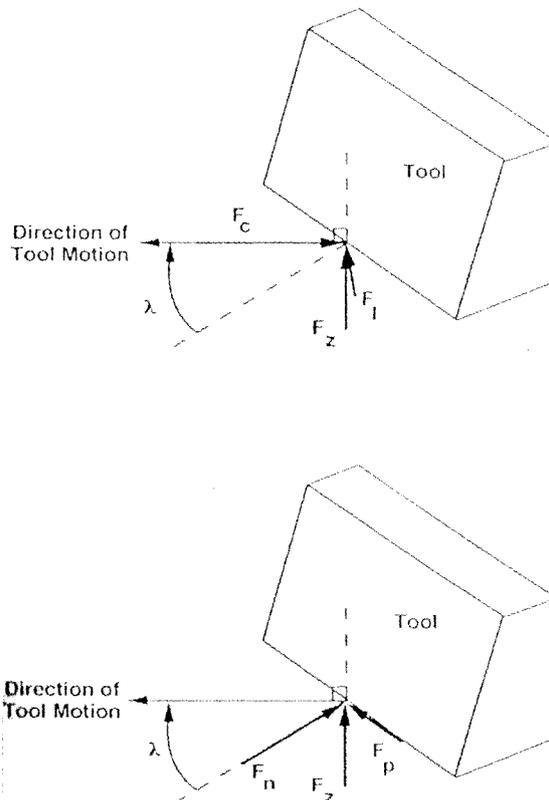


## บทที่ 2

### 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 ในระบบ  $F_c-F_i-F_z$  และระบบ  $F_n-F_p-F_z$

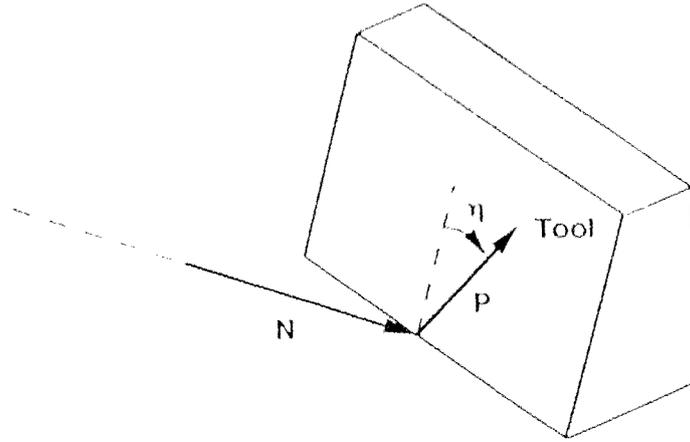
ในการพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นบนเครื่องมือตัดนิยมแบ่งแรงที่เกิดขึ้นเป็น 2 ระบบคือ  $F_c-F_i-F_z$  และ  $F_n-F_p-F_z$  โดยพิจารณาได้ดังนี้ แรง  $F_n$  คือแรงที่ตั้งฉากกับขอบการตัด,  $F_c$  คือแรงที่ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด (cutting force),  $F_p$  คือแรงที่ขนานกับขอบตัด,  $F_z$  คือแรงที่ตั้งฉากกับระนาบของแรง  $F_n$  และ  $F_p$  (thrust force);  $F_i$  คือแรงที่ตั้งฉากกับระนาบของแรง  $F_c$  และ  $F_z$  แรง  $F_c, F_i, F_n$  และ  $F_p$  มีความสัมพันธ์กันโดยมุมเอียง  $\lambda$  ตามสมการ

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

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

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

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

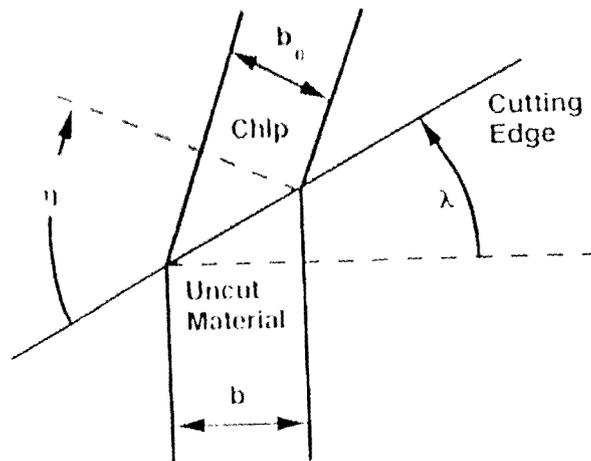


รูปที่ 2.2 แรง N และ P บน rake face ของการตัดแบบ oblique

โดย  $\alpha$  คือมุมคายของเครื่องมือตัด (normal rake angle) และ  $\eta$  คือมุมการไหลของเศษกลึง (chip flow angle) ซึ่งเป็นมุมที่วัดจากการไหลของเศษกลึงและตั้งฉากกับขอบการตัดซึ่งสามารถหาได้สองวิธีคือการวัดจากแรงในการตัด  $\eta_f$  หาได้จากความสัมพันธ์

