

볼엔드밀 반구가공에서 가공 위치에 따른 절삭성 평가

박희범*, 김석원(부산대 대학원), 이득우(부산대 ERC/NSDM), 김정석(부산대 기계공학부)

A Machinability test on the cutting position in the ball-end milling of hemisphere

H. B. Park, S. W. Kim, D. W. Lee(ERC/NSDM, PNU), J. S. Kim(Mech. Eng. Dept., PNU)

ABSTRACT

In this paper, the test of machinability according to the cutting positions when the ball end milling of hemispheric workpiece is carried out to find the optimum cutting position of free form surface die. Tool runout, cutting force, and chip form are measured. The results show that the optimum cutting condition to get the constant feed per tooth is the inclined angle of 40degree of workpiece.

Key Words : Optimum cutting angle (최적 경사각), Runout (회전오차), Hemispheric workpiece (반구형상 공작물)

1. 서론

CNC 공작기계의 발달과 복잡한 형상 제품에 대한 요구의 증가에 의해 볼엔드밀 가공은 3D의 복잡한 형상이 필요한 항공 산업과 자동차 산업, 금형 산업에 가장 많이 적용되는 가공 방법이다. 볼엔드밀이나 엔드밀 가공은 단속 가공으로 상당량의 진동이 발생하게 된다. 이러한 성분은 직접적으로 표면 형상에 영향을 미치게 된다. (1),(2),(3),(4)

본 연구에서는 공작물과 공구가 접촉하는 경사각과 위상의 변화에 따른 절삭 특성을 파악하기 위해 반구를 제작하여 볼엔드밀 가공 시 발생하는 공구 런아웃과 절삭력을 동시에 측정한다. 그리고, 표면 형상과의 관계를 파악하고, 가공 중 발생하는 칩의 형상 등을 이용하여, 절삭 특성 및 최적의 경사각을 선정한다. 이를 통해 5축 가공기를 이용하여 최적의 경사각을 선정하여 가공하며 일정한 표면 형상을 얻을 수 있을 것이다. (5),(6),(7),(8)

십이 이루는 각으로 설정하였으며 경사각을 20°에서 70° 까지 설정하여 10° 마다 절삭력과 공구의 런아웃을 측정하였다. 원주방향은 (b)와 같이 공구가 360° 회전하며 절삭하는 동안 30° 간격으로 11 지점에서 신호를 획득하였다.

Table 1은 실험조건을 나타내고 있다.

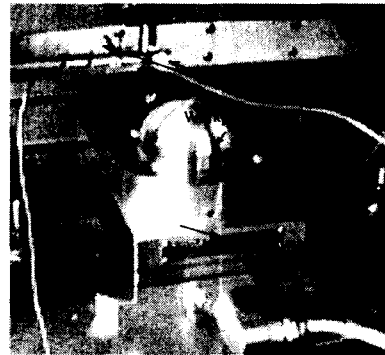


Fig. 1 Experimental set-up

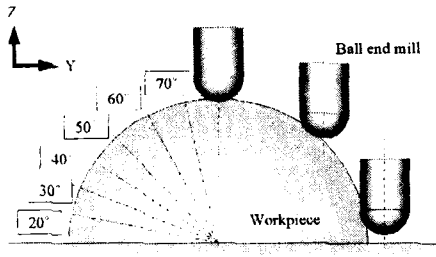
2. 실험장치 및 방법

실험 장치는 반구 형상의 공작물을 제작하여 Fig. 1과 같이 압전형 공구동력계에 공작물을 설치하고 공구의 X축과 Y축에는 와전류식 변위센서를 설치하여 공구 런아웃과 절삭력의 신호를 동시에 획득하였다.

