

ボールエンドミルを用いた傾斜加工のメカニズム解析

函館工業高等専門学校

○ 野村隆之 能勢武士 中林周平
中居拓哉 小松聖司 山田 誠

要旨

3+2 軸制御加工において、ボールエンドミルを用いた加工が一般に行われている。工具の進行方向に対して切れ刃の送り方向速度がゼロになる速度停留点がある¹⁾。この付近を使った加工は加工面の状態の悪化につながる。よって、良好な加工面を得るためには、工具を傾斜させて加工することが必要となる。しかしながら、ボールエンドミルの傾斜加工の切削メカニズムは十分には解明されていない。本研究では 3+2 軸制御加工におけるボールエンドミルの傾斜加工について、5 軸工作機械上で切削動力測定を行いこれにより得られた加工面の調査を行った。この実験結果に基づいてボールエンドミルの送り方向に対する、望ましい工具姿勢を導出することを目的とし加工実験を行いその結果を示す。

1. 緒言

3+2 軸制御加工において、ボールエンドミルを用いた加工が一般に行われている。工具の進行方向に対して切れ刃の送り方向速度がゼロになる速度停留点がある¹⁾。この付近を使った加工は加工面の状態の悪化につながる。よって、良好な加工面を得るためには、工具を傾斜させて加工することが必要となる。しかしながら、工具の送り方向に対する傾斜角・方向の違いによるボールエンドミルの切削メカニズムは十分には解明されていない。

本研究では 3+2 軸制御加工におけるボールエンドミルの傾斜加工を実行する上での基礎実験として、5 軸工作機械上で切削動力測定を行い加工面の調査を行った。この実験結果に基づいて 5 軸工作機械における 3+2 軸制御加工のボールエンドミルの送り方向に対する、望ましい工具姿勢を検証した。

2. 実験概要

2.1 加工条件

本研究では、5 軸制御マシニングセンタを使い、超硬ボールエンドミルにより、NAK55 に対して傾斜加工を行った。加工条件を表 1 に示す。今回行った加工ではワークを取り付けたテーブルを回転させることにより、工具に相対的な傾斜角度をつけた。傾斜角度 α は $0^\circ \sim 16^\circ$ まで 2° 刻みで、 $20^\circ \sim 70^\circ$ まで 10° 刻みで変化させた。

使用した超硬ボールエンドミルは、公称値で真球度 $3\mu\text{m}$ 以内のもので、切り込み量の違いを無くするために、2 枚刃を整形して 1 枚刃にしたものを用いた。

表 1 加工条件

試験片	NAK55
主軸回転数 n	2,000rpm
送り速度 f	100mm/min
切り込み量 hd	0.1mm
ピックフィード fp	0.5mm
工具半径 R	4mm
工具突き出し長 L	40mm
工具突き出し長・工具径比 L/D	5

2.2 工具姿勢の定義

本実験では、工具姿勢を面法線ベクトル \mathbf{N} と工具軸ベクトル \mathbf{T} とのなす角を傾斜角 α 、送り方向 \mathbf{V}_f を基準として面法線まわりの角度を β として、送り方向に対する工具姿勢を定義する。これを図 1 に示す。

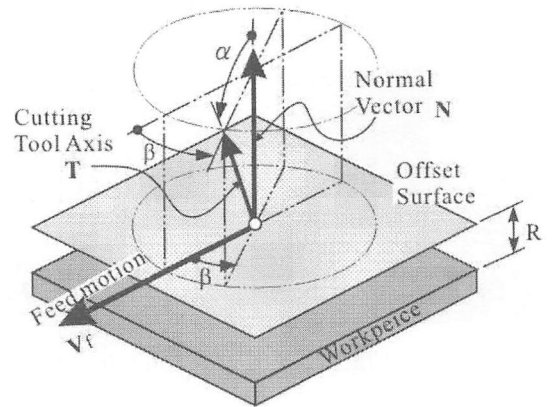


図 1 送り方向に対する工具姿勢の定義

3. 加工実験

3.1 加工方法

加工実験は 5 軸マシニングセンタのテーブル上に 3 方向成分切削動力計を取り付け、それ上に被削物を固定し、傾斜加工を行った。傾斜角に対して、様々な送り方向での切削を調べるために、図 2 に示すような円形の工具経路を考案した。加工特性を評価しやすくするため、図 3 に示すように円形を 12 分割して、12 通りの β について工具姿勢を設定するような送り方向について加工実験を行った。このように切削することで、ひとつの工具傾斜角度 α に対して β を 30° 刻みでの切削することができる。切削加工を時計回り (CW) と反時計回り (CCW) の 2 方向を行うことで、左右両方向のピックフィード方向を検証できる。

