

압축냉각공기를 이용한 공구수명 향상에 관한 연구

김찬우*, 이채문**, 이득우+, 김정석**, 정우섭***

The study on improving tool life using compressed chilly air

C.W.Kim*, C.M.Lee**, D.W.Lee+, J.S.Kim**, W.S.Jung***

Abstract

High-speed machining generates concentrated thermal/frictional damage at the cutting edge and rapidly decreases the tool life. This paper is aimed at improving the tool life using compressed chilly air. In this paper, the experiments were carried out in various cutting environments, such as dry, wet and compressed chilly air. Tool life were measured to evaluate machinability in high-speed milling of various materials. With respect to the cutting environment, compressed chilly air increased tool life. However, the wet condition decreased tool life due to the thermal shock caused by excessive cooling.

Key Words : Cutting environment, High-speed machining, Tool life, Compressed chilly air

1. 서론

최근 절삭가공은 고속화와 공구재료의 개발, 코팅기술의 발전 등으로 인해 절삭속도의 고속화가 가능하게 되었으며 난삭재의 가공이나 초고속, 초정밀 가공과 같은 특수한 가공기술도 개발되고 있다. 그러나 절삭속도가 증가할수록 공구의 수명은 상대적으로 감소하며 특히 고속가공에서는 공구 수명의 지배적인 요인이 되는 절삭온도가 증가하여 공구수명을 급격하게 감소시킨다. 절삭온도 상승은 공구의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 피삭재의 표면에 가공변질층이나 잔류응력과 같은 결함을 발생시켜 제품의 품질을 격하시키므로 고속가공을 실현하기 위해서 꼭 해결되어야 할 문제 중의 하나로 여겨진다.

엔드밀링과 같은 단속절삭에서의 열적 조건은 선삭과 같은 연속절삭과는 다른 것으로 알려져 있다. 단속절삭에서 공구는 피삭재 절삭시 가열과 냉각을 되풀이하며 연속절삭과는 다른 열적피로 메카니즘으로 파단된다. 최근에는 단속절삭과 연속절삭에서의 온도차이가 고속가공에서 더 크다고 알려지고 있다.

일반적인 절삭가공에서는 윤활과 냉각을 목적으로 절삭유를 사용하고 있다. 절삭속도가 낮은 영역에서는 윤활을 주목적으로 공급하며, 절삭속도가 증가할수록 절삭력은 감소하고 절삭온도가 증가하므로 윤활보다는 냉각에 더 큰 목적을 가지고 절삭유를 공급한다. 그러나 절삭유의 사용은 환경오염을 초래하며 강화된 법적 규제로 인한 관리비등이 문제시되고 있다. 이와 같은 절삭유의 문제점을 해결하고 가공성을 더욱 향상시키기 위해 여러 연구가 진행되었다. 난삭재나 STD11과 같은 금형강을 절삭가공 할

* 주저자, 부산대학교 정밀기계대학원 (antares94@pusan.ac.kr)

주소: 609-735 부산시 금정구 장전동 산30 부산대학교

** 부산대학교 정밀기계대학원

+ 부산대학교 나노공학부

++ 부산대학교 기계공학부

+++ 테크맥(주)

때는 절삭유 사용이 공구수명을 더욱 감소시킨다는 것이 알려져 있어 압축냉각공기, 고압의 물등의 새로운 방법이 시도되고 있으며 그 가능성을 보여주고 있다.

Kovacevic에 의하면 밀링가공에서 고압제트수를 이용한 냉각방법이 표면거칠기와 공구수명을 향상시키는 것으로 나타났다. Wang은 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 문제시 되고 있다. 특히 액화질소는 매우 비싸며 재사용이 안 된다는 단점을 가지고 있다. Dewes and Aspinwall에 의하면 고경도 금형강의 고속가공시에는 습식가공보다 건식가공에서 공구수명이 좋아진다고 알려져 있다.

따라서 본 논문에서는 볼 엔드밀 가공에서 압축냉각공기를 이용한 가공환경이 공구수명에 미치는 영향에 대하여 연구하였으며 공구수명 향상을 위한 압축냉각공기의 적정 조건에 대하여 연구하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

