

볼 엔드밀을 이용한 고속가공에서 금형제품의 형상가공 특성파악

Evaluation on Shape Machining of Dies and Molds in
High speed Machining using Ball-End Milling

김 경 균*(부산대 원), 강 명 창(부산대 기계기술연구소)
이 득 우, 김 정 석(부산대 ERC/NSDM)

ABSTRACT

Due to the recent growth of die/mold machining industry, demands for the high-precision and the high-quality of die product are increasing rapidly. Free surfaces of die/mold are often manufactured using the ball-end milling process. It is difficult to find the cutting condition of the ball-end milling process due to the complicated cutting geometries of die/mold. This paper investigates the characteristics of free form machining for the various tool paths on inclined surface.

Key Words : Die/Mold(금형), Cutting Condition(가공조건), Cutting Geometries (가공형상)
Free Form Machining(형상가공), Inclined Surface(경사면)

1. 서론

볼엔드밀링(ball-end milling)은 자유 곡면의 가공에 많이 사용되고 있는 공정으로 그 사용이 더욱 확대되고 있다. 그러나 볼엔드밀링 작업의 절삭조건은 볼엔드밀 밀링역학의 복잡성으로 인하여 경험적으로 부여되는 것이 대부분이기 때문에 적절한 가공이 이루어지지 않고 있다. 특히 공구 선단부분이 반구형이기 때문에 공구의 강성이 떨어지고 정점부위에서는 가공이 일어나지 않는다. 그리고 가공면에 커스프(cusp)가 발생하여 마무리 다듬질을 필요로 하고 자유곡면을 가공할 경우 절삭력의 변동으로 인하여 공구가 손상되기 쉽기 때문에, 적절한 가공조건을 부여하는 일이 매우 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Kishiname^{[1][2]} 와 Aoyama^[3] 등은 볼엔드밀 형상을 개선하고자 하는 노력과 볼엔드밀링의 절삭기구 해석을 이용하여 적절한 절삭조건을 부여하고자 하는 노

력이 병행되어 왔다.

자유곡면을 가진 금형재를 가공할 때는 경사진 각도에 따라 볼엔드밀에 작용하는 절삭부하가 다르며, 또한 경사진 면을 가공하는 공구 경로에 따라 볼엔드밀의 절삭부하가 달라 절삭특성의 변화가 심하게 일어난다. 그러므로 경사진 면을 가공할 때 적절한 공구경로선정이 고정밀 가공을 위해서 필요하다. 이에 본 실험에서는 볼엔드밀에 의한 고속가공시 공작물의 경사진 각도에 따른 절삭성과 공구경로에 따른 절삭력과 표면형상 및 표면거칠기 등의 절삭특성을 파악하여, 3차원 자유곡면가공이 많은 생산현장에서 적용할 수 있는 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에서는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 경사진 면에서 공구경로에 따른 가공특성

변화를 알아보기 위해서 다양한 각도의 측벽에서 하향절삭으로 수평하방향(Horizontal downward), 수평상방향(Horizontal upward), 수직하방향(Vertical downward), 수직상방향(Vertical upward)을 수행 하였다. 각각의 실험조건은 Table 1에 나타내었고, 공작기계는 수직형 CNC 머시닝센터를 사용하였다. 공구는 Al-TiCN코팅공구로 직경 10mm인 2날 불엔드밀을 사용하였으며, 헬리스각은 30° 이다. 공작물의 재질은 최근에 금형재로서 많이 쓰이고 있는 프리하든강(HP-4M, HRC28)을 사용하였으며, 절삭저항력은 Fig. 2에서 보는바와 같이 압전형 공구동력계(Kistler, 9257B)를 머시닝센터 베드위에 설치하고 그 위에 공작물을 고정하였다. 공구동력계에서 얻어진 신호는 전하 증폭기(Kistler, 5019A)로 증폭되었고, A/D 보드를 거쳐 PC에 저장하였다.

