

## 回転数制御エアタービンスピンドルによる小径エンドミル加工

長崎大学 ○長田尚子 ◎矢澤孝哲 大坪樹 野崎悠輔 福岡工業大学 加藤友視 西田一矢 平川鉄磨

### 要 旨

小径エンドミルによる精密加工において、高回転高送りミーリングを行う場合、エアタービンスピンドルではトルクが小さいことによる回転数減少が工具摩耗に影響を与えると懸念される。本研究では、HPQRを用いた回転数制御加工実験を行い、工具摩耗の抑制、供給圧と工具摩耗の関係について検討した。その結果、回転数制御の有無による工具摩耗への影響は見られなかった。また、加工中の供給圧力から摩耗量を推定できる可能性を示した。

### 1. 緒言

加工形状の複雑化・微細化にともない、小径エンドミルによる高回転高送りミーリングが行われている。それに伴い、さらなる高回転化が可能なエアタービンスピンドルが期待されている。その反面、トルクが小さく切削抵抗により回転数が変動・減少し、加工精度や工具摩耗を劣化させることが懸念されている。これに対し著者らは、超精密高速応答圧力レギュレータ(HPQR)によるエアタービンスピンドルの回転数制御加工を行い、回転数減少の抑制効果があることを確認している<sup>1)</sup>。これに基づき本報では、回転数変動による工具摩耗への影響および、摩耗量推定の可能性について実験・検討した結果を報告する。

### 2. 実験装置・条件

NCフライス盤(OKK社:らくらくミル)の主轴に、本研究用に試作した回転数計測システム内蔵エアタービンスピンドル(東芝機械)を取付けた。タービン側流路には回転数制御を行うために超精密高速応答圧力レギュレータを挿入し、DSPを用いて加工中の回転数を制御した。

実験条件を表1に示す。この条件により実験を行い、逃げ面・すくい面摩耗を加工機上で計測した。

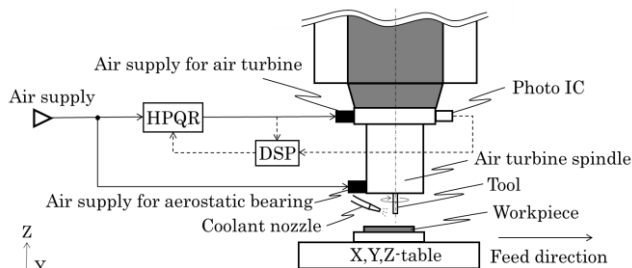


Fig.1 Schema of experimental apparatus

Table1 Experimental conditions

Work material	SKD61(53HRC,27HRC)
Size(L×W×H)	300×150×30 [mm]
Lubricated condition	Dry,Semi-Dry
Type of milling	Down cut
Spindle speed $N$	40,000 [min <sup>-1</sup> ]
Axial depth of cut $a_a$	0.2 [mm]
Pick feed $P_f$	0.1 [mm]
Feed rate $f$	2000 [mm/min]
Tool	Ball endmill
Tool radius $R$	1 [mm]
Number of tooth $Z$	2
Feed per tooth $f_z$	25 [ $\mu$ m]
Overhang of Ball endmill	25 [mm]

### 3. 切削距離による工具摩耗への影響

#### 3.1 Dry 域加工

嶽岡らの結果<sup>2)</sup>を参考にし、工具摩耗が進行しやすくするため、高周波焼入れを行ったSKD61(53HRC)をDry加工した。この際の切削距離による最大逃げ面摩耗幅(以下、VBmax)への影響を図2に示す。この結果から、

- 1) Ball bearing, Air bearing において嶽岡らの結果と類似していること
- 2) エアタービンスピンドルの工具摩耗の進行は他のスピンドルと差がないこと
- 3) 制御の有無による顕著な差はないこと

がわかる。また、工具摩耗を観察したところ240m切削した時点でチゼル部などにチッピングが発生していた。これは加工時の切りくず巻き込みや急激な温度変化、力の変化などによるものと考えられ、これが摩耗促進に影響している可能性があり、それを抑えた実験も必要であると考えられる。

