

小径エンドミル加工による溝形状の精度評価

Estimation of Accuracy on The Ditch Shape by Small Diameter End Mill Machining

○戸井田直仁*, 小林義和**, 白井健二**, 戸澤幸一***

○Naohito Toida*, Yoshikazu Kobayashi**, Kenji Shirai**, Kouichi Tozawa***

*日本大学大学院, **日本大学, ***日産自動車(株)

*Graduate School, Nihon University, **Nihon University, ***Nissan Motor Corporation

キーワード : 表面テクスチャ (Surface texture), 機械精度 (Machining accuracy), 加工 (Milling),
CAD/CAM, CAT

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 戸井田直仁,

TEL: (024) 956-8824, Fax: (024) 956-8863, E-mail: u136114@ushiwaka.ce.nihon-u.ac.jp

1. 緒言

エンドミル加工は, CAD/CAM, 工作機械及び切削工具などの技術向上により, 高速・高精度化が進展している. また自動車, 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上で表面テクスチャに関する研究が注目されている¹⁾.

テクスチャの加工方法としてはエッジングによるものが代表的であるが, 小径のエンドミルを用いた再現性の高い機械加工による表面テクスチャの生成が注目されている. その場合, 機械加工における工作機械の熱変形, 高速回転時の主軸・工具のアンバランス,

切削抵抗による工具の変形などの要因が加工精度に影響する. そのため高精度な表面テクスチャを生成するためには, 実際の加工精度を計測・評価して, その問題を解決していく必要がある.

本研究においては, ボールエンドミルで溝加工された表面テクスチャを走査型白色光干渉計および SEM により高精度に計測し, テクスチャ生成における加工誤差の特徴を解析し, 高精度化のための評価を行った.

2. 研究の方法

織物形状の CAD, 金型シボなど表面テク

スチャ生成において、デザイナーの意図通りに高精度加工するには、例えば、溝加工の加工精度に関して加工及び計測により解析する方法がある。

溝加工はボールエンドミルあるいはフラットエンドミル工具の使用が一般的である。しかしながら、自由曲面加工への展開を考慮して、さらに高さ方向の僅かな誤差量で溝幅が大きく変化する特徴を解析するため、ボールエンドミル工具によって評価した。

本研究においては、小径のボールエンドミル工具により高精度加工を行い、溝幅、溝深さ及び溝形状の特徴を走査型白色光干渉計と SEM により計測し、以下の 2 項目について実験を行った。

- 1) 溝幅と溝深さの幾何学的な相関を検証する。
- 2) 微細な部分計測により加工誤差を解析する。

3. 溝幅と溝深さの幾何学的な相関の検証

Fig. 1 に示すように加工誤差がなければ、ボールエンドミルの溝加工幅 W は以下の式により示される。

$$W = 2\sqrt{R^2 - (R - d)^2}$$

ここで R : 工具半径, d : 溝深さである。

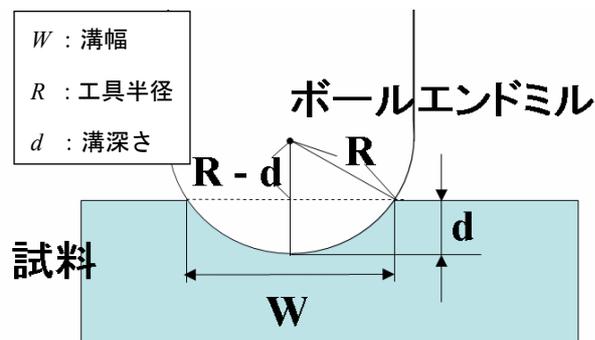


Fig. 1 溝幅と溝深さの関係

Fig. 2 に走査型白色光干渉計で、その溝幅と溝深さを計測した結果を示す。

材料は鋼材 (S50C) とプラスチック (PMMA) を対象に各種加工条件において、加工後の溝幅と深さを計測し、加工誤差のない場合を想定した溝幅/溝深さ曲線に対して実際の値をプロットした。切削送りは、ともに $500\mu\text{m/s}$ である。Fig. 3 は、加工条件別の溝幅・溝深さの計測結果であり、(a)は PMMA, (b)は S50C の場合を示している。

この結果から以下のことがわかった。

- 1) PMMA, S50C は共通に加工誤差ゼロの曲線に対して溝幅が狭くなっている。ただし溝深さが増大し、 $20\mu\text{m}$ 前後になると加工誤差はゼロに近くなる。
- 2) S50C は、 $10,000\text{rpm}$ の回転数が最も加工誤差が小さい傾向にある。

