

공기베어링주축의 고속밀링에서 회전오차의 영향 (Effects on the Rotational Error Motion of Air Bearing Spindle in High Speed Milling)

안선일*, 이종렬(부산대 원), 이득우(부산대 ERC/NSDM)
Sun Il Ahn, Jong Ryul Lee(Grauated School, Pusan Nat'l Univ.)
Deug Woo Lee(Pusan Nat'l Univ.)

Abstract

In this paper, the machining characteristics of high speed ball end milling affected by the rotational error of high speed spindle using air bearing are investigated. The error motions of a spindle have generally influenced on the surface roughness, the form accuracy, the tool life, etc. in end milling. Experiments are carried out over a wide range of rotational speeds(10,000-50,000rpm). The rotational errors of the spindle are measured by the gap sensor mounted on the spindle shaft at various cutting speeds. The relations between the surface roughness and the spindle error motion are presented. Results show that the rotational accuracy of the spindle directly affects the surface roughness of the machined surface.

Key Words : High speed machining, Air bearing spindle, Spindle error motion, Surface roughness

1. 서 론

고속가공은 금형산업을 포함한 기계가공과 항공산업을 포함한 수많은 다른 산업에서 생산성 향상과 가공품질개선을 위해 널리 수행되고 있다.

많은 저자들^{[1][2][3]}이 고속가공을 통해서 생산성의 향상과 가공품질의 개선이 동시에 가능하다는 것을 보였다. 이러한 장점 때문에 공작기계의 주축속도는 기술의 발달에 따라 점점 더 빨라지고

있으며 훨씬 더 높은 속도에서 가공을 수행하기 위해 활발한 연구가 진행되고 있다.

비록 외부적으로 가압되는 공기주축의 부하능력과 베어링강성이 다른 종류의 베어링과 비교하여 상당히 낮지만 공기베어링을 사용하는 공기주축은 매우 적은 마찰손실, 낮은 열전도, 공기의 감쇠 효과와 같은 특성 때문에 고속가공을 위한 초고속 공작기계와 높은 속도와 높은 정밀도를 필요로 하는 시스템에 사용되어지고 있다.

E. Takeoka et.al^[4]은 고속밀링가공에서 공기베어링을 사용한 경우의 공구수명과 표면거칠기가 볼베어링을 사용한 경우보다 상대적으로 더 좋다고 말한다.

일반적으로 볼엔드밀링에서는 주축의 회전속도에 따른 회전정밀도가 가공정밀도에 직접 영향을 미친다. 이 회전정밀도에 대한 회전속도의 효과는 저속영역에서 보다 고속영역에서 훨씬 더 크게 작용한다. Kim. B. K^[5]은 볼베어링 주축의 고속가공에서 회전정밀도에 따른 가공 특성을 조사하였다.

이 논문에서는 초고속 공기베어링 주축이 실험에 사용되어진다. 공기베어링 주축에서 속도가 증가함에 따라 그 증가된 속도는 주축의 동강성을 변화시키며 그 속도에서의 회전오차에 영향을 준다. 그래서 공기베어링 주축을 사용한 고속 볼엔드밀링의 가공특성이 다양한 속도에서 조사되어진다. 또한 표면거칠기와 회전오차 사이의 관계가 조사되어진다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험 장치를 보인다. 실험은 공기베어링 주축이 장착된 초고속 NC 밀링기에서 수행되어 졌다. 주축의 회전오차는 축의 선단부에 설치된 용량형 변위센서(분해능 2.5nm)에 의한 측정되어지고, 이 측정된 신호는 오실로스코프(Lecroy LT224)에 20ms의 샘플링 타임으로 저장된다. 그리고 표면거칠기는 피크피드 방향으로 측정되어졌다.



Fig. 1 Cutting Experiment

실험은 건식에서 하향밀링으로, 회전수 10,000 rpm부터 50,000rpm까지 5,000rpm씩 증가시키면서 수행하였다. 그리고 이 주축시스템의 고유진동수가 약 20,000rpm이기 때문에 18,000rpm과 22,000rpm에서도 실험이 이루어졌다. 공구는 $\phi 6$ TiAlN 코팅된 초경 볼엔드밀을 사용하여 알루미늄(AL6061)을 건식으로 절삭하였다. Table. 1은 절삭조건을 나타낸다.

