

ボールエンドミルの摩耗推定に関する研究

北海道大学大学院工学研究科 ○香山仁、近藤司、金子俊一、五十嵐悟

要旨

工具摩耗は加工形状精度や加工面粗さに影響を与える。そのため工具摩耗を推定することは高精度な加工を行う上で重要である。本研究では曲面加工で通常使われるボールエンドミルについて摩耗モデルをたて、切れ刃角度単位での摩耗量の推定を行った。また検証実験によりその妥当性を示した。

1. 結論

金型の曲面加工には通常ボールエンドミルが用いられる。ボールエンドミルは被切削物と接触する刃先位置が一定ではないため、刃先の摩耗の分布は加工形状や加工経路によって大きく異なってくる。従来の工具管理はその加工時間(距離)により行われているため、どのように摩耗が分布しているかは考慮されていない。しかし、例えば局所的な摩耗と全体的な摩耗では同じ加工時間(距離)でもその性質は全く異なるため、その扱いは異なったものであるべきである。そこで本研究ではボールエンドミルの摩耗を刃先の角度単位で求め、それをういた工具管理を考える。ここから工具摩耗による加工誤差を考慮した工具経路生成や、5軸制御加工において工具摩耗を考慮に入れた工具摩工具姿勢決定などによる加工精度の向上・工具寿命の延長といったことが期待できる。

2. 研究の概要

図1に本研究の概要を示す。生成中の工具経路を基に切削シミュレーションを行い工具摩耗を計算しその結果を工具管理データベースに蓄えていく。さらに工具経路を生成する段階で逐次この工具摩耗を考慮していくことにより工具摩耗による加工誤差の補正を行う。まず研究の第一段階として与えられた加工形状と加工経路から工具摩耗を計算する手法を考える。本報では2次元上で計算できるような簡単な曲面についての工具摩耗シミュレーションとその検証実験の結果を報告する。

3. 平面加工における工具摩耗モデル

本研究ではまず平面切削における工具摩耗のモデル化を行った。ここでは図2に示したような傾斜平面の等高線切削について扱う。まず図3を見ていただきたい。この図で影をつけた部分が実際に切削している部分である。まず切れ刃角度 θ の点Aにおける摩耗を考えてみる。この点は工具軸(z軸)に垂直な平面上を動くため、工具がx軸方向に一定の距離移動したとき、点Aが削り取る面積は Δy に比例する。この Δy が摩耗を計算していく上での基本の値となる。工具摩耗が切削量と切れ刃の速度に比例するとすると、点Aでの摩耗量は $\Delta y(\theta)\sin\theta$ に比例すると考えられる。この摩耗量は面積で表されると考えられるが、実際に必要な