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

หรือหาได้จากการวัดความกว้างของเศษกลึง  $\eta_w$  ตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างการตัด b, ความกว้างเศษกลึง  $b_c$ , มุม inclination angle  $\lambda$  และมุมการไหลของเศษกลึง  $\eta$  ในการตัดแบบ oblique

$\eta_w$  สามารถหาได้จากสมการ

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



โดย  $r_c$  คืออัตราส่วนการตัด

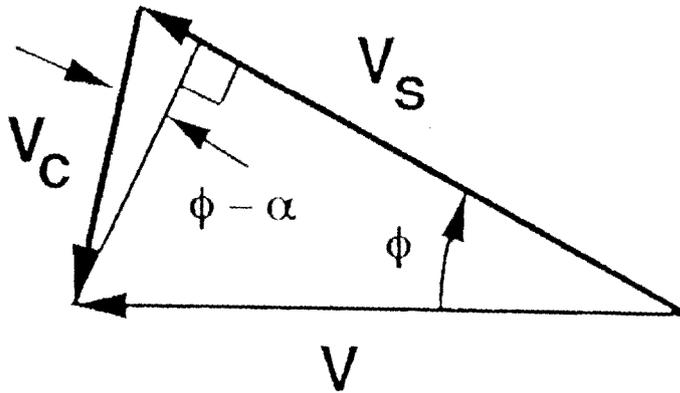
$$r_c = \frac{a}{a_c} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (2-6)$$

แรงรวมที่ปลายมีด,  $R$  จะกำหนดให้กระทำในมุม  $\beta$  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 หนึ่งในสามของค่าความแข็งดั่งนั้นในกรณีที่ไม่สามารถทำการทดลองหาค่า  $k$  ได้จะกำหนดให้ค่า  $k = HB/3$

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

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

ภายใต้ข้อกำหนดนี้ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นตาม Shear plane

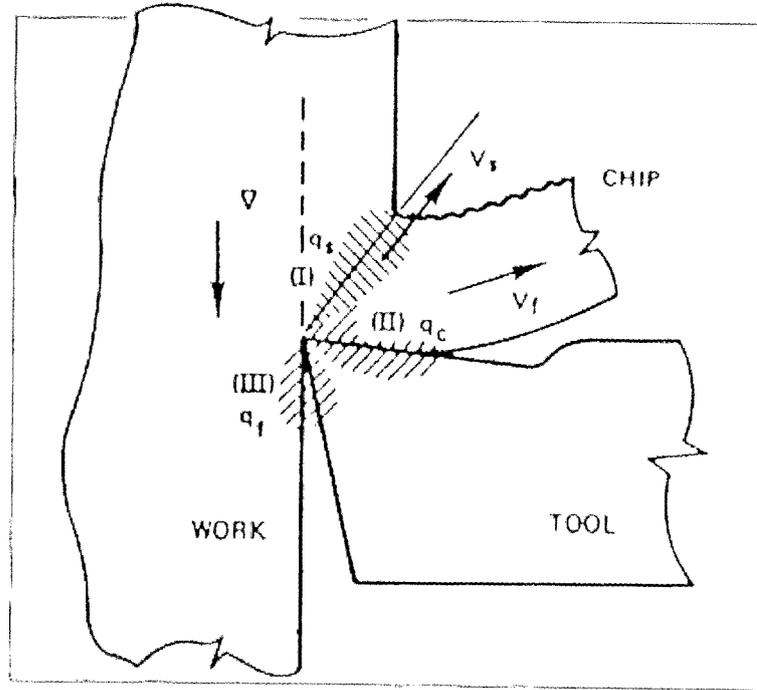
## 2.2. อุณหภูมิและความร้อนที่เกิดจากการตัด [2]

พลังงานกลที่เกิดจากการตัดจะเปลี่ยนแปลงเป็นความร้อนทำให้เกิดอุณหภูมิตัดที่สูงขึ้น โดยความร้อนหลักที่เกิดขึ้นในการตัดแสดงดังรูปที่ 2.6

1. จุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสภาวะพลาสติกปฐมภูมิ (primary plastic deformation),  $q_s$  เพราะถูกแรงตัดเฉือนกระทำแล้วขยายตัวไปตามทิศทางการตัด

2. จุดที่สัมผัสระหว่างเศษเหล็กที่ถูกแรงตัดเฉือนกระทำและเสียดสีไปกับมุมคายของมีดกลึงจะเกิดสภาวะพลาสติกทุติยภูมิ (secondary plastic deformation),  $q_c$

3. จุดที่สัมผัสระหว่างมีดกลึงกับชิ้นงานเกิดการเสียดสีกันบริเวณหน้ามีดและเกิดความร้อนขึ้น  $q_f$