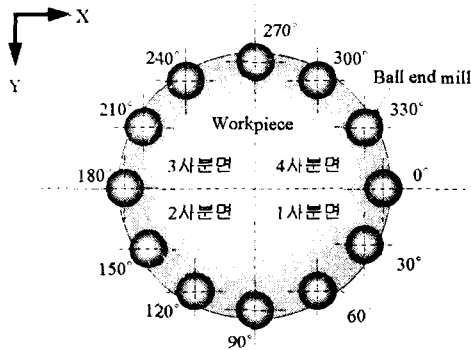
공구경로는 Fig. 2와 같이 반구의 외부에서 내부로 1mm씩 증가시키면서 반구의 원주방향으로 윤곽(contour)가공을 하였고, 공작물과 공구사이의 경사각은 (a)에서처럼 반구의 중심과 볼엔드밀의 중

Table 1 Experimental conditions

Workpiece	STD11(HRC18)
Tool	Ball End mill (R5, TiAlN coated, 2 flutes)
Tool overhang	60mm
Spindle revolution	8,000rpm
Depth of cut	0.3mm
Feed per tooth	0.3mm/tooth
Stepover	1mm
Environment	Dry
Tool path	Contour (inward direction)



(a) Radial direction



(b) Circular direction

Fig. 2 Cutting methods

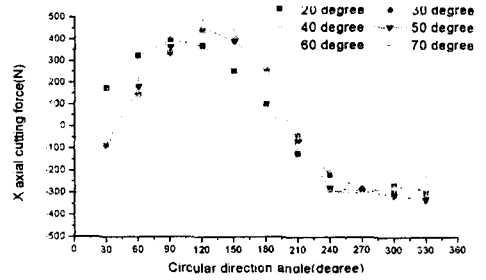
3. 경사각에 따른 공구런아웃과 절삭력

Fig. 3과 Fig. 4는 반구와 볼엔드밀의 중심이 이루는 경사각과 원주방향의 절삭점에 따라 x축과 y축의 절삭력과 공구 런아웃의 신호로서 30° 간격에서 3° 에서 나타나는 신호 중 기준에서 최대 피크값 (Zero-to-Peak)을 평균하여 나타내고 있다.

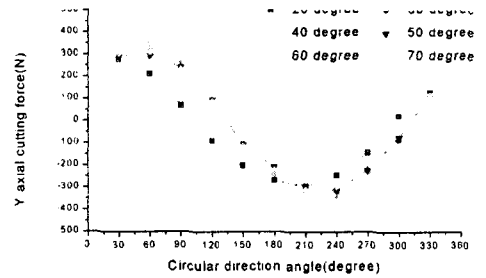
Fig. 5는 Fig. 3과 Fig.4의 x축과 y축의 절삭력과 공구 런아웃의 합을 나타내었다. 신호는 원주 방향에 따라 30° 간격으로 획득한 신호를 나타낸 것이다.

여기서, 경사각의 변화에 따라 원주방향의 x축과 y축의 절삭력과 공구 런아웃이 거의 비슷한 경향을 나타내지만 경사각의 변화에 따라 약간의 차가 발생하고 있다.

Fig. 6은 경사각의 변화에 따라 공구 런아웃과 절삭력을 나타낸 것으로 20° 에서 50° 까지의 경사각에서 절삭력과 공구 런아웃은 다른 경사각에 비해 크기가 거의 일정하게 발생하는 것을 알 수 있다.

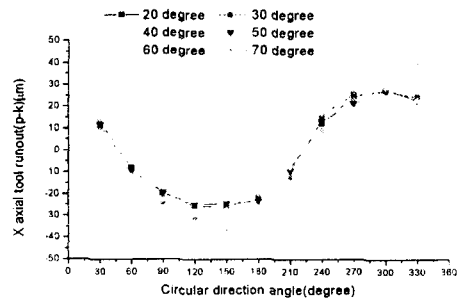


(a) X axial cutting force

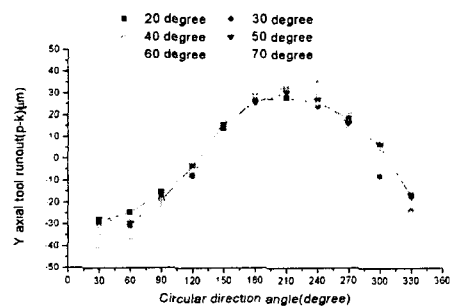


(b) Y axial cutting force

Fig. 3 Cutting force

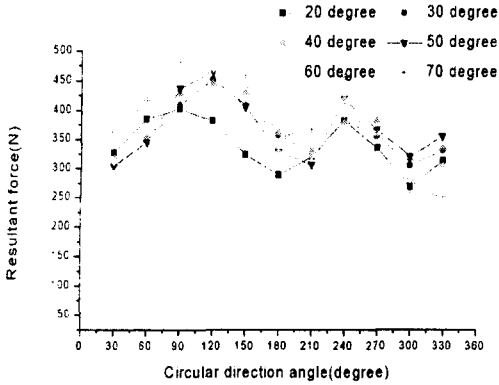


(a) X axial tool runout(p-k)

