

5 軸制御工作機械を用いた円筒面に対する傾斜加工に関する研究

函館工業高等専門学校 ○岡村 陸夫, 前田 和毅, 西村みさき, 近藤 司, 山田 誠

要 旨

5 軸制御工作機械でボールエンドミルを用いた 4 軸同時制御加工により, 円筒面に対する高速文字列加工システムを構築することが目的である。ことにより, この 5 軸制御工作機械上でボールエンドミルを用いた傾斜加工により, 円筒素材に対しても切削性の良い切れ刃を用いて加工することが可能である。本報では, この円筒面に対するボールエンドミルの傾斜加工において, 傾斜角度, 工具回転数, 送り速度の変化による加工品質の違いを調査する。

1. 緒言

5 軸制御工作機械の特徴としては工作物上の任意の点に, 適切な角度で工具を当てることにより高品質加工が可能であること, 段取り替えせずに, 複雑な工作物を高効率に加工することができることなどがあげられる。これらの特徴により, 曲面に沿った彫刻加工では, 5 軸制御工作機械を用いた主軸姿勢制御加工で, その加工条件を均一にする加工が可能である。これまで, 要求された形状を, 5 軸制御工作機械を用いて, 円筒面上へ転写する彫刻加工システムを構築してきた。これは顧客が要求する文字列等を, アクリル丸棒などを被加工物とし, 設計から加工までを短時間で, 5 軸制御工作機械の 4 軸を同時に制御することにより実現してきたものである。しかしながら, これまでの問題点として, 次のことがあげられてきた, 1)高速で加工するためには, 高回転数での加工が必要であるものの, 工具 (ボールエンドミル) の中心での加工は, 加工材料を押しつぶす状況となり^[1], 加工面性状の悪化, あるいは, 被削材料によっては, その摩擦熱により材料の溶融につながる。2)被削材料の固定は, 片持ち梁の状況であり, 回転中心で押しつぶす加工では加工物先端が大きいたわむことになり, 均質な加工結果を得ることができない。

本研究では, これらの問題点に対して, 被削材料 (丸棒) に, ボールエンドミルの適正な切れ刃位置で加工できるよう傾斜角度を与え, 高速加工において被削材に作用する力を低減させることを目標とする。その傾斜角度について, 加工品質および加工速度の観点から最適な角度を調査する。本論文では, 円筒面への加工システムの概要および, 傾斜角度を与えた制御量の導出方法について示す。

2. 円筒面上への彫刻加工システム

本研究で作成する加工システムは, 図 1 に示すように, 次の流れで構成されている。

- 0) 円筒面へ加工するための基本文字データ (Font) をあらかじめ作成しておく。これは, 一般的な文字フォントを参考に, 二次元 CAD を用いて単線で作成される。このデータは DXF ファイルフォーマットで保存され, 個々の文字データを Font 毎の集合として作成される。
- 1) 彫刻加工用 CAM では, 要求文字列を入力し, それに対応するフォントをデータセットを参照し 2 次元加工形状データを作成する。

- 2) 作成された二次元形状データを, 円筒面上へ投影する。この投影される円筒面を形状定義円筒面と呼び, その半径は, 被加工材の円筒半径 R_W , 工具 (ボールエンドミル) の半径 R_T , および, 切り込み量 D から決定される。
- 3) 指定された傾斜角度から形状定義円筒面上の形状 data から工具軸ベクトルを導出する。この工具軸ベクトルと円筒面法線との角度が, 指定された傾斜角度となる。
- 4) 形状定義円筒面上 data と工具軸ベクトルから, 工作機械構造 (ワークの取り付け位置を含む), 回転数, 送り速度を参照し, 加工 data を作成する。

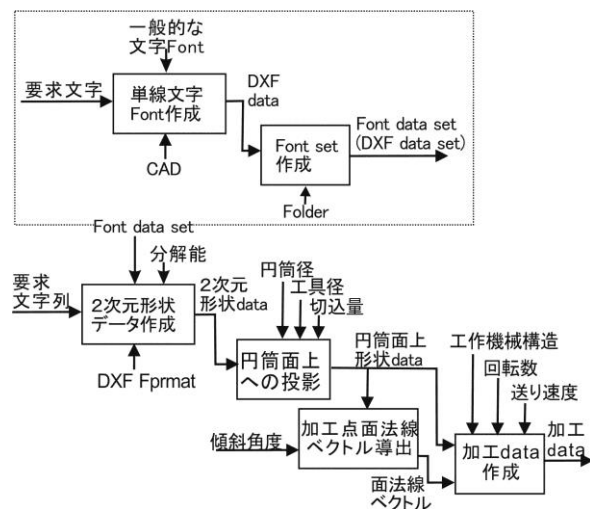


図 1 円筒面上への彫刻加工システムの流れ

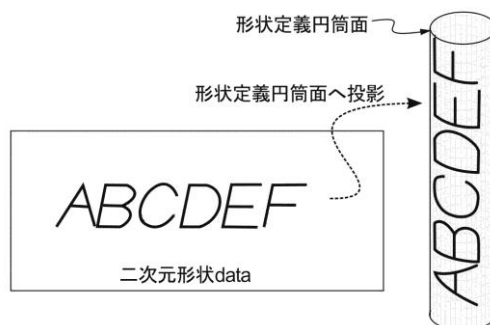


図 2 二次元形状 data の形状定義円筒面への投影

3. 傾斜角度を与えた加工 data の導出方法

3.1. 傾斜角度の定義

ボールエンドミルでの加工では、図3に示すように、切削速度の観点から、また、たわみ・合成の観点から不適となる部位を除いた、有効加工切れ刃部を使用することで、高品質な加工が期待できる。傾斜角度を与えることにより、この有効切れ刃部を効果的に用いることができる。この傾斜角度 α は、図4に示すように、加工面法線ベクトルと工具軸ベクトルとのなす角度で定義される。また、ここで示されているように、加工における形状は、形状定義円筒面上のボールエンドミル工具の中心で定義される。