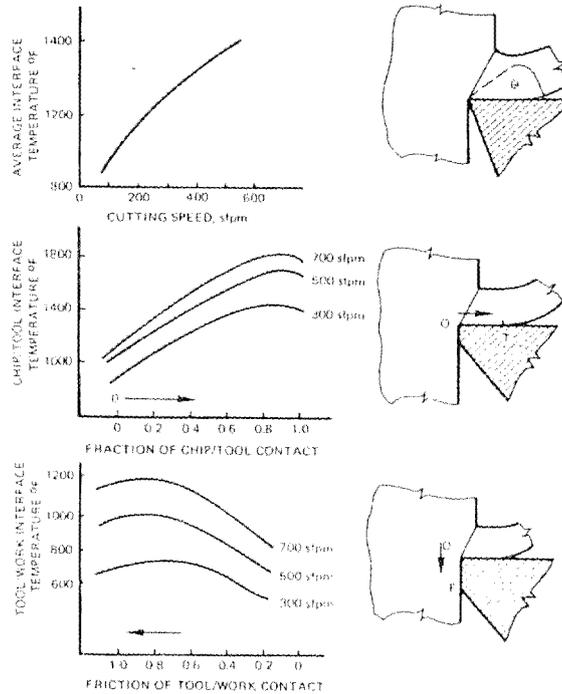
รูปที่ 2.6 จุดที่เกิดความร้อนขึ้นขณะตัดชิ้นงานบนเครื่องมือตัด

ความร้อนที่เกิดขึ้นที่บริเวณการเปลี่ยนแปลงสภาวะพลาสติก  $q_s$  และที่จุดที่สัมผัสระหว่างเศษเหล็กที่ถูกแรงตัดเฉือนกระทำและเสียดสีไปกับมุมคายของมีดกลึง  $q_c$  สามารถหาได้จากพลังงานที่เกิดจากการตัดดังสมการ

$$q_s = \frac{k \cdot a \cdot V \cdot \cos(\alpha)}{\sin \alpha \cdot \cos(\phi - \alpha)} \quad (2-12)[20]$$

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

เนื่องจากอุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกับการสึกหรอของเครื่องมือตัด ความร้อนที่เกิดจากแรงเฉือนหลักส่วนหนึ่งจะส่งผ่านไปยังเศษเหล็ก และอีกส่วนหนึ่งจะผ่านไปยังชิ้นงาน สำหรับความร้อนที่เกิดจากความเสียดทานจะส่งผ่านไปที่เครื่องมือตัดและชิ้นงาน โดยความร้อนที่กระจายไปยังเศษเหล็ก, 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

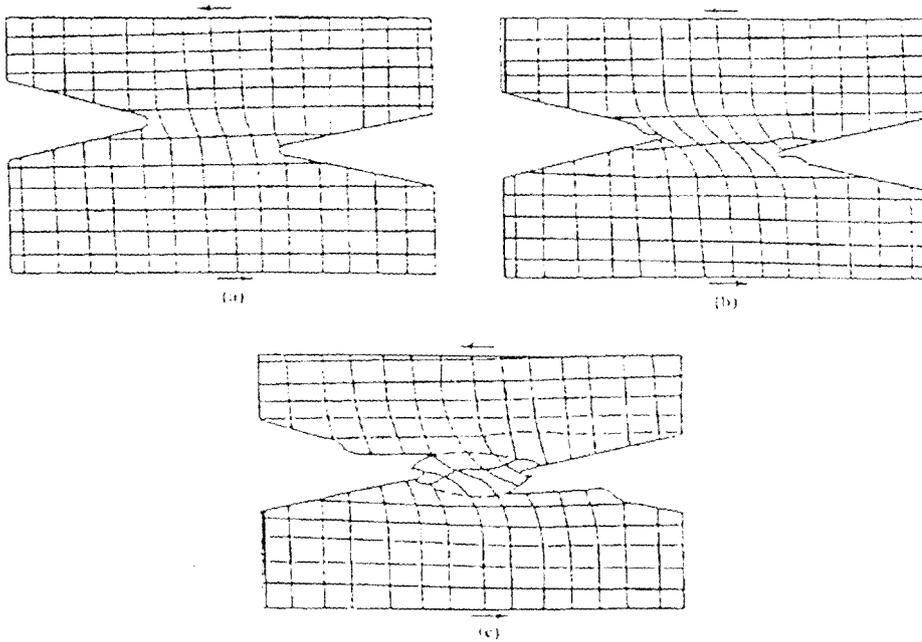
การสึกหรอของเครื่องมือตัด (tool wear) หมายถึง การใช้งานจนหมดสภาพระหว่างทำงานตัดเฉือนที่ส่วนของมีดตัดถูกกระทำด้วยพลังงานความร้อน และพลังงานกล ซึ่งกลไกการสึกหรอเนื่องจากการขัดสี จากการศึกษาลักษณะของการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานทั้งสองชิ้นขัดกันพบว่ามียู่ 4 ลักษณะ คือ

#### 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 อันเนื่องมาจากแรงอัดและการยึดติดกัน แล้วเกิดแรงเฉือนจนทำให้บริเวณที่ยึดเกาะเป็นเนื้ออันเดียวกันนั้น ขาดออกจากวัสดุเดิมดังแสดงตามข้อสันนิษฐาน ดังรูปที่ 2.8 (a) และ (b) แล้วเกิดการฉีกขาดดังแสดงในรูป (c)