Table.1은 본 실험에 사용된 절삭조건을 나타낸 것이다. 공구는 고속도강(HSS)과 TiAlN코팅이 된 초경공구를 사용하였으며 절삭깊이는 반경방향으로 0.5mm, 날당 이송은 0.1mm/tooth로 고정시켰고 피크피드는 경사면상에서 2mm로서 황삭 조건에서 실험을 수행하였다. 고속가공에서의 가공환경 변화에 따른 특성을 살펴보기 위해 절삭속도를 90m/min, 210m/min으로 설정하였다. 배출된 칩의 영향을 최소화하기 위해 시편을 45°경사를 주어 설치하였다. 가공환경은 건식, 습식, -9°C와 -35°C 압축냉각공기로 설정하여 각 가공환경에 따른 공구마멸 실험을 수행하였다. 특히 압축냉각공기의 경우 냉각온도가 다른 압축공기를 공급하여 압축공기의 온도변화가 공구마멸에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 압축냉각공기는 절삭점에서 약 1cm 떨어진 지점에서 공구 진행방향에서 공구를 향해 분사하였으며 분사압력은 약 7.5kg/cm²였다. 습식의 경우 분사압력은 약 20bar였다. Fig. 1은 본 실험에 사용된 압축냉각공기 시스템을 나타낸 것이다. 공기중의 수분은 압축공기의 냉각에 악영향을 미치며 공기가 이동하는 관내에서 얼어 공기의 흐름을 방해하여 압축공기의 압력을 감소시키므로 메인 라인 필터와 히트레스 에어 드라이어를 이용하여 충분히 건조시

킨다. 냉각기를 통과한 압축냉각공기는 노즐을 통과하여 절삭점에 분사되며 노즐 통과시 단열팽창에 의해 온도가 감소된다. 압축냉각공기의 냉각온도를 충분히 유지하기 위하여 공기가 이동하는 관은 최대한 단열재를 이용하여 단열하였다.

공구마멸은 CCD카메라(x50)를 이용하여 측정하였으며 플랭크마멸이 0.3mm일 때를 공구수명한계로 설정하였다.

Table.1 Cutting conditions

Machining Parameters	
Workpiece	45° inclined plane
	STD11(HRc 28, 43, 50)
	STF4(HRc 43) Inconel718(HRc42)
Cutting Tool	Carbide end mill (TiAlN Coated, 8φ, 2 flutes)
Operation	Down milling
Cutting Speed	90m/min, 210m/min
Feed rate	0.1mm/tooth
Depth of cut	0.5mm(Axial)
Pick feed	2mm(Radial)
Cutting Environment	Dry, Flood coolant Compressed Chilly Air (-9°C, -35°C)

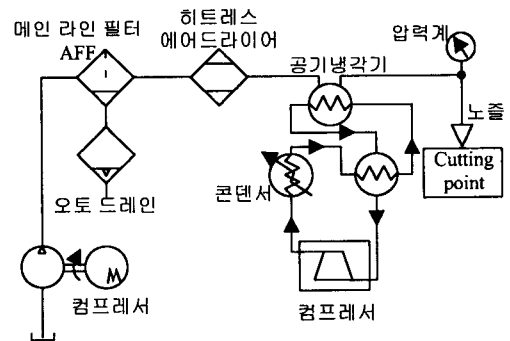


Fig.1 Compressed chilly air system

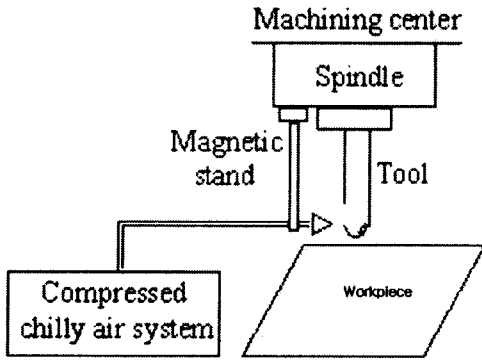


Fig. 2 Experimental set-up

Fig. 2는 실험 장치도를 나타낸 것이다.

본 실험에 최대회전수 20,000RPM, 최대이송속도 50m/min인 수직형 머시닝센터(MAKINO V-55)에서 수행하였다. 또한 압축냉각공기가 공구수명에 미치는 영향을 평가하기 위하여 STD11(HRc 28, 43, 50), STF4(HRc 42), Inconel(HRc 43)과 같이 다양한 재질과 경도를 가진 소재를 이용하여 절삭실험을 수행하였다.

공구와 피삭재의 접촉면에 압축냉각공기를 분사시키기 위해 마크네틱스텐드를 이용하여 절삭점과 10mm 떨어진 곳에서 고정하였다.

3. 실험 결과

본 연구에서는 압축냉각공기를 이용하여 다양한 재질에 대하여 마멸실험을 수행하여 압축냉각공기가 고속가공시 기존의 절삭유를 대신하여 어느 정도 효과를 발생시킬 수 있는지에 대하여 조사하기 위하여 다양한 재질의 소재를 공구마멸을 중심으로 실험을 수행하였다.

Fig. 3는 TiN코팅된 고속도강 공구를 이용하여 경도가 HRc28인 STD11을 가공하였을 때의 마멸량을 나타낸 것이다. 건식과 습식에서는 마멸이 공구한계수명조건인 플랭크마멸량 0.3mm에 도달하였을 때 절삭거리가 약 2m와 5m였으나 -9℃ 압축냉각공기에서는 9m였다.

