

精度補正システムを用いた エンドミルによる溝加工に関する研究

Study on the Grooving by End-Mill Machining Use the Accuracy Correction System

○ 磯 峻介*, 小林 義和**, 白井 健二**, 戸澤 幸一***

○Shunsuke Iso*, Yoshikazu Kobayashi**, Kenji Shirai**, Kouichi Tozawa***

*日本大学大学院, **日本大学, ***日産自動車株式会社

*Graduate School, Nihon University, **Nihon University, ***Nissan Motor Co.

キーワード: 表面テクスチャ(surface texture), エンドミル加工(end mill machining),
溝加工(grooving), 精度補正(accuracy forecast)

連絡先: 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地

日本大学大学院 工学研究科 情報工学専攻 生産システム工学研究室 磯峻介,

Tel: (024)956-8824, Fax: (024)956-8863, E-mail: shunsuke-iso@ushiwaka.ce.nihon-u.ac.jp

1. 緒言

自動車, デジタル機器などの部品の視覚的な付加価値や機能向上を図るため表面テクスチャに関する研究が行われている。これらの研究はブランド力向上の観点から, 独自の機能を有する製品やデザインなどをサポートする生産技術として注目されている。本研究においては, 表面テクスチャを高精度化するため, 深さ方向の加工精度に着目し, 加工誤差の要因を解析して, その

誤差を予測し, 補正するシステム開発を行うことを目的としている。¹⁾²⁾

2. 基礎実験と解析手法

今回の実験では, 深さ方向の加工精度を計測するため, 工具先端の摩耗の影響が小さいスクエアエンドミルを用いている。図1に今回対象とした加工法を示す。被削材は鋼材 S50C を用いて, スクエアエンドミル工具 φ0.5mm により A から B の方向へ溝

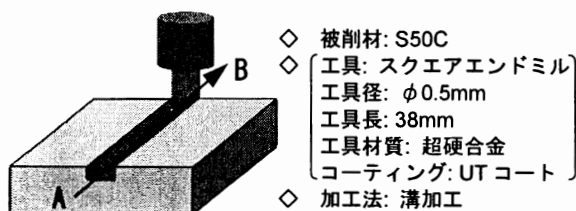


図1 対象とした加工法

- ◇ 被削材: S50C
- ◇ 工具: スクエアエンドミル
- ◇ 工具径: $\phi 0.5\text{mm}$
- ◇ 工具長: 38mm
- ◇ 工具材質: 超硬合金
- ◇ コーティング: UTコート
- ◇ 加工法: 溝加工

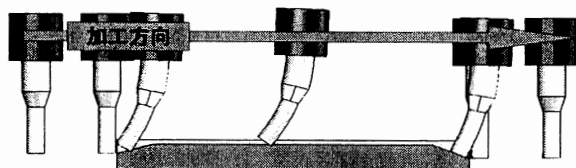


図2 加工中の工具の変化

加工を行う。加工後、走査型白色光干渉計により溝部を測定する。その最大値と最小値の差を形状精度の値としている。

図2に加工中の工具の変化を示す。加工部入口において、アプローチの際には、試料と工具の関係は垂直であるが、切り込むにつれて工具が徐々にたわみ、出口直前まで工具がたわみ加工される。その結果、予測した量より浅く加工される。

また、出口においては切削量が減少するため工具のたわみが減少し、再び深く切り込まれる。

3. 実験結果

スクエアエンドミルにより、高精度な仕上げ加工を想定して、切り込み深さを 5, 10, 15 μm とした。送り速度は 500 $\mu\text{m/s}$, 主軸回転数は 30000rpm である。図3に、溝加工における形状精度を示す。この結果から、切り込み深さが増大するにつれ、形状精度が大きく変動する。特に、加工部出口では変動が大きい。