ここで、いずれの条件においても、大小の差はあるものの、溝深さを基準とすれば溝幅は小さくなり、溝幅を基準とすれば溝深さは大きくなるという傾向にある。

この原因を追求するため、Fig. 3(b)に示す加工誤差の小さい加工条件 A (主軸回転数: $10,000\text{rpm}$, 平均切込み深さ: $14.8\mu\text{m}$) と加工誤差の大きい加工条件 B (主軸回転数: $30,000\text{rpm}$, 平均切込み深さ: $14.2\mu\text{m}$) 断面形状を走査型白色光干渉計により比較した。なお、溝幅を基準とすると加工条件 A の溝

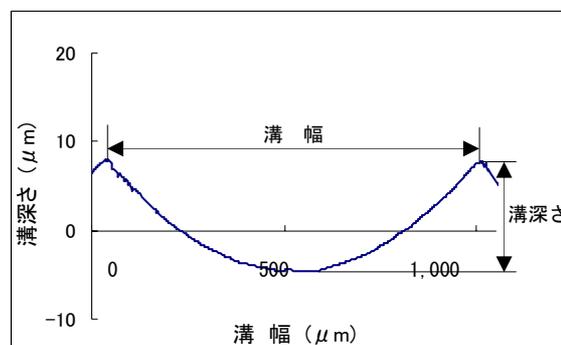
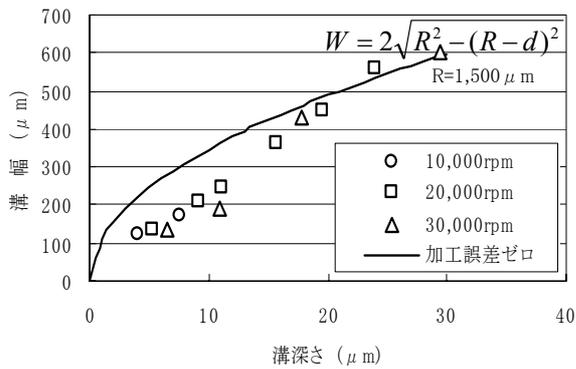
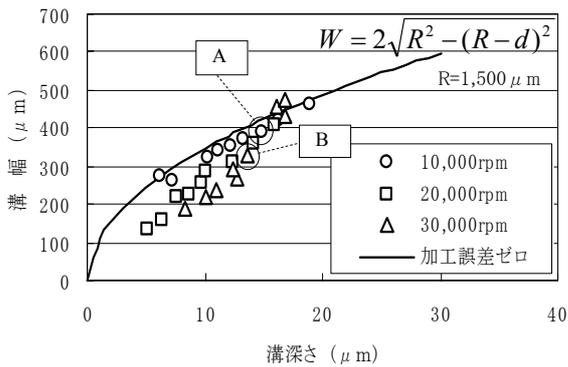


Fig. 2 溝幅・溝深さの計測方法



(a) 加工条件別の溝幅・溝深さ (PMMA)



(b) 加工条件別の溝幅・溝深さ (S50C)

Fig. 3 溝幅・溝深さの計測結果

深さは関係式の値よりは $2.0\mu\text{m}$ 大きく、加工条件 B は $4.5\mu\text{m}$ 大きくなっていることがわかる。

4. 加工誤差の解析

Fig. 4 に加工条件 A の断面計測の結果を、Fig. 5(a) に加工条件 B の結果を示す。加工条件 A では曲率変化が滑らかであるが、加工条件 B では特に底部が凹み傾向にある。この凹みを拡大して、実際のボールエンドミルの工具軌跡と比較した結果を Fig. 5(b) に示す。実際の工具 R の軌跡に対して約 $5.8\mu\text{m}$ の凹みがあることがわかる。この結果は実際の加工誤差 $4.5\mu\text{m}$ とほぼ同一であり、底部の凹みが加工誤差の主要因といえる。

この凹みの原因を調べる上で、表面状態を

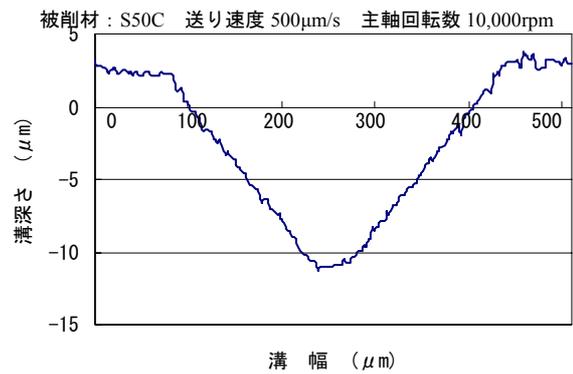
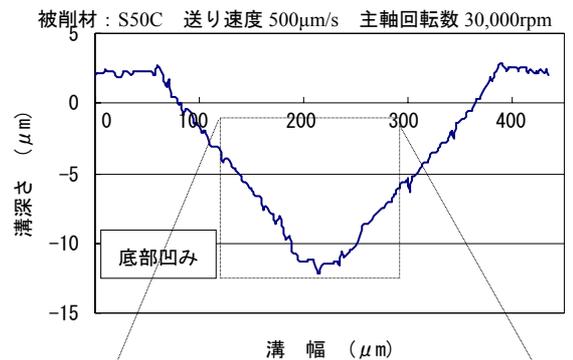
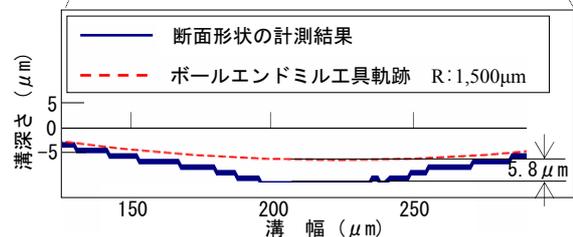


