

三次元 CAD を用いたボールエンドミルによる傾斜面加工における切削機構の解析 — 主軸の送り方向傾斜による影響 —

正 岩部 洋育 (新潟大)

要 旨

3次元CADを用いてボール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。主軸は送り方向にも傾斜させ、その角度とピックフィード方向による影響について検討した。また、評価値を定義し、切削方式および各種条件が切削特性に及ぼす影響についても検討を行った。

1. はじめに

ボールエンドミルは三次元輪郭形状の加工に不可欠な工具であり、各種金型加工に多用されている。しかし、切れ刃形状が複雑なため、その切削機構は十分解明されていない。

そこで、本研究は三次元CADを用いて工具および切れ刃形状を定義し、傾斜面加工について工具の回転に伴って変化する切削面積を精度よく求め¹⁾、主軸の送り方向の傾斜が切削機構に及ぼす影響について比較検討している。また、実験により仕上げ面粗さを測定するとともに、幾何学的値に基づく評価値を定義して切削特性の検討も行った。

2. 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)を用いて作成した工具、切れ刃および工作物のモデルであり、座標系および記号を示している。工具の原点 O_c は半球の中心とし、 R_c は工具半径、破線は切れ刃である。ボール部の切れ刃はX軸上の点である $P_0(R_c, 0, 0)$ を起点とし、時計方向の回転角 ϕ を用いた次式で与えられる点 $P_c(x_c, y_c, z_c)$ で定義している。

$$\left. \begin{aligned} x_c &= R_c \sqrt{1 - (z_c / R_c)^2} \cdot \cos \phi \\ y_c &= R_c \sqrt{1 - (z_c / R_c)^2} \cdot \sin \phi \\ z_c &= -R_c \cdot \phi / \tan \eta \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

点 P_c は切れ刃をまず、Z軸の負方向に一度円筒部と円周上でねじれ角に沿って延長させ、次にZ軸に直角な各断面で、上記の切れ刃点をZ軸方向に半径 R_c の半球面まで移動させた点である。

図中のabcdは、一回で除去される切りくずの立体であり、原点 O_c を中心とする半径 R_c の半球をX軸方向に一刃当たりの送り S_z 戻した半球および半径方向切込み R_d を与えた傾斜角 α の平面によって囲まれる形状として定義している。

図2は切削面積の計算方法を示したもので、図1をZ軸方向より投影している。切れ刃1は切削開始位置($\theta = \theta_i$)であり、切れ刃2においてklmnで囲まれる部分を切削面積Aとして計算している。また、工具の回転角 θ の基準は、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。なお、切れ刃

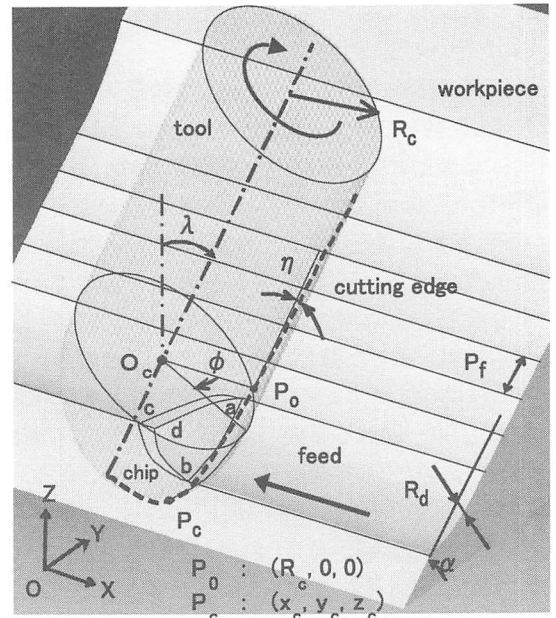


Fig.1 Tool, edge and workpiece model

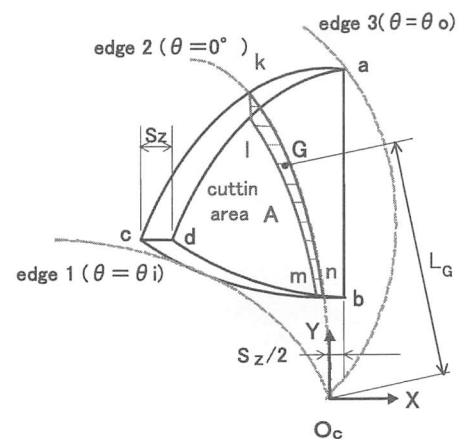


Fig.2 Calculating method of cutting area

3 ($\theta = \theta_o$)の位置で切削は終了する。

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。 λ は送り方向に主軸を傾けた場合を正、逆向きを負とし、計算では α 、 λ ともに 15° 間隔で行った。実験にはNCフライス盤(新潟鉄工 2UMD)を使用し、工具は直径16mm、2枚刃、超硬ソリッドボールエンドミル、(TiAl)Nコーティング、工作物はS55C(45×140×15mm)を用いた。仕上げ面粗さは粗さ計(東京精密 SURFCOM 2B)を用いて測定した。

Table 1 Calculating and cutting conditions

Cutter radius : Rc	8.0 mm
Helix angle : η	30°
Radial depth : Rd	0.8 mm
Feed : Sz	0.16 mm/tooth
Pick feed : Pf	0.8 mm
Inclination angle(workpiece) : α	0° ~ 75°
Inclination angle(spindle) : λ	-60° ~ 60°

