

타원계적 진동절삭을 이용한 미세 패턴 가공 Machining of Micro Pyramid Structure using Elliptical Vibration Cutting

*#김기대¹, 배원호², 노병국³

*G. D. Kim(gidkim@cu.ac.kr)¹, W. H. Bae², B. G. Loh³

¹대구가톨릭대학교 기계자동차공학부, ²대구가톨릭대학교 기계자동차공학부 학사과정, ³한성대학교 기계시스템공학과

Key words : Micro pattern, Pyramid structure, Elliptical vibration cutting

1. 서론

부품의 미세화, 초소형화 경향으로 인해 마이크로 몰드의 미세 패턴 가공의 중요성은 매우 증가하고 있다. 특히 디지털 가전, 휴대폰 등 IT 기술과 BT 기술이 발달함에 따라 LCD 도광판(BLU, back light unit) 금형이나 정밀렌즈 금형 및 연료전지 분리판 또는 각종 바이오칩(bio chip) 등의 표면에 V-홈이나 피라미드 형상의 패턴을 정밀하게 가공하는 기술이 절실히 요구된다. 더욱이 가공 재료에 제한이 없고, 열변형이 적으며 또한 만족할만한 표면거칠기 수준을 얻기 위해서는 절삭가공에 의한 미세가공 기술이 필요하다.

절삭 공구를 절삭방향과 이와 수직한 배분력 방향으로 가진 시키면 절삭공구에는 2차원으로 타원계적이 생성되며, 이러한 계적을 가지면서 절삭을 행하는 방법을 타원계적 진동절삭(EVC, elliptical vibration cutting)이라 한다. 그 동안 많은 연구자들은 선삭가공에서 면 가공, 그리고 V-grooving 가공을 효과적으로 수행하기 위하여 타원계적 진동절삭을 적용하여 절삭저항의 감소, 형상 정밀도 향상, 표면거칠기 및 공구의 수명 개선이 가능함을 확인하였다.^[1-8]

본 연구에서는 특정한 형상을 가진 단결정 다이아몬드 공구를 제작하고 알루미늄, 구리와 같은 연성재료와 상대적으로 강도 및 경도가 큰 니켈 재료에 대해 타원계적 진동절삭을 수행하여 피라미드 형상의 미세패턴을 가공하였다. 일반적인 가공방법(CC, conventional shaping)에 비해 EVC 가공의 정밀도 향상을 확인하고, 미세 홈을 수직인 방향으로 교차시켜 가공함으로써 피라미드 형상의 미세패턴을 정밀하게 가공하는 연구를 수행하였다.

2. 실험 장치의 구성 및 방법

Fig. 1은 단결정 다이아몬드 절삭공구에 x 방향, 즉 공구의 이송방향 혹은 주절삭 방향과 y 방향, 즉 배분력 방향을 포함하는 2차원 평면에 타원계적을 생성시킬 수 있도록 하기 위해 절삭공구에 두 개의 압전 소자를 부착한 것을 보여주고 있다.^[7,8] 각 압전 소자에 다양한 영역의 주파수 및 크기를 가지는 정현파 전압을 공급함으로써 단결정 다이아몬드 절삭공구에 여러 가지 형상의 타원계적을 생성시킬 수 있었다.^[7,8] 본 연구에서는 가진 주파수를 18 kHz로 절삭방향 및 배분력방향 계적 진동의 진폭을 1 μ m(직경이 1 μ m인 원 계적)로 고정된 계적으로 진동절삭을 수행하였다.

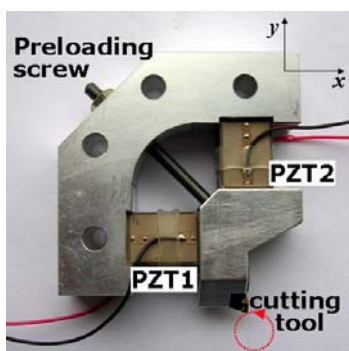
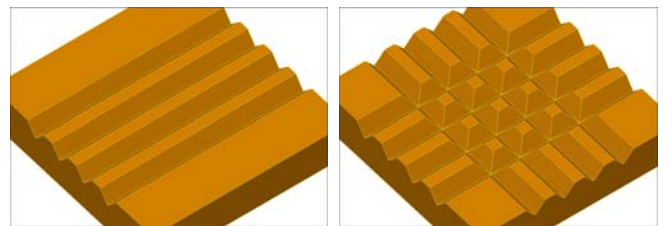


Fig. 1 Cutting structure generating elliptical vibration

공작물 재료로서 알루미늄(Al6061) 과 순수 니켈 및 구리(C1010)를 사용하였으며, 공구동력계(Kistler 9256C)로 절삭력을 측정하여 절삭저항의 변화를 관찰하였고, SEM 으로 가공시편을 그리고 광학현미경으로 칩의 형상을 관찰하고 CC 와 EVC 가공성을 비교하였다.

