

# 高硬度材の切削加工に関する研究（第2報） —輪郭加工におけるオンザマシン計測・修正加工システムの適用—

大塚裕俊\*・井原之敏\*\*・秋国 元\*\*\*  
\*生産技術部・\*\*大阪工業大学・\*\*\*（株）テオリック

Profile end milling for hardened steel using in-situ measurement system

Hirotooshi OHTSUKA\*・Y. IHARA\*\*・H. AKIKUNI\*\*\*

\*Production Engineering Division・\*\*Osaka Institute of Technology・\*\*\*Teoric Cooperation

## 要 旨

高硬度材の高精度切削加工技術を確立するため、2次元輪郭加工を対象としてオンザマシン計測と修正加工を適用し、その有効性を確かめた。方法としては(1)径方向切り込み量一定(2)切削関与角一定(3)機上測定による誤差補正による工具パスを利用して、その加工面の形状精度を比較した。その結果、修正加工によって設計値からの加工誤差が大きく減少しており、高精度加工のため有効な手段となることがわかった。なお切削関与角一定工具パスを併用すれば、さらなる形状精度の向上が期待できる。

### 1. はじめに

一般に切削加工では、工具のたわみなど不可避の誤差要因があり、測定機による加工形状の計測、それに基づく加工機での修正加工など多工程を要するため合理化の隘路となっている。金型を高効率・高精度・短納期で製作し、かつ高精度な仕上げ形状をもつようにするためには、1台の工作機械上で加工の後、高精度の機上計測および修正加工をシステム化して行うことが必要である。そこで高精度マシニングセンターと機上計測によるオンザマシン計測・修正加工を行うことにより、輪郭形状加工の高精度化をはかる手法がある。

金型加工では、とりわけ内側コーナー部で切削抵抗が非常に大きくなり形状誤差の要因となりやすい。そこでこれを改善するためには、あらかじめ切削抵抗が一定となるように加工条件や工具パスを工夫した上で加工を行うことが最善である。そのうえで加工後に高精度の機上計測を実施し、その計測データをもとに誤差を補正した加工データにより修正加工を行うことが望ましい。そうすれば設計された形状との誤差の小さな加工形状を得ることが出来る。そこで本研究開発では、高硬度材のエンドミルによる2次元輪郭加工についてその有効性を検証することとする。すなわち(1)従来どおりの径方向切り込み量一定工具パスによる加工面(2)切削関与角一定工具パスによる加工面(3)機上測定による修正加工面を波形形状の加工実験によって比較した。

### 2. 切削関与角が一定の工具パス

これまでの研究によれば、2次元平面内のエンドミル加工において変形前の最大切りくず厚さと切削円弧長を2つの幾何的パラメータとして用いることで切削抵抗の予測と制御が可能となっている。この式によれば、被削材との干渉部の切削関与角およびエンドミル中心の送り速度が常に一定であれば、最大切りくず厚さも一定となり、結果的に切削抵抗も一定になるという関係がある。そこで仕上げ加工の前加工として、切り代(残り代)が切削関与角一定となるように加工を行っておく。

### 3. 実験装置と方法

被削材は焼入れ鋼 SKD61(硬度 Hrc53)を用い、これに波形形状をエンドミル工具((Ti, Al)Nコーティングされた超硬エンドミル:直径6mm、6毎刃)により加工する。計測用プローブ(renishaw OMP40)は立形マシニングセンターの主軸に取り付けられ、接触式により加工面の座標測定を行う(図1)。

