

溝加工の端部における精度補正に関する研究

Study on Accuracy Correction at End of Grooving

○ 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. Ltd.

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, 加工誤差を解析・予測し, 補正できるシステムの開発を目的としている。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た。図1に今回対象とした加工法を示す。被削材には鋼材 S50C を用いて, スクエアエンドミル工具 $\phi 0.5\text{mm}$ により A から B の方向へ溝加工を行う。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。

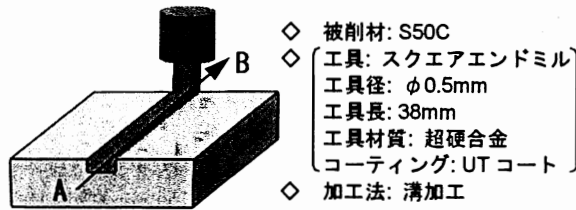


図1 対象とした加工法

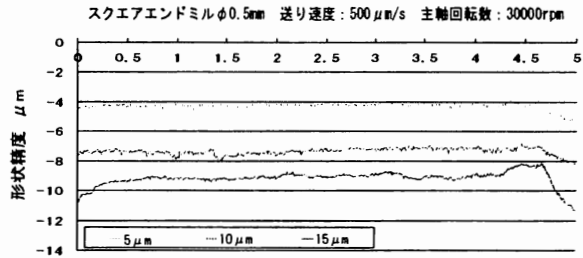


図2 溝加工における形状精度

3. 実験結果

表面テクスチャの仕上げ加工を想定して、スクエアエンドミルにより溝加工した。切り込み深さは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2に、溝加工における形状精度を示す。この結果では、切り込み深さが大きくなるにつれ、形状精度の変動が増大している。特に、加工部出口では変動が著しい。

3.1 入口における形状精度の変動

図3(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。加工荷重 P は荷重の変化に対して、0~1の値をとる。切削荷重のない場合は $P=0$ 、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_{in} は式(1)により導出される。

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

ここで、 r : 工具半径 x : 加工位置

式(1)により加工部入口の切削幅の変化がわかる。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、加工荷重の立ち上がりが急となる。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。

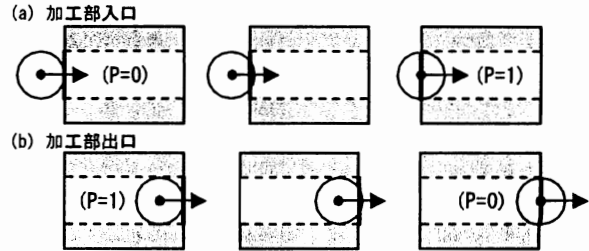


図3 工具断面の切削幅の変化

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3(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 : 加工位置

式(2)より加工部出口における切削幅の変化は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3(b)に示すように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

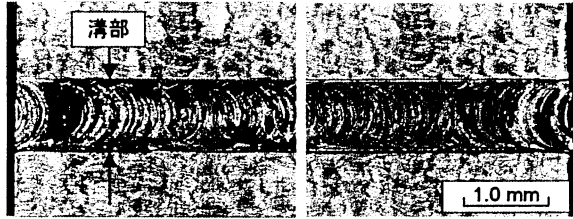


図4 溝上面の顕微鏡写真

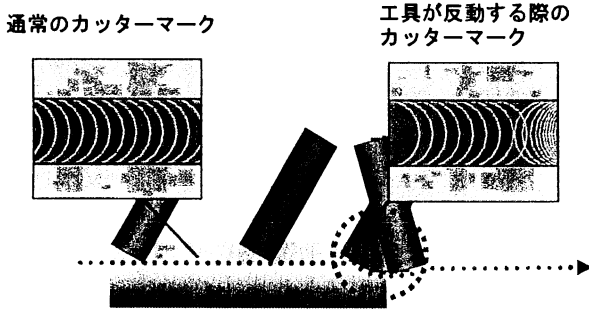


図5 加工部出口における工具の挙動

定した。図4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前刃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、後刃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、出口では後刃のカッターマークのみとなる。

