S141016

加工無駄時間を短縮するための素材形状に応じた NC プログラム生成法の検討*

寺岡 佑^{*1}, 佐藤隆太^{*2}, 白瀬敬一^{*2}

Generation of NC program corresponding to raw material shape to eliminate waste time for air-cut motion

Tasuku TERAOKA^{*1}, Ryuta SATO^{*2} and Keiichi SHIRASE^{*2}^{*1} Kobe University Graduate School of Engineering
1-1 Rokko-dai, Nada, Kobe, 657-8501 Japan

The conventional NC machining instructed by NC programs can achieve high efficiency and accuracy according to the tool path optimization and the collision avoidance. On the contrary, the flexibility of NC machining such as change of a machine tool or cutting tools to be used is ignored, because NC programs are generated far before the machining operation. Therefore, in order to adapt the shape deviation of raw material, the maximum raw material shape is assumed as a raw material shape, and tool paths have to be generated to remove the volume from the maximum raw material shape to the finished shape. This means that the most raw materials require waste time for air-cut motions in the total machining time. In order to eliminate these air-cut motions for each raw material shape, an NC program should be created just before the machining operation. In this study, the flexible NC programming, in which an NC program is generated one by one just before the machining operation to follow the change of machining situation, is proposed. As an example of the flexible NC programming, an NC program is generated just before the machining operation to follow the change of raw material shape. For this purpose, the CAD model representing the raw material shape is modified according to the on-machine measurement, and tool paths are generated to eliminate air-cut motion for each raw material shape. As the result, waste time for air-cut motion can be eliminated. Experimental verification using an actual industrial product was performed successfully.

Key Words : NC, CAD, CAM, On-machine Measurement, Flexible NC Programing, Air-Cut Motion

1. 緒 言

NC プログラムを事前に作成する現行の NC 加工では機械の変更, 工具の変更, 素材形状の変化に即応するための柔軟性に乏しい. そのため, 素材形状の変化に対応するためには, 常に最大の素材形状を想定して加工除去領域を設定して工具経路を作成しなければならない. このため, 最大の素材形状に対して工具経路は無駄とならないものの, ほぼ全ての素材に対して無駄な工具経路が含まれることになり, エアカットによる加工時間増大を招いている⁽¹⁾. このような問題を解決して柔軟性の高い NC 加工を実現するためには, 加工状況の変化を考慮して加工の直前に NC プログラムを作成する必要がある. 本研究では柔軟性の高い NC 加工の一例として, 素材形状の変化に応じた工具経路を生成してエアカットによる加工時間の無駄を削除する目的で, 機上計測によって得られた素材形状に応じて加工の直前に NC プログラムを作成してその効果を検証した. 素材を機上計測するのは, 工作物の取り付け・取り外しによる取り付け誤差を発生せず, 運搬の必要がないという利点があるためである⁽²⁾. ここでは市販の CAD/CAM を用いて, 素材のパラメトリックモデルを用いて機上計測結果を反映した素材モデルを作成し, それに基づいて工具経路を再計算して NC プログラムを作成するという手順で実現した. シミュレーションで有効性を検証するとともに, 建設機械の大型ワークを用いた切削加工実験でその効果を実証した.

^{*1} 学生員, 神戸大学大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

^{*2} 正員, 神戸大学大学院工学研究科
E-mail: shirase@mech.kobe-u.ac.jp

2. 素材形状に応じた NC プログラム生成システム

2.1 NC プログラム生成システム

本研究では Missler 社製 CAD/CAM ソフトウェア「TOP solid/TOP cam」を用いた。以下に手順を示す。

- (1) 予め素材の計測点を決定し、素材のパラメトリックモデルを作成する。
- (2) 機上計測結果を反映して素材形状の CAD モデルを作成する。
- (3) 得られた素材形状と製品形状の CAD モデルから加工除去領域を検出して工具経路を計算する。
- (4) 素材形状に応じた NC プログラムを生成して実加工を行なう。

機上計測結果を反映して素材の CAD モデルをパラメトリックに変形させるために、機上計測の計測点に対応する制御点でモデル形状を定義した。図 1 に示すように、全ての制御点 (X_i, Y_i) に素材の測定値 Z_i を入力することで素材形状の CAD モデルが生成できる。

2.2 加工除去領域の決定

素材形状に応じて工具経路を作成するためには、素材形状ごとに加工除去領域を決定する必要がある。加工除去領域は図 2 に示すように、素材形状と製品形状の CAD モデルの差演算から決定することができる。製品形状は固定で変化しないので、機上計測結果を反映して素材形状の CAD モデルを更新すれば、素材ごとに加工除去領域も更新され、その領域を加工する工具経路を計算することが可能になる。

