

主軸傾斜加工における仕上げ面の高精度化に関する研究 —工具姿勢変化と仕上げ面との関係—

函館工業高等専門学校 ○菊地夢作, 山田誠, 近藤司
ファナック(株) 佐々木空

要 旨

ボールエンドミルを用いた主軸傾斜加工において, 工具姿勢変更時に加工面に生じる段差を補正し, 仕上げ面の高精度化を実現することが目的である. 本研究では, 主軸傾斜加工における誤差要因を工具形状の変化ということに集約し, ボールエンドミルによる主軸傾斜加工面から, 回転工具の外殻包絡形状を推定した仮想工具形状を導出する. そして, その仮想工具形状を用いた主軸傾斜加工による補正加工面を検証する.

1. 緒言

主軸傾斜加工とは 3 軸制御加工の欠点である, 短い工具突き出し長でかつ, 工具の弾性変形が大きくなる測刃部や切削速度が低い工具の回転中心付近での加工を避けることができ, 精密で複雑な形状を加工することができる. だが, 曲面加工で工具姿勢を変更した際加工面の精度が悪くなる. さらに, 加工面の精度を悪化させる原因として, 工作機械が作られたときや使用されているうちに位置決め時のずれなどの機械誤差や, 工具自体の摩耗によって発生する真円度のずれなどの工具誤差が挙げられる.

本研究では, ボールエンドミルの主軸傾斜加工に注目し, 加工における機械誤差や工具誤差などを集約し, 加工面の精度を向上させる仮想工具の形状を導出することを目的とする.

2. 実機における加工実験

2.1 実験装置及び実験方法

実験装置はテーブル型旋盤の 5 軸制御縦型マシニングセンタ(OKUMA(株) MU-400VA)を使用し工具は 2 枚刃のφ10mm 超硬エンドミル(OSG(株) AE-BD-H), 被削材には被切削性が良好なブリハードン鋼(NAK55)を用いて加工実験を行った. 加工表面の観察や計測には, レーザー変位計(KEYENCE(株) CLP015)を用いた. 実験方法の流れを図 1 に示す.

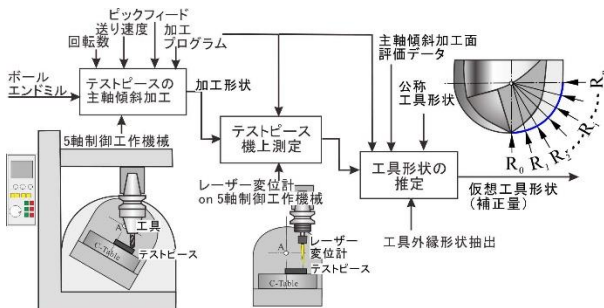
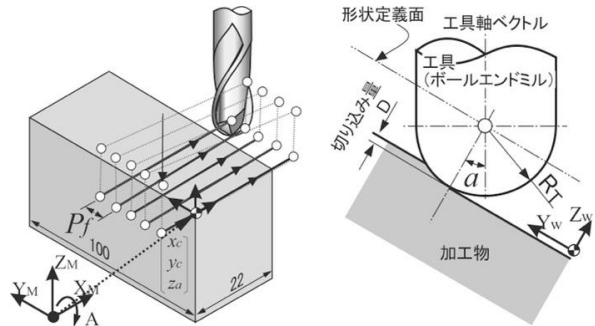


図 1 研究の流れ

本実験では, 被削材の同一平面状を 0~60° までを 5° 間隔で連続的に姿勢を変化させ, 各傾斜角に対して図 2 に示すような切削加工を行う. ピックフィード方は Y 軸プラス方向のアップカットのみとし, ピックフィード量は 0.2mm とする. また切り込み量は 0.1mm とする.



(a)工具経路 (b)傾斜加工
図 2 加工工具経路および主軸傾斜状況

2.2 制御量の導出方法

本研究で使用する 5 軸制御工作機械の構造は A 軸と C 軸の 2 軸を有するものであり, この形状創成関数は式(1)で表される. このなかで, a, c は A 軸と C 軸の制御量で δ は C 軸回転中心と A 軸回転中心のズレ, (x, y, z) は X 軸 Y 軸 Z 軸の制御量を表している. 本研究では C 軸を回転させないため, $e = [0, 0, 0, 1]^T$ とすると位置制御量^[1]は式(2)となる.

$$r = \begin{bmatrix} x_w + x_c \\ y_w + y_c \\ z_w + z_a \end{bmatrix} = A^6(c)A^2(\delta)A^4(a)A^2(-\delta)A^1(x)A^2(y)A^3(z)e \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = A^2(\delta)A^4(a) \begin{bmatrix} x_w + x_c \\ y_w + y_c - \delta \\ z_w + z_a \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.3 補正量の導出方法

図3に補正量導出方法の簡易図を示す。

加工面計測データは多少のばらつきがあるため各傾斜角に平均値をとる。傾斜角は連続的に変化し、計測データからははっきりとした工具変化したタイミングがわからないため確実に各傾斜角である中央付近 500 点ほどで平均をとる。その平均値の中で一番低い傾斜角を基準として他角度の補正量を導出する。図3では0°の平均値が一番低い0°を基準としてほかの傾斜角の補正量を導出する。