図5に加工部出口における工具の挙動と加工底面の cutter mark を示す。加工部出口では切削量の減少に伴い、切削荷がなくなり、その反動により、工具が押し出されるため工具の後刃で切削される。図5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荷が減少すると共に、徐々に前刃から後刃の cutter mark が表われ、加工部出口付近では、後刃の cutter mark 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荷が

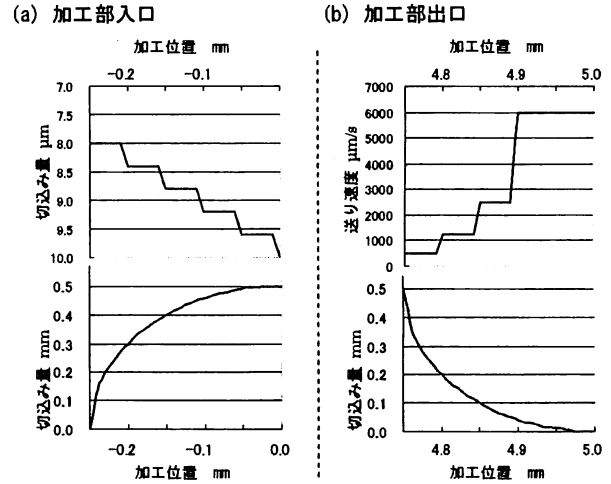


図6 補正加工の条件

減少し、その反動により生じる。そのため、後刃で切削され、断面は円弧状となり、加工部入口より深く切り込まれることが確認された。

4. 補正実験の結果と検討

厳密な補正を行うには、CAEによって切削荷とたわみの関連を定量化する必要がある。本報では簡便な手法で形状精度誤差 $1\mu\text{m}$ 以内にすることを目標に、深さを補正した。加工部入口では、たわみによる切込み深さの誤差値を補正量として与える。それにより深さを一定に保つことができる。加工部出口では工具の反動を抑制する上で切削荷が一定となるように送り速度を加速させる。

図6に補正加工の条件を示す。図6(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。図6(b)に示す加工部出口では、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。ただ

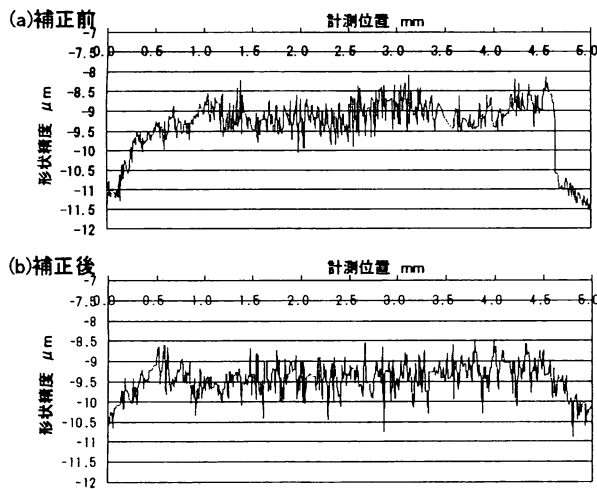


図7 補正加工の結果

し実験機の送り速度限界から上限を $6000 \mu\text{m/s}$ とした。したがって、切削体積一定の範囲にも限界があり、図3における切幅が 0.042mm となる加工位置 $x=4.9\text{mm}$ までが補正可能な範囲である。

以上の手法に基づいて、実際に補正加工を行った結果を図7に示す。図7(a)は補正条件を与えずに溝加工したものである。その誤差量は入口で約 $2 \mu\text{m}$ 、出口で約 $3 \mu\text{m}$ である。図7(b)は補正条件で加工したものであり、誤差量を約 $1.5 \mu\text{m}$ まで抑制することによって、本補正手法の有効性を検証できた。

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、たわみによる溝深さの誤差の補正手法を評価し、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、入口では切込み深さ、出口では送り速度を変化させることによって補正できた。

5.2 今後の課題

- (1) 誤差が $1 \mu\text{m}$ 以下になる補正条件を導出する。
- (2) 溝加工以外の加工パターンでの誤差量を解析する。

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