

機械技術

Mechanical Engineering

2020

8

Vol.68
No.9

特集

切削加工の精度を最適化する計測・測定技術

好評連載—独自技術で光る日本の機械加工現場 (株)武井製作所 代表取締役 武井哲郎氏

SANDVIK
Coromant

穴あけ加工の真打登場

高生産性汎用ドリル

CoroDrill® 860-GM

www.sandvik.coromant.com/corodrill860

サンドビック株式会社 コロマントカンパニー

事例

加工中の振動情報を次工程に反映させる (フィードフォワード)技術の開発の取組み

鈴木修一^{※1}
鈴木工業(株)

鏑木哲志^{※2}
群馬県立群馬産業技術センター

鈴木工業(株)(群馬県太田市)は1964年に発足し、2006年に設備大型化に伴い、現在の本社工場に移転した。現在まで一貫して主に自動車用プレス金型の設計製作を行っている(写真1)。当社の特徴としては、ものづくりのデジタル化を積極的に進めており、新しい技術についても積極的に取り入れるようにしている。特に近年は群馬産業技術センターや群馬工業高等専門学校、埼玉工業大学、足利大学などの地域の大学と共同研究を行っている。産学官共同での技術開発では地域から高い評価を得ており、その結果、19年には経済産業省の地域未来牽引企業に選定され、群馬県から群馬県優良企業表彰を受けた。また中小企業庁より「はばたく中小企業300社 2020」に選出された。

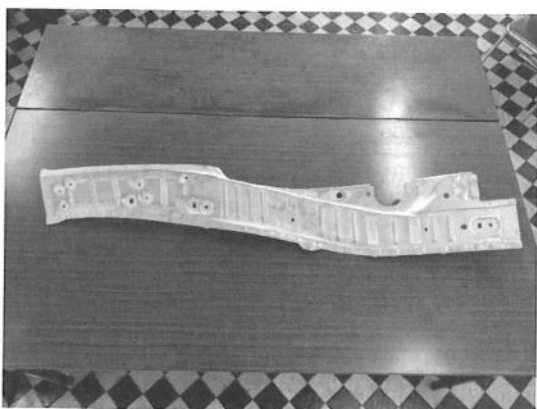


写真1 成形した部品

技術開発の背景

プレス金型業界だけではないと思うが、顧客からの要求は、優先順位の変動はあるものの毎年、「短納期」「高精度」「低価格」の3つである。

この要求を満たすためには、高精度な金型を効率良く加工する新たな技術開発が必要となる。そのため、今までにも群馬産業技術センターや地域の大学の知見の活用による切削加工技術の高度化に取り組んだ。当社のような中小企業では、このような取組みへの多額の資金の捻出は困難であることから、国や群馬県の補助金制度を積極的に活用することにより、著しい効果を得ている。「平成28年度補正革新的ものづくり・商業・サービス開発支援補助金」での技術開発では、加速度センサによる振動測定や主軸負荷などの監視により、主軸回転数や送り速度の制御を行い、最適な加工データ作成などに取り組んだ。

また、「平成30年度補正ものづくり・商業・サービス生産性向上促進補助金」の採択を受けた際には、切削動力計を用いて検証を行いながら、除去体積が一定になるように、送り速度の制御を行い、加工条件の最適化を行う取組みを行ってきた。

ほかにも、「ぐんま新技術・新製品開発推進補助金」などを利用し、加工中の振動データから異常を検知し、その際に加工機を止める手法を開発した。これにより、加工中の工具摩耗に起因する

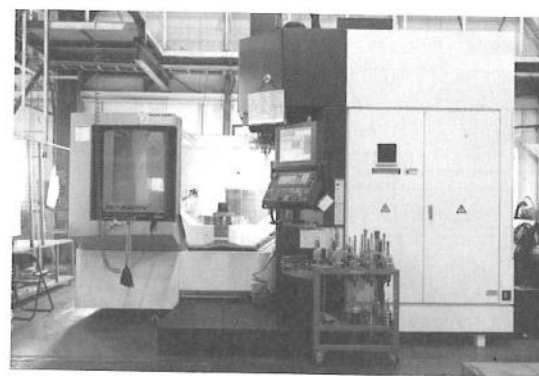


写真2 平成28年度補正革新的ものづくり・商業・サービス開発支援補助金で導入したMU-6300 V

破損の防止が可能になり、加工機およびワークベの損害を最小に留めることができた。

このようにさまざまな試行錯誤を行って、当社の強みであるスピードを手に入れることができた。このように、加工に関してもさまざまな方向から改善を進めてきた。次の課題として、機械加工完了後の金型の上下型のクリアランスの不均一になる場合の課題の解決方法を模索した。

