

三次元CADを用いた楕円エンドミルによる
傾斜面加工における切削機構の解析と切削特性に関する研究

正 岩部 洋育 (新潟大) ○学 熊木 孝佳 (新潟大院) 堀 功 ((株)不二越)
要 旨

3次元CADを用いて楕円エンドミルの切れ刃形状を定義し、等高線加工方式による傾斜面加工における切削面積を精度良く計算した。また、実験により切削抵抗および仕上げ面粗さを測定するとともに評価値を定義し、傾斜角が切削特性に及ぼす影響について検討した。さらに、理論粗さを幾何学的に求め、ピックフィード制御による切削特性の変化についても比較を行った。

1. はじめに

三次元輪郭形状の加工にボールエンドミルは不可欠な工具であり、金型等の加工に多用されている。一方、最近では傾斜角が 90° または 0° に近い斜面を高能率・高精度に仕上げる目的で楕円エンドミルが開発されている。しかし、切れ刃形状が複雑なため切削機構に関しては不明な点が多いのが現状である。

そこで、本研究は三次元CADを用いて切れ刃形状を定義し、等高線加工を対象として切削に伴って変化する切削面積を精度よく求めた。また、実験により切削力および仕上げ面粗さを測定するとともに、評価値を定義して傾斜角が切削特性に及ぼす影響について検討した。なお、楕円エンドミルによる加工面へ与える理論粗さの式を示し、最大高さを一定とする条件における切削特性についても検討した。

2. 解析方法

2.1 モデリングと切削面積の計算方法

図1は3D-CADシステム(CATIA-V5)により作成した工具、切れ刃および工作物のモデルを示している。モデリングはまず半径 R_s の円筒面、その内部に長軸を R_l 、短軸を R_s とする回転楕円体を定義する。次に円筒面上に定義したねじれ角 η の切れ刃をZ軸方向に楕円体の表面まで移動させて切れ刃を定義した。工作物は三角柱を用い、その底面をY-Z面に一致させて定義している。原点Oは楕円体の中心、破線は切れ刃、 α は工作物の傾斜角、 R_a は切り込み、 P_f はピックフィードであり、abcdは切りくずの立体である。

図2は上記立体abcdを切削する際の切削面積の計算方法を示しており、図1をZ軸方向より投影している。切れ刃1($\theta = \theta_i$)から切削を開始し、切れ刃3($\theta = \theta_o$)の位置で終了するが、中心近傍の切れ刃がY軸に一致する切れ刃2の状態を $\theta = 0^\circ$ としている。また、斜線部klm nが切削面積Aとなり、その重心Gの位置および点GからZ軸までの距離 L_G も計算している。

2.2 理論粗さの計算

楕円エンドミルによる理論粗さ $R_{th,o}$ は、図3に示す2つの楕円IとIIの交点 $P_i(y_i, z_i)$ と加工面との距離により計算できる。2つの楕円と加工面の式は次のように与えられる。

