

論文の内容の要旨

論文題目 社会インフラ製品を支える高速ミーリング
加工プロセスの開発

氏名 小野塚英明

社会を支えている発電プラントや水環境機器、建設機械、都市や生活を支えるインフラ機器では、例えばエネルギー効率の向上や騒音防止などの高い性能が求められている。また、これらのインフラ機器を社会に普及させるための低コスト、かつ短納期でのモノづくりが求められている。この、モノづくり力の強化のために、製造現場においては製品の差別化、コスト削減、納期短縮等の努力が行われ、経済成長を支えてきた。一方で、近年では地球温暖化や電力需要の急増、資源の枯渇等の地球環境の保全のために製造現場においてもCO₂排出の削減、省エネルギー、省資源等の環境に配慮したモノづくりが重要視されるようになった。このため、部品加工においても加工精度向上による仕上げ加工工程の省略や、加工能率向上、工程短縮等による製造リードタイム短縮が一層重要となった。切削加工は形状精度の自由度に優れた汎用的な加工方法であるが、加工時間が長く、加工精度等の品質確保のための工程設計に多くの工数を要する。本研究では、社会を支える様々なインフラ機器のキー部品の高速ミーリングプロセスのモデルベース開発技術の構築を目的としている。具体的なキー部品の例として、人々の生活や都市機能を支えるエレベーター、各種産業を支える量産設備用金型、社会システムを支える水環境機器を対象として、従来技術を超える飛躍的加工能率の向上を検討した。

本論文は5章から構成されており、初めに第1章では緒論として本研究の背景、関連する先行研究、及び研究目的について述べた。

第 2 章では、プレーナによるエレベーター用ガイドレールの頭部切削加工時間が長いという問題を解決するために、頭部側面にフライス加工を適用することを考え、複合フライスによりガイドレール頭部の左右側面の同時加工における頭部二面幅の誤差と頭部側面のうねりの形成メカニズムの解明と、加工精度の向上を検討した。このために、薄板長尺部材の高速・高精度加工として、フェースミル工具を用いて薄板長尺部材を切削加工する際の切削力、被削材の弾性変形による加工精度予測のモデルを示した。また、複合フライス工具によるガイドレールの高速・高精度化のために、ガイドレール頭部側面の両側同時加工における二面幅及び直角度の加工精度の予測モデル構築とこれに基づく高速加工プロセスを実験検証した。さらに、ガイドレールの両側同時加工における高精度加工の指針を検討した。この結果、以下のことがわかった。

- 1) ガイドレールとフライス工具の中心のずれによって、切削加工中に頭部の左右側面に作用する切削力の大きさが異なり、ガイドレールを弾性変形させる。
- 2) 中心のずれがある場合、フライス工具の送り方向の前方の切れ刃が切削を終了した後、後方の切れ刃が再度一面のみを切削するため、ガイドレールの二面幅が減少する。
- 3) 切削が終了する領域において、中心のずれ量が大きい程二面幅の減少量は大きくなるが、フライス工具の軸方向切削力は切込みに依存しない成分があり、一定値以下の中心のずれ量では二面幅減少量は大きくならない。
- 4) 同時に作用する切れ刃数の変化によって、側面にうねりが形成されるモデルを考案した。実測値と予測値を比較した、中心のずれ量、剛性がうねりに及ぼす影響を解明した。
- 5) 高精度な加工を実現するための中心のずれとクランプ剛性に対する基準値を明らかにした。
- 6) 加工面に平行なさらえ刃における逃げ面摩耗は小さく、長さ 5000mm のガイドレールを 40 本まで連続加工しても、二面幅の精度は 0.03mm 以内とすることができる。

第 3 章では、金型製作時の熱処理や専用工具製作の工数を削減することを目的として、標準工具を用いた焼入れ鋼への小径穴の直接加工を検討した。硬さ HRC58 の焼入れ鋼への、小径ボールエンドミルを用いたヘリカル送りによる小径テーパ穴の高能率加工を実現するために、工具の送り方向が工具寿命と加工精度に及ぼす影響を実験検討した。このために、小径ボールエンドミルを用いたヘリカル送りによる穴加工の切削力、工具の弾性変形による加工精度予測モデルモデルを構築した。また、モールド金型用微細穴加工の形状創成における加工精度向上のために、加工条件、工具摩耗が加工精度に及ぼす影響について、実験検証を行った。この結果、以下のことがわかった。