加工条件は、主軸回転数8000rpm、送り速度



Fig. 1  
Touch probe  
for  
measurement

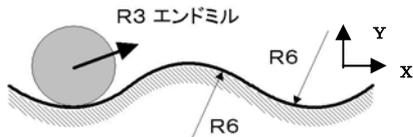


Fig. 2 Cutter path for the experiment

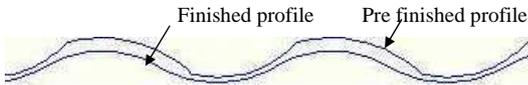


Fig. 3 Finished and pre finished profile

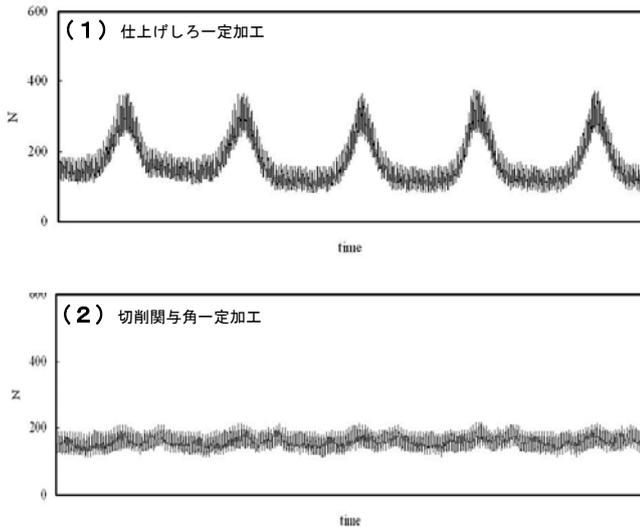


Fig. 4 Measured cutting forces  $F_{xy}$  (N) < 1 cycle = 1.3msec

2400 mm/min、径方向切り込み量（基準値）0.2 mm、軸方向切り込み量 6 mm、冷却方法は圧縮空気の吹きつけのみである。

#### 4. 実験結果

図1と図2に示す加工形状と前加工面（仕上げ加工で切削関与角一定となる）により、2. の(1)~(3)の切削実験を行った結果を図4~図5に示す。図4の切削抵抗の測定値によれば、(1)単純な切り込み量一定の場合に比べて(2)切削関与角一定の工具パスにより切削抵抗の一定化が達成されていることがわかる。これにより加工面の形状精度の向上が期待できるが、図5(1)~(2)（オンザマシンによる形状計測結果）によれば、設計値からのY方向誤差について最大で約20%減少している。さらに図5(1)の実測誤差により加工データを補正し、それによる修正加工を実施した結果が図5(3)である。誤差を補正した修正加工により、設計値からの誤差が大きく減少していることがわかる。以上の結果によれば、2次元の輪郭加工におけるオンザマシン計測・修正加工システムは高精度加工のため有効な手段となることがわかる。

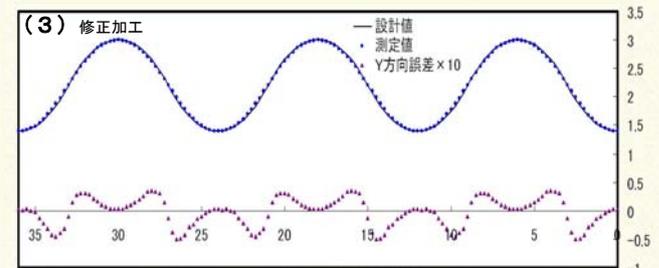
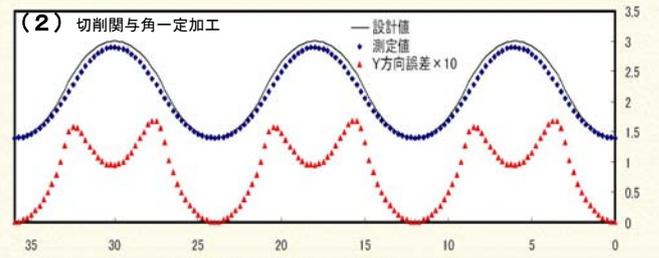
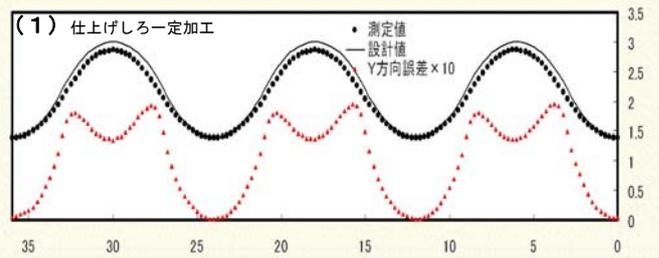


Fig. 5 Measured profiles and errors for Y direction (mm)

#### 5. おわりに

- (1) SKD61材（硬度Hrc53）のエンドミルによる波形加工に、切削関与角一定の仕上げ工具パスを用いた結果、切削抵抗の一定化が達成されることがわかった。
- (2) オンザマシンによる2次元の形状計測を実施し、設計値からの誤差を補正した修正加工データを作成し、修正加工を実施した結果、設計値からの誤差が大きく減少することがわかった。

#### 追記

本実験に使用した高速加工機（MC）は、日本自転車振興会の補助金を受けて設置したものである。

#### 参考文献

- (1) 垣野義昭, 大塚裕俊, 中川平三郎, 廣垣俊樹, 佐々木将志: 焼入鋼のエンドミル加工に関する研究(第1報), 精密工学会誌, 66, 5(2000) 730.
- (2) 垣野義昭, 井原之敏, 岩崎嘉徳, 松原厚, 大坪寿: 除去加工用修正加工システムに関する研究—2次元輪郭形状の修正研削加工—, 精密工学会誌, 59, 10(1993), 1689.