รูปที่ 2.8 การยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุ 2 ชนิด

ขณะตัดโลหะมักจะเกิดเหตุการณ์เหล่านี้ได้ เนื้อวัสดุของปลายคมตัดจะแตกและติดไปกับเศษชิ้นงานได้ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะตัดโลหะ และแรงกระทำที่เกิดขึ้นจะมีอิทธิพลต่อการเกิดการยึดเกาะกันของวัสดุแต่ละคู่ (เครื่องมือตัดกับชิ้นงาน) การยึดเกาะนี้จะเกิดที่ความเร็วตัดต่ำๆ แต่จะขึ้นกับเวลา และมีแนวโน้มว่าจะเกิดน้อยลงเมื่อใช้ความเร็วตัดสูงๆ ถ้าเป็นการตัดที่รุนแรงหรือมีการสั่นสะเทือนหรือกระแทกเป็นช่วงๆ จะทำให้เกิดการยึดเกาะเร็วขึ้น และสึกหรอมาก

### 2.3.1.3. การสึกหรอเนื่องจากการแพร่ซึมส่วนผสมเคมี (diffusion Wear)

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

### 2.3.1.4 การสึกหรอเนื่องจากการล้า (fatigue wear)

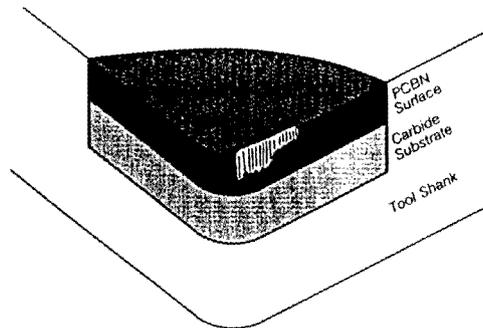
เมื่อผิวของวัสดุหนึ่งมีปมบนขึ้นมาแล้วขัดสีไปบนผิวหน้าของวัสดุอีกชนิดหนึ่ง จะทำให้เกิดแรงกดขึ้นที่ผิวหน้าข้างหน้าปมนั้น ขณะเดียวกัน ก็เกิดแรงดึงขึ้นข้างหลังปมนั้น ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการล้า (fatigue failure) ตัวขึ้น ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วจะทำให้เกิด crack ขึ้นและจะดำเนินต่อไปยังผิวหน้าทำให้ผิวหน้าหลุดออกไปในกรณีที่พบทั่วไปปรากฏว่าผิวที่หลุดมาโดยวิธีนี้มักเป็น oxide film ดังนั้นการสึกหรอเนื่องจากการล้าตัวนี้จึงเกิดขึ้นกับ oxide film มากกว่าโลหะ

### 2.3.2. ชนิดการสึกหรอบนคมตัดของเครื่องมือตัด

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

#### 2.3.2.1. การสึกหรอบนผิวหอบ (flank wear)

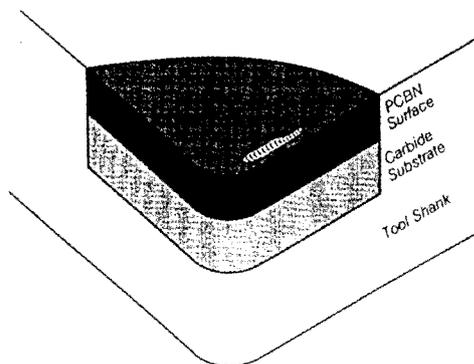
การสึกหรอบนผิวหอบ (flank wear) จะเกิดขึ้นเป็นแนวยาวด้านข้างของคมตัดดังในรูปที่ 2.9 การสึกหรอชนิดนี้เกิดจากการขัดสีกันระหว่างด้านข้างของมีดกลึงกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือน เมื่อการสึกหรอบนผิวหอบเกิดขึ้นมากก็จะมี การขัดสีเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องการกำลังสำหรับการตัดเฉือนมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.9 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวหอบ (flank wear)

#### 2.3.2.2. การสึกหรอบนผิวคาย (Crater wear)

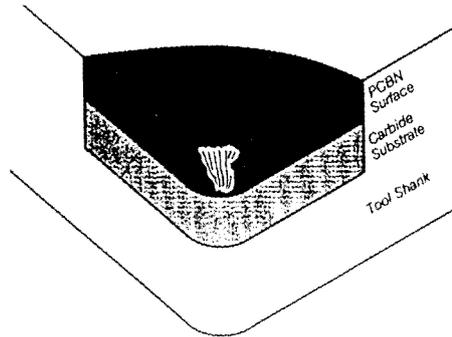
การสึกหรอบนผิวคาย (Crater wear) จะมีลักษณะเป็นหลุมหรือเป็นร่องลึก เกิดใกล้ๆ กับคมตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.10 การสึกหรอบนผิวคายเกิดจากการไหลของเศษกลึงไปบนผิวคายของมีดกลึง เมื่อการสึกหรอบนผิวคายเกิดขึ้นมากในที่สุดก็จะทำให้คมตัดเกิดการแตกหักได้



รูปที่ 2.10 ลักษณะของการสึกหรอบนผิวคาย (crater wear)

### 2.3.2.3. การสึกหรอที่ปลายมีด (Nose wear)

การสึกหรอที่ปลายมีด (Nose wear) เป็นการสึกหรอที่ปลายมีดกึ่งหรือจุดที่เกิดการเสียดสีระหว่างปลายมีดกับโลหะที่กำลังทำการตัดเฉือนดังแสดงในรูปที่ 2.11 การสึกหรอที่ปลายมีด บนคมตัดจะส่งผลกับคุณภาพของผิวชิ้นงาน