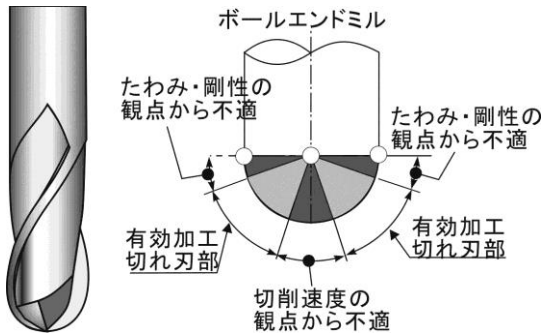


図3. ボールエンドミルの有効加工切れ刃

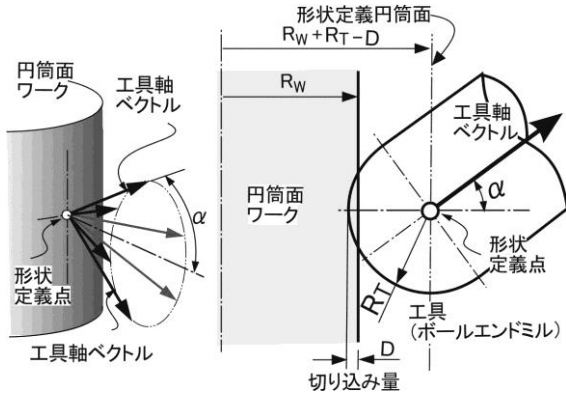


図4. 傾斜角度を設定した工具軸ベクトルと形状定義点

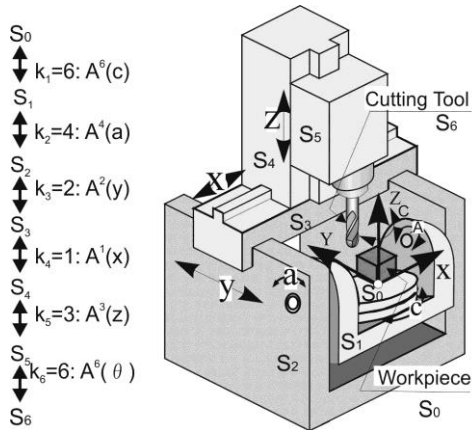


図5. 使用する5軸工作機械の構造

3.2. 制御量の導出方法

本研究で使用する5軸工作機械の構造は、図5に示すような、A軸とC軸とを有するものである。この構造の形状創成関数^[2]は式(1)で表される。この中で a, c は、A軸およびC軸の姿勢制御量、 x, y, z は、それぞれ x, y, z 軸の位置制御量を表している。工具原点 $e=[0,0,0,1]^T$ とすると、式(1)は、式(2)となる。姿勢制御量 $[a, c]$ は、工具軸ベクトルから決定され、形状定義から r が決定されるため、位置制御量 $[x, y, z]$ は式(3)から導出される。

$$\mathbf{r} = \mathbf{A}^6(c)\mathbf{A}^4(a)\mathbf{A}^2(y)\mathbf{A}^1(x)\mathbf{A}^3(z)\mathbf{e} \quad (1)$$

$$\mathbf{r} = \mathbf{A}^6(c)\mathbf{A}^4(a)[x \ y \ z \ 1]^T \quad (2)$$

$$[x \ y \ z \ 1]^T = \mathbf{A}^4(-a)\mathbf{A}^6(-c)\mathbf{r} \quad (3)$$

4. 実機での加工実験

直径10mmのアクリル丸棒に対して、刃先直径1.5mmの超硬ボールエンドミルを用いて、傾斜角 30° において加工実験を行った状況を図6に示す。今回の加工では、傾斜角度は、A軸の回転角により設定した。

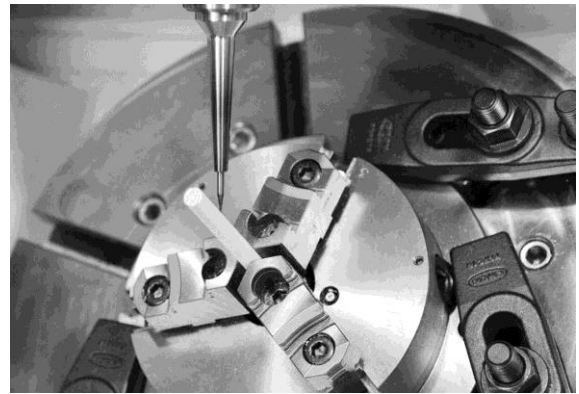


図6. 実機での加工状況

4. 結言

5軸制御工作機械を用いた円筒面への彫刻加工システムについて、次のことを明らかにした。

- 1) 要求文字列から円筒面へ彫刻加工を行う加工システムの流れについて示した。
- 2) 傾斜角度を設定した加工において、工具軸ベクトルと形状定義点から制御量の導出方法を示した。
- 3) 実機において、求めた工具姿勢、工具経路によって、取付治具との干渉なく目的形状を加工できることを確認した。

参考文献

- [1] 山田誠, 田中文基, 近藤司, 岸浪建史, 5軸NC工作機械による主軸傾斜曲面加工法に関する研究(第3報), 精密工学会誌, 73, 5, 563-567, 2007.
- [2] 山田誠, 形状創成関数に基づいた工学基礎教育—空間形状表現モデルの構築とその活用—, 高専教育 35, pp. 287-292, 2012