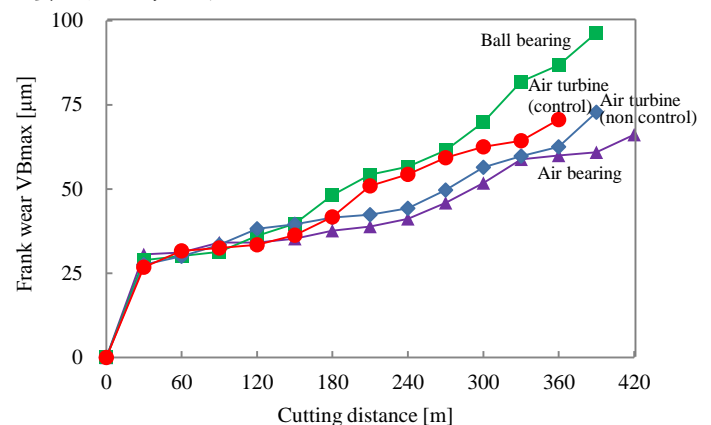


Fig.2 Relationship between cutting distance and VBmax

#### 3.2 Semi-Dry 域加工

切りくず巻き込みを防止するため、工具の送り方向の近くに加工液噴出用ノズルを設置し、Semi-Dry加工を行った。さらに、安定した加工を行いやすくするため、工作物に焼入れをしないSKD61(27HRC)を用いた。表2に、回転数制御エアタービンスピンドル使用時の各切削距離における工具摩耗写真を示す。図3に切削距離によるVBmaxへの影響を示す。これらの結果から、

- 1) 安定的に摩耗が進行していること
- 2) Semi-Dry加工によりチッピングが抑制されたこと
- 3) エアタービンスピンドルの工具摩耗の進行は他のスピンドルと差がないこと
- 4) 回転数制御の有無による工具摩耗進行の差はないこと

が確認された。また、非制御では計測結果から算出した一刃当たりの送り量が、工作物に工具が入った直後と工具が出る直前では 6 [ $\mu\text{m}$ ] 変わっていたのに対し、回転数制御では変わっていなかった。さらに、最大高さ粗さ  $R_z$  は非制御では 3.6 [ $\mu\text{m}$ ] であるのに対し、回転数制御をすることで 2.7 [ $\mu\text{m}$ ] に向上した。これらの結果から、安定した工具摩耗進行状態では回転数変動の工具摩耗への影響はないといえる。

#### 4. 工具摩耗と供給圧の相関関係

超精密高速応答圧力レギュレータは、回転数の減少量や外乱に応じて供給空気圧を調節し、加工中の回転数減少を 2% 以下に抑制することができる。回転数 40,000 $\text{min}^{-1}$  における実験結果より、工具摩耗と供給圧の相関が強いことが予想された。そこで、複数の回転数において供給圧と工具摩耗に相関があるかを検討した。図 4 に切削距離による工具摩耗への影響を、図 5 には切削距離と切削距離 30m ごとの平均供給圧の関係を示す。これらより、回転数 40,000 $\text{min}^{-1}$ 、30,000 $\text{min}^{-1}$ 、20,000 $\text{min}^{-1}$  のとき工具摩耗と供給圧の相関係数を算出すると、それぞれ 0.94, 0.92, 0.97 であった。このことから、回転数制御において加工中の供給圧の変化から、工具摩耗量推定ができる可能性が高いと考えられる。なお、回転数 20,000 $\text{min}^{-1}$  では回転数制御をしない場合、切削距離 120m において回転数が約 15,000 $\text{min}^{-1}$  減少し、加工困難となった。これに対し、回転数制御により低速であっても回転数を維持できている。以上より、回転数制御をすることで、粗加工、仕上げ加工どちらにもエアタービンスピンドルを用いたエンドミル加工が対応できると考えられる。