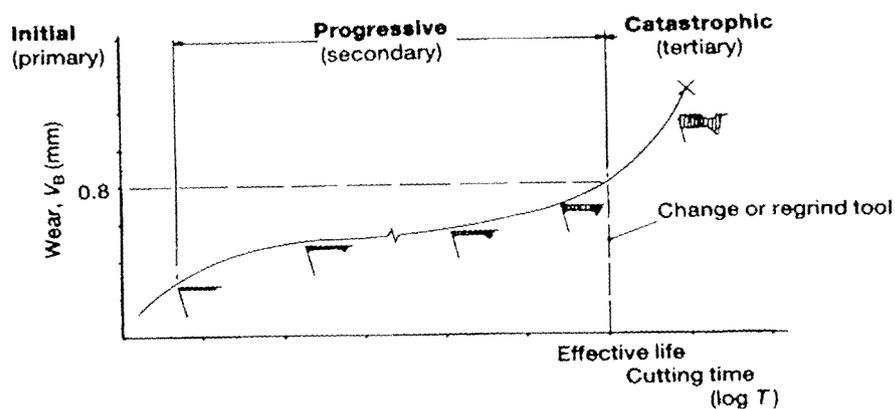


รูปที่ 2.11 การสึกหรอที่ปลายมีด (nose wear)

### 2.3.3. การสึกหรอคมมีดกับการอายุการใช้งาน

การสึกหรอของคมตัดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า มีดมีการหมดสภาพมีขนาดเกินที่กำหนดไว้ ซึ่งขนาดของการสึกหรอของคมตัดที่ใช้เป็นเครื่องมือในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัดนั้น อาจจะสามารถจากขนาดของการสึกหรอแบบหลุมบนผิวคายหรือขนาดของการสึกหรอบนผิวหลบก็ได้ ขนาดของการสึกหรอที่ใช้ในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัด จะเป็นขนาดของการสึกหรอที่ถึงจุดที่การสึกหรอเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลกระทบต่อมีดที่จะใช้งานต่อไป ซึ่งเรียกจุดนี้ว่าจุดวิกฤติ (Critical point) เช่น ถ้าพิจารณาพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบ (flank wear) ในระหว่างอายุของมีดจะพบว่ามี 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 กราฟความสัมพันธ์ของพัฒนาการของการสึกหรอบนผิวหลบกับการกำหนดอายุการใช้งานของมีด

การสึกหรอขั้นแรกเกิดขึ้นเมื่อนำมีดกึ่งที่เพิ่งลับใหม่ หรือมีดใหม่มาใช้ทำการตัดเฉือนชิ้นงาน คมตัดก็จะเกิดความเสียหายอย่างรวดเร็วจากรูปที่ 2.12 กราฟแสดงขนาดของการสึกหรอเทียบกับเวลา แสดง

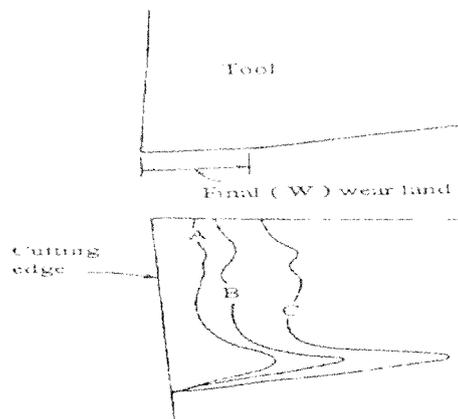
ให้เห็นว่าอัตราการสึกหรอในขั้นแรกจะสูงมากซึ่งอัตราการสึกหรอนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้ในการตัดเฉือน และวัสดุของชิ้นงานที่ทำการตัดเฉือน

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 insertการสูญเสียสภาพการใช้งานนี้เกิดจากการประกบกันของการสึกหรอบนผิวหอบที่มีค่าสูงกับการการสึกหรอบนผิวคายที่มีขนาดใหญ่

### 2.3.4. การวัดอายุของมีด (measuring tool life)

การศึกษาถึงการวัดอายุของมีดทำให้เราสามารถทราบถึงการแตกหักที่เกิดจากชิ้นงานการสึกหรอมากเกินไปทำให้เกิดการแตกหักของปลายมีดคมตัด หรืออาจเกิดการสึกหรอใช้งานไม่ได้ และทำให้ข้อแตกต่างของการออกแบบ และการเลือกเครื่องมือไม่เหมาะสม ปกติอายุคมมีดของมีดจะเกิดประโยชน์หรือประสิทธิภาพสูงสุดในขบวนการผลิตและจะทำให้เกิดการสึกหรอที่มีลักษณะค่อยๆ เกิดที่ด้านข้างของมีดตัด (มีดตัดทำงานติดต่อกัน) ส่วนการสึกหรอด้านหน้านั้นเกิดจากเศษกึ่งที่ไหลออกจากมีดตัดหรือในพื้นที่ที่เท่าๆกัน การสึกหรอที่เกิดจากเศษกึ่งไหลผ่านมีดตัดจะทำให้เกิดการสึกหรอลักษณะเป็นแอ่งลึกบน Rank face ถ้าอธิบายในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การพัฒนาของการสึกหรอ wear land

