

볼엔드밀을 이용한 고속가공에서 가공경로와 가공환경에 따른 가공성 평가

이채문*, 김석원*, 이득우**

* 부산대학교 정밀기계대학원

** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

Evaluation of Machinability by various cutting conditions in high machining using ball nose-end mills

-Effects of cutting orientation and cutting environments-

Abstract

High-speed machining generates concentrated thermal/frictional damage at the cutting edge and rapidly decreases the tool life. This paper is aimed at determining the effect of cutter orientation and the cutting environment on tool life, tool wear mechanism when down milling. In this paper, experiments were carried out in various tool orientations and cutting environments, such as dry, wet and compressed chilled air, tool life was measured and machinability in high-speed milling of difficult-to-cut material and die steel. Tool wear was measured in horizontal upwards, horizontal downwards, vertical upwards and vertical downwards. In addition, tool life was measured in dry, wet and compressed chilled air. For this experiment, a compressed chilled-air system was manufactured. The results show that a horizontal cutter orientation provided a longer tool life than a vertical orientation. With respect to the cutting environment, compressed chilled air increased tool life. However, the wet condition decreased tool life due to thermal shock caused by excessive cooling. High-speed milling and the compressed chilled air had little effect.

keywords : Cutting environment, high-speed milling, difficult-to-cut material, compressed air, cutter orientation.

1. 서론

볼엔드밀을 이용한 고속가공은, dies, moulds, aerospace parts, thin-walled components 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 그러나 절삭 속도가 증가할수록 기계적·열적 하중이 증가하여 공구 수명은 급격하게 감소한다. 일반적으로 경사면의 볼엔드밀링에서는 절삭방향이 공구수명에 영향을 미친다는 연구결과가 알려져 있다. 절삭방향은 수직하방향, 수직상방향, 수평하방향, 수평상방향 네가지 방향이 가능하며 피삭재의 경사각 및 공구 절삭 방향이 공구수명, 표면거칠기등에 미치는 영향에 대해 많은 연구가 조사되었다. Tonshoff[1]에 따르면 피삭재의 경사각이 공구수명에 큰 영향을 미친다고 하였고, Chu[2]는 피삭재의 다양한 경사각에 대해 공구경로의 변화에 따른 절삭력을 해석하였다. 고속가공에서는 열/마찰로 인해 극심한 공구마멸이나 높은 절삭온도와 같은 문제가 발생한다. 높은 절삭온도는 제품의 품질을 저하시키며 절삭인선에 집중적인 열피로를 발생시킨다. 절삭과정 중 소비되는 기계적 에너지는 대부분이 열로 전환되며 에너지가 지속적으로 소비된다면 열/마찰은 더욱

극심해질 것이며 결과적으로 공구수명, 제품의 공차, 피삭재 재료제거율등에 악영향을 미칠 것이다. Kovacevic[3]에 의하면 밀링가공에서 고압 제트수를 이용한 냉각방법이 표면거칠기와 공구 수명을 향상시키는 것으로 나타났다. Wang[4]은 Ti-6Al-4V합금의 선삭가공에서 일반적인 냉각방법대신 액화질소를 이용한 냉각방법이 공구수명을 세배정도 향상시킨다는 연구결과를 제시하였다. 일반적으로 절삭유제는 공구-칩 접촉면상에서 윤활과 냉각작용을 향상시키는데 사용되지만, 오염 및 비용 등이 문제 시 되고 있다. 특히 액화질소는 매우 비싸며 재사용이 안 된다는 단점을 가지고 있다. Dewes and Aspinwall[5]에 의하면 고경도 금형강의 고속가공시에는 습식가공보다 건식가공에서 공구수명이 좋아진다고 알려져 있다.

본 논문에서는 고속가공시 수평상방향, 수직상방향, 수직하방향의 네가지 공구경로 변화가 공구성능에 미치는 영향과 건식, 습식, 압축냉각공기등 가공환경변화가 공구수명에 미치는 영향에 대하여 평가하였다.

2. 실험장치 및 실험 방법

본 논문의 실험은 수직머시닝센터(MAKINO V55)에서 수행하였다(최대 회전수 20,000rpm, 최대이송속도 50m/min). 공구수명은 플랭크마멸 0.3mm를 공구수명 한계로 설정하였으며 CCD카메라와 공구현미경을 이용하여 공구마멸을 측정하였다. 본 논문의 실험은 두 가지로 구성되어 있다. 첫 번째 실험에서 45도 경사진 피삭재 Inconel 718(HRc 43)을 TiAlN코팅된 ϕ 8mm 초경 블랜드밀을 사용하여 절삭속도 90m/min, 축방향 절입 0.5mm, 날당이송 0.1mm, 피크피드 2mm, 가공환경은 건식으로 공구경로만을 변화시켜 공구경로에 따라 공구 수명이 어떻게 변하는지를 실험하였다. 각 공구경로에 따라 최대 절삭속도를 동일하게 유지하기 위해 상방향과 하방향의 회전수를 조정하였다. 그림1은 각 공구경로를 간략히 나타낸 것이며, 표1은 절삭속도 90m/min 일 때 각 공구경로에 따른 주축 회전수와 이송속도를 나타낸 것이다. 모든 공구경로에서 절삭은

하향 밀링으로 가공하였다.