Table. 1 Cutting Condition

Workpiece	Al6061
Tool	Carbide ball end mill ($\phi 6$, 2flute, coated with TiAlN)
Operation	Down milling
Feed Rate	0.025mm/rev
Spindle Speed	104m/min(10,000rpm) ~ 520m/min(50,000rpm)
Pick Feed	0.5mm
Depth of cut	0.5mm
Cutting Environment	Dry

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 각각의 회전수에서 피드와 피크피드 방향에서 축의 회전오차를 나타낸다.

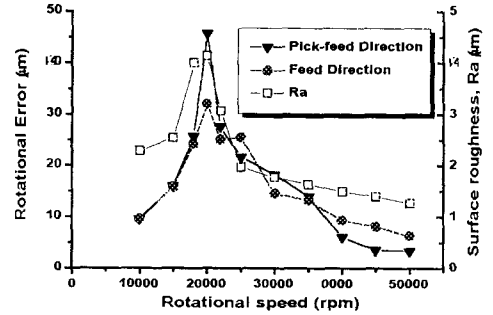
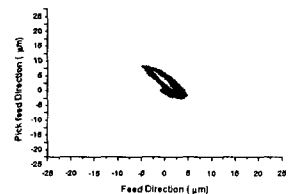


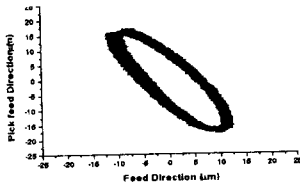
Fig. 2 Rotational error in each rotational speed and surface roughness (R_a)

표면거칠기에 대한 회전오차의 효과를 조사하기 위해, 회전오차는 절삭동안 측정되고 분석되어 졌다. 회전속도가 증가함에 따라 회전오차는 20,000rpm까지 급격하게 증가하다가, 그 이후속도에서 급격하게 감소하였다. 회전속도 20,000rpm에서 피드와 피크피드 방향의 운동오차는 $32.1\mu\text{m}$ 과 $45.7\mu\text{m}$ 인데 비해 50,000rpm에서는 피드와 피크피드 방향에서 $6.4\mu\text{m}$ 와 $3.4\mu\text{m}$ 이었다. 두 경우의 운동오차 차이는 약 $25.7\mu\text{m}$ 과 $39.3\mu\text{m}$ 이었다. 즉 이 차이는 Fig.3에 보이는 것처럼 표면거칠기에 바로 영향을 준다. 그래서 공기베어링주축을 사용하는 고속가공에서 가공정밀도를 향상시키기 위해서는 작은 회전오차를 가지는 고속영역의 가공조건이 선택되어야 한다.

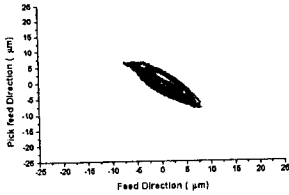
Fig. 2는 가공중에 축의 회전형태를 표현한 리사쥬도형을 나타낸다.



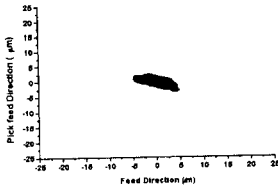
(a) 10,000rpm



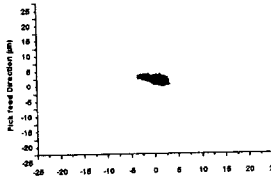
(b) 20,000rpm



(c) 30,000rpm



(d) 40,000rpm



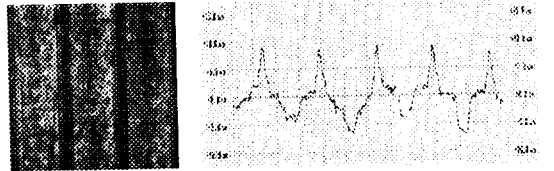
(b) 50,000rpm

Fig. 3 Lissajous figure

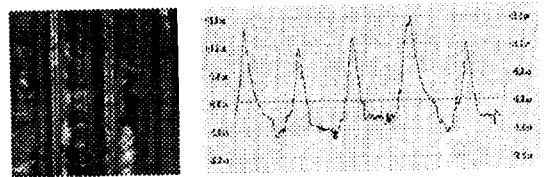
그림에서 보듯이 축의 회전형태 역시 회전오차와 같이 20,000 rpm에서 불안정한 타원형의 회전을 보이다가 회전속도가 점점 높아질수록 안정된 점의 형태가 되고 있다. 즉 50,000rpm에서는 공작물을 가공하는데 거의 저항을 받지 않는 공회전과 같은 형태로 회전하고 있다.