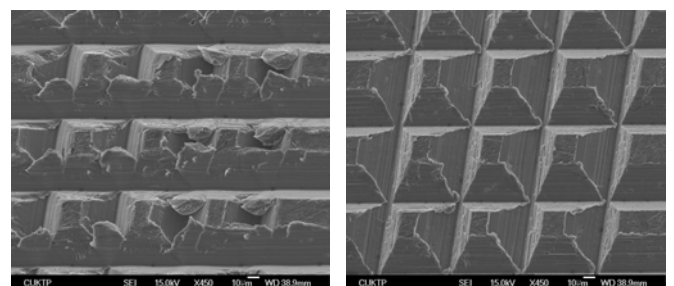
Fig. 2(a) 와 같은 형상의 V-홈을 여러 개 연속적으로 가공한 후 공작물을 90° 회전시킴으로써 공구의 이송방향을 변화시킨 후 다시 한 번 동일한 공정을 수행하면 Fig. 2(b)와 같이 균일하게 분포되어 있는 사각뿔 모양의 피라미드 패턴을 가공할 수 있다. 여기에서 V-홈 간의 간격(feed interval)을 조절함으로써 피라미드 형상 및 패턴 사이의 간격을 조절할 수 있다. 이와 같은 미세 패턴을 가공하기 위한 기존의 방법으로 전주도금(electroforming) 기술을 이용할 수 있지만, 이는 초기 투자 비용이 많이 드는 포토리소그래피(photo lithography) 공정이 필요하며, 또한 여러 단계의 마스크(masking) 공정과 에칭(etching) 공정 등 고비용 저효율 공정이 필요하다. 이에 반하여 절삭공정을 이용하여 마이크로 홈과 다양한 패턴을 가지는 미세 구조물을 제작할 수 있다면 다양한 수요를 신속히 충족시키기 위해 적합한 방법이라고 할 수 있다.



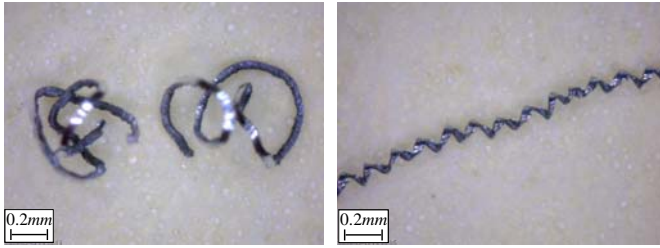
(a) V-grooves (b) Pyramid structures
Fig. 2 Machining of successive V-grooves and pyramid structures

3. 결과 및 토의

Fig. 3 은 알루미늄(Al6061) 재료를 선단각(nose angle) 80°, 여유각 20°, 경사각 0° 인 단결정다이아몬드 공구로 절삭깊이 20 μ m, 홈 사이의 간격 68 μ m, 이송속도 5mm/s 로 하여 V-홈 가공한 후 공작물을 90° 회전시키고 동일한 가공을 다시 수행함으로써 피라미드 패턴을 형상화 한 것이다. Fig. 4 는 1차 V-홈 가공 때 생성된 칩의 형상을 촬영한 사진이며 Fig. 5는 이 때 측정된 주절삭력의 변화를 나타내고 있다. CC 방식으로 V-홈을 가공하



(a) Conventional cutting (b) Elliptical vibration cutting
Fig. 3 Comparison of pyramid structure(material of workpiece : Al6061, depth of cut(d) : 20 μ m, feed interval : 68 μ m, feed speed(v_f): 5mm/s)



(a) Conventional cutting (b) Elliptical vibration cutting
 Fig. 4 Comparison of shapes of chip produced by CC and EVC (material of workpiece : Al6061, $d : 20\mu m$, $v_f : 5mm/s$)

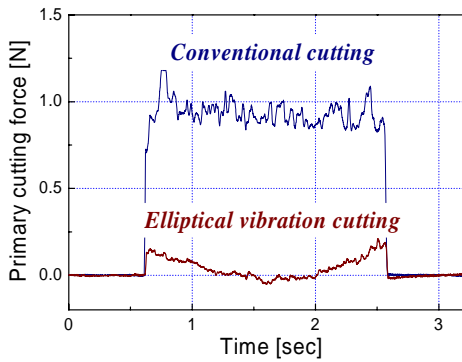
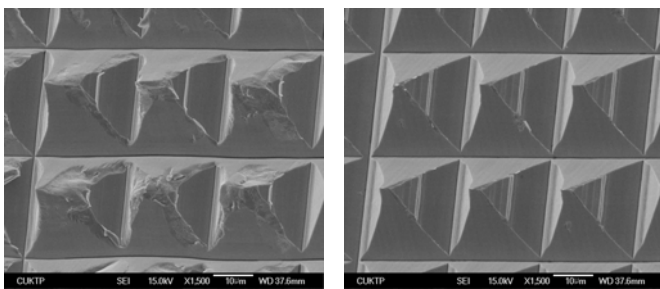
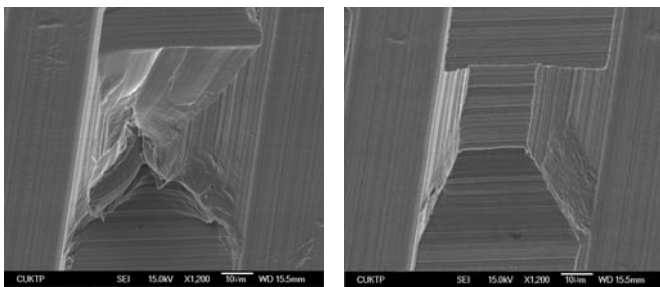