マシニングセンタ(MC)による切削加工では、加工中の工具のたわみや摩耗により、金型の上下型のクリアランスが均一にならないことや特に凹部R部の削り残しによる、干渉の問題がある。このような微小な加工不良を改善すれば、さらなる競争力強化ができると考え、共同研究先の群馬産業技術センターと東京電機大学の松村隆教授に相談に行った。その際にアドバイスをうけ、当該技術の実現可能性の検討を始めた。判明した問題点として、現有設備では、外部からの信号による加工データの制御ができないことや当社が使用の(株)C&Gシステムズ製のCAM「CAM-TOOL」の機上計測機能が、当社の主力加工機であるオークマ(株)製のMCに対応していないことが判明した。

当該技術の検証には、加工機と機上計測システムを新規に導入する必要があった。とはいえ、現実問題として検討段階ですべての設備を自前で揃えるのも厳しいために、戦略的基盤技術高度化支援事業(サポイン事業)で進めることにした。

当該技術開発の前段開発

「平成28年度補正革新的ものづくり・商業・サービス開発支援補助金(第4次産業革命型)」で

特集 切削加工の精度を最適化する計測・測定技術

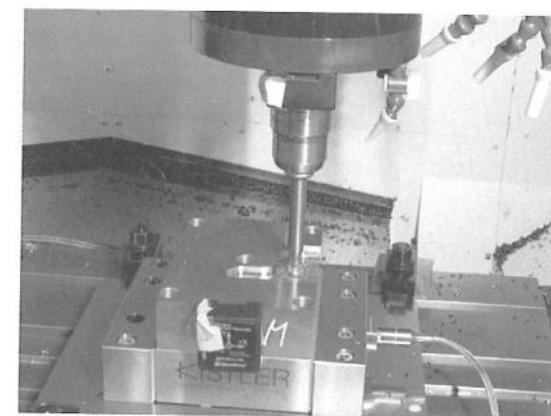


写真3 切削動力計による、切削抵抗の測定

オークマ製MC「MU-6300 V」(写真2)を導入した。この工作機械のオプション機能「加工ナビ」を活用し、加工の高精度化と高能率化を目指した。また、その結果を既存の工作機械へ適応するプロセスの開発を行った。

「加工ナビ」機能の送り速度を一定(プログラム通り)として、加工時に発生する振動に応じて自動で回転数を加工中に短い周期で変動させる機能である、変動制御機能を活用し実験を進めた。

最適条件を収集するために、変動制御を使い、びびりやすい形状の加工を繰返し、加工ナビが決定するびびりを抑制する最適条件を、各工具で探した。その結果、モデル形状では、現状の加工条件より、効率が良く加工面品質も良くなる加工条件を見つけることができた。

そこで、その結果を基に従来加工機への適応を試みた。従来加工機では、加工中の回転数の適時変更は困難であるが、CAM-TOOLの最適化機能などを使用すると、理論的な負荷による送り速度を自動で制御することは可能であるために、隅部をはじめとする、びびりが発生しやすい部位の条件を、加工ナビが算出した値に1刃あたりの送りなどの条件を近づけることが可能になる。ただし、実際の加工では機械やチャック類の剛性などは限らない。そのため、当該工作機械、従来工作機械ともに、群馬産業技術センターの協力も得て、加速度センサによる、ワークや加工機の振動の計測や切削動力計による、切削抵抗の測定などを行った(写真3)。その際に併用して、工作機械の状態監視機能も使用し、主軸負荷での監視も行った。

^{※1} すぎき しゅういち: CIM推進室 室長/〒373-0847 群馬県太田市西新町135-8/TEL: 0276-33-9533
^{※2} かぶらぎ てつし: 先端ものづくり係 独立研究員/〒379-2147 群馬県前橋市亀里町884-1/TEL: 027-290-3030

