

Research on Thermal Monitoring for Finish Machining of Near Net Shape Parts

その他（別言語等）のタイトル	ニアネット成形部品の仕上げ加工のための熱モニタリングに関する研究
著者	WU Dongjin
学位名	博士（工学）
学位の種別	課程博士
報告番号	甲第410号
研究科・専攻	工学専攻
学位授与年月日	2018-03-23
URL	http://doi.org/10.15118/00009631

氏 名 吳 東津

学 位 論 文 題 目 ニアネット成形部品の仕上げ加工のための熱モニタリングに関する研究

論 文 審 査 委 員 主査 教 授 寺本 孝司
教 授 相津 佳永
教 授 風間 俊治

論文内容の要旨

本研究は、近年普及している小ロットニアネット成形部品の仕上げ加工において精度保証を実現するためのモニタリング方法について検討したものである。

複雑な3次元形状製品の開発は、ここ数十年にわたり製造業の主要な目標の1つである。射出成形、鍛造、鋳造と組立技術といった従来から広く用いられている加工工程は、大量生産において高効率かつ低コストでの生産を実現してきた。近年では、アディティブ製造、薄肉鋳造、インクリメンタルフォーミングなどの様々な小ロットニアネットシェイプ成形技術が提案され、普及が進んでいる。これらのニアネットシェイプ成形された部品は、複雑な形状になっていることが多いため、これらの部品の仕上げ加工は手作業でなされることが多い。手作業での仕上げは、ばらつきや形状誤差の原因となるため、小ロット生産でも対応可能な複雑な3次元部品の系統的な仕上げ加工方法が切望されている。

エンドミル加工は、効率、精度、小ロット生産への適用性などの利点を有するため、航空宇宙産業や自動車産業をはじめとする一般の製造業において広く利用されている。したがって、ニアネットシェイプ部品の仕上げ加工方法として、エンドミル加工が期待されている。しかし、エンドミル加工においても精度保証は達成されていない。特に、熱電対測定システムやサーモグラフィ技術などの従来の検出方法では、プロセス中の熱モニタリングが困難であり加工誤差を制御できないことが大きな問題となっている。

切削加工における発熱および熱伝達特性は、具体的な切削加工プロセスに強く影響することから個別的な対応が必要となる。現在では、有限要素シミュレーションを使用することで標準的な機械加工プロセスをシミュレートすることが可能となっているものの、個別作業におけるばらつきへの対応は困難である。本研究では、局所的な温度測定と有限要素シミュレーションを組み合わせることで、切削加工における温度分布の推定を検討した。本論文の主な内容は次のとおりである。

まず、本研究の背景として最近の生産動向を整理した。特に、広くネットワーク結合された情報駆動型の生産における監視の役割について詳しく説明した

次に、本研究で提案する熱モニタリングの枠組みについて説明した。加工プロセスにおける変動要因を考慮し、測定点評価の概念を説明する。本研究では、測定の安定性とプロセスばらつきに対する感度の観点から各測定点の有効性を評価する方法を提案した。

続いて、提案された枠組みを評価するために開発したシステムについて説明した。特に、エンドミル加工の熱解析手法について説明し、開発したシミュレーションシステムの詳細を示した。開発された 3D 有限要素 (FE) モデルは、商業 FE ソフトウェアをもとに構築され、マクロ的な工作物の挙動をシミュレートが可能である。さらに、加工変動モデルと FE シミュレーションを組み合わせた温度測定点評価システムについて説明した。そして、エンドミル加工事例に対する検討をもとに、構築したシステムの評価が妥当であり、提案した手法による計測点評価が有用であることを示した。

ABSTRACT

The objective of this research is to investigate an appropriate monitoring method to secure the accuracy of finish machining.