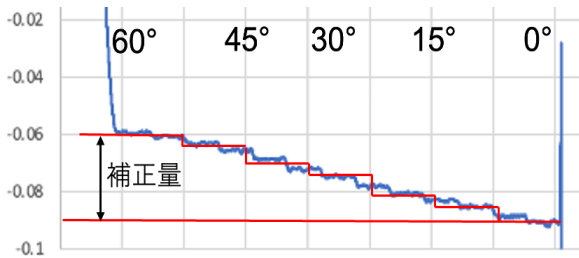


図3 補正量導出の簡易図

3. 実験結果

実機での加工状況を図4(左)に、加工面の測定状況を同右図に示す。R5mmのボールエンドミルで傾斜角0°～60°で、0.1mmの切込みで加工した。また図5はこの加工面を3D測定マクロメータ(Keyence VR3100)で撮影し、点群データをもとに再現したものである。このようにfpコンセプトとカプスハイトを確認することができる。図6にレーザー変位計(KEYENCE(株) CLP015)を用いて計測した補正前後の加工面の比較データを示す。

図6の補正前のグラフより、工具傾斜角が大きくなるにつれ、切り込みが足りておらず補正量が大きくなっていくことがわかる。導出した補正量の整合性を確認するため、補正量から逆算し、もう一度加工を行った結果、補正後のグラフのようにどの角度も切り込み量が同定であることがわかる。そのため補正量も補正前に比べて大幅に小さくなっていることがわかる。また今回の実験で補正量が0°の位置での切り込み量の大きさが補正前と補正後で変化している。考えられる原因として、補正前と補正後の加工を別日に行ったことにより切り込み量に変化が起きてしまったこと、工具の摩耗により切り込み量が小さくなってしまったことが挙げられる。

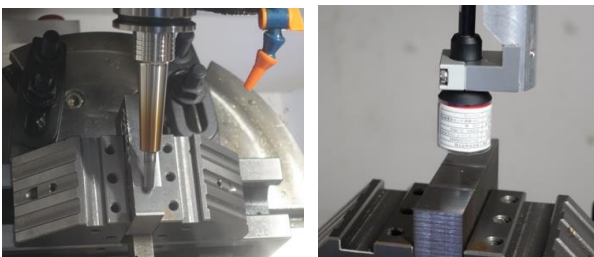


図4 加工状況および計測状況

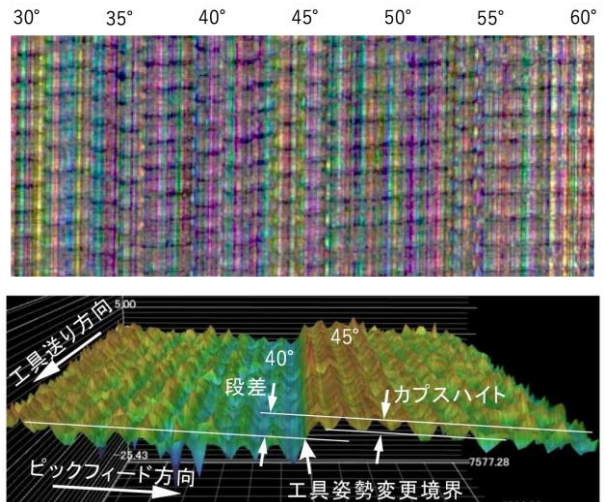


図5 加工面および解析画像

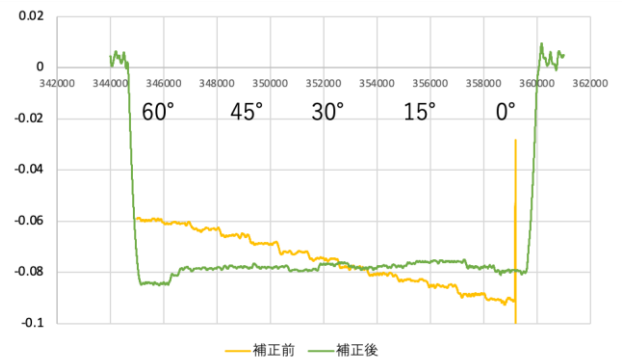


図6 補正後計測結果

4. 結言

本研究では、ボールエンドミルを用いた主軸傾斜加工において、加工面計測データから補正量を導出し仮想工具形状を推定することを目的として行った加工実験をおこない、次の結果を得られた。

- (1) 主軸傾斜加工実施方法、および、工具姿勢変化時に出来る境界を確認することができた。
- (2) 加工面の機上測定により、工具形状を推定することができた。
- (3) 導出した補正量を元に再加工を行い、導出した補正量が正しいことを示した。

参考文献

- [1] ボールエンドミルを用いた主軸傾斜加工における仕上げ面の高精度化に関する実験的研究；佐々木空他，2021年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，pp234-235（2021）
- [2] 主軸傾斜加工における仕上げ面の高精度化に関する研究；佐々木空他，2020年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集，pp5-6（2020）