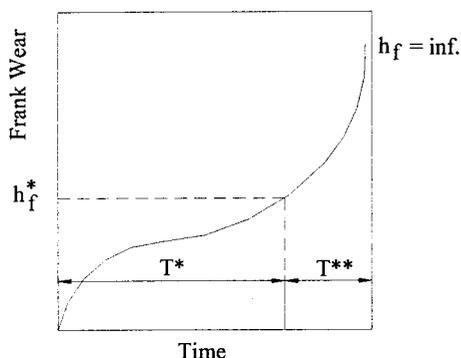
ดังนั้น $e \text{ at time } T = \tan 8 = 0.14$ มิลลิเมตร $< h_f$



รูปที่ 14 แสดงขนาดการสึกหรอของ Frank Wear (h_f) และ Crater Wear (e) [6]

9.3 อัตราการสึกหรอของมีด (Growth of Wear)

ขณะทำการตัดเฉือน มีดจะเกิดการสึกหรอตลอดเวลา โดยมีอัตราหรือความเร็วของการสึกหรอไม่คงที่ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงอัตราการสึกหรอของ Frank Wear ณ ช่วงเวลาต่างๆ [6]

จากกราฟ การสึกหรอในช่วงเริ่มต้นจะเกิดขึ้นในอัตราค่อนข้างเร็ว เนื่องจากการลับคมตัดที่ไม่ถูกต้อง และผิวหน้ามีดมีรอยขรุขระจากการลับด้วยคมตัดของหินเจียรไน จนเมื่อรอยขรุขระดังกล่าวหมดไป อัตราการสึกหรอจะเริ่มลดลง และเมื่อถึงจุดวิกฤติ (สิ้นสุดขอบเขตของ T^* หรือที่การสึกหรอของ Frank Wear เท่ากับ h_f^*) อัตราการสึกหรอจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งถึงจุดที่เกิดความเสียหายต่อมีดเล่มนั้น โดยมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานตกค้างบนผิวสัมผัส (Residual Energy Over The Surface) ดังสมการต่อไปนี้ [6]

$$h_f = (K^{**})(V_c)(T^{1-\alpha}) \quad (2-26)$$

h_f = ขนาดการสึกหรอของ Frank Wear ณ เวลาใดๆ

$$K^{**} = (3K^*) / (2C^*)(1-\alpha) \quad (2-27)$$

C^*, K^* = ค่าคงตัว (Constant)

α = มุมฟรีด้านข้าง (Side Relieve Angle)

T = เวลาที่ใช้ในการตัดเฉือน

10. การนำน้ำมันตัดเฉือนมาใช้ในงานผลิต (Cutting Fluids in Machining)

การนำน้ำมันตัดเฉือนมาใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิตทั่วไป มีวัตถุประสงค์หลายประการเช่น ยืดอายุการใช้งานของมีด ลดอุณหภูมิระหว่างการตัดเฉือน ช่วยให้คุณภาพผิวงานดีขึ้น และช่วยระบายเศษตัด เป็นต้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้ [7]

10.1 ประเภทของน้ำมันตัดเฉือน

ในปัจจุบันมีการนำมาใช้งานในระบบอุตสาหกรรมการผลิตทั้งหมด 4 ประเภทคือ

10.1.1 แบบไม่ผสมน้ำ (Straight Oil) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเลียม (Petroleum or Mineral Oil) จากไขมัน (Fat) และจากน้ำมันพืช (Vegetable Oil) โดยปกติจะผสมสารเคมีเพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุ เช่น คลอรีน ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส น้ำมันประเภทนี้มีสมบัติการหล่อลื่นดีที่สุดในแง่การระบายความร้อนที่เกิดจากการตัดเฉือนได้น้อยที่สุด

10.1.2 แบบผสมน้ำ (Soluble Oil) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากปิโตรเลียมผสมกับสารช่วยละลายน้ำ (Emulsifiers) ก่อนการใช้งานต้องผสมน้ำเปล่าในอัตราส่วนน้ำมัน 1 ส่วนต่อน้ำ 10 ถึง 30 ส่วน น้ำมันตัดเฉือนประเภทนี้นิยมใช้งานมากที่สุด มีสมบัติการใช้งานผสมผสานทั้งการหล่อลื่นและระบายความร้อน

