

エアタービンスピンドルの回転数制御と工具損耗推定方法

加藤友規*

Rotation Control of Air Turbine Spindle and Tool Wear Estimation

Tomonori KATO*

In this article, a disturbance-compensating and energy-saving rotation control method of an air turbine spindle is explained. The method utilizes rotation feedback control with disturbance force observer. In order to realize quick supply pressure control, a high precision quick response pneumatic pressure regulator (HPR), which has been developed by the author and his group is used. In a former research, the superiority of the method is explained by experimental results using an air power meter, which is a device to evaluate the energy consumption of pneumatically driven elements. In this article, by applying the rotation control method to milling experiment, an in-process tool wear estimation method is proposed. The possibility of the proposed method is shown with some experimental results.

Key Words : Pneumatics, Air turbine spindle, Rotation control, Tool wear estimation

1. はじめに

超精密非球面加工機などの超精密加工機械において、高精度・高速対応・低摩擦・低振動などの優れた特性を有する静圧空気軸受式のエアタービンスピンドルが広く使用されている。著者らの研究室では、気体用超精密高速応答圧力レギュレータ (HPR)¹⁾ を供給空気の制御に用いることで、エアタービンスピンドルの回転数を高速・安定的に制御することと、省エネルギー化を実現することを目的として研究を進めている。さらに、本方法を切削加工に適用することで、工具の逃げ面に生じる損耗をインプロセスにおいて推定する方法を考案し、検証を行っている。

2. エアタービンスピンドルの回転数制御

従来、エアタービンスピンドルの回転数を計測・制御することは困難であった。そこで、切削加工時に切り屑や切削油の影響を受けずに回転数 N を安定的に計測するため、非接触方式の回転計をハウジング内に内蔵したエアタービンスピンドルを設計・製作した (Fig.1)。このエアタービンスピンドルの制御系の構成を Fig.2 に、制御ブロック線図を Fig.3 に示す。エアタービンへの供給圧 P の調節には HPR を使用し、消費エネルギーはエアパワーメータ (APM)²⁾ によって測定される。制御系において、回転数 N の計測値はフィードバックされ PI 制御されるほか、回転数 N と供給圧 P から外乱推定オブザーバにより、スピンドル先端に生じる外力が推定され補償される。これまでの研究により、本制御方法を用いることで、回転数の整定が従来よりも 5 倍程度早く、時定数で約 1.3 秒であることを確認している³⁾。

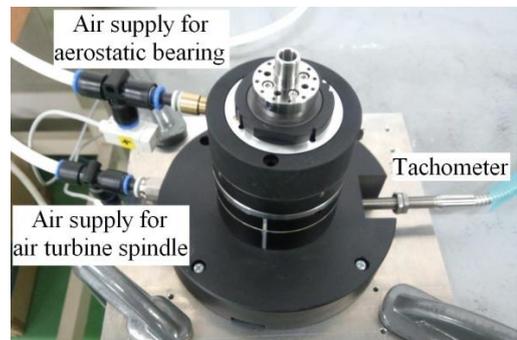


Fig.1 Photograph of developed air turbine spindle

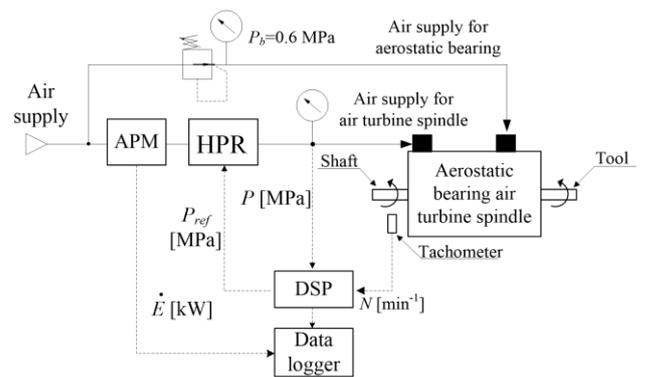


Fig.2 Configuration of proposed rotation control system

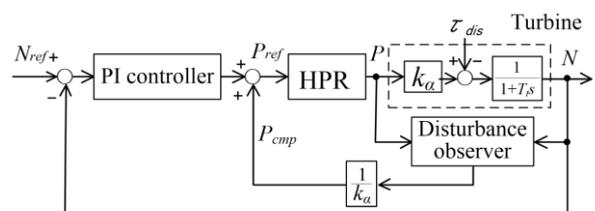


Fig.3 Block diagram of proposed rotation control system

* 福岡工業大学工学部知能機械工学科
(〒811-0295 福岡県福岡市東区和白東 3-30-1)
(E-mail: t-kato@fit.ac.jp)
* Fukuoka Institute of Technology