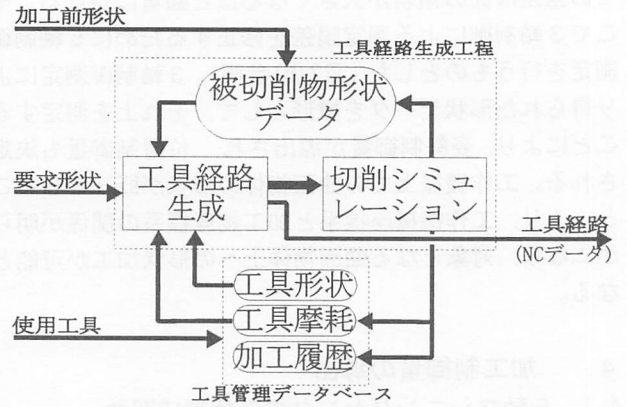


図1 研究の概要

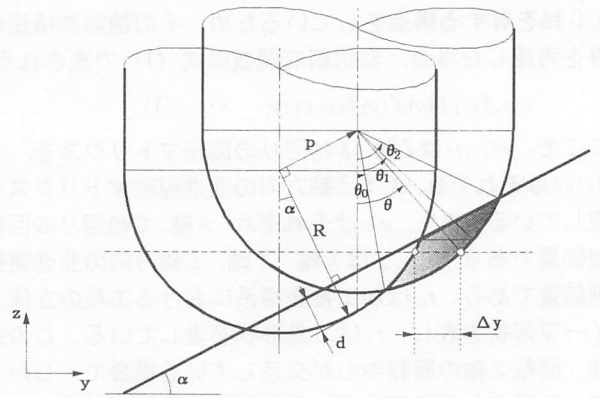


図3 切削断面モデル

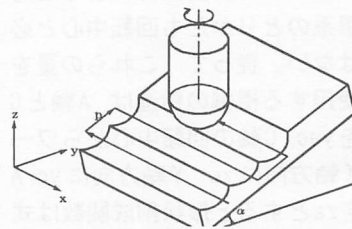


図2 傾斜平面の等高線切削

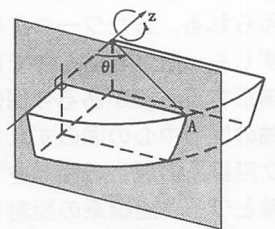
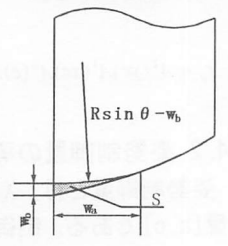


図4 工具形状モデル

はすくい面または逃げ面上での摩耗幅であるのでこの値からそれらを求める方法を考えなければならない。そのためにはまず工具の刃先形状を考えなければならない。工具形状のモデルとして図4に示したものをを用いる。切れ刃角度 θ の点Aの刃先形状は工具軸に垂直

図5 工具刃先断面形状



な断面で表される。この断面上での摩耗は図 5 のようになり、この面積 S が先ほどの摩耗量であると考えられる。ここで重要なのは切れ刃の位置によってこの刃先の形状が変化するという点である。切れ刃角度を θ とするとこの刃先の角度の傾きは $\sin \theta$ に比例する。そこでこの点でのすくい面摩耗幅 w_b を近似的に

$$w_b(\theta) = \sqrt{K \cdot \Delta y(\theta)}$$

と表す(K は比例定数)。また逃げ面摩耗幅 w_a は w_b から求めることができる。しかし実際の切削部分は工具摩耗による加工誤差のため図 3 とは切削部分が微妙に異なってくる。そこで図 6 のように $\Delta y'$ を定義しこれを Δy の代わりに用いることにする。さてここからが重要なところであるが、切削が進むにつれて摩耗も進行していくので当然 $\Delta y'$ の値も変化するわけである。一つの等高線を削っている間の摩耗を一定なもののみならず、 n 番目の等高線を削った

ときの w_b を w_b^n とし、この w_b^n を用いて $\Delta y'$ から w_b^{n+1} を求めればよい。このように漸化的な方法で実際のものに近い値を求めることができる。

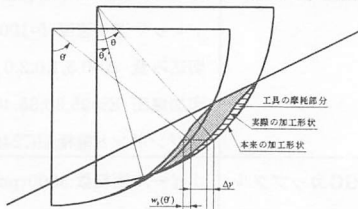


図 6 摩耗による加工形状変化

4. K を求めるための実験

前節のモデルを用いて実際に摩耗を計算するには定数 K を求めなければならない。この値は被削材や工具の材質、工具の回転速度、送り速度など様々な条件によるものであり、この値を理論的に求めることは非常に困難である。そこで本研究ではこの値を実験によって求めることにする。実験に用いた工具を図 7 に示す。実験条件は下記の通りである。

- 使用工具 : BEM200S($\phi 20$ 、住友電気工業製)
- 被削材 : S55C
- 傾斜角度 : 15, 30, 45°
- 回転速度 : 1160rpm
- 切り込み : 0.5mm
- 送り量 : 0.5mm
- 送り速度 : 200mm/min
- 切削面積 : 150cm²
- 送りモード : 等高線双方向 登り
- 乾式切削