The development of complex 3-dimensional shape products for industrial applications has been one main goal for manufacturing industries over the last few decades. Conventional processes such as injection molding, forging, and casting and assembly technologies are typical processes that have contributed to achieve mass production. Recently, various small-lot near-net shape production methods such as additive manufacturing, thin-wall casting, and incremental forming are proposed and become common in industry. Because these near-net shape parts are often complex shape, these parts are finished by manual operation. Therefore, a systematic finish machining method for complex 3-dimensional parts for small-lot production is eagerly desired.

Because end-milling has advantages like efficiency, accuracy, and applicability to small-lot production, this technology is very widespread application in aerospace, automobile and other manufacturers. Therefore, end-milling is expected as a promising machining method to finish machining of near net shape parts. However, accuracy assurance of end-milling has not achieved. Especially, thermal monitoring in process has not been caught easily by traditional detect method, such as thermocouple measurement system or thermography technology.

Heat generation and heat transfer characteristics in the cutting process are strongly affected by each machining case. As a modern technology, finite element simulation can be used to reproduce the machining process. It can be used to study the stress, strain, temperature distribution, chip breakage, friction, and heat generation characteristics of the cutting area which is difficult to be observed in processing. In this thesis, the combination method of local temperature measurement and finite element simulation is used to investigate the estimation of temperature distribution in machining process. The main contents are as follows,

Firstly, trends of recent production are summarized as a background of this research. Roles of monitoring in information driven and connected production are explained. Moreover, related researches about thermal analysis in end-milling, measurement technology development, FEM analysis, and combination of measurement and simulation are surveyed.

Secondly, a framework for temperature measurement is proposed. Based on considerations of process variety, a concept of measurement point evaluation is explained. This research presents a method to evaluate an effectiveness of each measuring points from aspects of stability of measurement and sensitivity to the process variation.

Thirdly, developed systems to evaluate the proposed framework are explained. A thermal analysis method of end-milling is explained, and details of developed simulation system are illustrated. Developed 3D finite element (FE) models are constructed based on commercial FE software to simulate the macroscopic workpiece behavior. After discussing a representation method of process variation, evaluation procedures of measurable points are illustrated. The proposed evaluation method of measuring points is evaluated based on the case studies.

Lastly, conclusion of dissertation is described.

論文審査結果の要旨

本論文は、近年普及している小ロットニアネット成形部品の仕上げ加工における精度保証を実現するためのモニタリング方法について検討したものである。

近年、アディティブマニュファクチャリングに代表される様々な小ロットニアネットシェイプ成形技術が提案され、普及が進んでいる。これらのニアネットシェイプ成形部品は、複雑な形状になっていることが多いため、これらの部品の仕上げ加工は手作業でなされることが多い。手作業での仕上げは、ばらつきや形状誤差の原因となるため、小ロット生産でも対応可能な複雑な3次元部品の系統的な仕上げ加工方法が切望されている。

エンドミル加工は、ニアネットシェイプ部品の仕上げ加工法として期待されている。しかし、エンドミル加工においても精度保証は達成されてないことから、加工中の工作物の熱膨張のモニタリング技術が注目されている。これまでに、熱電対による局所的な温度計測と有限要素解析を併用した温度推定手法が提案されているが、適切な温度計測位置の評価が行われておらず実用化にむけての大きな課題となっていた。本論文では、この問題に対して以下のような検討を行なっている。

まず、本研究で提案する熱モニタリングの枠組みについて説明している。そして、加工プロセスにおける変動要因を考慮して、測定点評価の概念を説明している。本論文では、測定の安定性と加工プロセスのばらつきに対する感度の観点から各測定点の有効性を評価する方法を提案している。

続いて、提案された枠組みを評価するために開発したシステムについて説明している。特に、エンドミル加工の熱解析手法について説明し、開発したシミュレーションシステムと加工における変動モデルについて実装内容を説明している。そして、エンドミル加工における温度推定事例にたいする検討をもとに、構築したシステムの評価が妥当であり、提案した手法による熱モニタリングの計測位置の選定が有用であることを示した。

以上、本研究で得られた成果は、機械加工における精度保証のための基盤を提供するものであり、高精度部品加工に寄与するところが大きいといえる。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。