$$\frac{y^2}{R_s^2} + \frac{z^2}{R_l^2} = 1 \tag{1}$$

$$\frac{(y - y_2)^2}{R_s^2} + \frac{(z - z_2)^2}{R_l^2} = 1 \tag{2}$$

$$z = my - \sqrt{R_s^2 m^2 + R_l^2} \tag{3}$$

$(m = \tan \alpha = z_2/y_2)$

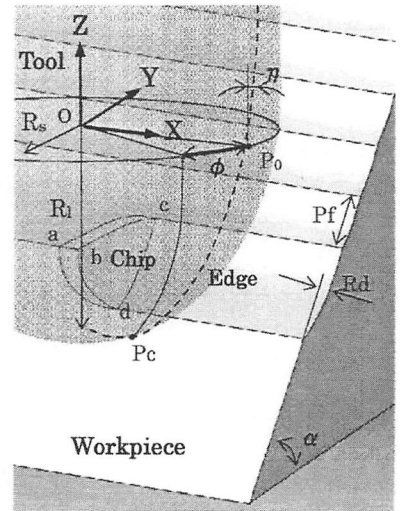


Fig.1 Tool, cutting edge and workpiece models

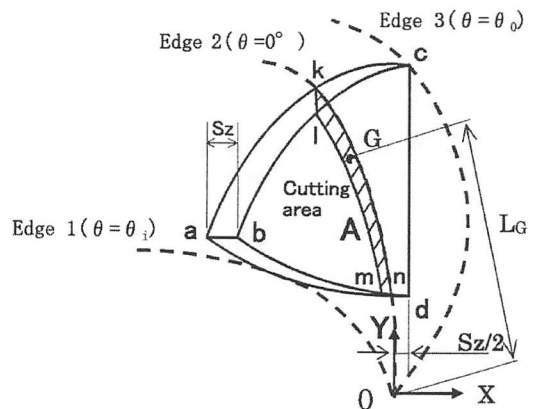


Fig.2 Chip body, cutting edge and cutting area

式(1)と(2)により交点 $P_i(y_i, z_i)$ の座標を計算し、その値を用いて理論粗さ $R_{th,o}$ は次式で与えられる。

$$R_{th,o} = \frac{my_i - z_i - \sqrt{R_s^2 m^2 + R_l^2}}{\sqrt{m^2 + 1}} \tag{4}$$

3. 計算および実験方法

表1に計算および実験条件を示す。切削面積、重心位置および距離 L_G の計算は工具の回転角 $2^\circ \sim 10^\circ$ ごとに行った。切削実験はNCフライス盤(大阪機工MHA-350)を用い、工具は超硬ソリッドエンドミル、2枚刃、(TiAlN)コーティングであり、工作物はS45C(110×118×64mm)を用いた。切削力は動力計(KISTLER 9257A)、仕上げ面粗さは粗さ計(東京精密SURFCOM 2B)を用いて測定した。

Table1 Calculating and cutting conditions

Cutter radius : R_s, R_l	8 mm, 24 mm
Helix angle : η	30°
Radial depth of cut : R_d	0.8 mm
Feed rate : S_z	0.16 mm/tooth
Pick feed : P_f	0.8 mm
Inclination angle : α	0~75°

4. 計算および実験結果と考察

4.1 切削面積の変化

図4は工具回転角による切削面積の変化を示したもので、ピックフィードは上面方向(ステップアップ: ↑印)および下面方向(ステップダウン: ↓印)に与えており、傾斜角 $\alpha = 0^\circ, 30^\circ$ および 60° の結果である。図よりステップアップでは傾斜角 α の増加により最大値は増加し、ステップダウンでは逆に減少し、切削に関与する工具回転角はともに減少している。

4.2 仕上げ面粗さとピックフィード制御による改善

図5は加工面の粗さ曲線の一例である。 $\alpha = 15^\circ$ に比べて 60° の場合、最大高さ R_y が小さく、両者の差は大きい。そこで、式(4)を用いて P_f を制御すると、目標とする $R_y = 10 \mu m$ をほぼ実現している。

図6は横軸に傾斜角をとり、 $P_f = 0.8 mm$ および P_f 制御の条件で最大高さを比較している。一点鎖線は式(4)による理論粗さであり、実験値は理論値にほぼ一致している。 $\alpha = 0^\circ$ で両者の差が大きい、これは楕円エンドミルの先端が平坦になっているためである。一方、 P_f 制御を用いると最大高さは目標値($R_y = 10 \mu m$)にほぼ一致している。図5および6の結果より、 $\alpha = 50^\circ$ 以上で P_f の増大による生産性の向上が期待できる。

4.3 評価値と切削トルクによる比較

切削特性を比較するため、最大切削面積 A_{max} とその重心までの距離 L_G を乗じた評価値 Ed_{max} を定義する。図7は傾斜角による評価値の変化を示しており、 Ed_{max} は両切削方式ともステップアップに比べステップダウンで小さく、この条件で良好な切削特性が期待できる。また、図1の原点 O と切削面積の重心 G を結びその延長線が回転楕円体に交わる点 G_p を切削力の作用点と仮定すると、最大切削トルク T_{max} を計算することができる。図中には P_f 制御による評価値と最大切削トルクを併記している。図より $\alpha = 60^\circ$ 以上で Ed_{max} と T_{max} はともに増加し、図6に示した最大高さの変化と逆の傾向になる。