두 번째 실험에서 45도 경사진 피삭재 STD11(HRc 43, HRc50), Inconel718(HRc 43)을 TiAlN 코팅된 ϕ 8mm 초경 블랜드밀을 이용하여 절삭속도 90m/min, 210mm/min에서 실험을 수행하였다. 절삭조건은 앞 실험과 동일하게 하였으며 가공환경을 건식, 습식, 압축냉각공기로 변화시켜 실험하였다. 그림2는 본 실험에서 사용한 압축냉각공기시스템을 간략히 나타낸 것이다. 노즐직경은 5mm이며 -9°C 및 -35°C 냉각공기를 7.5kg/cm²압력으로 절삭점에서 10mm 떨어진 곳에서 절삭점에 분사하였다. 습식의 경우 절삭유 압력은 약 4bar였다.

Table 1 Spindle speed and feedrate

	90m/min	210m/min
공구경로	회전수[rpm]/	회전수[rpm]/
	이송속도[mm/min]	이송속도[mm/min]
수평상방향	3726 / 745	8694 / 1739
수평하방향	5064 / 1013	11817 / 2363
수직상방향	3726 / 745	
수직하방향	5064 / 1013	

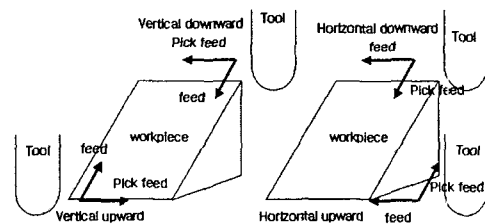


Fig. 1 Cutter orientations of ball nose end

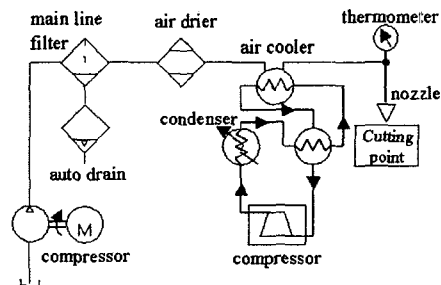


Fig. 2 Compressed chilly air system

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 가공경로의 영향

그림3은 공구경로가 공구수명에 미치는 영향을 절삭 길이로 나타낸 것이다. 수평하방향에서 절삭 길이가 가장 길었는데 공구수명한계인 플랭크 마멸 0.3mm 일 때 절삭길이는 5.6m였다. Tonshoff, Hernandez-Camacho의 연구결과에서도 45도 경사진 열간금형강 AISI H11의 블엔드 밀링시 수평하방향의 절삭길이가 가장 긴 것으로 나타났다. 절삭길이가 가장 짧은 공구경로는 수직하방향으로 절삭길이가 0.32mm였다.

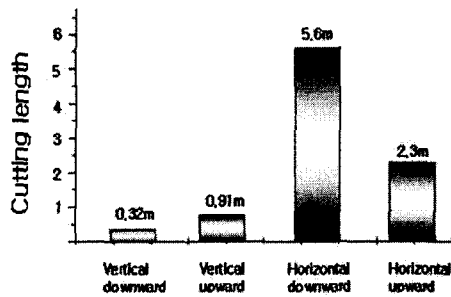


Fig. 3 Cutting length against cutter orienta

그림4는 공구경로의 변화에 따른 플랭크 마멸 형태와 배출된 칩의 형상을 나타낸 것이다. 공구경로가 수평하방향인 경우, 공구의 마멸분포가 절삭인선의 비교적 넓은 영역에 걸쳐 나타난 것을 알 수 있다. 공구경로가 하방향인 경우 블엔드밀의 16° ~ 45° 부분의 절삭날이 피삭재를 절삭하며 상방향의 경우 45° ~ 73.9° 에 해당하는 절삭날 부분이 피삭재를 절삭하게 된다. 상방향과 하방향일 때의 칩의 형상을 관찰해보면 형태는 유사하게 나타나지만 edge의 길이가 서로 다르다는 것을 알 수 있다. 상방향의 공구경로일 때는 leading edge가 trailing edge보다 짧게 나타났으며 하방향 공구경로의 경우, leading edge와 trailing edge의 길이가 서로 비슷하게 나타났다. 따라서 수평하방향의 경우 비교적 절삭인선의 넓은 영역이 절삭과정에 참여하게 되어 상대적으로 공구수명이 향상된 것으로 생각된다.

