

Flexible Fine Die의 마이크로 엔드밀 가공에서 오일미스트 유용성연구 Feasibility Study with Oil-mist in Micro End-milling of Flexible Fine Die

*#김민욱¹, 권동희¹, 강명창¹, 류기택²

^{**}M. W. Kim(kimmw@pusan.ac.kr)¹, D. H. Kwon¹, M.C.Kang¹, K.T.Ryu²

¹ 부산대학교 하이브리드소재 솔루션 국가핵심연구센터(NCRC), ²(주)원플러스투

Key words :Flexible Fine Die, Minimum Quantity Lubrication, Tool Wear, Surface Roughness, STC5 Workpiece

1. 서론

최근 고속가공기가 발전함에 따라 고경도·고능률·고품위의 고속가공 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 고경도 및 고인성의 특성을 가진 난삭재 가공에 응용되면서 가공시간의 단축과 금형의 수명 향상을 위한 가공성 평가기술 등 다양한 연구개발이 이루어지고 있다.¹

한편, Flexible Fine Die(FFD)는 LCD Back Light Unit(BLU)에 들어가는 필름이나 PCB기판 등을 절단할 때 사용하는 양각 금형으로 칼날 구조를 가지고 있다. 이러한 금형은 마이크로 초경공구를 이용하여 고경도 탄소공구강(STC5, HRC52)을 고속가공으로 제작한다. 이때, 가장 중요한 가공기술은 칼날을 매우 예리하게 만들고 양호한 표면조도를 얻어내는 것이다.

현재 ISO 14001에 의거하여 환경적인 문제에 대응하기 위한 환경 친화 가공기술이 매우 중요시 되고 있다. 이에 따라 그 방안으로서 압축냉각공기법, 최소윤활법(Minimum Quantity Lubrication; MQL), 건삭법 등이 연구되고 있다. 주로 선삭, 드릴 및 연삭 가공에서 MQL방식을 적용하여 공구마멸이 감소되고 표면조도가 향상되어 진다고 보고되고 있다.^{2,3} 그러나, 마이크로 엔드밀 공정에서의 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 고경도 탄소공구강 소재인 FFD의 마이크로 엔드밀 고속가공에서 절삭유제 공급방식의 변화(수용성 절삭유제, 오일미스트)에 따른 공구 마멸과 표면조도를 비교 분석하였다. 이를 통해서 친환경 공정으로서의 유용성을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용된 고속머시닝센터(AEM-520, Sung Bang Won Co. ltd)는 최대 주축 회전수 35,000rpm, 최대 이송속도 800mm/min을 가지며, MQL 공급장치는 일본의 E사 Zels MBM02로 미스트 입자 크기 0.7 μ m로 분사된다. 이때, 충분한 예비 실험을 통해서 오일분사량 5ml/h, 미스트토출압 0.4MPa, 분사각도 135, 사용노즐 1개로 MQL사용조건을 설정하였다. MQL과 비교하기

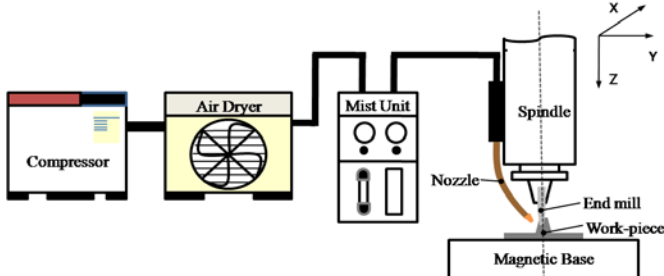


Fig. 1 Schematic diagram of Oil-mist set-up

Table 1 Experimental condition of FFD machining process

Conditions	Contents
Spindle speed[rpm]	30,000
Feed per tooth[mm/tooth]	0.02
Radial depth of cut[mm]	0.15 0.08 0.05 0.03
Axial depth of cut[mm]	0.5
Workpiece	STC5(HRC 52)
Cutting operation	Down milling
Cutting fluid	Emulsion(Blasocut 2000)