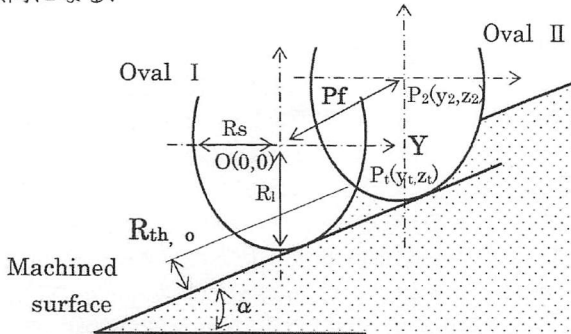


Fig.3 Calculating method of ideal roughness

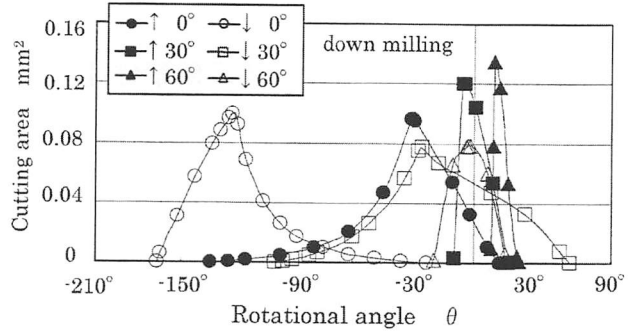


Fig.4 Maximum cutting area

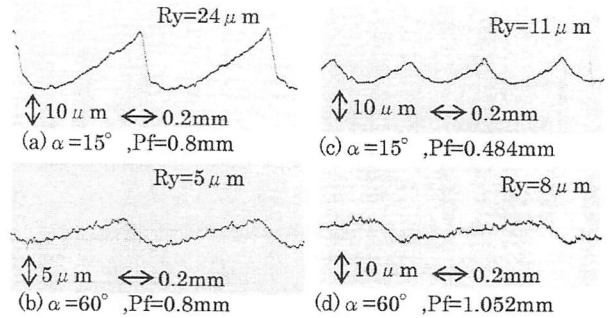


Fig.5 Roughness curve (down milling)

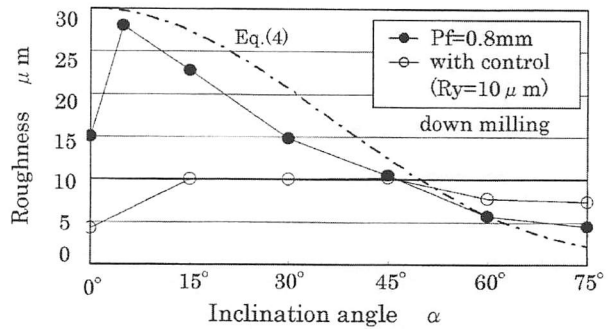


Fig.6 Surface roughness

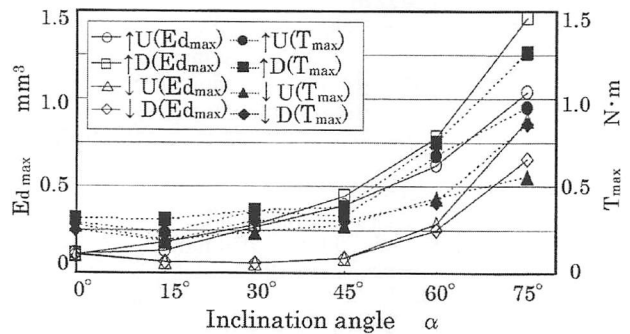


Fig.7 Evaluate value and maximum cutting torque

5. まとめ

3次元 CAD を用いて楕円エンドミルによる傾斜面加工における切削面積を精度よく計算した。また、実験により切削抵抗および仕上げ面粗さを測定するとともに、評価値を用いて切削特性について検討した。さらに、理論粗さを求め、ピックフィード制御による切削特性の変化についても比較を行った。

文献 1) 岩部,高橋,佐々木,日本機械学会,第4回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集,2002,57.