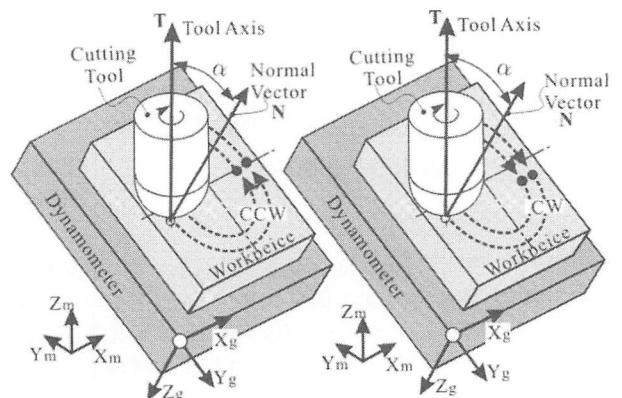


図 2 加工実験の概略

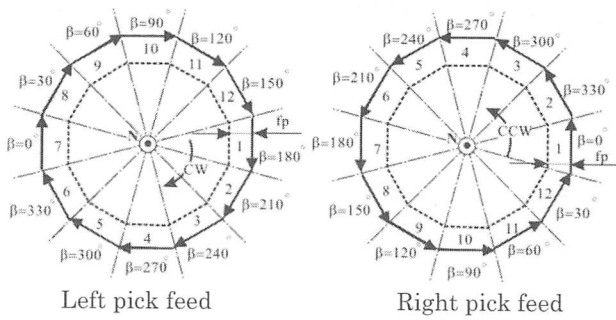


図3 実験加工経路

3.2 加工の評価

加工面の評価は、顕微鏡による加工面の観察と粗さ測定により行った。顕微鏡を用いて加工面の状態を図3における1の面から12の面まで12ヶ所撮影した後、画像を合成し観察した。図4に工具傾斜角度 12° 加工方向CWのものを示す。また、表面粗さの測定は触針式の表面粗さ測定器(Mitutoyo SJ400)を用いて、 $\beta=0^\circ$ の面から対称の位置にある面まで直線的に加工面の粗さを測定した。

加工実験で求められた切削動力を図5に示す。これは工具傾斜角度 12° でピックフィード左方向(CW)のものである。図の横軸は時間で、縦軸はx, y, z, 方向の切削動力である。

図6は、ピックフィード左方向における、送り方向に対する工具姿勢の良否を表している。実験による切削動力の結果と加工面の両方から見て加工性良好な工具姿勢を○、好ましくない工具姿勢を●で示したものである。図の外周に、各行程の番号と姿勢決定角 β を示している(1~12までの数字が、図3で示している送り方向に対応している)。図では、中心を $\alpha=0^\circ$ とし、外側に向かって傾斜角度 α が大きくなることを意味している。

図5において、送り方向 $\beta=210^\circ \sim 300^\circ$ (2~5)の間では、z方向の切削動力がゼロとならないため、切削の際に速度停留点付近で連続加工していることがわかる。その加工状態が加工面へ悪影響を及ぼすとみなし、図6では傾斜角度 α が 12° 以下のとき、送り方向 $\beta=210^\circ \sim 300^\circ$ (2~5)の区間を黒で示している。

また、工具の傾斜角度を大きくすると加工の際にびびりを生じ²⁾、加工面からその状況が確認できた。その場合も好ましくない工具姿勢とみなした。

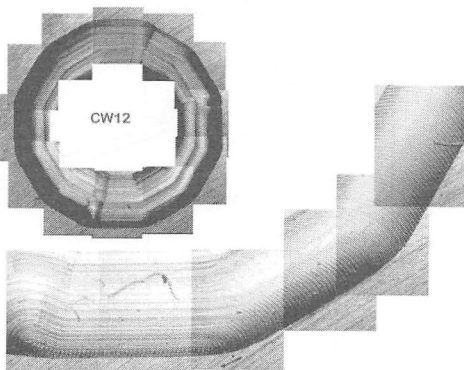


図4 加工面 ($\alpha=12^\circ$, CW)

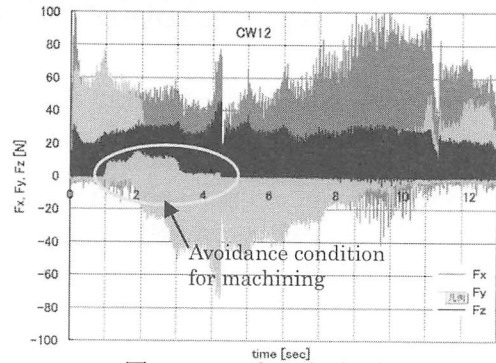


図5 $\alpha=12^\circ$ における切削動力

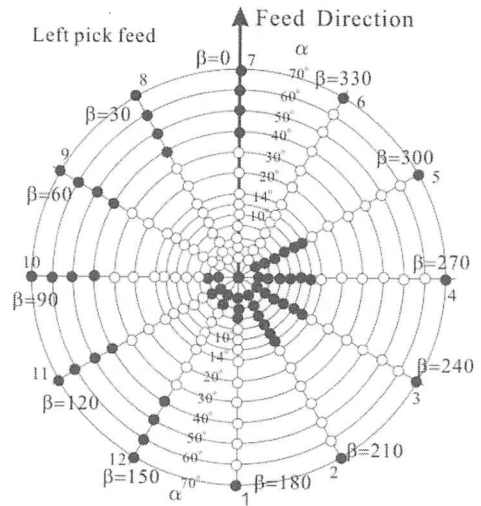


図6 送り方向に対する工具姿勢評価図 (Left pick feed)

本実験の加工条件では、理論上工具を約 12.9° 以上傾斜させると加工面から工具回転中心が完全に逃げることになる。図5の送り方向 $\beta=210^\circ \sim 300^\circ$ (2~5)の範囲では速度停留点付近で加工されているため、z方向に常に切削動力が働いている。これが 14° のときには見られないので、この工具中心回避角度を確認することができた。

4. 結言

5軸制御工作機械に3方向成分切削動力計を取付けて傾斜加工を行いその結果より次の事項を示した。

- 1) 切削動力の観点から速度停留点付近で加工を行うことは適切ではないことを確認した。
- 2) 速度停留点付近での加工や、びびりを生じる加工での加工面を確認した。
- 3) 本実験により、送り方向に対する工具姿勢の違いによる加工特性の評価図を示した。

参考文献

- 1) 吉川,水垣,郝,寺井:球面のボールエンドミル加工における加工面創成機構の理論解析(第3報),精密工学会誌,69,3,(2003)
- 2) 田中,小幡,足森,森脇,浅沼:ボールエンドミル加工の再生びびり振動に関する研究(第3報),精密工学会誌,65,8,(1999)