

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 小径工具の二次元モニタリング計測システムの構築とエンドミル加工
における工具挙動の解析

熊本大学大学院自然科学研究科 産業創造工学専攻 機械知能システム講座
(主任指導 里中 忍 教授)

論文提出者 吉満 真一
(by Shinichi Yoshimitsu)

主論文要旨

現在の加工システムはさらなる高速・高精度化が進み、複雑形状の加工が可能となってきた。加工現場における重要な要素として、加工状態の把握が挙げられる。加工中の音や振動、また切りくずの状態などから加工状態を把握し、状況に応じた対応が、熟練技能者の経験によって行われてきたが、加工現場の支援技術の一つとして、加工状態の監視技術および最適加工のための制御技術が挙げられる。生産システムにおける、加工中の計測および監視技術は高効率・高品質のものづくりへの要求に応えるための重要な役割を担うものである。加工中のモニタリング技術に関しては、従来から多くの研究がなされてきた。加工に伴って発生する音や振動のセンシングに加え、加工負荷（切削力）の測定、モータ負荷の検出、切削温度の検出など様々なアプローチで研究がなされている。

また、エンドミルを用いた切削加工は金型加工をはじめとして、様々な機械部品の加工に広く用いられており、近年の精密 3 次元金型加工及び微細加工に対応して、小径エンドミルを用いた高速加工や高硬度材料を対象とした加工に関する研究もなされている。しかし、小径工具は強度が低く、機械加工中の破損が問題となっており、小径工具を用いた加工における加工状態の監視や破損予知および防止の技術が期待される。このような小径エンドミルを用いた加工における加工状態監視に関する研究は少なく、非接触で且つインプロセスでのモニタリング技術が求められる。

筆者らはこれまでに、切削中の工具挙動を監視するために、CCD カメラによる工具投影画像を用いた監視手法を提案し、そのシステムについて検討してきた。画像撮影による工具挙動監視は、基本的には回転切削中の小径エンドミルの投影画像をインプロセスで撮影し、工具の微少な変形挙動を画像から取り出すものである。本システムにより、工具幅や工具中心位置が高い精度で測定可能となり、工具中心位置の変化から得られる工具たわみを用いると、小径工具の工具挙動の監視に有効な手段の一つであることが明らかとなった。さらに、このシステムで静的荷重による工具のたわみを測定して、工具をはりと仮定した場合の断面 2 次モーメントを推定すると、はりの理論からたわみ測定によって切削力を推定

できることも明らかとなっている。

本研究では加工中の工具挙動を二次元的に捉え解析するために、2台の高速度 CCD カメラを用いて、工具の送り方向と送りと直角な方向から加工中のエンドミルの工具挙動を測定する二次元モニタリング計測システムを構築した。

構築したシステムによる 2 方向からの工具挙動測定により、小径エンドミルを用いた溝加工中において工具に生じる現象を捉えた。特に、高速回転での切削中の工具挙動については、工具 1 回転中の工具の回転角度の変化に伴う工具の切刃位置と工具たわみの関係や、刃先状態と工具たわみの関係について調べた。また、切削動力計を用いて測定した切削力とも比較し、工具挙動の変化と切削力の変化の関係について検討した。

また、溝加工に加えて側面加工を行い、加工形態の違いによる工具挙動の変化および切削力変化との関係も示し、送り速度や切削速度、被削材の違いなどの加工条件の変化が、測定される工具たわみに与える影響についても検討した。

構築した工具挙動測定システムは、エンドミルによる高速切削における切刃位置と工具たわみを精度良く測定することを可能にし、工具 1 回転中の工具たわみの周期的な変化を捉えることができた。また、工具のたわみを二次元的に測定することができ、送り方向とそれに直角な方向の最大のたわみは、たわみ計測における工具回転角度によって異なる切刃位置で現れることが明らかとなった。

また、加工開始から加工終了に至る過程における工具挙動と被削物の加工部形状との関係について検討した。加工後の加工部形状を計測し、加工中に測定される工具挙動の変化との関係を検討し、工具の二次的な変動は加工部の真直度や傾きにも影響することが示され、工具挙動の測定による加工精度推定の可能性を見出した。

さらに本システムを用いた工具刃先の摩耗状態の監視について検討し、摩耗状態と加工中の工具挙動の関連について調べた。加工中の工具たわみのモニタリングにより工具切刃の状態の推定が可能であることが示された。

構築した二次元工具挙動モニタリングシステムにより、工具たわみが二次元的に非接触かつインプロセスで測定できる。また、切削力の推定や加工精度の推定ができ、工具の摩耗状態の検知も可能であり、エンドミル加工における加工状態の監視システムとして有用であることが示された。