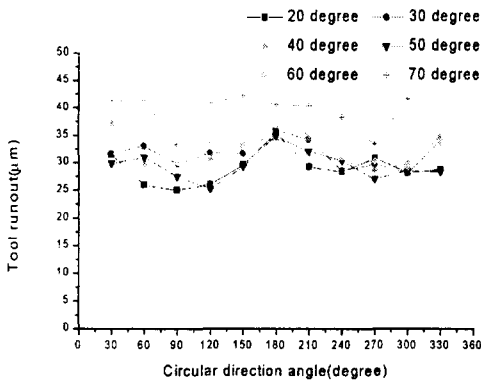


(b) Y axial tool runout(p-k)

Fig. 4 Tool runout



(a) Resultant force



(b) Magnitude of tool runout

Fig. 5 Cutting force and tool runout

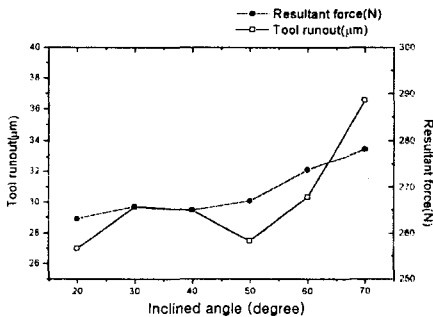


Fig. 6 Cutting force and tool runout

Fig. 7은 경사각에 따른 칩의 형상을 나타낸 것이다. 칩의 형상을 서로 비교하여 보면 40° 이하의 경사각에서는 볼랜드밀 형상의 중심부위보다는 상

대적으로 반경이 큰 절삭날의 부위가 공작물에 접하여 가공이 이루어지므로 다각형 형상의 칩을 볼 수 있다. 50° 이상에서는 볼랜드밀의 반구 위치에 서만 가공이 이루어져 원뿔 모양의 칩의 형상을 볼 수 있음을 알 수 있다. 그리고, 40° 에서 50° 영역 까지 다른 경사각에 비해 칩의 크기가 작음을 알 수 있다.

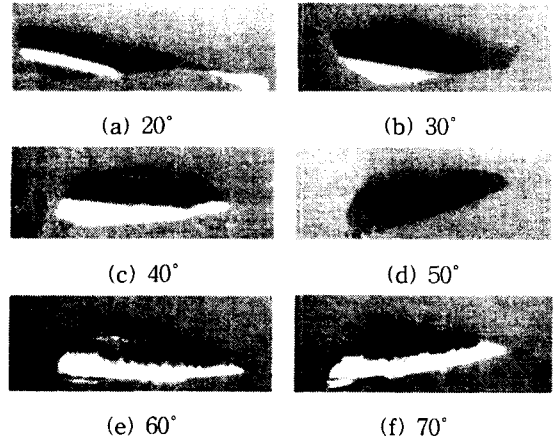


Fig. 7 Chip geometry according to inclined angle

따라서, 5축 가공 등 공구의 경사각을 조정할 수 있는 자유곡면 가공에서 경우 자유 곡면 가공에서 공구와 가공물의 접촉각이 40° 에서 50° 부근으로 일정하게 유지하면 가공정밀도를 향상시킬 수 있을 것이다.

4. 공구런아웃과 표면형상

Fig. 8은 40° 경사각에서 공구 런아웃과 표면 형상과의 관계를 파악하기 위해 360° 을 30° 간격으로 실제 회전 당 이송량을 측정하고 가공 조건 중 1회전 당 이송량이 0.6mm일 때 1회전 당 이송량을 f , 실제 측정된 1회전 당 이송량을 rf 라고 두어 백분율(%)로 표현(1)하여 나타낸 것이다.

$$1\text{회전당 이송폭의 오차율}(\%) = \frac{(f-rf)}{f} \times 100 \quad (1)$$

그림에서 알 수 있듯이 회전 당 이송량의 오차율과 원주 방향에 따른 공구 런아웃의 합을 나타낸 것으로, 공구 런아웃과 회전 당 이송량의 오차율이 반대임을 알 수 있다.

