



エンドミル加工における加工誤差予測のための複合モデリング

メタデータ	<p>言語: English</p> <p>出版者:</p> <p>公開日: 2022-12-19</p> <p>キーワード (Ja): 加工誤差, 複雑な加工現象, 小ロット生産, 柔軟弾性体エンドミル加工, モデルベース加工誤差制御, 統計的アプローチ</p> <p>キーワード (En): Machining error, Complex machining phenomenon, Small-lot production, Elastomer end-milling, Statistical approach</p> <p>作成者: アディレーク, チャイナワカル</p> <p>メールアドレス:</p> <p>所属:</p>
URL	https://doi.org/10.15118/00010867

氏	名	ADIRAKE CHAINAWAKUL (アディレーク チャイワカル)
学位論文題目	Compositional Modelling for Machining Error Prediction in End-milling Process (エンドミル加工における加工誤差予測のための複合モデリング)	
論文審査委員	主査	教授 寺本 孝司
		教授 風間 俊治
		教授 藤木 裕行

論文内容の要旨

機械加工は、製造業における部品製造プロセスにとって重要な加工方法です。生産性と製品品質は、常に製造技術の重要な課題として考えられてきました。現代の製造業は、部品や製品の加工精度と効率を向上させることを求められています。機械加工プロセスには、複雑な加工現象が含まれ、多くの場合ではプロセスの制約が発生し、製品の品質が低下します。加工誤差は、複雑な加工現象の代表的なもののひとつであり、切削条件、工作物形状、材料特性、切削抵抗、工作物変形などの変化に影響されます。したがって、これらの要件を解決するには、加工誤差を予測するための信頼できる方法が不可欠です。

新たな製造業のトレンドとして、小ロット生産が注目されています。消費者の行動の変化により、個人化された高品質の製品が求められる傾向が高まり、消費者と直結した製造サービスが提案されています。また、大量生産のための製品試作や金型製作も、エンドミル加工によって実現される小ロット生産といえます。エンドミル加工は、多種多様な材料を使用した部品や製品を直接加工するための有効な方法です。この加工方法は、費用と時間のかかる金型の準備を必要としません。この研究では、柔軟弾性体のエンドミル加工における加工誤差モデリングを扱います。これは、柔軟弾性体が独特の弾性変形特性と亀裂の発生形態を有し、加工誤差の制御が難しいためです。柔軟弾性体エンドミル加工における加工誤差の従来の制御方法は、柔軟弾性体部品の機械加工サービスを提供する企業のノウハウに依存し、体系的な研究は十分なされていません。したがって、本論文は、提案する加工誤差モデル化手法の対象として柔軟弾性体のエンドミル加工を対象とすることにしました。

加工精度を確保し、加工プロセスを制御するために、本論文では、加工誤差モデリングのための体系的なフレームワークをもとにした加工誤差モデルの構築手法を提案します。提案するフレームワークでは、モデル変数の候補は予備実験に基づいて評価されます。候補となるモデル変数は、切削条件と、工作物の変形や切削抵抗などの物理的状態変数です。提案されたモデルは、従来のデータ中心のアプローチ、経験的な知識を基にしたアプローチ、およ

び主成分分析（PCA）を基にした統計的アプローチによって構築されます。モデルの係数を計算し、線形回帰モデルを形成するために、相関係数と重回帰法が採用されています。従来の切削条件ベースモデル、経験的モデル、統計ベースモデルの3つの異なるモデルが構築されます。統計モデルの構築では、有効変数を決定するために提案された体系的な手順が利用されます。その後、評価実験としてより大きな実験事例を用いてモデルの妥当性を評価します。実験結果は、提案手法により構築されたモデルを用いて計算された加工誤差と測定された加工誤差の比較に用います。比較の結果として、提案手法を基にした統計ベースモデルは実験結果と最も良好な一致を示しました。以上の結論として、提案された加工誤差モデリング手法の妥当性を確認することができました。

キーワード：加工誤差、複雑な加工現象、小ロット生産、柔軟弾性体エンドミル加工、モデルベース加工誤差制御、統計的アプローチ

ABSTRACT

Machining is a method that important to the manufacturing process in the industry. Productivity and product quality are always concerned with significant issues in manufacturing technologies. Modern manufacturing aims to improve the machining accuracy and efficiency of parts and products. However, machining variables involve the complex machining phenomenon that usually generates process limitations and reduces product quality. Machining error is one of responsiveness in complex machining phenomenon. It has directly influenced by varying cutting conditions, workpiece shape, material characteristics, cutting force, and workpiece deformation. Therefore, a reliable method for predicting machining errors is essential to solving these requirements.