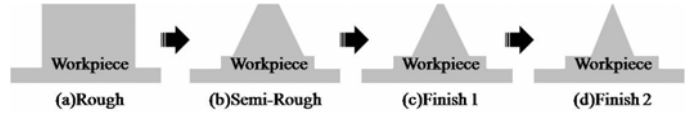


Fig. 2 Change of each process for FFD machining

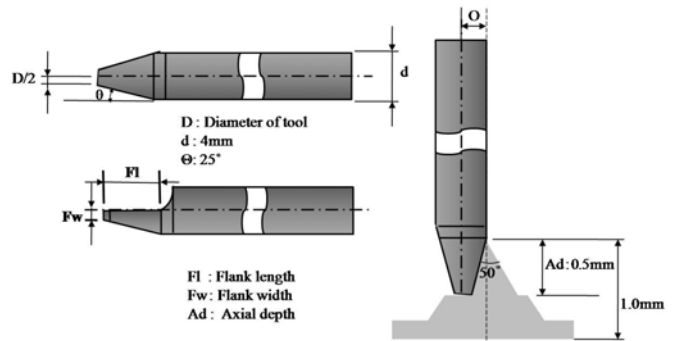


Fig. 3 Geometry of tool for FFD machining

Measurement region

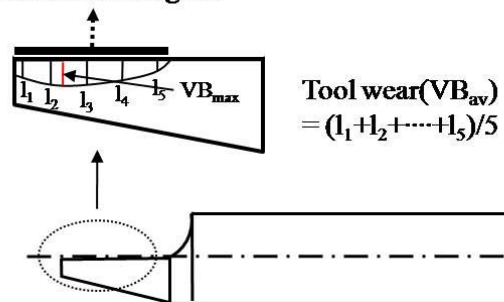


Fig. 4. Measurement method of tool wear

위하여 수용성 절삭유제를 사용하였다. Fig. 1은 실험장치 개략도를 나타낸 것이다. Table 1은 실험조건을 나타내고 있으며, 절삭조건은 생산성과 표면조도를 고려하여 선정하였다. 또한, 날부 직경 0.4mm의 초경 엔드밀을 이용하여 열처리를 한 탄소공구강(STC5, HRC52) 소재를 하향 밀링 가공하였다. Fig. 2는 FFD 가공을 위한 각 공정별 변화를 나타낸 것으로써 황삭, 중삭, 사상1, 사상2의 순으로 이루어졌다. 그 공정별 분류는 반경방향의 절삭깊이 0.15mm, 0.08mm, 0.05mm, 0.03mm로 하였으며 공정마다 하나의 공구로 테스트 하였다. Fig. 3은 FFD 가공시에 사용되는 공구의 기하학적 형상을 나타낸 것이다. 각 공정단계별 공구마멸 크기측정은 COMS 영상 현미경(Xi-CAM, Bestecvision)을 사용하였다. Fig. 4에서 보듯이 마멸 측정부위는 측면 가공용 엔드밀의 지배적인 마멸인자인 여유면 마멸을 측정하였는데 최대 여유면마멸 VB_{max} 과 평균 여유면마멸 VB_{av} 로 나타내었다. 여기서 평균 여유면마멸은 측정방향 절삭깊이 내에서 5군데를 측정하여 평균을 한 값이다.

표면조도 값은 광위상 간섭을 원리로 한 비접촉식 표면조도 측정기(NV-E1000, Nanosystem)를 사용하여 최종공정 완료 후에 가공물의 경사면 윗부분을 가공거리에 따라 가공초기(10cm), 중기(50cm), 말기(90cm)로 구분하여 평균 중심선 거칠기 R_a 를 측정하였다. 측정의 신뢰성을 위해서 미국의 VLSI Standard사에서 제작하고 표준기관인 NIST 평가 및 검교정한 표준시편을 테스트 측정 후에 가공물 측정을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

FFD의 가공공정별 공구마멸과 표면조도와의 관계를 규명하는 것은 마이크로 양각급형의 환경친화적인 가공을 실현하는데 있어서 우선적으로 해결해야 할 연구대상이다.