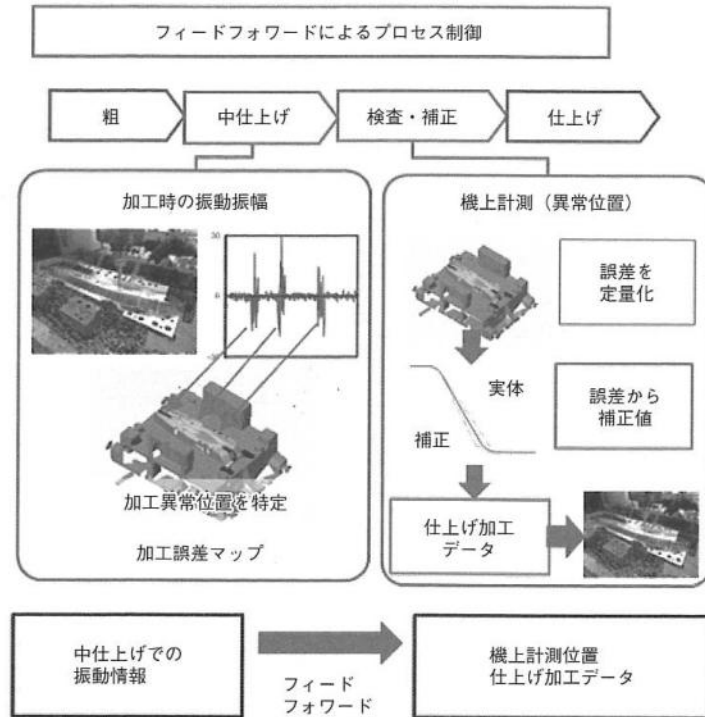


図1 フィードフォワード技術の概要

主軸負荷の監視でも、ある程度は状態監視が可能であることがわかった。このような成果から、工具によっては、それまでの加工条件の2倍以上の効率で加工することが可能になり、部品加工で20%以上加工時間を短縮することができた。

機上計測導入への背景

機上計測を知ったのは、07年にC&GシステムズがCAM-TOOLのオプションで商品化したことを技術に関するセミナーで知った。当時は条件も合わず、必要性も感じずに、特に興味もなかったが、14年にもつくり補助金を利用し、金型分散加工を行うため、オークマ製「MILLAC 561 V II」を導入し、17年にもつくり補助金で、MU-6300 Vを導入する際に、分散加工用に尾島工場を稼働し、金型部品の分散加工が本格化した。分散加工の運用領域を広げて行く際に、加工精度の向上と加工後の測定が必要になってきたために、機上計測の導入を考え始めた。

特に5軸加工を行ったワークの測定では、計測のスキルも必要で、時間もかかり、機械の稼働率低下が問題になりつつあったので、自動で測定できる方法の模索をした。主な使用法は、顧客への

保証や報告など、外部向けの使用ではなく、金型部品や金型表面などが、加工データ通り加工できているのかどうかの確認と工具径補正を利用した際などの、加工残りの確認に使用し、追加工が必要な場合は、予備の加工データを使用し、追込み加工を行う際の判定に使用するためである。当該技術での使用目的も、中仕上げと仕上げ後の差はあるが、同じ用途になる。

また、今後、機械への割込みプログラムを使用するなど、自動再加工（修正加工）への、当該事業の発展も考慮しているため、ほかのシステムとの親和性や自動化しやすいEXCELで測定結果の判定が可能なCAM-TOOLの機上計測モジュールの導入を検討した。C&Gシステムズに相談したところ、オークマ製の制御機への対応してもらえらることになり、分散加工で必要なので購入を決めた。

当該技術の概要と課題

当該技術は、「令和元年度戦略的基盤技術高度化支援事業（サポイン事業）」で採択され、現在も事業期間中であり、技術開発の途中段階であるが、中間状況と判明した課題などを記載する。概