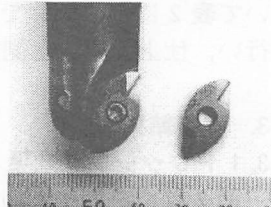


図 7 実験に用いた工具

実験結果を図 8 に示す。この結果を用いてその値に近くなるように K の値を調整しながらシミュレーションを繰り返す。その結果、

$$K = 7 \times 10^{-6}$$

という値が得られた。

そのときのシミュレーションと実験の比較を図 9 に示す。

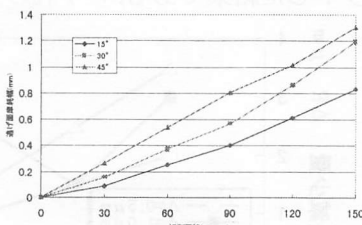


図 8 逃げ面摩耗幅の推移

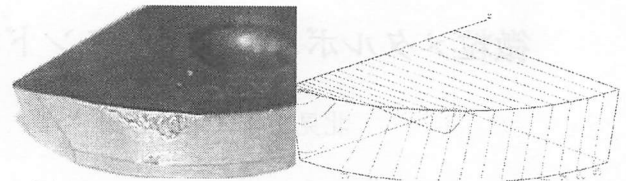


図 9 シミュレーションと実験結果の比較(傾斜角度 30°)

5. 曲面加工モデル

曲面加工の簡単な例として断面形状が一定な曲面について考える。このような曲面では切削モデルを 2 次元上で扱えるため平面のモデルを簡単に応用できる。まず図 3 の代わりに図 10 のようなモデルのを考える。曲面の形状は一定間隔の点群データで表しその間は直線で補完する。曲面加工においては平面加工のときと異なり加工点によって切削形状が変化するため各加工点毎に切削面積を計算する必要があるが、 n 番目の Δy を Δy_n とし w_b^n を求めていけばよい。以上の方法により、前節で求めた K を用いて行ったシミュレーションの実行例を図 11 に示す。

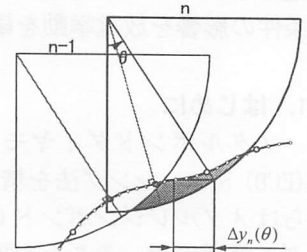


図 10 曲面加工モデル

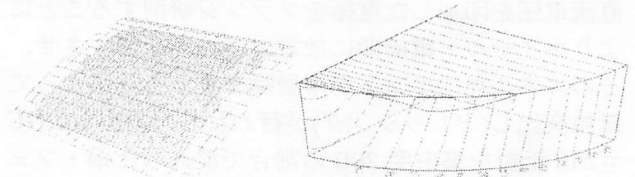


図 11 曲面加工シミュレーション実行例(左は被削材形状)

6. 検証実験

曲面加工の検証実験として図 11 のシミュレーションと同じ形状(R300 の円柱の一部)の被削削物を用意し実際に加工を行ってみた。加工条件は切削面積が 180cm² であること以外は 4 節の実験とほぼ同じである。その結果を図 12 に示す。シミュレーションと比べてみると摩耗形状がほぼ一致していることがわかる。

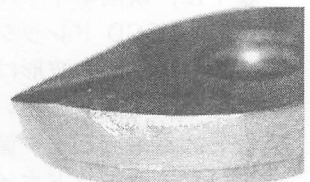


図 12 検証実験結果

7. 結論

本報告ではボールエンドミルによる等高線切削についてその工具摩耗を予測し、その妥当性を実験により検証した。その結果は以下のとおりである。

- 1) 基礎実験を行い平面加工における切削面積と摩耗量の関係を明らかにした。
- 2) 平面と簡単な曲面について工具摩耗モデルをたて、その摩耗を切れ刃角度単位で予測した。
- 3) 曲面加工について検証実験を行いその妥当性を示した。