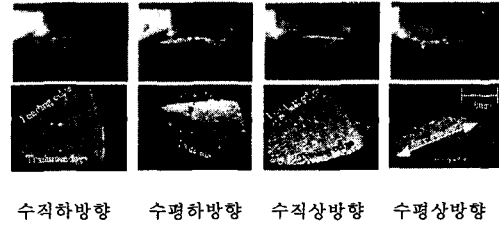


Fig. 4 Wear patterns and chip forms

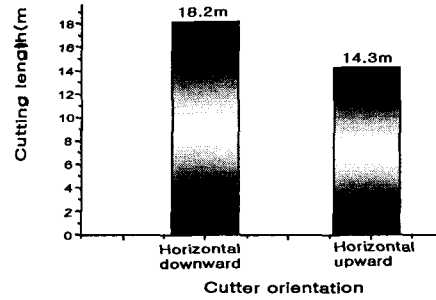


Fig. 5 The effect of the cutter orientati

그림5는 STD11(Hrc 43)을 수평상방향, 수평하방향 절삭시의 공구수명을 나타낸 것이다. 그림4와 같이 다른 재료의 경우에도 수평하방향에서 가장 우수한 공구수명이 나타나는 것을 알 수 있다.

3.2 가공환경의 영향

그림6은 금형강 STD11(Hrc 42)을 TiAlN코팅된 초경공구를 이용하여 건식, 습식, 압축냉각공기의 가공환경하에서 공구 마멸실험을 한 것이다. 플랭크마멸 0.3mm에 도달했을 때 건식과 습식의 절삭길이는 각각 22m와 14m였다. 압축냉각공기 -9℃와 -35℃의 경우 절삭길이는 각각 25m와 20m였다. 블엔드밀링은 주기적으로 절삭시의 가열과 비 절삭시의 냉각을 반복하는데 습식의 경우 절삭유제의 과도한 냉각작용이 공구에 열적 충격으로 전달되어 오히려 공구마멸을 가속시키는 것으로 생각된다. 따라서 습식은 블엔드밀의 고속가공에는 적합하지 않음을 알 수 있다. -9℃의 압축냉각공기는 건식과 비교하여 3m정도 절삭길이를 증가시켰는데 이는 고압의 공기로 인한 원활한 칩배출과 절삭점의 적절한 냉각작용에 의한 것으로 생각된다. 하지만 -35℃의 압축냉각공기는 지나친 절삭점의 냉각작용으로 인해 오히려

공구에 열적 충격을 가중시켜 절삭길이가 짧아지는 것으로 생각된다.

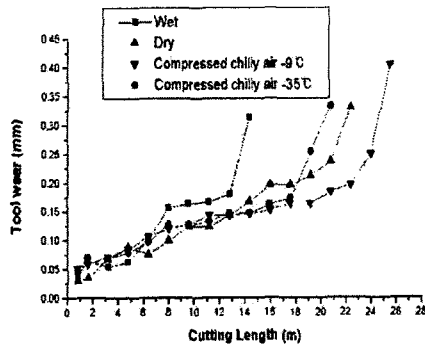


Fig. 6 Cutting length in different cutting environments

그림 7은 각 가공환경에서의 공구 마멸 형태는 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 습식과 -35°C의 압축냉각공기에서는 공구가 열적 충격으로 인한 칩핑과 fracture 등의 이상마멸형태를 보이고 있으며, 건식과 -9°C의 압축냉각공기의 가공환경에서는 비교적 정상적인 마멸형태를 보이고 있다.

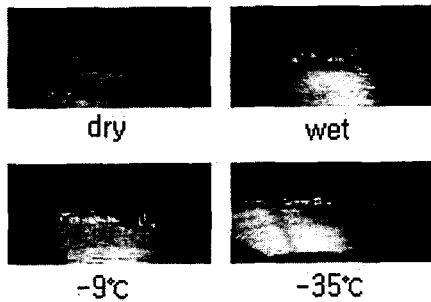
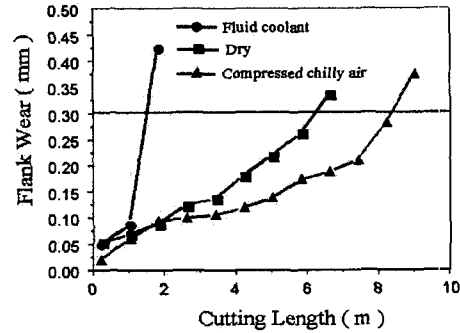