ถึงอย่างไรการสึกหรอด้านหน้าที่เกิดจากการตัด จะทำให้การตรวจสอบความแข็งและปกติการสึกหรอด้านข้างจะมีอิทธิพลมากที่สุดที่ทำให้มีดตัดเกิดความเสียหาย และจะเป็นการวัดอายุมีดตัดที่เหมาะสมในการสึกหรอส่วนนี้ ปัญหาที่เกี่ยวกับการสึกหรอด้านข้างของมีดตัดลักษณะค่อยๆ เกิดและ จะทำให้ทราบถึงอายุของมีดตัด

Frederick W. Taylor ได้ทดลองปฏิบัติงานและได้แสดงการเปรียบเทียบลำดับของ เครื่องมือตัด และเสนอแนวคิดที่ว่า ช่วงเวลา 20 นาทีแรกของการตัด มีดจะมีอายุมากที่สุดหลังจากเพิ่มความเร็วดัด จะทำให้มีดตัดเกิดการอ่อนตัวลงภายหลังจาก 20 นาที ของการปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของการสึก

หροที่เร็วที่สุดและถูกต้องจะสัมพันธ์กับ การทำงานของเครื่องจักรชิ้นส่วน

ต่อมาในปี 1907 Taylor ได้แสดงเอกสารความสัมพันธ์ระหว่างอายุมีดตัดและความเร็วในการตัดได้ใกล้เคียงมากที่สุด และได้เป็นสมการดังต่อไปนี้

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

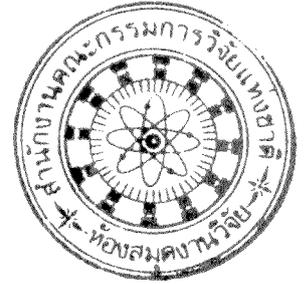
V = ความเร็วตัด

T = อายุมีดตัด , นาที

n = ค่าขึ้นอยู่กับเครื่องมือและชิ้นงาน

C = ค่าคงที่ กำหนดจากวัสดุของชิ้นงานหรือมีดตัดในเวลา 1 นาที

สมการนี้มีชื่อเรียกว่า สมการของเทย์เลอร์หรือ สมการอายุใช้งานของมีดตัด

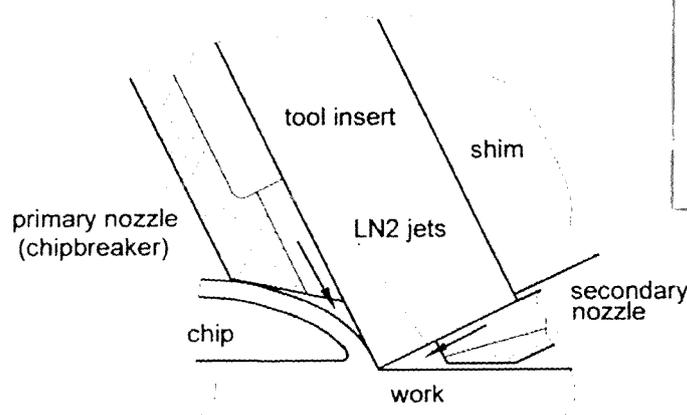


## 2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้สาร Cryogenic ในการหล่อเย็นขณะทำการขึ้นรูปวัสดุกัดขึ้นรูปได้ยาก

เทคโนโลยีการใช้ความเย็นต่ำ (Cryogenic) คือการใช้สารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า  $-120^{\circ}\text{C}$  [18] ในการทำความเย็น ในปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายวงการเช่น การเก็บรักษาน้ำเชื้อในวงการเกษตรหรือในทางการแพทย์ การทำความเย็นในงานทางอวกาศ รวมถึงในวงการอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ซึ่งการใช้สารความเย็นต่ำสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการขึ้นรูปวัสดุกัดขึ้นรูปได้ยากได้

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



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่..... 19 ส.ค. 2555 .....
เลขทะเบียน..... 243374 .....
เลขเรียกหนังสือ.....

รูปที่ 2.14 การออกแบบเครื่องมือตัดให้สามารถฉีดพ่นสารหล่อเย็นให้เข้าสู่หน้าสัมผัสโดยตรง

K.A. Venugopal, S. Paul b และ A.B. Chattopadhyay [12] ได้ทำการทดลองโดยใช้ไนโตรเจนเหลวในการหล่อเย็นเครื่องมือตัดและศึกษาถึงการเกิดการสึกหรอของเครื่องมือตัดในการทดลองโดยใช้เพลาลูกเบี้ยวไทเทเนียม Ti-6Al-4V และกลึงด้วยมีดกลึง microcrystalline uncoated carbide ภายใต้สภาวะ dry cut, ใช้

