

공기 정압 스피들을 이용한 고속 볼엔드밀링 가공특성 평가

이종렬*, 안선일, 안지훈(부산대 원), 이득우(부산대 ERC/NSDM)

A Characteristic of High Speed Ball End Milling Machining using The Air-Spindle

Jong Ryul Lee, Sun Il Ahn, J. H. AHN(Grauated School, Pusan Nat'l Univ.)

Deug Woo Lee(Pusan Nat'l Univ.)

ABSTRACT

Generally, the machining accuracy in ball end milling directly depends on the rotational accuracy affected by the spindle speeds. The effects of spindle speeds for rotational accuracy in the high speed regions are more dominant than those in the low speed regions.

This paper will investigate effects that the increased speed affects on the rotational error according to the increase of a rotational speed and machining characteristics of the high speed ball-end milling in various rotational speeds and on various materials by using the high speed air-bearing spindle.

Key words- rotational accuracy(회전정도), rotational error(회전오차)

1. 서 론

고속가공이란 소재 제거율(Material Removal Rate)을 크게 향상시킴으로써 생산비용을 절감시키고 생산시간을 단축시키는 가공기술로써 금형산업을 포함한 기계가공과 항공산업을 포함한 수많은 다른 산업에서 생산성 향상과 가공품질개선을 위해 널리 수행되고 있다.

다음과 같은 효과를 고속가공을 통하여 기대할 수 있다.

- ① 고속회전에 의한 고속이송이 가능하며, 가공시간이 단축된다.
- ② 곡면가공을 위한 미소피크피드, 미소 직선 분할이 적용 가능하고 제품을 고정도로 할 수 있다.
- ③ 1날당의 미소이송이 가능하여 절삭면 거칠기의 향상과 가공시간의 단축이 동시에 이루어진다.^{1,2,5}

이러한 장점이 있는 고속가공을 수행하기 위해서 본 연구에서는 공기주축을 이용하여 실험을 수행하였다. 공기주축의 경우 외부적으로 공기에 의해 가압되는 주축이어서 부하능력과 베어링강성이 다른 종류의 베어링과 비교하여 상당히 낮지만 공기베어링을 사용하는 공기주축은 매우 적은 마찰손실, 낮은 열전도, 공기의 감쇠효과와 같은 특성 때문에 고속가공을 위한 초고속 공작기계와 높은 속도와 높은 정밀도를 필요로 하는 시스템에 사용되어지고 있다. 또한 고속밀링 가공에서 공기베어링을 사용한 경우의 공구수명과 표면거칠기가 볼베어링을 사용한 경우보다 상대적으로 더 좋다고 말하여진다.¹

그리고 산업이 발전함에 따라 고정밀주축의 고속회전에 따른 형상정도, 회전정밀도에 대한 요구가

엄격해지고 있으며 부품의 고정밀 가공을 위해서는 공작물의 가공정도에 가장 큰 영향을 미치는 주축의 고정도화가 필요하다. 공작기계의 고속화, 고정밀화를 추구하는 과정에서 최종 공작물의 가공오차를 줄이는 것은 매우 중요하다.

특히 주축의 회전정밀도는 공작물 또는 공구의 회전정밀도에 그대로 증폭되어 가공물의 형상정도에 직접 영향을 미치는 가장 중요한 인자의 하나이다. 따라서 주축에 의한 가공정도를 예측 보완하기 위한 수단으로 회전정밀도를 측정, 평가하여야 한다.⁷ 일반적으로 볼엔드밀링에서는 주축의 회전속도에 따른 회전정밀도가 가공정밀도에 직접 영향을 미친다. 이 회전정밀도에 대한 회전속도의 효과는 저속영역에서 보다 고속영역에서 훨씬 더 크게 작용한다.⁸

본 논문에서는 고속 공기베어링 주축을 실험에 사용하여 회전속도가 증가함에 따라 그 증가된 속도가 회전오차에 어떠한 영향을 주며 또한 공기베어링 주축을 사용한 고속 볼엔드밀링의 가공특성이 다양한 회전속도에 따라서 어떻게 변화하는지를 조사하고자 한다.