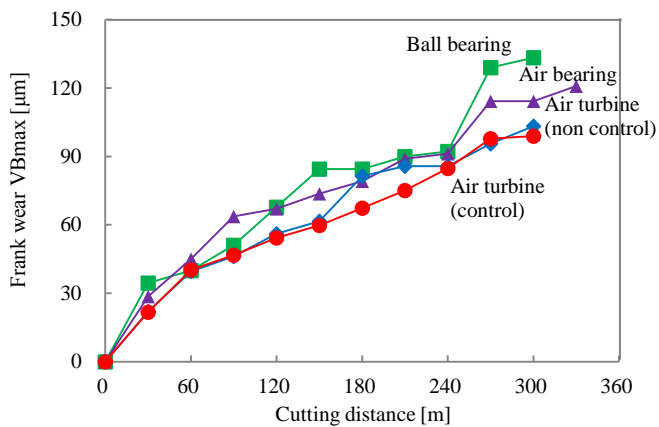


Fig.3 Relationship between cutting distance and VBmax

Table2 Comparison of VBmax by airturbine spindle (40,000 $\text{min}^{-1}$ )

Cutting distance	0m	150m	300m
Dry			
Semi-Dry			

Table3 Comparison of VBmax by airturbine spindle

Cutting distance	20,000 $\text{min}^{-1}$	30,000 $\text{min}^{-1}$	40,000 $\text{min}^{-1}$
300m			

#### 5. 結言

本研究の範囲内において以下の結論を得た。

- (1) Semi-Dry 加工により安定的な工具摩耗を実現した。
- (2) 安定した工具摩耗進行状態では回転数変動による工具摩耗進行の差はない。
- (3) 供給圧から加工中の工具摩耗量を推定できる可能性が高い。
- (4) 回転数を制御することにより、エアタービンスピンドルを用いて粗加工、仕上げ加工のどちらにも対応できる可能性がある。

#### 参考文献

- 1) T.Kato et al. ; JFPS International Journal of Fluid Power System Vol.7, No.1 pp.9-15 (2012)
- 2) 塚本他 ; 2013 年度精密工学会九州支部第 14 回学生研究発表会講演論文集, p.124
- 3) 嶽岡他 ; 精密工学会誌, Vol.65, No.2 pp.209-213 (1999)

#### 【謝辞】

本研究を行うにあたり、富山県立大学前田教授、本学の久田技術職員、勝河技術職員、本学生の塚本氏、森山氏、丸木氏、試供機材をご提供していただいた東芝機械の田中克敏様に厚くお礼申し上げます。

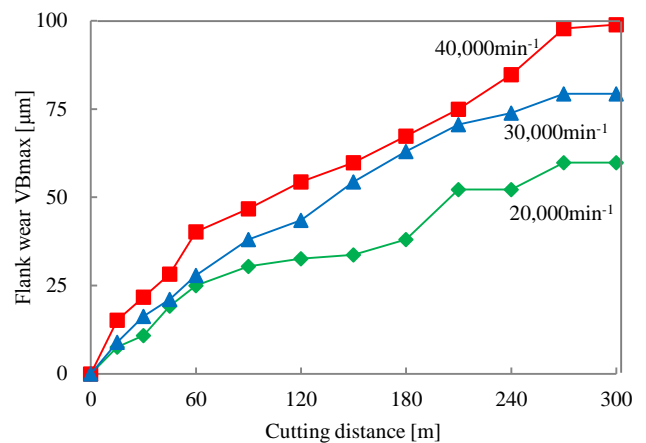


Fig.4 Relationship between cutting distance and VBmax

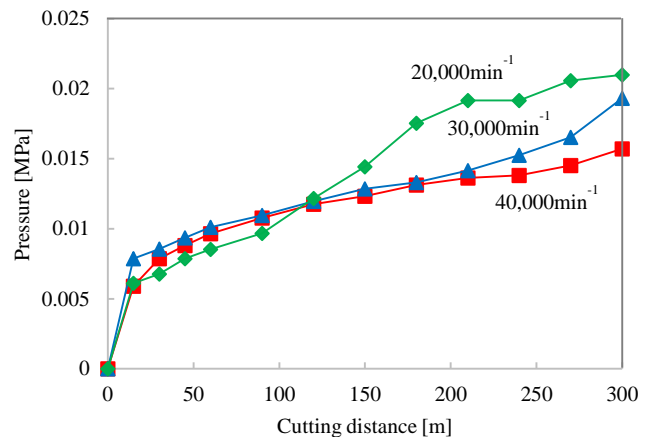


Fig.5 Influence of cutting distance on supply pressure