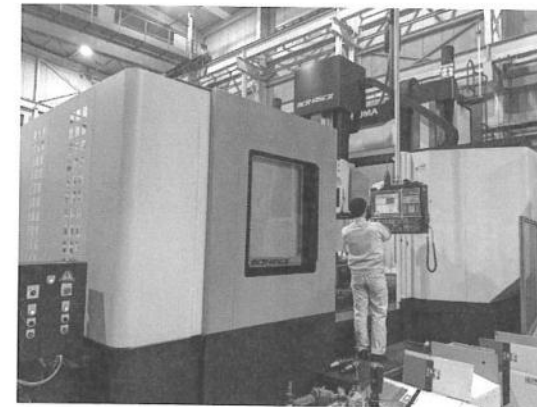


写真4 MCR-A 5 C II

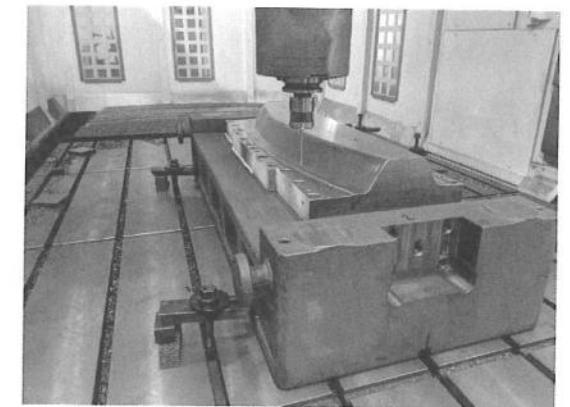


写真5 機上計測の写真

要は、振動データから加工誤差を予測し、加工機から金型を下ろすことなく、補正データを織り込んで加工を行うプロセスを開発することである。加工代を一定とする“中仕上げ工程①”を設け、“中仕上げ工程②”の振動データから推定される加工誤差マップにより加工異常位置を特定して機上計測を行い、目標と実体の差分から補正量を算出し、仕上げデータに反映させる手法を開発する。誤差マップ化されることにより、機上計測工数の削減と加工改善のための不具合分析を可能とすることが特徴となっている（図1）。

サポイン事業申請時の研究課題として、振動データから加工誤差推定を行い、加工機での機上計測結果から仕上げのための補正された加工データの作成を可能にする必要がある。具体的には、実際の加工誤差に変換する視覚的に理解可能な誤差マップを作成する。加工機上で金型を載せたまま機上計測を行い、補正データを作成する。測定中加工が停止するために、生産性を下げないために、誤差マップから測定が必要な箇所を特定し、測定時間を短くする。

その中でも、当社のみでは解決が難しい、機上計測と加工中の機械情報の出力、補正データによる加工データの修正に関しては、各メーカーにも協力を依頼した。その結果、機上計測に関して、無人で測定することができるようになった。

また、工作機械側の入出力は、導入予定のオークマ製「MCR-A 5 C II」（写真4）で、通常のオプション機能では、機械の情報（各軸の負荷）は、加工完了時にしか出力されないことがわかり、リアルタイムで出力できるように改造できないかと相談をし、群馬県産業技術センターの知見やアド

バイスも受け、導入する工作機械での特注対応を依頼した。同様に、外部信号を入力することで、特定のプログラムが動作することができるようにカスタマイズを行った。

現在の成果と今後の課題

MCR-A 5 C II、試験片での加工実験を行い、振動計測結果の波形解析を行い、波形の特徴化や振動の時刻歴データの座標値への変換アルゴリズムの検討を行った。19年12月にMCR-A 5 C IIが納入されてから、サポイン事業のほかの技術開発にも利用した。写真5は自動車用大型部品成形用金型の下型を想定した形状を機上計測している様子である。

実際に開発中の、当該技術で試験金型の加工を行った。振動計測結果と工作機械からの位置情報などを用いて、2次元的な加工誤差マップをつくることができた。今後3次元のマップ化の必要性の検討を行う。振動計測結果と主軸負荷など、加工機から得られる情報で、加工誤差を見いだせる可能性があることがわかった。

機上計測では、C&Gシステムズの支援があり、無事に稼働することができた。最適な加工条件の決定や振動と加工誤差の関係を確定させるため、現在も実験を繰り返している。

当該技術を事業化するための課題としては、誤差マップを作成する際の工数削減や予測した加工誤差から、補正値を求め、補正された仕上げ加工データを作成する際の工数削減が課題になる。このあたりの自動化の処理に関しては、当該事業期間完了後も、検討を続けていくつもりである。