2. FC25의 가공성 평가

Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험 장치를 보인다. 실험은 공기베어링 주축이 장착된 초고속 NC밀링기에서 수행되어 졌다. 주축의 회전오차는 축의 선단부에 설치된 용량형 변위센서(분해능 2.5nm)에 의한 측정되어지고, 이 측정된 신호는 오실로스코프(Lecroy LT224)에 0.002ms의 샘플링 타임으로 저장된다. 그리고 표면거칠기는 피크피드방향으로 측정되어졌다.

2.1 실험장치 및 방법

실험에 사용된 공기주축의 경우 고속 영역에서 사용하도록 제작되었고, 본 실험에 사용된 공기주축은 20,000rpm 이하의 회전속도에서는 적절한 가공이 이루어지지 않았으므로 주축의 가공실험에서는 10,000rpm부터 50,000rpm까지 5,000 rpm 단위로 실험을 행하였다.

그리고 본 실험에 사용된 공기주축시스템의 주축 가공에서 피크피드와 절입이 미치는 효과를 파악하기 위하여 피크피드를 0.2mm, 0.3mm, 0.4mm로 절입을 0.3mm, 0.4mm로 증가시키면서 실험을 수행하였

다.



Fig. 1 Cutting Experiment

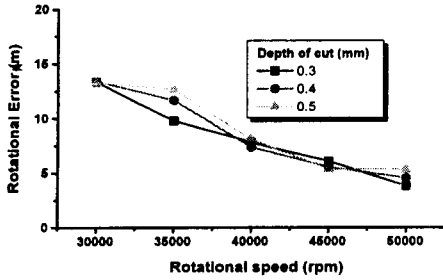
공구는 R3 TiAlN 코팅된 초경 볼엔드밀을 사용하여 건식에서 하향밀링을 하였다. Table 1은 절삭조건을 나타낸다.

Table. 1 Cutting Condition

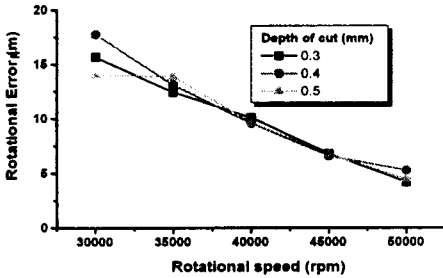
Workpiece	FC25
Tool	Carbide ball end mill (R3, 2flute, coated with TiAlN)
Operation	Down milling
Feed Rate	0.025mm/rev
Spindle Speed	30,000rpm ~ 50,000rpm
Pick Feed	0.2mm, 0.3mm, 0.4mm
Depth of cut	0.3mm, 0.4mm, 0.5mm
Cutting Environment	Dry

2.2 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 피크피드가 일정할 때 절입의 변화에 따른 회전오차를 나타내고, Fig. 3은 절입이 일정할 때 피크피드의 변화에 따른 회전오차의 변화를 나타낸다.

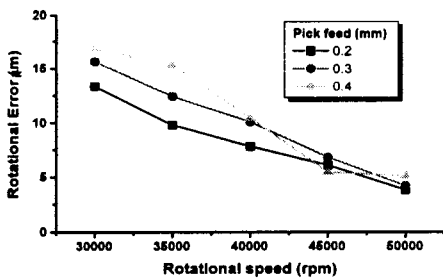


(a) Pick feed = 0.2mm

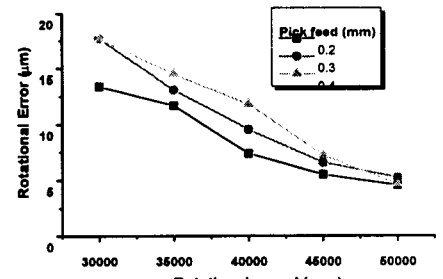


(b) Pick feed = 0.3mm

Fig. 2 Rotational error according to depth of cut



(a) Depth of cut = 0.3mm



(b) Depth of cut = 0.4mm

Fig. 3 Rotational error according to pick feed

회전속도가 증가할수록 회전오차가 점점 작아짐으로써 회전 안정성을 보여주는 주축계의 특성에 따라 가공성도 같은 경향을 보여주고 있음알 확인 할 수 있었다. 그 결과 피삭재의 가공 정밀도를 검사해 봄으로써 Fig.4와 같은 결과치를 획득할 수 있었다.