3.1 入口における形状精度の変動

図4(a)に加工部入口における工具断面の切削幅の変化を示す。加工負荷 P は負荷の

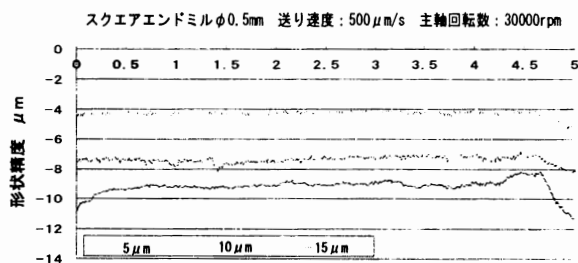


図3 溝加工における形状精度

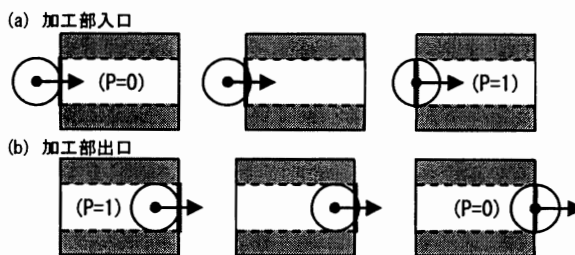


図4 工具断面の切削幅の変化

変化に対して、0~1の値をとる。切削負荷のない場合は $P=0$, 工具直径と同幅で加工中の場合は $P=1$ とする。工具断面は円形であり、送り速度は一定である。送り方向を x , その直交方向を y とすると、加工部入口での切削幅 y_m は式(1)により導出される。

$$y_m = 2\sqrt{r^2 - x^2} \quad (1)$$

ここで、 r : 工具半径 x : 加工方向の変位

式(1)により加工部入口の切削幅の変化がわかる。図5(a)に加工部入口における切削幅の変化を示す。図5に示す様に、入口では凸形状になる。また、加工部入口では、工具の進行と共に切削幅が急激に増加するため、加工負荷の立ち上がり急となる。同時に工具のたわみが発生し、形状精度が大きく変動する。その後、徐々に切削幅の変化は小さくなり、形状変動は緩やかとなる。これは、加工部入口では溝の中心から両端に向かって切込まれるためである。

3.2 出口における形状精度の変動

加工部出口において入口とは異なる形状

精度の変動, また入口より大きく切り込む現象について解析した. 図 4(b)に加工部出口における工具断面の切削幅の変化を示す. 加工部出口の切削幅 Y_{out} は以下の式(2)で示される.

$$Y_{out} = 2r - 2\sqrt{r^2 - x^2} \quad (2)$$

ここで, r : 工具半径 x : 加工方向の変位

図 5(b)に加工部出口における切削幅の変化を示す様に, 凹形状になることがわかる. 加工部出口に工具が達すると, 急激にたわみ量が減少し, 徐々に形状変動が緩やかとなる.

これは, 図 4(b)から加工部出口では工具直径幅で切込まれている状態から工具が抜けるまで両端に向かって切込まれているためである. したがって, 切削量の変動によって加工部入口と出口においては異なる形状精度の変動となる.

加工部出口において, 深く切込む原因をさらに検証するため, カッターマークを測定した. 図 6 に, 溝形状を上面から観察した結果を示す. (a)は加工部入口, (b)は加工

部出口を示す. 加工部入口から中間部にかけて, 工具のたわみによる工具前端のカッターマークを確認することができる. 一方, 加工部出口付近では, 前端から後端のカッターマークが徐々に増えていることが分かる. そして, 出口では後端のカッターマークのみとなる.

図 7 に加工部出口における工具の変動と加工底面のカッターマークを示す. 加工部出口では切削量の減少に伴い, 切削負荷がなくなり, その反動により, 工具が押し出されるため工具の後端で切削される. 図 7 の丸で囲んだ部分が, 工具の後端で切削される部分である. 加工部出口では切削負荷が減少すると共に, 徐々に前端から後端のカッターマークが表われ, 加工部出口付近では, 後端のカッターマークだけが確認できる. 以上のことから, 工具が押し出される現象は, 加工部出口において切削負荷が減少し, その反動により生じ, そのため, 工具の後端で切削され, 断面は円弧状となり, 加工部入口より深く切り込まれるということがわかった.