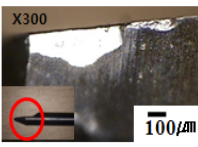
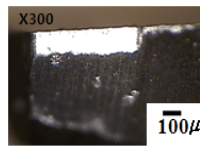
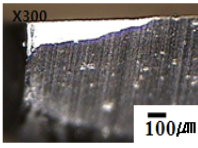
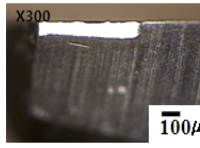
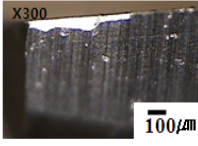
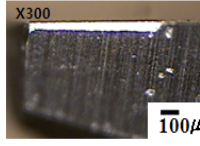
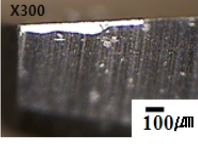
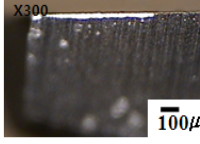
Environment Process	Cutting fluid	MQL
Rough		
Semi-Rough		
Finish 1		
Finish2		

Fig. 5 Photograph of tool wear with machining process

Fig. 5는 가공공정에 따른 여유면 마멸의 사진으로서, MQL인 경우에 절삭유체에 비하여 공구마멸 발생형태가 일정하고 마멸 크기가 작은 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 가공공정별 절삭유체 공급방식에 따른 최대 및 평균 공구마멸 값을 나타내고 있다. 최대 여유면 마멸은 평균 여유면 마멸에 비하여 황삭 및 중삭과정에서는 약 20% 정도 큰 값을 가짐을 알 수 있고 사상에서는 거의 유사한 값을 가진다. 이러한 사상과정에서의 공구마멸 패턴은 매우 안정적인 절삭이 이루어짐을 잘 반영하고 있다. 또한, 황삭인 경우에는 큰 공구마멸 값을 가지는 것을 알 수 있으며, 중삭공정에서 사상2공정까지는 공구마멸 값이 서서히 감소하는 경향을 보인다. 이는 반경방향의 절삭깊이의 감소로 치수효과(Size effect)에 따른 비절삭 에너지의 감소에 의한 결과로 판단된다.⁴ 한편, 절삭유체를 사용한 경우 MQL에 비하여 공구마멸이 중삭과 사상과정에서 현저하게 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 마이크로 엔드밀링에서 단속절삭에 의한 큰 기계적 충격이 공구날에 가해지기 때문이며, 절삭유체에 의한 절삭시 가열과 공전시의 냉각을 반복하기 때문에 열적 충격으로 인한 소성변형의 결과로 사료된다.

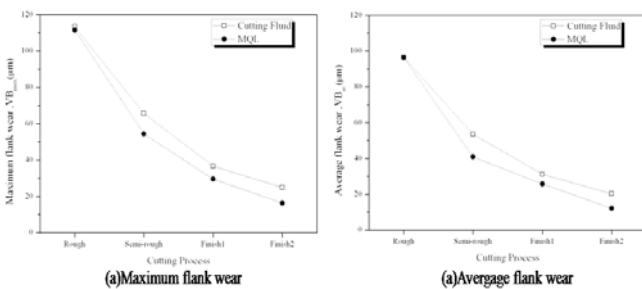


Fig. 6 Variation of tool wear in cutting fluid and MQL conditions

Fig. 7은 FFD의 사상2과정에서 가공 시작점의 평균 거칠기(R_a)를 3D 형상으로 나타낸 것으로, MQL인 경우에 거칠기 파형이 평탄함을 알 수 있다. Fig. 8은 절삭유체 공급방식과 가공거리에 따른 평균 거칠기(R_a)의 변화를 나타내고 있다. 본 논문의 절삭유