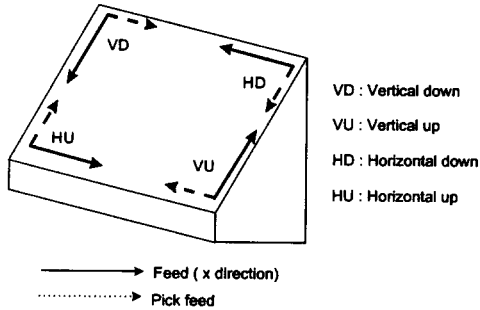


Fig. 1 Cutting direction in an inclined plane

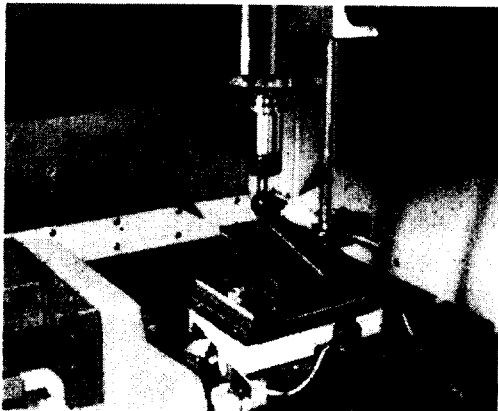


Fig. 2 Experimental set-up

Table 1 Experimental conditions

Workpiece	HP-4M (HRC28) 15°, 30°, 45° Inclined	
Spindle revolution (rpm)	8000	
Feed rate (mm/min)	3200	
Feed per tooth (mm/tooth)	0.2	
depth of cut (mm)	0.2	0.4
Pick feed (mm)	0.4	0.4
Tool path	Horizontal downward, Horizontal upward Vertical downward, Vertical upward	
Tool	Ø 10 AlTiCN (Tool over hang 50mm)	

3. 실험 결과

Fig. 3의 (a)에서는 15° 경사진 면을 수직하방향과 수직상방향으로 절삭할 때의 공구에 작용하는 절삭부위를 나타낸 것으로서 같은 경사각을 가지는 시편에서도 공구경로에 따라 절삭부위가 다르게 나타난다. (b)는 45° 경사진 면을 가공할 때의 절삭부위를 나타낸 것으로서 불엔드밀에 작용하는 절삭작용점이 다르나, 상당 칩 형상에서 같은 크기의 칩체적을 가지며 절삭된다.

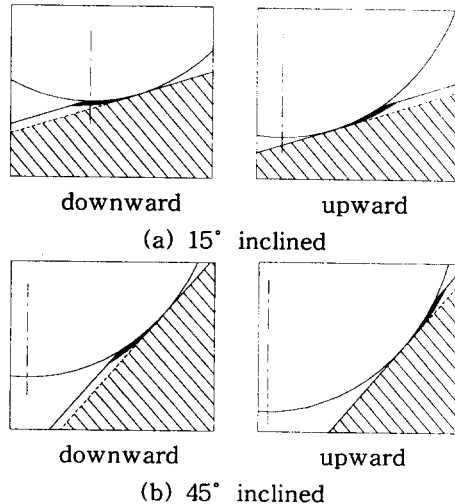
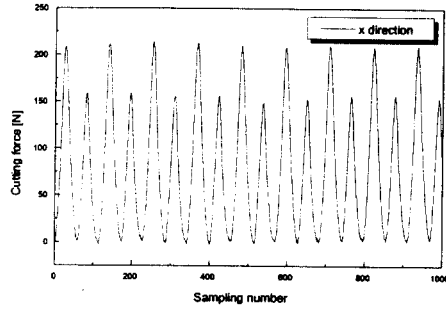
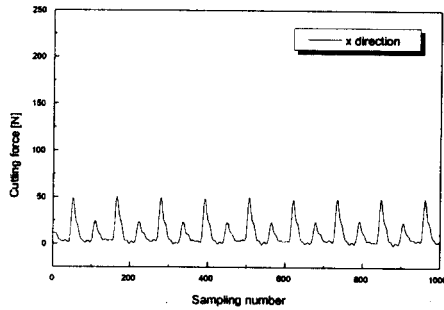


Fig. 3 Comparison of thickness of the chip according to the tool path

Fig. 4는 15° 경사진 면을 수평 하방향과 수평 상방향으로 절삭할 때의 절삭저항 파형을 나타낸 것으로서 수평 하방향가공일 때는 공구의 선단부위에서 절삭되므로 공구의 외각부위에서 절삭하는 수평 상방향절삭의 50N 보다 절삭력이 200N으로 크게 나타난다.