Small-lot production has attracted attention in the new tendency of manufacturing. Due to the changing consumer behavior, the personalized, high-quality, and technology trends require the service of direct-to-consumer manufacturing. Product prototype and mould making for mass production are regarded as small-lot production that suitably serves by milling process. On the other hand, end-milling is also a capable method for direct operating on parts or products with a large variety of materials. This method does not require expensive and time-consuming preparation. This research deals with a machining error modelling for the end-milling of elastomer material because it's uniquely elastic deformation, crack generation, and difficult to control machining error.

Conventional control method of machining error in elastomer end-milling has been studied with a limitation because most machining services of the elastomeric parts are based on enterprise-dependent dexterities or know-how. Therefore, this material has been selected to be a case study in this research.

In order to secure machining accuracy and control the phenomenon, this dissertation proposes the machining error models through a systematic framework for machining error modelling. In the framework, the candidates of model variables are evaluated based on the preliminary experiments. Candidate variables are the cutting conditions and physical state variables such as workpiece deformation and cutting force. The proposed models are constructed by conventional data-centric approach, mechanistic knowledge-based approach, and principal component analysis (PCA) based statistical approaches. The correlation coefficient and multiple regression method are employed to compute the model's coefficient and form the linear regression model. Three different models: the conventional cutting condition model, mechanistic model, and statistical model are constructed. At the statistical model construction, a proposed systematic procedure to determine the effective variable is utilized. Afterward, the models are investigated by using larger experimental cases as the evaluation experiment. From the experimental results, it become possible to make a comparison between calculated and measured machining errors. In addition, the statistical model provides relatively good agreement. Therefore, it could be confirmed the proposed machining error modelling method can generate the appropriate process model.

Keywords: Machining error, Complex machining phenomenon, Small-lot production, Elastomer end-milling, Statistical approach

論文審査結果の要旨

本論文は、近年高精度化が進む切削加工において重要度の高まっている、加工誤差予測手法について検討したものである。

加工時に発生する物理現象の予測に関する研究は従来から数多くなされているものの、加工誤差や表面粗さといった複雑な要因が関与する物理現象の予測は、対象を限定した個別的な取り組みが多く、多様な加工に適用可能な汎用的な枠組みが求められている。

本研究では、複雑な切削加工現象を予測するためのモデリングフレームワークを提案し、系統的な予測手法を提案している。提案された体系的なフレームワークの妥当性を確認するために、柔軟弾性体のエンドミル加工における加工誤差モデリングを例として検討している。柔軟弾性体のエンドミル加工は、柔軟部品の小ロット生産として注目されているものの、系統的な加工誤差の予測手法は提案されておらず、汎用的なモデリング手法の構築が求められている。

具体的には、複合モデリングの概念を基に、エンドミル加工における加工誤差をモデル化するためのフレームワークを提案している。提案するフレームワークは、予備実験によるモデル構築フェーズと、構築したモデルの利用フェーズを有している。モデルに用いるモデル変数の候補は、利用可能な加工条件情報および加工プロセスで発生する物理情報とし、予備実験に基づいて加工誤差に対する影響の強さをもとに変数が選択される。選択された変数を用いて経験的な加工プロセスモデルが実装される。本論文では、提案したフレームワークを基に構築されたモデルを用いた予測と従来手法で構築されたモデルを用いた予測を実験結果と比較し、提案手法の妥当性を明らかにしている。

以上、本研究で得られた成果は、複雑な加工プロセスにおける誤差予測のための基盤を提供するものであり、機械加工の高度化に寄与するところが多いといえる。よって、本論文著者は博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。