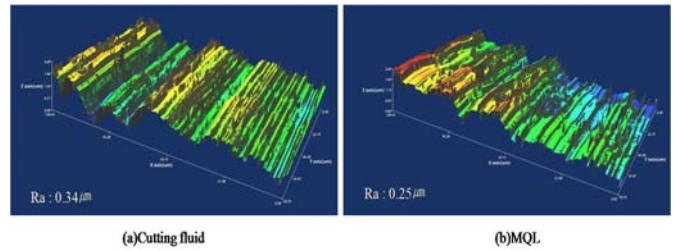


Fig. 7 Surface profiles of FFD in cutting fluid and MQL conditions
 제 공급방식에서 가공거리가 증가함에 따라 표면조도는 불량하게 되는데 이것은 가공거리의 증가에 따른 공구마멸의 영향으로 인한 결과로 사료된다. 또한, MQL이 절삭유체에 비하여 더 양호한 표면조도 값을 보인다. 이는 MQL 방식이 가공접점에 집중적 분사로 인해 윤활 효과를 극대화시키고, 칩의 배출을 원활하게

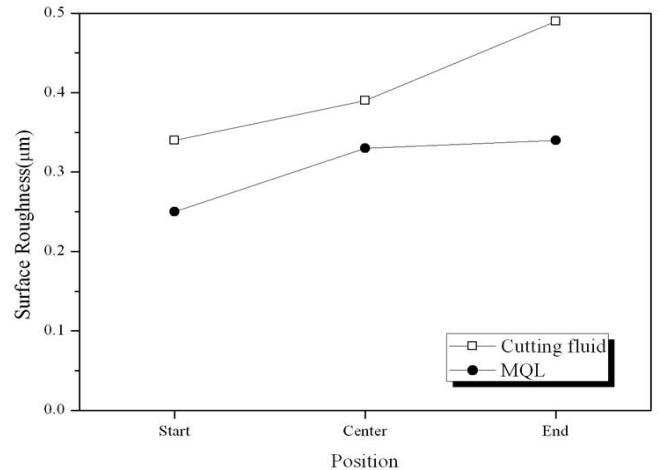


Fig. 8 Variation of surface roughness in cutting fluid and MQL conditions

해주기 때문이다.⁵

4. 결론

고경도 탄소공구강의 FFD에서 절삭유체 공급방식에 따른 마이크로 엔드밀 가공을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 사상과정에서는 안정적인 공구마멸 패턴에 의해서 최대 여유면 마멸과 평균 여유면 마멸이 거의 유사한 값을 가진다. 또한, 황삭인 경우에는 큰 공구마멸 값을 가지고, 중삭공정에서 사상2공정까지는 공구마멸 값이 서서히 감소하는 경향을 보인다. MQL을 사용한 경우 절삭유체에 비하여 공구마멸이 중삭과 사상과정에서 현저하게 작아짐을 알 수 있다. 표면조도는 가공거리가 증가함에 따라 불량하게 되고, MQL인 경우 절삭유체에 비하여 매우 양호한 값을 보인다.

참고문헌

- C. M. Lee, S. P. Ryu, T. J. Ko, J. Y. Jung, W. J. Chung, "A study on the Analysis and Evaluation of Cutting forces for High Speed Machining by a Ball-end mill," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, 5, 167-174, 2005
- Y. S. Liao, H. M. Lin, "Mechanism of minimum quantity lubrication in high-speed milling of hardened steel," International Journal of Machine Tools & Manufacture, 47, 1660-1666, 2007
- P. S. Sreejith, "Machining of 6061 aluminium alloy with MQL, dry and flooded lubricant conditions," Materials Letters, 62, 276-278, 2008
- B. Geoffery, "Fundamentals of metal machining and machine tools," McGraw-Hill Book Co., 1, 70-72, 1975
- T. Aoyama, Y. Kakinuma, M. Yamashita, M. Aoki, "Development of anew lean lubrication system for near dry machining process," CIRP Annals - Manufacturing Technology, 57, 125-128, 2008