สารหล่อเย็นทั่วไปและใช้สารหล่อเย็นไนโตรเจนเหลวโดยทดลองในการในช่วงการตัด 70-100 m/min ผลปรากฏว่าการใช้ในไนโตรเจนเหลวช่วยลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดโดยช่วยลด adhesion-dissolution-dissolution tool wear

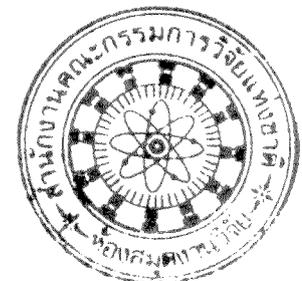
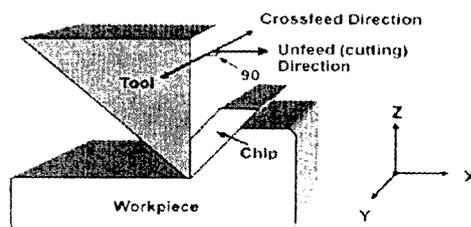
Ahsan Ali Khan และ Mirghani I. Ahmed [13] ได้ทำการทดลองออกแบบเครื่องมือนำไนโตรเจนเหลวฉีดพ่นเข้าสู่บริเวณตัดโดยทดลองขึ้นรูปสแตนเลส สตีล ผลการทดลองปรากฏว่าการใช้ในไนโตรเจนเหลวช่วยให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดสูงขึ้นกว่าการตัดแบบใช้สารหล่อเย็นทั่วไปถึงสี่เท่าและการใช้ในไนโตรเจนเหลวจะมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อความเร็วตัดสูงขึ้นเนื่องจากที่ความเร็วตัดสูงสารหล่อเย็นทั่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

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

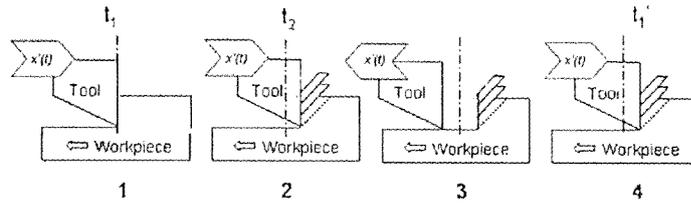
J. Barry , G. Byrne, D. Lennon [14] ได้ทำการทดลองศึกษาการเกิดเศษกลึงแบบ saw-tooth ซึ่งเป็นลักษณะเศษกลึงที่เกิดขึ้นในวัสดุ hard to cut โดยการศึกษาจะใช้วิธี acoustic emission (AE) ในการวิเคราะห์การเกิดเศษกลึง saw-tooth ในการทดลองได้ใช้ โลหะไทเทเนียม Ti-6Al-4V ภายใต้สภาวะความเร็วตัด 0.25-3 m/s อัตราป้อน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



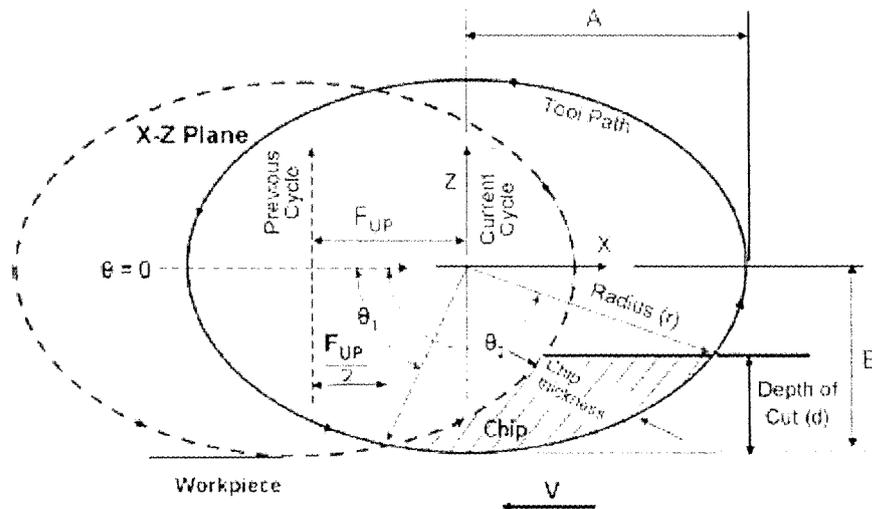
a)



b)