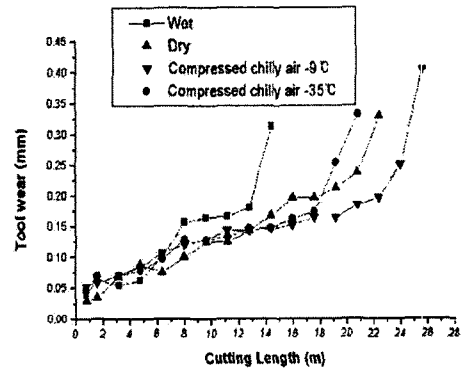
Fig. 7 Tool wear pattern

그림 8의 (a), (b), (c)는 금형강 STD11(HRc 50)과 Inconel 718(HRc 43), STF4(HRc 42)와 같이 서로 다른 피삭재에 대하여 압축냉각공기가 공구 수명에 미치는 영향에 실험한 결과이다. 그림6의 결과와 동일하게 피삭재의 재질과 경도가 달라져도 압축냉각공기가 공구수명을 향상시킴을 알 수 있다. 절삭유제는 압축냉각공기에 비해 열전도성이 높기 때문에 가열과 냉각을 반복하는 단속절삭의 경우 지나친 냉각작용으로 인해 공구에 심

한 열적 충격을 가하게 된다. 이로 인해 칩핑과 fracture 등의 이상마멸이 공구에 발생하게 되며 공구수명을 저하시키는 원인이 되는 것이다.



(a) STD11(HRc 50)



(b) Inconel 718(HRc 43)

Fig. 8 The effect of compressed chilly air on life in different materials

4. 결론

본 논문에서는 볼랜드밀링의 고속가공에서 공구경로와 가공환경이 미치는 영향에 대하여 평가하여 다음과 같은 결과가 도출되었다.

1. 볼랜드밀을 이용하여 45도 경사진 Inconel 718을 가공하였을 때, 수평하방향의 공구경로가 공구수명이 가장 길게 나타났다. 수평하방향의 경우 배출된 칩의 leading edge와 trailing edge의 길이가 서로 비슷하게 나타났으며 그로 인해 공구 마멸이 공구인선에 비교적 넓게 분포하였다.

2. 블엔드밀을 이용한 고속가공에서 습식과 매우 낮은 온도의 압축냉각공기는 과도한 냉각작용으로 인한 열적충격이 공구에 전달되어 오히려 공구수명이 감소하였다.
3. 블엔드밀을 이용한 고속가공에서 피삭재의 특성이 변화하여도 압축냉각공기의 가공환경이 공구성능을 향상시키는데 효과적인 것을 알 수 있었다.

and technology , Ann. CIRP, vol. 44, pp. 35-38

참고문헌

1. Tonshoff, H.K., Hernandez-Camacho, J, 1989, "Die Manufacturing by 5and 3Axes milling", Journal of Mechanical Working Technology, vol.20, pp.105-119.
2. Chu, C.N., Kim, Y.S., Lee, J.M., Kim, B.H., 1997, "Feed rate of Ball End Milling Considering Local Shape Features ,Annals of the CIRP, vol46, pp.433-436.
3. R.Kovacevic, C.Chelukuthota and M.Mazurkiewicz, 1995, "High Pressure Waterjet Cooling/Lubrication to Improve Machining Efficiency in Milling , Int. J. Mach. Tools Manufact., vol 35, pp.1459-1473.
4. Z.Y.Wang, K.P. Rajurkar, J. Fan, 1996, "Turning Ti-6Al-4V ally with cryogenic cooling" , Trans. NAMRI/SME, vol.24, pp.3-8.
5. R.C. Dewes, K.K. Aspinwall, 1996, "The use of high speed machining for the manufacture of hardened steel dies , Trans. NAMRI/SME, vol. 5, pp. 21-26
6. N. Narutaki, Y. Yamane, K. Hayashi, T. Kitagawa, 1993, "High speed machining of Inconel 718 with ceramic tools , Ann. CIRP, vol42, pp. 103-106
7. R.R. Lindeke, F.C. Schoenig Jr., A.K. Khan, J. Haddad, 1991, "Machining of α, β titanium with ultra high pressure through the insert lubrication/cooling , Trans. NAMRI/SME, pp. 154-161.
8. H.Schulz, St. Hock, 1995, High speed milling of dies and moulds-cutting conditions