Fig.1 Parametric definition of material shape by control points

Fig.2 Detection of removing area

3. ケーススタディ

ケーススタディに使用した素材の CAD モデルを図 3 に示す。鋳造品のために素材形状がばらつくことを想定し、ねじ部の座ぐり加工を行なう工具経路の再生成を行った。座ぐり加工には直径 24mm のスクエアエンドミルを使用し、工具経路生成のために表 1 に示す加工条件を用いた。また、工具経路再生成の結果を図 4 に示す。フランジ傾斜部分の高さ (図 3 中 A) が 15mm の Model A を用意し、機上計測の結果が 5mm であると仮定して素材形状を修正した。素材の CAD モデルは Model A' のように修正され、加工用の工具経路も再生成された。エアカットに要する工具経路が削除され、加工時間 (推定値) も 39 分 7 秒から 23 分 29 秒に短縮された。このように、素材形状に応じて工具経路を再生成できることを検証した。

Fig.3 Material shape for simulation model

Fig.4 Regeneration of tool paths

Table 1 Cutting conditions for tool path generation

Tool diameter (mm)	24	Feed speed (mm/min)	195
Axial depth of cut (mm)	5	Pick feed (mm)	10.7

4. 切削加工実験

4.1 加工実験に使用したワークの概要

図5に加工実験に使用したワークの概要を示す。このワークは建設機械のアーム部分で、図5中の太線で示した部分が加工対象である。エンドミルの外周刃による側面切削を行う。素材が溶接構造であるために左右の胴板に前後差や上下差、ねじれを生じる。また、治具への取り付けもワークごとに微調整を要するため、加工対象部分の取り代はワークごとに大きく異なる。現状では加工トラブルを避けるために加工パス（工具経路）を増やしているが、実加工の際に、1, 2加工パス目でエアカット、または1パス目の切込みが過大になる場合もある。そこで、図5中で示した2点を測定し、素材形状に応じた加工パスで実加工を行い、加工無駄時間がどの程度短縮されるか検証する。また、このワークは左右の穴を位置決めするために、中央上部の回転軸回りにワークを回転させている。このため、左右の穴位置も測定して取り付け時のワーク回転角度を算出し、素材のCADモデルに反映させた。

Fig.5 Outline of the work

4.2 シミュレーションによる加工時間短縮効果の見積もり

実加工とは別にシミュレーションで加工時間を見積もり、加工時間短縮の期待値を算出した。加工条件は実加工と同じで、直径60mmのラフィングエンドミルを使用して表2の加工条件で加工する。取り代の違いに対して計算した加工時間の変化を図6に示す。

切込みが2mmであるので、本手法を適用する場合に取り代が2mm増えるごとに加工パス（工具経路）が1パス増える加工になり、それに応じて加工時間も段階的に変化している。現状では最大を取り代（8mm）に対して加工しているので、エアカットに要している加工時間（図6中赤色矢印）を削減することができる。そこで、取り代のばらつきが最大8mm、平均4mm、標準偏差1mmで正規分布すると仮定し、本手法を適用した場合の加工時間（統計的な期待値）を算出した。現状の加工時間が5分37秒であるのに対し、本手法を適用した場合は3分38秒となり、約35%の加工時間短縮効果が見込めることが分かった。

Table 2 Cutting conditions for experiment

Tool diameter (mm)	60	Work material	SS400
Effective edge length (mm)	90	Gauge length (mm)	120
Radial depth of cut (mm)	2	Feed speed (mm/min)	200

Fig.6 Estimated machining time

4.3 切削加工実験

加工実験に使用した NC 工作機械はホンマ・マシンリー社製 HMC-16/45WNT の外観を図 7 に示す。この機械はレニショー社製のタッチプローブを備え、指定した測定箇所の素材寸法を NC プログラムにより自動で計測することが可能である。図 8 に素材寸法の計測の様子、図 9 に実加工の様子をそれぞれ示す。本手法を適用することで、加工の現場で測定した素材寸法に応じて NC プログラムを再生成し、その NC プログラムを使用して実加工が可能であることを実証した。

Fig.7 Appearance of machine tool

Fig.8 Material shape measurement

Fig.9 Milling operation

5. 結 言

本研究では、加工現場で机上計測によって得られた素材形状データに応じて素材の CAD モデルを修正し、素材形状のばらつきに応じて工具経路を再生成することで、これまでエアカットに要していた加工パスを削除して加工時間を短縮する手法を提案した。シミュレーションによるケーススタディで本手法による加工時間短縮効果を検証した。さらに、建設機械の大型ワークを用いて切削加工実験を行い、本手法の有効性を実証した。

文 献

- (1) 藤尾三紀雄, 粉奈太一, 柳下福蔵, 鈴木裕, “画像による立体認識に基づく高能率荒加工システムの開発に関する研究- (第 2 報) 素材の立体認識手法の開発-”, 精密工学会学術講演会講演論文集, Vol. 2003A, (2003), pp. 58-58.
- (2) 中川平三郎, 廣垣俊樹, 梶章宏, 垣野義昭, 喜田義宏, “レーザスタイラスを用いた三次元机上計測に関する研究 (ワーク材質が測定精度に及ぼす影響)”, 日本機械学会関西支部講演会講演論文集, (2001), No.014-1, pp.33-34.