Fig. 5 Comparison of primary cutting force between CC and EVC (material of workpiece : Al6061, $d : 20\mu m$, $v_f : 5mm/s$)

였을 경우에 두껍고 곡률반경이 큰 칩이 생성되었지만, EVC로 가공하였을 경우 EVC 가공 특성상 미변형 칩두께가 얇아지기 때문에 두께가 얇고 곡률반경이 작은 칩이 생성되었다. EVC 일 때 주절삭력의 평균값은 CC 일 때의 0.94N에 비하여 90% 이상 감소되었음을 확인할 수 있다. 이렇듯 EVC 일 경우 미변형 칩두께 및 절삭저항이 크게 감소되어 이로 인해 절삭가공 시 발생하는 버의 생성이 크게 줄어들게 되며 결과적으로 Fig. 3에 나타난 바와 같이 EVC 방식으로 미세 피라미드 패턴을 가공하



(a) Conventional cutting (b) Elliptical vibration cutting
 Fig. 6 Comparison of pyramid structure (material of workpiece : Nickel, height of pyramid : $20\mu m$, width of pyramid base : $28\mu m$, $v_f : 5mm/s$)



(a) Conventional cutting (b) Elliptical vibration cutting
 Fig. 7 Comparison of pyramid structure (material of workpiece : C1010, height of pyramid : $27\mu m$, width of upper face : $27\mu m$, $v_f : 10mm/s$)

면 CC 방식으로 가공하였을 경우에 비하여 형상가공정밀도가 크게 향상됨을 확인할 수 있다.

Fig. 6 은 니켈을 재료로 하여 V-홈 경로간 간격을 조절하여 완전한 피라미드 형상의 패턴을 가공한 결과이고 Fig. 7 은 사다리꼴 모양의 단결정 다이아몬드 공구를 제작한 후 특별한 모양의 미세 패턴을 가공한 결과이다. 두 가지 가공 결과 모두 미세 패턴을 EVC로 가공한다면 형상정밀도를 크게 향상시킬 수 있음을 보여주고 있다.

4. 결론

전주도금 없이 절삭 가공만으로 마이크로 볼드를 제작하기 위해서는 미세 패턴의 가공 형상정밀도가 매우 중요하다. 알루미늄, 구리, 니켈을 재료로 하여 가진주파수가 18kHz 이고 직경이 1µm 인 원 케적을 가지는 진동 절삭 방식으로 피라미드 형상의 미세패턴을 가공한 결과 일반절삭 가공 방식에 비하여 가공 형상정밀도가 크게 개선되었음을 확인하였다.

후기

이 논문은 2007년 교육인적자원부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2006-311-D00013)

참고문헌

1. E. Shamoto, T. Moriwaki, "Study on Elliptical Vibration Cutting," Annals of the CIRP, 43, 35~38, 1994
2. T. Moriwaki, E. Shamoto, "Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting," Annals of the CIRP, 44, 31~34, 1995
3. C. Ma, E. Shamoto, T. Moriwaki, L. Wang, "Study of machining accuracy in ultrasonic elliptical vibration cutting," International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44, 1305~1310, 2004
4. E. Shamoto, T. Moriwaki, "Ultraprecision Diamond Cutting of Hardened Steel by Applying Elliptical Vibration Cutting," Annals of the CIRP, 48, 441~444, 1999
5. E. Shamoto, N. Suzuki, T. Moriwaki, Y. Naoi, "Development of Ultrasonic Elliptical Vibration Controller for Elliptical Vibration Cutting," Annals of the CIRP, 51, 327~330, 2002
6. D. E. Brehl and T. A. Dow, "Review of vibration-assisted machining," Precision Engineering, doi:10.1016/j.precisioneng.2007.08.003, 2007
7. G. D. Kim and B. G. Loh, "Characteristics of Elliptical Vibration Cutting in Micro V-grooving with Variations of Elliptical Cutting Locus and Excitation Frequency," Journal of Micromechanics and Microengineering, doi:10.1088/0960-1317/18/2/025002, 2008
8. 김기대, 노병국, "초정밀 미세가공을 위한 케적 변화에 따른 타원 케적 진동 절삭," 한국정밀공학회지, 제 24권 제 11호, 52~58, 2007