(a) Horizontal downward

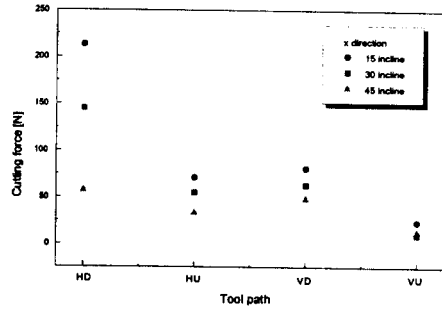


(b) Horizontal upward

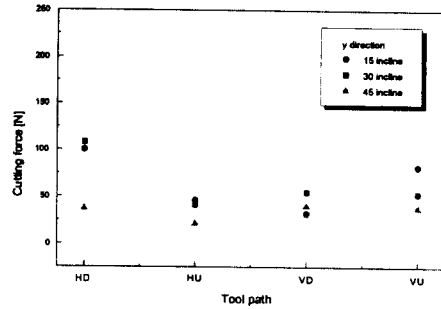
Fig. 4 cutting force signal of feed direction according to the tool path (depth=0.2mm, 15° incline)

Fig. 5는 절입깊이 0.4mm로 15°, 30°, 45° 경사진 면을 공구경로에 따라 가공하였을 때의 세분력 절삭력을 나타낸 것으로서 경사각이 증가할수록 공구의 외각부위에서 절삭이 일어나므로 절삭력은 줄어드는 경향을 나타내고 있다. 그리고 수평하방향 절삭력은 경사면이 15° 일 때 공구의 선단부위에서 절삭이 되므로 절삭력이 200N 이상으로 크게 발생하지만, 경사각이 증가할수록 공구의 외각부위에서 절삭이 되므로 절삭력은 50N 으로 줄어든다. Fig. 6은 공구경로에 따른 표면형상을 나타낸 것으로서 (a)에서 15° 경사면의 수직하방향은 공구의 선단부위에서 절삭이 이루어지므로 수직상방향

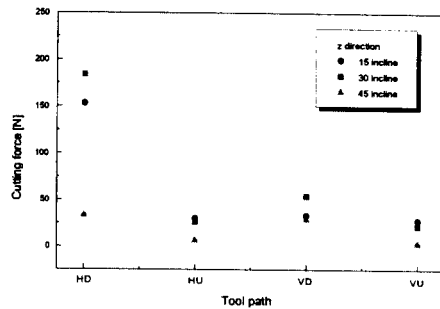
과는 다른 표면형상을 나타낸다. (b)에서는 45° 일 때의 표면형상으로 공구경로는 다르지만, 공구에 작용하는 가공부위의 위치는 비슷하므로 표면형태는 거의 비슷하게 나타난다. Fig. 7은 경사진 면이 45° 일 때의 수직하방향과 수직상방향의 표면거칠기 파형을 나타낸 것으로서 공구의 이동방향이 반대이므로 표면거칠기 파형이 반대로 나타나지만, Fig. 7의 (b)에서와 마찬가지로 표면거칠기 형태는 비슷하다.