Fig. 4은 TiAlN 코팅된 초경공구로 경도가 42HRC인 STF4를 절삭 실험하였을 때 가공환경변화에 따른 절삭거리를 나타낸 것이다.

습식과 건식의 공구한계수명인 플랭크 마멸이 0.3mm에 도달하였을 때, 절삭거리가 약 65m와 110m이었으나,

-9℃ 압축냉각공기의 경우에는 절삭거리가 220m 정도였다. 압축냉각공기의 경우가 습식보다 약 3.5배, 건식보다는 약 2배 정도 공구수명이 향상되었다.

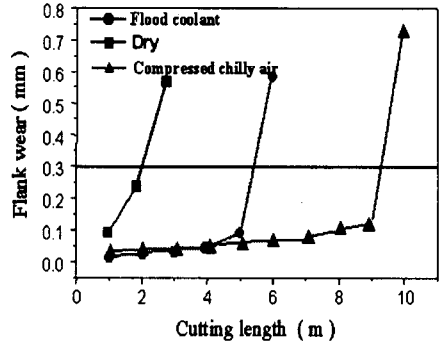


Fig. 3 Flank wear in compressed chilly air (cutting speed : 210m/min)

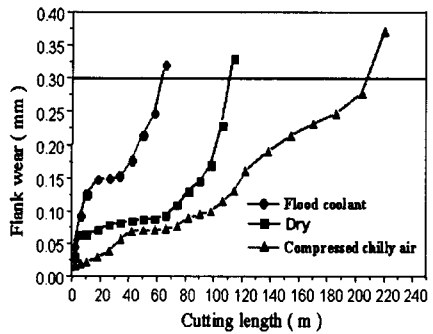


Fig. 4 Length cut in various cutting environments (Cutting speed : 210m/min)

Fig. 5는 TiAlN코팅된 초경공구로 절삭속도 210m/min에서 피삭재의 경도가 50HRC인 STD11을 가공환경변화에 따라 공구수명을 실험한 결과이다. 건식과 압축냉각공기로 절삭하였을 경우는 절삭거리가 각각 6.6m와 9m 정도였으나, 습식의 경우는 약 1.2m에서 공구 한계수명조건인 0.3mm에 도달하였다. 압축냉각공기에서는 건식보다는 약 2m, 습식보다는 8m 정도 가공성이 향상되었다. 습식의 경우 열적 충격에 의한 브레이킹이 발생하고 치핑과 파단과 같은 이상 마멸 현상이 발생하지만, 건식과 압축냉각공기의 경우는 비교적 정상적인 마멸 형태를 나타낸다.

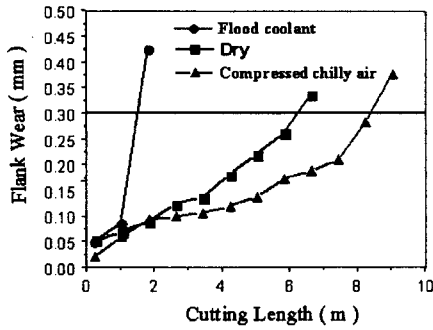
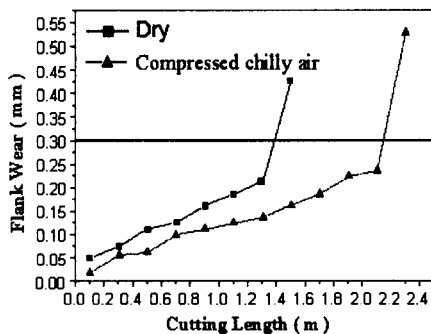


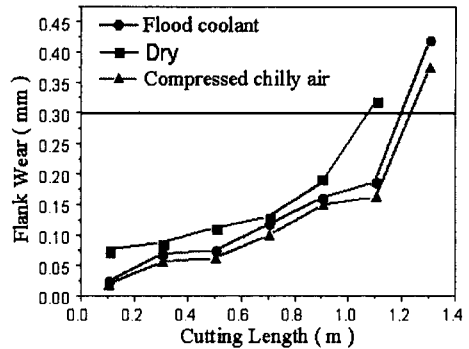
Fig. 5 Tool Wear vs. Cutting Length
(Cutting speed : 210m/min)

Fig. 6는 초내열합금의 일종인 니켈기 난삭재인 인코넬 718을 가공하였을 때의 절삭거리를 나타낸 그래프이다. (a)는 절삭속도 90m/min에서 가공환경에서 실험한 결과이다. 건삭에서는 절삭거리가 1.4m정도였으나 압축냉각공기를 이용하였을 경우에는 약 2.2m였다. (b)는 절삭속도 210m/min에서 실험한 결과인데 모든 조건에서 절삭거리가 1.1m~1.3m정도로 거의 비슷한 절삭거리를 보였다.