Fig. 4 加工誤差の小さい加工条件 A



(a) 溝加工断面形状

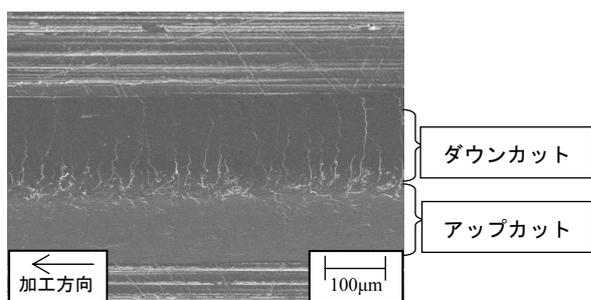


(b) 溝加工断面形状の誤差解析

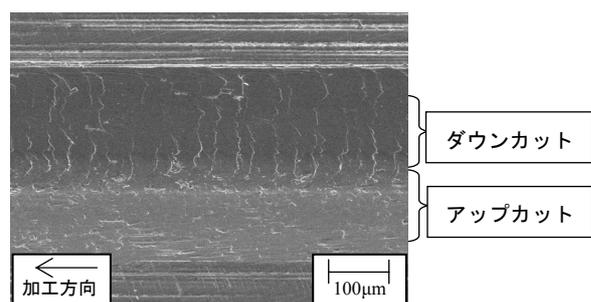
Fig. 5 加工誤差の大きい加工条件 B

SEM により観察した。Fig. 6 は、加工条件別の観察した結果であり (a) は主軸回転数：10,000rpm、(b) は主軸回転数：30,000rpm である。切削送りは、ともに $500\mu\text{m/s}$ である。(b) は、アップカット部、ダウンカット部ともに (a) と比較して、クレータの発生が顕著であり、工具磨耗または高速回転による振れが原因であると推定できた。

さらに実験結果として、Fig. 7 は加工長 100mm 間で 10mm 間隔に走査型白色光干渉



(a) 主軸回転数：10,000rpm



(b) 主軸回転数：30,000rpm

Fig. 6 SEMによる加工表面観察

計により溝幅と溝深さの計測結果を示す。計測結果より30,000rpmの方が10,000rpmより溝幅、溝深さともに切削量が大きいことがわかる。この結果より工具磨耗による影響と底部の凹みに関連性があることが検証された。

5. 結言

ボールエンドミルにより溝加工した溝幅、溝深さを走査型白色光干渉計およびSEMで計測した結果、その誤差が底部の凹み量であることがわかった。

今後は対象とする工具をフラットエンドミルとし、高精度表面テクスチャ生成における溝加工精度に関して、切削抵抗の影響などの要因を付加して、さらに高精度化を迫及していきたい。

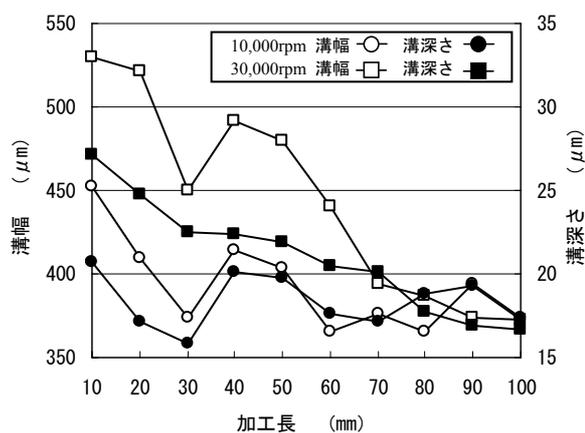


Fig. 7 加工長100mmによる主軸回転数別の溝幅・溝深さ

参考文献

- 1) 戸澤幸一, 小林義和, 白井健二: 機械加工による表面テクスチャリングシステムの開発, 2004年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集(2004), 29