

複雑形状部品の高効率加工技術の開発

工業材料科 研究員 福田 洋平
工業材料科 科長 瀧内 直祐

インペラー及びタービンブレード等の複雑形状部品の加工には、5軸制御工作機械とボールエンドミルが用いられる。しかし、ボールエンドミルの切削機構は複雑であると共に、切削条件のパラメータとして2軸の工具傾斜が加わるため、最適な工具経路及び切削条件の決定手法が確立されていない。

そこで本研究では、産業界からの要求が厳しい加工コストの削減に寄与するため、単位時間当たりの除去体積が大きく、かつ工具摩耗量が小さくなる最適切削条件の決定手法確立を図る。平成24年度は、ボールエンドミルの切れ刃に生じる負荷(切削抵抗)をモニタリングするため、エネルギー解法を用いた幾何学解析プログラムを作成した。

1. 緒言

近年、工作機械及びCAD・CAM技術の進歩に伴い、5軸制御工作機械の普及が進んでいる。5軸制御工作機械は、工作物に対して任意の方向から工具をアプローチさせることができるため、①ワンチャッキングによる多面加工、②アンダーカット部の加工及び③短い工具突出しでの加工が可能となる。これらの特徴によって、加工工程の削減及び高付加価値部品の加工を実現することができる。

インペラー及びタービンブレード等の複雑形状部品を加工する場合、切削工具にはボールエンドミルが用いられる。しかし、ボールエンドミルの切削機構は複雑であると共に、切削条件のパラメータとして2軸の工具傾斜が加わるため、最適な工具経路及び切削条件の決定手法が確立されていない。

そこで本研究では、ボールエンドミル切削の最適切削条件の決定手法確立を図る。平成24年度は、ボールエンドミルの切れ刃に生じる負荷をモニタリングするための幾何学解析プログラムを作成し、切削実験との比較による評価を実施した。

2. 幾何学解析プログラム

単位時間当たりの除去体積を大きくするためには、切削速度(工具回転数)、刃当り送り及び切込みを大きくする必要がある。一方、工具寿命を長くするためには、切削速度及び切削厚さを小さくする必要がある。しかし、ボールエンドミル切削では、切れ刃の各位置において切削速度及び切削厚さが異なるとともに、2軸の工具傾斜を付与することによってそれらの値が変化する。そのため、熟練技能者においても切削現象の把握が困難である。

そこで、ボールエンドミル切れ刃各位置の切削速度及び切削厚さ、そして切れ刃に生じる負荷(切削抵抗等)を簡便に把握するため、笠原らの研究報告^{[1][2]}を基に幾何学解析プログラムを作成した。

解析手順は、①工具切れ刃の定義、②切削断面積(切削厚さ)の計算、③切削抵抗の計算となる。

2.1 工具切れ刃の定義

工具半球部の切れ刃は下記の位置関係にあるとし、工具径 D 、すくい面傾斜(ξ, γ)及びすくい面オフセット e の4つのパラメータによって定義する。

- ①先端部の切れ刃は球面上にある。
- ②すくい面は先端で($e, 0, 0$)を通る平面で近似する。
- ③切れ刃はすくい面と球面の交線で表す。

一例とし、図1に2枚刃ボールエンドミル(S-2MB R10:三菱マテリアル製)を対象として定義した場合の切れ刃位置を示す。

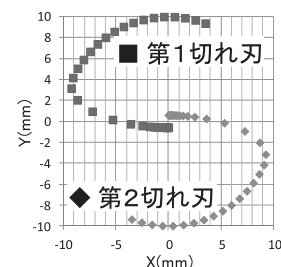


図1 切れ刃座標(X-Y)

2.2 切削断面積の計算

図2に示すように、切れ刃上の任意の一点における切削厚さは、1回転前の切れ刃によって生成された面

との法線方向距離とする。ここで得られる切削厚さを切れ刃全域にわたって積分することで、任意の回転角における切削断面積を得ることができる。図3にボールエンドミル(S-2MB R10：三菱マテリアル製)の切れ刃が1枚であると仮定して、送り速度0.1mm/toothの条件で溝切削を行った場合の工具1回転中における切削断面積の変化を示す。