니켈기 초내열합금의 일종인 인코넬718은 고온강도와 고인성으로 인하여 고속절삭시에 공구는 칩과 피삭재가 접촉하는 계면사이에는 매우 큰 압력이 작용하기 때문에 심각한 열/마찰(thermal/friction)조건에 놓이게 되어 절삭유제와 압축냉각공기가 공구-칩, 공구-피삭재의 계면에 효과적인 침투가 이루어지지 않아 공구수명 연장에 효과가 크지 않은 것으로 여겨진다.



(a) Cutting Speed : 90m/min



(b) Cutting Speed : 210m/min
Fig.6 Tool Wear in machining inconel718

Fig. 7은 금형강 STD11(HRc 42)을 TiAlN코팅된 초경 공구를 이용하여 건삭, 습삭, 압축냉각공기의 가공환경하에서 공구 마멸실험을 한 것이다. 플랭크마멸 0.3mm에 도달했을 때 건삭과 습삭의 절삭길이는 각각 22m와 14m였다. 압축냉각공기 -9℃와 -35℃의 경우 절삭길이는 각각 25m와 20m였다. 볼랜드밀 가공은 절삭시의 가열과 비절삭시의 냉각을 주기적으로 반복하는 단속절삭의 형태를 취하게 되는데, 습삭의 경우 절삭유의 지나친 냉각작용으로 인해 공구는 심한 열적 피로를 받게 되므로 공구수명이 건삭과 압축냉각공기에 비해 공구수명이 감소함을 알 수 있다. 압축냉각공기의 경우 고압의 압축공기로 인해 칩 배출이 원활하게 이루어지고 유체인 절삭유에 비해서 기체인 압축냉각공기의 열전도성이 떨어지므로 절삭시 발생하는 절삭열을 냉각시키는 정도가 습삭에 비해 상당히 약하므로 습삭과 비교하여 공구에 전달되는 열적 충격은 감소하여 결과적으로 공구수명을 증가된 것으로 생각된다. 따라서 습삭은 볼랜드밀의 고속가공에는 적합하지 않음을 알 수 있다. -9℃의 압축냉각공기는 건삭과 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.

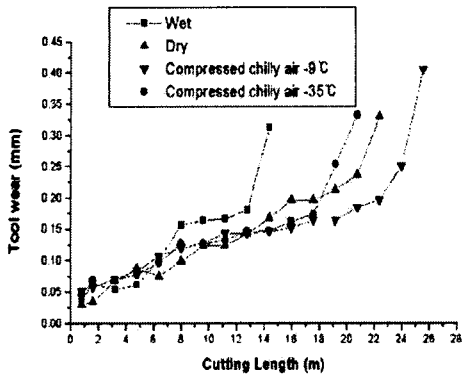


Fig. 7 Cutting length in different cutting environments(Cutting speed : 201m/min)

Fig. 8은 각 가공환경에서의 공구 마멸 형태를 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.

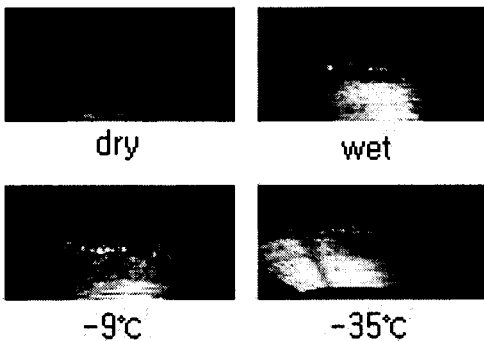


Fig. 8 Tool wear pattern

4. 결론

본 논문에서는 볼엔드밀링의 고속가공에서 공구 수명을 향상시키고 기존 절삭유의 사용으로 인한 환경오염문제를 해결하기 위하여 압축냉각공기를 이용한 가공환경을 제시하였으며 다양한 소재에 대하여 공구마멸실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 볼엔드밀을 이용한 고속가공에서 습식과 매우 낮은 온도의 압축냉각공기는 과도한 냉각작용으로 인한 열적충격이 공구에 전달되어 오히려 공구수명이 감소하였다.
2. 볼엔드밀을 이용한 고속가공에서 다양한 소재의 공구 마멸 실험에서 압축냉각공기의 가공환경이 공구성능을 향상시키는데 효과적인 것을 알 수 있었다.
3. 압축냉각공기를 이용한 공구마멸 실험을 통하여 소재 및 절삭조건에 따라 적절한 압축냉각공기의 온도가 서로 다르다는 것을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 중기저점과제 “고속·지능형 가공시스템의 개발”의 일환으로 산업자원부의 지원금에 의한 것입니다.

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, vol.46, 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 alloy 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 and technology", Ann. CIRP, vol. 44, pp. 35-38.