3. 切削加工実験と工具損耗に関する考察

前述のエアタービンスピンドルの制御方法を用いて、超硬ボールエンドミルで合金工具鋼（SKD61）を切削加工する実験を行った。実験の様子を Fig.4 に、実験の際の工具経路を Fig.5 に、実験条件を Table1 に示す。

実験結果について、観察された工具逃げ面摩耗の写真（例）を Fig.6 に、切削距離と工具逃げ面摩耗量の関係を Fig.7 に、HPR からエアタービンへの供給圧力と工具逃げ面摩耗量の関係と相関を Fig.8 にそれぞれ示す。これらの実験結果より、提案方法は切削加工において有効であることと、HPR からエアタービンへの供給圧力と工具逃げ面の摩耗の推定量には高い相関があることが明らかとなった⁴⁾。

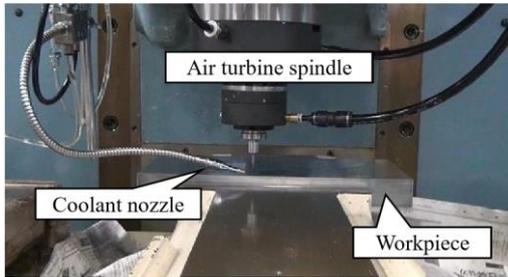


Fig.4 Milling experiment

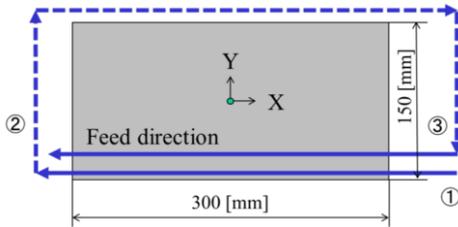


Fig.5 Tool trajectory in milling experiment

Table 1 Specification in milling experiment

Tool	Ball end mill	
Tool radius [mm]	1	
Number of cutting tooth	2	
Size (L×W×H) [mm]	300×150×30	
Machine tool	Rakuraku-mill 3V	
Lubricated condition	Semi-dry	
Type of milling	Down cut	
Rotation speed N [min^{-1}]	20,000	
Axial depth of cut a_a [mm]	0.2	0.15
Pick feed P_f [mm]	0.3	0.1
Feed rate f [mm/min]	2,000	



Fig.6 Observed flank wear in milling experiment

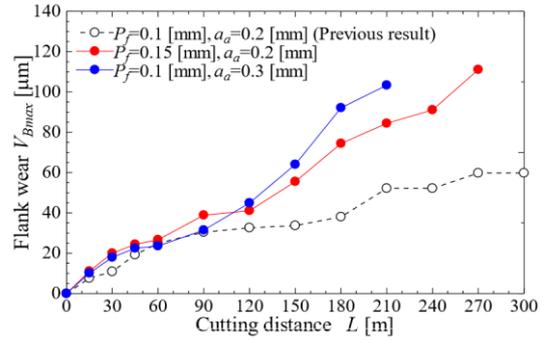


Fig.7 Experimental results (Cutting distance and Flank wear)

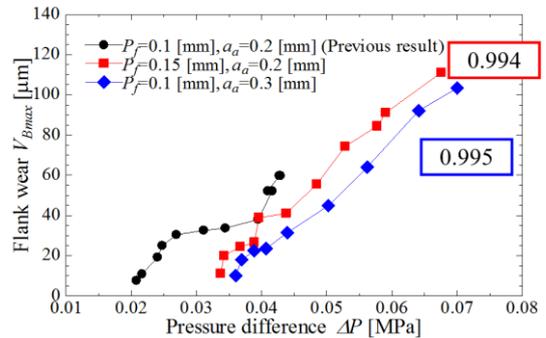


Fig.8 Experimental results (Pressure difference and Flank wear)

これらの結果より、提案方法による切削加工において、HPR による供給圧力を測定することで工具寿命を推定できる可能性を示した。

参考文献

- 川嶋健嗣, 加藤友規, 山崎俊平, 香川利春: 気体用の超精密高速応答圧力レギュレータの開発, 日本フルードパワーシステム学会論文集, 38-2, 17/22 (2007)
- 小林敏也: 圧縮空気のエネルギー測定装置, 油空圧技術 (日本工業出版), Vol.52, No.11, 82/87, (2013)
- Tomonori Kato, Genki Higashijima, Takanori Yazawa, Tatsuki Otsubo, Katsutoshi Tanaka: Proposal of Disturbance-Compensating and Energy-Saving Control Method of Air Turbine Spindle and Evaluation of Its Energy Consumption, Precision Engineering, Vol.43, 439/447 (2016)
- Yusuke Okamoto, Takanori Yazawa, Tomonori Kato, Kazuya Nishida, Shinya Moriyama, Yukio Maeda, Tatsuki Otsubo: Study on Tool Wear In-process Estimation for Ball End Mill using Rotation Control Air Turbine Spindle, Key Engineering Materials, Vol.749, 94/100 (2017)