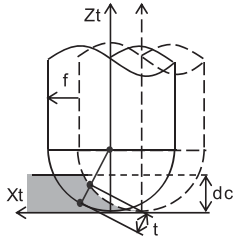


図2 切削厚さt

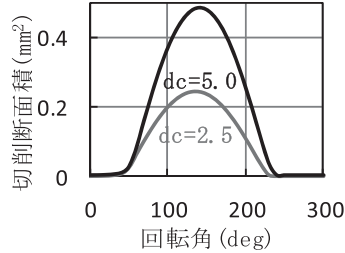


図3 切削断面積

2.3 切削抵抗の計算

切削抵抗の計算に用いるモデルの特徴を以下に示す。

- ①切れ刃に沿う全体の変形様式を微小幅の単純せん断面からなる傾斜切削模型の集積ととらえる。
- ②切れ刃にそった有効せん断角、切りくず流出角、せん断速度、切りくず流出速度等の変化を考慮する。
- ③せん断面通過後の切りくず流出速度に基づき、一体で横向きカールを伴う切りくず生成状態を表現する。

このモデルは2変数の関数で表現でき、切れ刃上のある1点の切りくずカール半径と切りくず流出角を与えることで全体の変形様式を定めることができる。そして、全体の変形に要する動力が最も小さくなる条件を解とする。ただし、せん断応力、有効せん断角及びすくい面摩擦角と有効すくい角との関係は2次元切削実験に基づき与えられる。

3. 解析結果と評価

作成したプログラムを評価するため、切削実験を行った。実験は5軸制御立形マシニングセンタ((株)牧野フライス製作所：D500)を使用し、切削動力計(日本キスラー(株)：9257B)を用いて切削抵抗を測定した。表1に実験条件、図4に溝切削時の解析値と実験結果及び図5にピックフィード時の解析値と実験結果を示す。なお、解析値は1枚刃のみとして計算している。

溝切削時及びピックフィード切削時の実験結果と解析値は良好な一致を示しており、本プログラムによってボールエンドミルの切れ刃に生じる負荷(切削抵抗)をモニタリングすることが十分可能であるといえる。

表1 切削条件

工具	S-2MB R10 (三菱マテリアル)
回転数	320min ⁻¹
送り	0.1mm/tooth
切込み	3.0mm

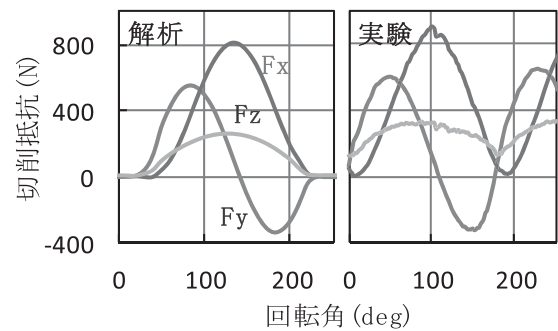


図4 溝切削における解析及び実験結果

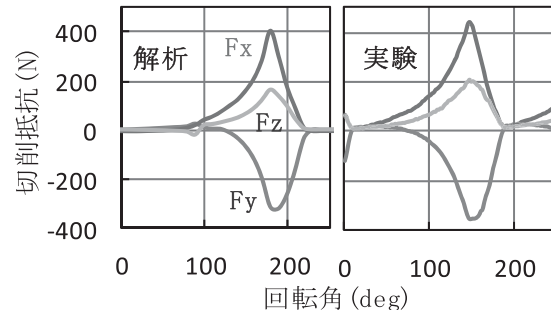


図5 ピックフィード切削における解析及び実験結果

4. 結言

ボールエンドミルの切れ刃に生じる負荷(切削抵抗)をモニタリングするためのプログラムを作成し、解析結果と実験結果との良好な一致を確認した。

参考文献

[1] 笠原和男ら：ボールエンドミル切削における切りくず生成状態と切削抵抗の予測(第1報),精密工学会誌,vol.69,No.3,pp.396-401(2003)
 [2] 笠原和男ら：ボールエンドミル切削における切りくず生成状態と切削抵抗の予測(第2報),精密工学会誌,vol.69,No.4,pp.524-529(2003)