Fig. 4는 회전속도의 변화에 따른 피크피드방향의 표면거칠기를 나타낸다. 이 결과 역시 회전속도가 증가할수록 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있었다. 한가지 예로서 피크피드 0.3mm, 절입 0.5mm일 때 30,000rpm과 50,000rpm과의 회전오차량 차이

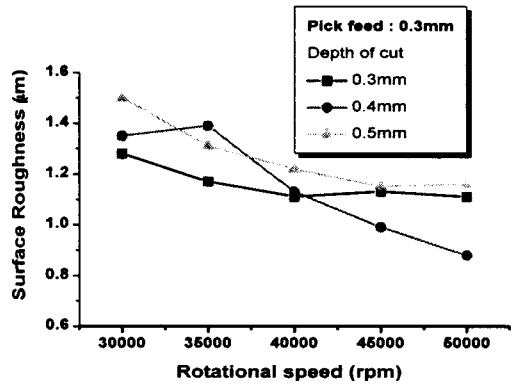


Fig. 4 Surface roughness(Ra)

는 약 9μm정도인데 표면거칠기에 약 0.34μm 차이를 보이고 있다. 즉, 회전오차량이 표면거칠기에 직접적으로 영향을 줄을 알 수 있다.

이상의 주축의 절삭실험 결과에서 보면 모든 피크피드와 절입에서 회전속도가 증가함에 따라 회전오차와 표면거칠기는 유사한 형태를 가짐을 알 수 있다. 즉 상대적으로 더 높은 회전관성력과 강성을 가지는 높은 회전속도 영역이 낮은 회전속도 영역보다 더 좋은 회전오차와 표면품질을 제공한다는 것을 알 수 있다.

3. 결론

공기주축을 이용한 FC25의 고속엔드밀링 가공특성에 대한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 다양한 절삭속도와 절삭조건에서 공기베어링 주축의 고속가공특성을 제시하였다.
- 2) 공기베어링 주축을 사용하는 고속가공에서는 주축의 회전오차가 바로 가공된 표면의 거칠기에

영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

- 3) FC25의 가공 실험결과 모든 회전속도에서 회전 오차, 회전형태와 표면품질이 유사한 경향을 보였다. 즉 더 높은 회전속도 영역이 낮은 회전속도 영역보다 더 좋은 회전오차, 회전형태, 표면 품질을 가짐을 알 수 있었다.
- 4) 공기주축을 이용한 고속엔드밀링가공에서 회전속도가 증가함에 따라 회전관성력과 강성의 증가로 높은 회전속도 영역에서의 가공품질이 낮은 회전속도 영역에서의 가공품질보다 더 좋을 수 있다.

후 기

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

참 고 문 헌

1. Etsuo Takeoka, Hirosi Saitou, "High speed end milling of hardened steel", 일본정밀공학회지 Vol. 62, No. 1, pp. 115-119, 1996
2. Ichiro Takahashi, Takeo Nakagawa, "Tool wear characteristics of small diameter ball end mill on ultra high speed milling at 100000min-1 rotation speed", 일본정밀공학회지 Vol. 65, No. 6, pp. 867-870, 1999
3. 上合善一, "氣體軸受(設計から製作まで)", 1984
4. Jeong-Du Kim and Youn-Hee Kang, "High-speed machining of aluminium using diamond endmills", Int. J. Mach. Vol. 37, No. 8, pp. 1155-1165, 1997
5. T. Nakagawa, "High-speed milling for die and mold making", Proc. of AFDM'99, pp. 11-18, 1999
6. H. Schulz, St. Hock, "High-speed of dies molds cutting conditions and technology", Annals of the CIRP Vol. 44, pp. 35-38, 1995
7. W. A. Kline, R. E. Edvor, "The effect of runout on cutting geometry and forces in end milling", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 23, No. 2/3, pp. 123-140, 1983
8. R. C. Dewes, D. K. Aspinwall, "A review of ultra high speed milling of hardened steels", Journal of Materials Processing Technology 69,

pp. 1-17, 1997

9. S. Smith, J. Tlustý, "Current trends in high-speed machining", Transactions of the ASME, Vol. 119, pp. 664-666, 1997
10. F. Lapujoulade, "Measuring of cutting forces during fast transient periods", French and German Conference on High Speed Machining, pp. 372-376, 1997
11. 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
12. 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