Fig. 4은 50배 확대된 가공된 표면과 그 표면 거칠기를 나타낸다. 10,000rpm(최대절삭속도, 104 m/min)에서 표면거칠기 Ra는 2.29 μ m이고, 그 가공된 표면은 절삭방향으로 공구에 의해 굽힌 형상을 가진다. 이 실험에서 가장 나쁜 회전 오차의 부적절한 절삭조건인 20,000rpm(208m/min)에서는 표면거칠기 Ra가 4.13 μ m이고, 그 표면은 크게 손

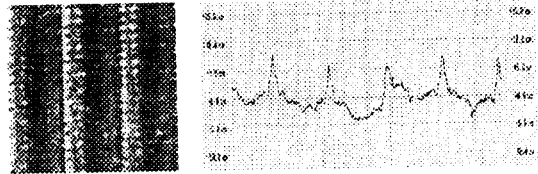
상된 불규칙적인 형상을 가진다. 그러나 30,000rpm부터 절삭속도가 증가함에 따라, 공작물이 적절하게 가공되어 표면거칠기는 점차로 더 좋은 값을 가지게 되었다. 이 결과는 상대적으로 더 높은 관성력과 강성을 가지는 고속회전이 더 좋은 표면을 제공한다는 것을 보인다.



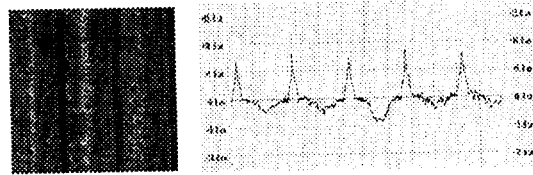
(a) 104m/min(10,000rpm) : Ra=2.29 μ m



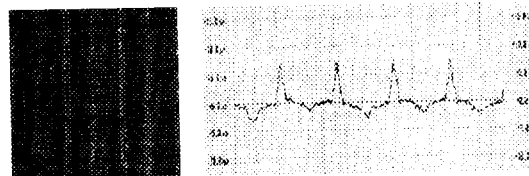
(b) 208m/min(20,000rpm) : Ra=4.13 μ m



(c) 312m/min(30,000rpm) : Ra=1.77 μ m



(d) 416m/min(40,000rpm) : Ra=1.49 μ m



(e) 520m/min(50,000rpm) : Ra=1.27 μ m

Fig. 4 Machined surfaces and surface roughness

모든 회전속도에서 회전오차, 회전형태와 가공정밀도는 유사한 형태를 가진다. 즉 더 높은 회전속도 영역이 낮은 회전속도 영역보다 더 좋은 표면품질을 가진다.

4. 결 론

이 논문은 다양한 절삭속도에서 공기베어링 주축을 사용한 고속 볼엔드밀링의 가공특성을 제시하였다. 실험결과 회전속도가 증가함에 따라 회전관성력이 증가하기 때문에 높은 회전속도 영역에서의 가공품질이 낮은 회전속도 영역에서의 가공품질보다 더 좋음을 알 수 있다. 그리고 공기베어링 주축을 사용하는 고속가공에서는 주축의 회전오차가 바로 가공된 표면의 거칠기에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- 1) R. C. Dewes, "A review of ultra high speed milling of hardened steels", Journal of materials processing technology, pp.1~14, 1996
- 2) T. Raj Aggarwal, "General theory and its application in the high speed milling of aluminum", Handbook of high speed machining technology, pp.197~239, 1985
- 3) C. Blawit, "AMB-Spindles for high speed machining of grey cast iron", French and German conference on high speed machining, pp.228~239, 1997
- 4) E. Takeoka, T. Miyaguchi, H. Iwabe, " Comparison of high speed milling machine with air bearing spindle and that with ball bearing spindle", Journal of precision engineering, Vol.65, No. 2, pp.209~213, 1999
- 5) Kim. B. G, "A study on evaluation of

machinability using cutter run-out in ball end milling", M. A. Thesis. Pusan national university, pp12~14, 1999

- 6) Lee. J. B, "The study on active control of externally pressurized air bearings", Ph. D. Thesis. Korea advanced institute of science and technology, pp.1~12, 1997