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

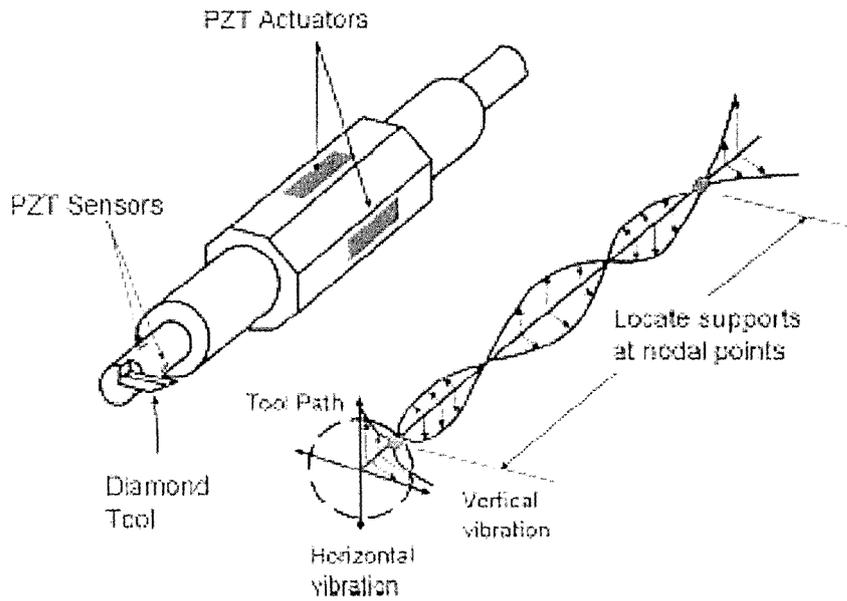
จากนั้นได้มีการพัฒนาเทคนิค 2D VAM โดยเพิ่มการเคลื่อนที่ในแนวตั้งทำให้ได้การเคลื่อนที่ของปลายเครื่องมือตัดเป็นดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดเป็นรูปวงรีใน 2D VAM

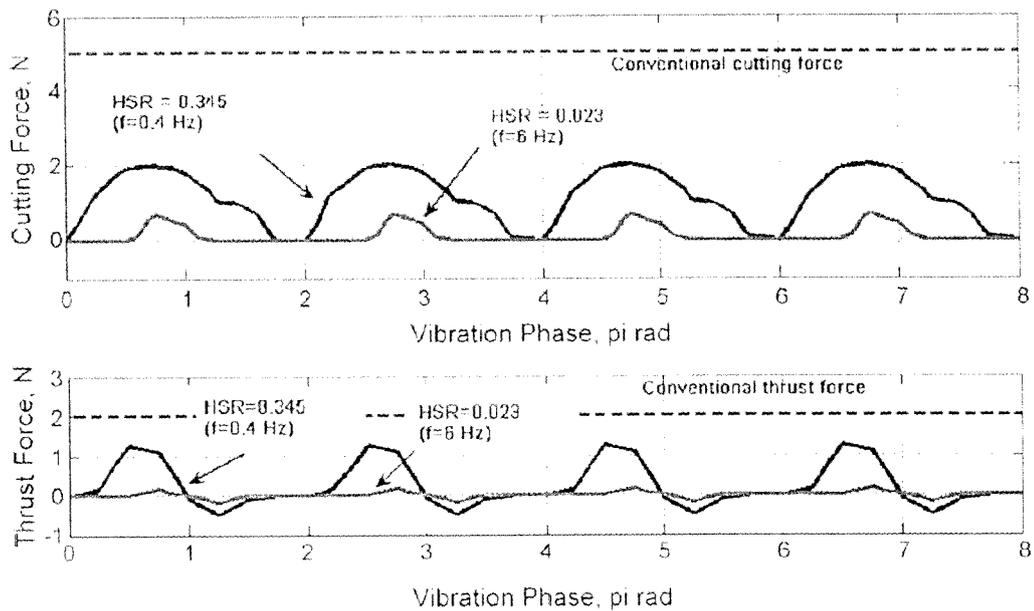
Brinksmeier และ Glabe [15] ได้ออกแบบระบบ 2D VAM โดยการออกแบบเครื่องมือตัดให้มีจุดศูนย์กลางมวลอยู่ห่างจาก centerline ของระบบ 1D ultrasonic ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบ 2D VAM เป็นรูปวงรีซึ่งสามารถเปลี่ยนระยะกระจัดได้โดยการปรับน้ำหนักถ่วง ระบบนี้ทำงานที่ความถี่ 20 kHz และมีการกระจัด  $6 \mu m$

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

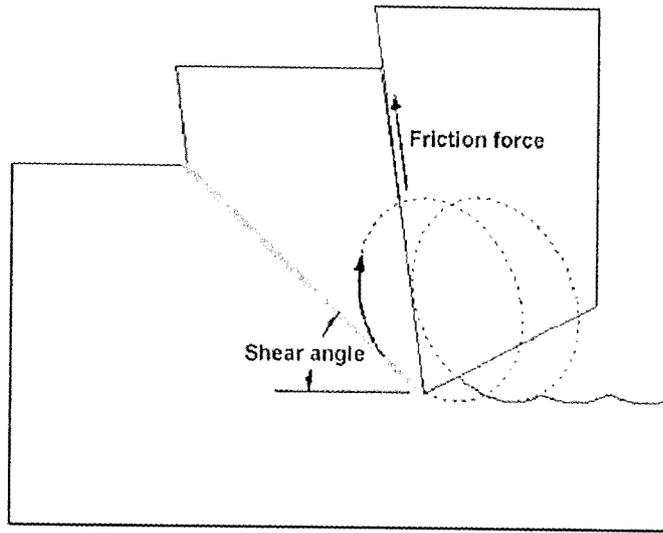


รูปที่ 2.17 2D VAM ที่พัฒนาโดย Shamoto และ Moriwaki

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 จะมีทิศทางการกลับด้านดังนั้นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าสัมผัส 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