Fig. 9은 경사각에 따른 회전 당 이송량의 변화를 백분율로 나타낸 것으로 앞서의 방법과 같이 수

행하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 원주 방향을 고려하여 보면 회전 당 이송량의 오차율 0을 기준으로 하여 원주 방향에 따라 서로 비교하여 보면 40° 와 50° 에서 거의 일정하게 발생하는 것을 알 수 있다.

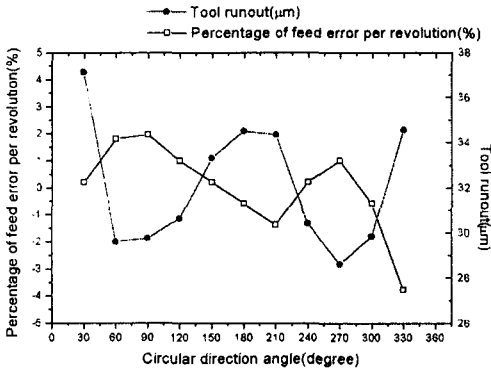


Fig. 8 Feed error per revolution and tool runout at 40°

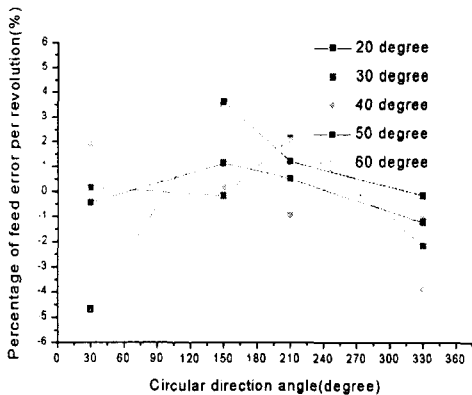


Fig. 9 Feed error per revolution

5. 결론

볼엔드밀 가공에서 공구 런아웃 측정을 통한 반구 가공에서 가공 조건의 변화에 따른 표면 형상에 관한 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 반구 가공에서 원주 방향에 따라 절삭력과 공구 런아웃은 각도마다 다르며, 120°, 240° 부근에서 절삭력이 가장 크게 작용하며, 180° 와 360° (0°)에서 공구 런아웃이 가장 크다.

(2) 절삭력과 공구 런아웃의 크기, 칩의 형상과 회전 당 이송량의 오차율을 비교하며 40° 와 50° 에서 가공하는 것이 최적의 경사각이다.

후기

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

참고문헌

1. W.A. Kline and R.E. Devor, "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
2. Minyang Yang and Heeduck Park, "The Prediction of Cutting Force in Ball-End Milling", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol.31, No.1, pp.45-54, 1991
3. Hsi-Yung Feng and Chia-Hsiang Menq, "The Prediction of Cutting Forces in the Ball-End Milling Process-II. Cut Geometry Analysis and Model Verification", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol.34, No.5, pp.711-719, 1994
4. Ching-Chia Tai and Kuang-Hua Fuh, "A Predictive Force Model in Ball-End Milling including Eccentricity Effects", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol.34, No.7, pp.959-979, 1994
5. M. A. Elbestawi, F. Ismail and K. M. Yuen, "Surface Topography Characterization in Finish Milling", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 34 No. 2, pp.245-255, 1994
6. H. Schulz, "High-speed Milling of Dies and Moulds-Cutting Conditions and Technology", Annals of the CIRP Vol.44/1/1995
7. H. Y. Feng, C. H. Menq, "A Flexible Ball-End Milling System Model for Cutting Force and Machining Error Prediction," ASME, Journal of Manufact. Science and Eng., Vol. 118, pp. 461-469, 1996
8. 김병국, 박희범, 이득우, 김정석, 정윤희, "볼엔드밀 가공에서 런아웃 측정을 통한 가공성 평가에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제16권 제10호, pp.35 - 44, 1999