(a) x direction



(b) y direction



(c) z direction

Fig. 5 cutting force of tool path according to inclined plane (depth=0.4mm, pick feed=0.4mm)

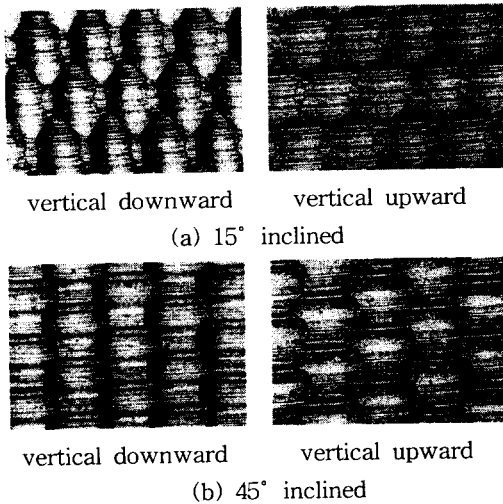


Fig. 6 Characteristics of the surface profile according to tool path(depth=0.2mm)

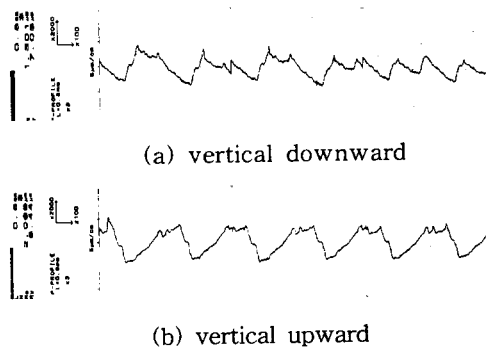


Fig. 7 Characteristics of surface roughness according to tool path (depth=0.4m m)

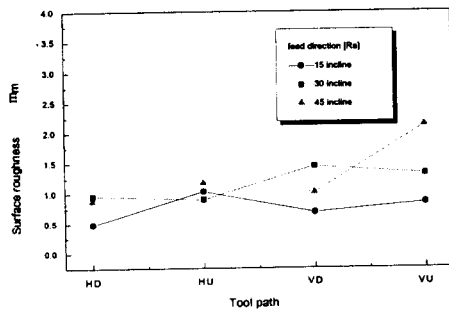


Fig. 8 Comparison of surface roughness according to tool path

Fig. 8은 중심선 표면거칠기 Ra를 비교한 것으로 시편의 경사각이 증가할수록 공구 축과

절삭부위가 이루는 경사각이 커짐으로 인해 절삭력은 감소하지만, 공구의 떨림이 발생하여 평균 표면거칠기 값도 증가한다.

4. 결론

이상의 실험을 통하여 공작물의 경사진 면을 볼 엔드밀을 이용한 고속가공에서 다양한 공구경로에 따른 가공특성에 대해 살펴보았으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 15° 경사진 면을 가공할 때 하방향은 공구의 선단부위에서, 상방향은 공구의 외각부위에서 가공이 이루어지며, 수평하방향은 200N, 수평상방향은 50N으로 선단부위에서의 절삭이 절삭력은 크게 나타난다.
- 2) 시편의 경사진 각도와 공구경로에 따라 절삭 작용점이 달라서, 표면형상은 다양한 형태로 나타나지만, 상당 칩 형상에서 같은 크기의 칩체적을 가지며 절삭된다.
- 3) 45° 경사진 면을 가공할 때에는 수직하방향의 이송방향 절삭력이 57N으로 수직상방향의 24N보다 크게 나타나지만, 중심선 표면거칠기 Ra는 수직하방향이 1.02 μm으로 수직상방향의 2.12μm보다 칩배출이 용이하여 작게 나타난다.

참고 문헌

- 1) Kishinami, T. et al, "A Theoretical analysis of Cutting Operation angle of Circular Cutting Edge Ball End Mill", J. of JSPE, Vol.47, No.11, pp.73~79, 1981
- 2) Kishinami, T. et al, "On Relationship between Cutting Ability and Cutting Edge Shape of Circular Cutting Edge Ball End Mill", J. of JSPE, Vol.48, No.7, pp.68~74, 1982
- 3) Aoyama, H. et al, "Study on Development and Cutting Performance of Elliptic Ball End Mill", J. of JSPE, Vol.53, No.3, pp.461~466, 1987