4. 計算および実験結果と考察

4.1 切削面積の変化

図3は横軸に工具回転角 θ をとり、ステップダウン、 $\alpha=0^\circ$ における切削面積の変化を示したものである。図より切りくず形状が送り方向で反転するため、上向き切削と下向き切削で工具の回転角に対する変化が逆転している。また、主軸を送り方向に傾斜させるとその角度 λ の正負に関わらず増加するが、上向き切削において顕著となる。

図4は主軸の傾斜角 λ による最大切削面積の変化を示したもので、 λ を負方向に傾けると、正方向に比べて最大値が大きい。さらに、工作物を傾斜させると、傾斜角 α の増加につれて最大値も増加し、上向き切削、 λ 負の組合せで増加率が最大となる。

4.2 仕上げ面粗さ

図5は切削実験による仕上げ面の最大高さ R_y を比較したものである。図より $\alpha=0^\circ$ 、 $\lambda=0^\circ$ で R_y は大きくなるが、他の条件においてはほぼ理論値 $R_{th}(Pf^2/8R_c)=10\text{ mm}$ に一致している。この理由は、主軸および工作物を傾けたことにより、切削速度が0となる中心近傍の切れ刃を使わなかったためである。

4.3 評価値による切削特性の比較

切削特性を比較するため、主軸から切削面積の重心Gまでの距離を L_G とし評価値 E_d を定義する。

$$E_d = A \cdot L_G \quad (2)$$

図6は横軸に工作物の傾斜角 α 、縦軸に評価値の最大値 E_{dmax} をとり、下向き切削における変化を示したものである。図より α の増加に伴って評価値は大きくなる傾向があり、 λ の増加とともにその変化が顕著となる。また、ステップアップに比べステップダウンで小さく、特に $\alpha=15^\circ$ で E_{dmax} は最小値を示し、この条件で良好な切削特性が期待できる。

5. まとめ

三次元CADを用いて切れ刃と工作物のモデルを作成し、ボール部の切れ刃による切削面積を精度よく求めた。また、評価値を定義し、良好な切削特性が期待できる条件を明らかにした。なお、実験により主軸または工作物の傾斜で粗さが改善することも示した。

文献 1) 岩部・清水・佐々木:日本機械学会論文集(C編), 72, (2006-1) 247.

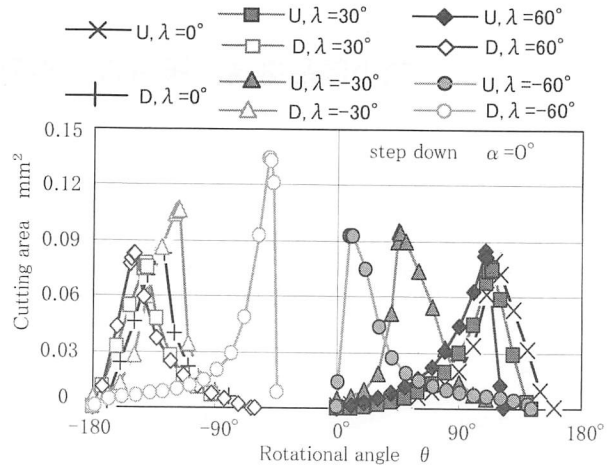


Fig.3 Difference of cutting area

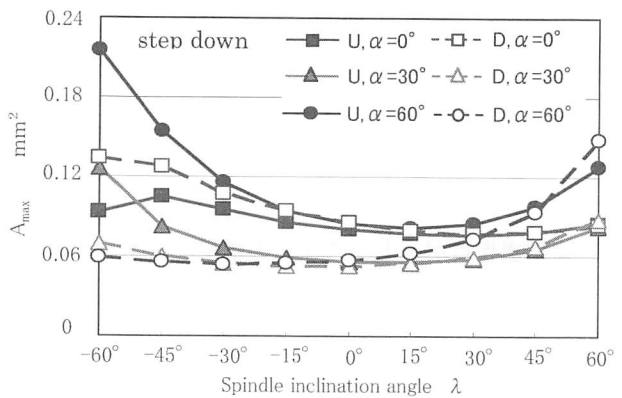


Fig.4 Difference of maximum cutting area

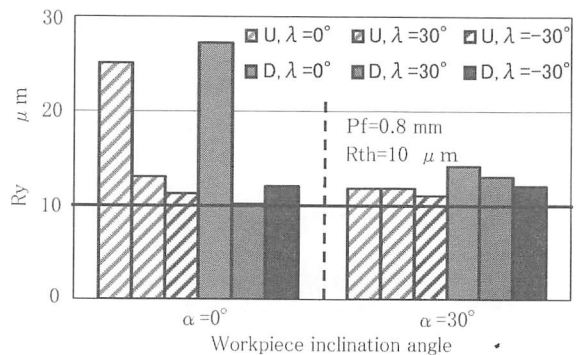


Fig.5 Surface roughness

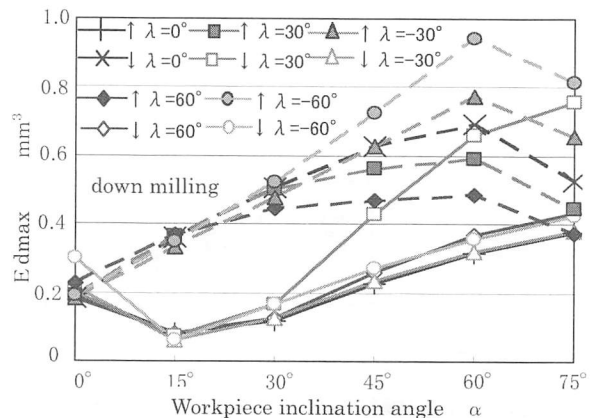


Fig.6 Difference of Edmax