- (1) アップカットを採用すると穴径は拡大し、ダウンカットでは穴径が縮小する。
- (2) アップカットではダウンカットと比較すると工具摩耗の増大による穴径への影響が小さく、安定な加工が可能である。
- (3) アップカットを採用するとダウンカットの場合と比較して工具寿命を 2 倍に向上できる。

(4)有限要素法を用いた解析では、工具のストレート部とテーパ部の境界部において最大の応力が生じ、工具摩耗時の切削力では材料の疲労強度に匹敵する応力が作用し、エンドミルが折損しやすくなることを示した。

第 4 章では、金型などの大物部品の加工におけるびびり振動抑制と切削性能向上を目的に、アーバの内部に中空部を設け、マスダンパを内蔵した防振アーバの設計方法と切削性能について検討した。このために、長尺工具を用いた大型部品の高速・高精度加工を実現する長尺防振アーバの切削性能について検討した。初めに、マスダンパを内蔵した長尺防振アーバの動的コンプライアンスのモデルを構築し、設計手法を構築した。次にダンパ部をモジュール化して、金型等の大型キャビティ形状を深さごとに適した様々な長さの長尺防振工具を用いて段階的に加工を行う際の、マスダンパの設計・調整方法について提案した。また、試作した長尺防振アーバの減衰性能、切削性能を実験検討した。この結果、以下のことがわかった。

- 1)レーリー法にもとづいて、中空部の寸法を変化してアーバ本体の剛性を計算し、マスダンパの錘の重心において反力が作用する 2 自由度系として近似した高精度な設計方式を提案した。
- 2)中空部の体積を同一にした場合、中空部をテーパ形状とすると、ストレート形状と比較して動的コンプライアンスと静剛性を向上できる。
- 3)マスダンパをモジュール化し、異なる長さの BT ホルダに接続して用いる場合、マスダンパを使用する範囲で最大の長さに対して最適化することによって、長さを変化しても動的コンプライアンスの変化を生じずに使用することができる。
- 4)切削実験において測定した切削音および加工面の表面粗さの結果より、試作した防振アーバでは従来の中実工具に比較して約 6 倍に切込み量を向上でき、高能率な加工が可能である。

第 5 章では、結論として本研究で得られた成果、結論の総括、及び今後の展望について述べた。本研究では社会を支える様々なインフラ製品の製造プロセスにおいて、加工能率の飛躍的な向上を目的として、キー部品の三次元形状の高速ミーリング加工プロセスの開発を行った。この結果の工業製品への展開を図り、

- 1) エレベーター用ガイドレールの量産加工において、従来のプレーナ加工に代わる方法として複合フライス工具によるガイドレール頭部の左右同時加工を実現し、加工能率を従来比 6 倍に向上した
- 2) プラスチック部品成形用金型において、従来の総形工具を用いた切削加工と熱処理によるリードタイム短縮を目的として、標準ボールエンドミルを用いた焼入れ鋼への微細テーパ穴形状の直接加工を実現し、ボールエンドミルの寿命を 2 倍に向上した
- 3) ポンプ等の大型機械部品や金型等の加工において、長尺工具のびびり振動を抑制しつつ、

さらにコスト低減が可能なダイナミックダンパ内蔵防振アーバの設計指針と、ダイナミックダンパの調整方式を示した。この結果、長尺工具による切削加工において加工能率を従来比6倍に向上した。

本研究成果は、様々な製品のキー部品の加工において展開が可能であり、製造プロセスにおけるCO₂の削減、省エネルギー、省資源化への貢献が可能である。特に、各種インフラ製品では耐熱性や機械的強度の優れた新材料の開発と適用が進められている。これらの材料では加工精度や切削工具寿命の確保が困難な場合が多く、本技術の展開によってさらなる高効率化や軽量化をモノづくりの低コスト化、リードタイム短縮で支えて行くことが期待される。