

工作機械の加減速制御の同定に基づく加工面形状のシミュレーション

Simulation of Machined Surface Shape Based on Identification of Acceleration and Deceleration in Machine Tool Control

[Keio University] 慶應義塾大学 野口 知哉*
青山 英樹**

1. はじめに

NC 工作機械を用いて加工する場合、工作機械の加減速制御により、送り速度や工具経路が指令値と異なり、加工時間の予測誤差が生じるとともに、加工形状誤差の原因となっている。また、工具に加わる切削抵抗力により工具にたわみが生じ、形状誤差をさらに大きくしている。この問題を解決するためには、加工形状を厳密に予測するシミュレーションシステムと予測に基づき加工誤差を補正する工具経路の生成が必要となる。

本研究では、次の①～⑤のプロセスを実施し、加工形状を厳密に予測するシミュレーションシステムを開発するとともに、実験によりその有用性を確認した。

- ① 工作機械の制御における加減速度を定式化
- ② 単位時間ごとの送り速度、工具位置を導出
- ③ 送り速度、工具位置情報をもとに切削抵抗力を予測
- ④ 切削抵抗力をもとに工具たわみ量を推定
- ⑤ 予測工具経路とたわみ量より加工面形状を予測

2. 工作機械の加速度の定式化

工作機械の加速度の定式化のため、送り速度と工具経路をパラメータとして工作機械を稼働させ、その際の各制御軸の速度を測定した。工具進行方向の送り速度は、100、200、300、600、900 mm/min とした。指令工具経路は、X 軸方向に移動し、Y 軸方向に θ°

方向を変えて移動することとし、その角度を変える際の X 軸、Y 軸の速度をサーボガイド (FANUC) で測定した。方向変更角度 θ は 10、20、30、60、90、120、150、180° とした。

各条件における工具の移動方向変更前後の送り速度の時間変化より、指令送り速度が v (mm/min)、回転角度が θ° のときの X 軸方向、Y 軸方向の加速度 A (mm/s²) は式(1)で表されることが明らかとなった。

$$A = 1.5 \times 10^{-2} \times (\cos \theta - 1) \times v \quad (1)$$

3. 工具たわみ量算出方法

(1) 概要

図 1 は、加工時に切削抵抗力により生じる工具たわみ量を示している。工具たわみ量は、切削抵抗力 F (N) とヤング率 E (MPa)、工具断面 2 次モーメント I (mm⁴)、切削抵抗力の作用位置 a (mm)、工具突出量 l (mm) により、式(2)、式(3)を用いて算出される。ここで、 z (mm) は求めるたわみの位置である¹⁾。

$0 \leq z \leq a$ のとき

$$\delta(z) = \frac{F(l-a)^3}{6EI} \left\{ \frac{3(l-z)}{l-a} - 1 \right\} \quad (2)$$

$a \leq z \leq l$ のとき

$$\delta(z) = \frac{F(l-a)^3}{6EI} \left\{ \frac{3(l-z)^2}{(l-a)^2} - \frac{(l-z)^3}{(l-a)^3} \right\} \quad (3)$$

(2) 切削抵抗力算出方法

図 2 に示すように、切削抵抗力 F は、式(4)に表されるように、すくい面に働く力 N と摩擦力 μN の合力として算出した。工具すくい面に垂直に働く力 N は式(5)に示すように、切削面積 S と比切削抵抗 K_s

より算出した。 S は、軸方向切込み深さ、半径方向切込み量、切削工具の半径、ねじれ角、工具送り量から求められる。 K_s は、文献値の値より推測して求めた²⁾。

$$F = N + \mu N \quad (4)$$

$$N = K_s \times S \quad (5)$$

4. 加工面形状の予測

加工面形状は、式(1)により定式化された加減速度から微小時間間隔における

*Tomoya Noguchi: 理工学研究科 総合デザイン工学専攻

**Hideki Aoyama: 同 教授

〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1

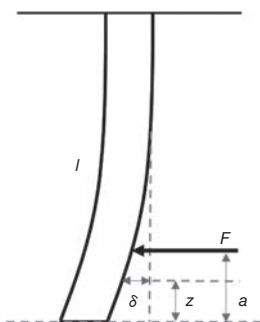


図 1 工具たわみ量

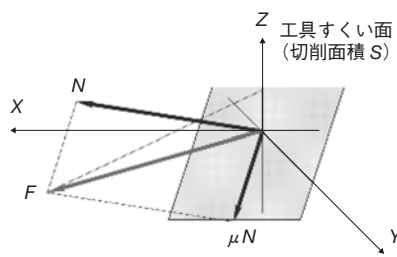


図 2 切削抵抗力