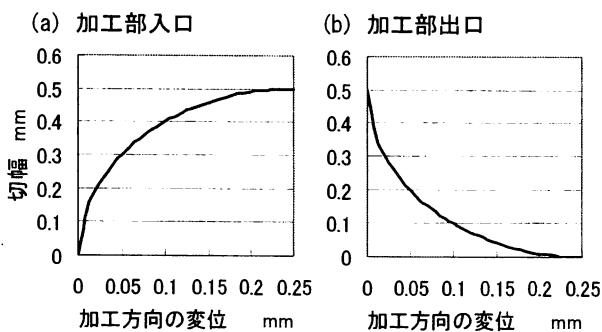


図 5 切削幅の変化

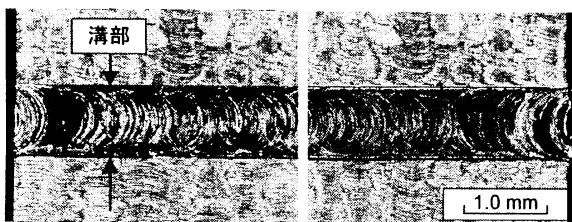


図 6 溝上面の顕微鏡写真

4. 補正手法の検討

図 3 の条件で加工し, 補正を行わない場合は, 入口で約 $2\mu\text{m}$, 出口で約 $4\mu\text{m}$ の誤差が生じる. この形状精度の誤差を $1\mu\text{m}$ 以内とすることを目標に, 深さの補正手法を検討した.

図 8 に補正実験で与える補正量を示す. 図 8 の(a)に示す加工部入口では, 誤差量である $2\mu\text{m}$ を, 加工距離 0.05mm ごとに 6 段階に分けて徐々に切込みを深くする. 加工部入口では, 工具のたわみによって切込み深さが徐々に浅くなる現象が生じる. そのため, 工具進入から工具半径分の加工位置

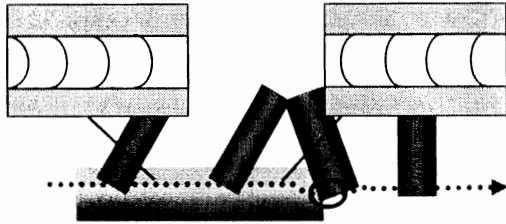


図7 加工部出口における工具の変動

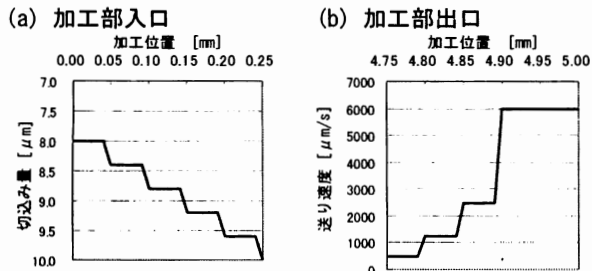


図8 補正加工条件

までの間、たわみによる誤差値を補正量として与えることにより、加工部入口での深さを一定に保つことが可能となる。

図8(b)に加工部出口の補正条件を示す。加工部出口では、たわみの減少に伴い、工具が元の形状に戻るために反動することにより、指令値より深く加工される。切込み深さを変化させても工具の反動による誤差は生じる。補正手法としては、入口と同様の、切込み深さを補正する方法は適さない。そのため、工具のたわみを一定に保ちながら加工を終えるために、送り速度に着目した。加工部出口では、切幅の変化に伴い切削負荷が減少し、たわみが戻る。よって、単位時間あたりの切削体積が一定になるよう、加工距離 0.05mm ごとに4段階で送り速度を加速させる。送り速度の上限は、加工精度を考慮して $6000\mu\text{m/s}$ とした。以上の手法に基づいて、補正が実現できる。

5. 結言

5.1 結論

スクエアエンドミル工具により溝加工を行い、形状精度を解析した。また、たわみによる溝形状の誤差の補正手法を検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 加工部入口と出口における溝深さの誤差を解析し、補正量を導出した。
- (2) 補正法を評価し、入口では切込み量、出口では送り速度を変化させて補正した。

5.2 今後の課題

- (1) 補正加工条件を実加工に適用する。
- (2) 誤差量を予測、精度補正する CAM システムの開発に繋げる。

参考文献

- 1) 戸井田直仁, 小林義和, 白井健二, 戸澤幸一: エンドミル加工の精度評価に関する研究, 精密工学会学術講演会論文集, 2007
- 2) 持田英樹: 精密金型用高精度・高能率加工機の開発, 精密工学会秋季学術講演会論文集, 2006