10.1.3 แบบน้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic Fluids) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่ปิโตรเลียม โดยผลิตจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่เป็นต่าง (Alkaline Inorganic and Organic Compounds) ที่ผสมสารป้องกันการกัดกร่อน ก่อนการใช้งานต้องผสมน้ำเปล่าในอัตราส่วนน้ำมัน 1 ส่วนต่อน้ำ 10 ถึง 30 ส่วน น้ำมันตัดเฉือนประเภทนี้มีสมบัติการระบายความร้อนได้เร็วที่สุด

10.1.4 แบบน้ำมันกึ่งสังเคราะห์ (Semi-Synthetic Fluid) เป็นน้ำมันตัดเฉือนที่เกิดจากส่วนผสมของแบบสังเคราะห์กับแบบผสมน้ำ มีสมบัติผสมผสานของทั้งสองแบบทั้งทางด้านราคา และการระบายความร้อน

10.2 กลยุทธ์การนำไปใช้งาน (Application Strategies)

น้ำมันตัดเฉือนทั้ง 4 ประเภท มีวิธีการนำไปใช้งาน ดังต่อไปนี้

10.2.1 แบบท่วมซัง (Flood Application)

10.2.2 แบบฉีดพ่นเป็นลำ (Jet Application)

10.2.3 แบบฉีดพ่นเป็นละออง (Mist Application)

10.3 ผลกระทบต่อการตัดเฉือน (Effects in Machining)

การนำน้ำมันตัดเฉือนมาใช้ในงาน มีวัตถุประสงค์คือช่วยให้การปฏิบัติงานเกิดประสิทธิภาพ และได้อัตราการผลิตสูงสุด ซึ่งมีผลต่อปัจจัยหลักดังนี้

10.3.1 ทำหน้าที่ในการเป็นสารหล่อลื่น และระบายความร้อน

10.3.2 ช่วยในการขจัดเศษออกจากบริเวณที่กำลังตัดเฉือน

10.3.3 ป้องกันผิวงานเกิดการกัดกร่อน

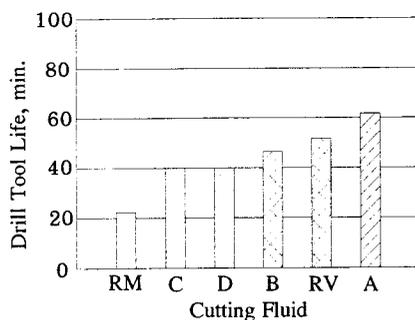
10.3.4 ช่วยให้คุณภาพผิวงานดีขึ้น

10.3.5 ป้องกันชิ้นงานบิดงอเสียรูป เนื่องจากความร้อน

10.4 การประเมินสมบัติน้ำมันตัดเฉือนที่ได้จากพืช

จากการศึกษาวิจัยเพื่อการประเมินหาสมบัติของน้ำมันตัดเฉือน 6 ชนิด ในการเจาะวัสดุ Austenitic Stainless Steel ด้วยดอกสว่าน HSS-Co เพื่อหาอายุการใช้งาน การสึกหรอ แรงตัดเฉือน และลักษณะของเศษตัด โดยใช้ดอกสว่าน 7 ตัว สำหรับน้ำมันแต่ละชนิด ใช้งานจนกระทั่งถึงจุดที่เกิดความเสียหาย โดยการเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันตัดเฉือนที่ทำจากปิโตรเลียม (Mineral Oil) กับน้ำมันตัดเฉือนที่ได้จากพืช (Vegeta-

ble Oil) ที่เติมสารเคมีบางชนิดเพื่อปรับปรุงสมบัติ คือซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส ในปริมาณต่าง ๆ กัน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 16 [2]



รูปที่ 16 กราฟแสดงอายุการใช้งานของดอกสว่านที่ใช้ น้ำมันตัดเฉือนแบบต่างๆ
RM คือน้ำมันจากปิโตรเลียม C, D, B, RV และ A คือน้ำมันจากพืช [2]

การสึกหรอของดอกสว่านและกลไกที่ทำให้เกิดความเสียหาย เนื่องจากการใช้งานด้วยน้ำมันตัดเฉือนแบบต่างๆ จะมีรูปแบบคล้ายๆกัน การสึกหรอจะเกิดขึ้นเนื่องจาก Plastic Deformation ของวัสดุ มากกว่าการแตกหักแบบ Brittle Fracture อายุการใช้งานของดอกสว่านดังรูปที่ 16 จากผลการทดลองพบว่าอายุการใช้งานของดอกสว่านที่ใช้ น้ำมันพืชทั้ง 5 ชนิด มีอายุการใช้งานสูงกว่าน้ำมันที่ทำจากปิโตรเลียม ในระยะเวลาที่มากกว่า 2-3 เท่า