工作機械産業

回転数、工具ホルダーの異なる条件での加工誤差と表面粗さの予測

回転数の異なる条件で2種類の工具ホルダーを用いて加工し、予測精度の検証を行った。工具はいずれも直径8ミリメートル、突出し長さ56ミリメートル（L／D＝7）の2枚刃ボールエンドミル、被削材は工具鋼「SKD61」（硬さHRC45）である。工具ホルダーは長さのみ異なるコレットホルダーを用いた。

実験は2枚の切れ刃の振れ量が1マイクロメートル以下であることを確認して行い、3次元測定機で加工誤差を、表面粗さ計で送り方向の加工面曲線と表面粗さを測定した。

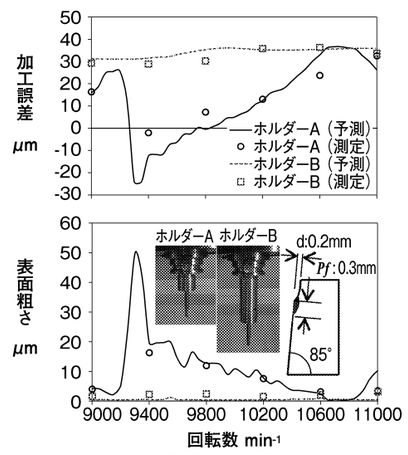
図2に予測と測定の比較を示す。加工誤差は正が削り残し、負が削り過ぎを示している。また、**図3**は工具送り方向の加工面曲線の比較である。工具ホルダーや回転数の違いによって加工誤差、表面粗さ、加工面曲線が異なるが、予測は測定とおおむね一致している。したがって、これらの加工面特性の違いは工具の振動が主な要因であると言える。

ホルダーAの表面粗さが大きい傾向にあるが、これはホルダーAのコンプライアンス（動剛性の逆数）の最大値「1ニュートン当たり26・6マイクロメートル（2072ヘルツ）」が、ホルダーB「1ニュートン当たり11・9マイクロメートル（1950ヘルツ）」よりも大きく、ビビリやすいためであると考えられる。

ホルダーAで、表面粗さが小さい1分当たりの回転数（9000、1万600）は、固有振動数と刃数から計算される再生ビビリの安定限界が高い1分当たりの回転数「固有振動数×60／刃数／k（k＝1、2、3、…）」である8880、1万360に近いことが確認される。一方でこれらの回転数では加工誤差が大きくなっている。これはエンドミルの断続切削の周波数の高調波成分が固有振動数と近くなる共振状態となり、強制振動が大きくなるためである。

このように表面粗さと加工誤差とは相反する関係になる場合があるため注意が必要である。

加工条件選定の戦略としては、ビビリによる表面粗さの悪化を避けることを優先させた上で、加工誤差のできるだけ小さい回転数を選択するか、あるいは、加工誤差は工具経路の修正によって低減することが有効だと考えられる。



工具:φ8mmL56mm 2枚刃ボールエンドミル、
被削材:SKD61（HRC45）
切削条件:回転数9000～11000min-1、
1刃当たり送り量0.15mm/刃、
切り込み0.2mm、ピックフィード0.3mm、ダウンカット

図2　加工誤差と表面粗さの予測と測定の比較

加工誤差の予測に基づく工具経路修正による高精度加工

図4に示す高さ100ミリメートル、鋼材「S50C」のサンプル金型の加工を、市販のCAMソフトウエアで作成したNCデータ（修正前）と、開発したソフトウエアで修正したNCデータ（修正後）で行った。工具は直径20ミリメートル、コーナーRが1ミリメートル、長さが120ミリメートルのラジアスエンドミル。切削条件は回転数が毎分2700回転、送り速度が毎分1350ミリメートル、仕上げ代0・2ミリメートル、Z方向ピッチ0・5ミリメートル、ダウンカットである。NCデータの修正に要した計算時間は、25分であった。

図4のグラフは上面から95ミリメートルの位置の断面を、加工誤差を拡大して表示したものである。直線部よりも円弧部で誤差が小さくなることや、工具が退避する箇所で誤差が小さくなることなど予測と良く一致している。退避箇所で誤差が小さいのは、すでに削られた箇所を再度加工するために切削量が少なくなり、工具たわみが小さくなるためである。

予測に基づく工具経路の修正により、最大52マイクロメートルあった加工誤差を10マイクロメートル以下に低減することができた。

まとめ

筆者らが取り組んでいるエンドミル加工シミュレーションについて紹介した。開発したソフトウエアは、事前に測定などの準備が必要であるが、自社独自の最適切削条件の決定や、誤差を織り込んだNCデータによる高精度加工などが可能である。現在、このソフトウエアは複数の企業で評価中であり、今後はさらなる計算時間の高速化や測定の簡素化などに取り組む予定である。これらの取り組みが切削加工企業の競争力強化の一助となれば幸いである。

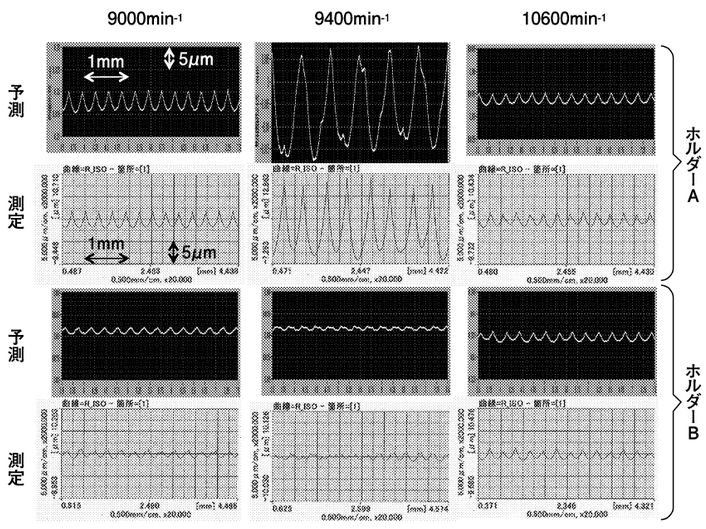


図3　加工面曲線の予測と測定の比較

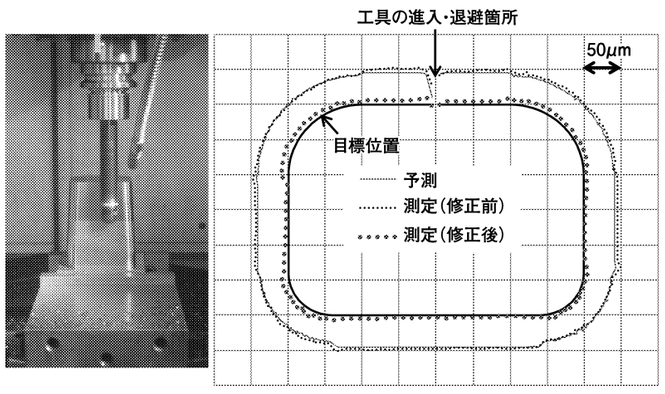


図4　サンプル金型の工具経路修正前後の加工誤差