

궤적 경로의 변화에 따른 타원진동절삭의 특성 Characteristics of Elliptical Vibration Cutting with Variable Elliptical Locus

#김기대¹, 노병국²

#G. D. Kim(gidkim@cu.ac.kr)¹, B.G.Loh²

¹ 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부, ² 한성대학교 기계시스템공학과

Key words : Elliptical vibration cutting, Elliptical locus, Cutting force, Shape accuracy

1. 서론

PDP용 격벽(barrier ribs)제작, LCD용 도광판(light guide plate), 프레넬 렌즈(Fresnel lens)용 금형 등 미세 홈(micro-groove)을 가진 부품을 정밀하게 가공하기 위해서는 홈의 형상 정밀도, 가공면 자체의 표면 거칠기, 가공면 주위의 버(burr) 생성 억제, 공구 수명 향상 등을 만족시킬 수 있는 미세 홈 가공 기술이 필요하다.

타원 궤적 진동절삭(EVC, Elliptical vibration cutting)은 Moriwaki와 Shamoto가 최초로 제안한 가공법으로서 절삭 공구를 2차원, 즉 절삭 방향과 칩 배출 방향으로 가진시켜 결과적으로 공구에 타원 궤적을 생성시키면서 절삭 가공하는 방법을 말한다. 이러한 가공을 적용시키면 절삭력이 감소되고, 형상 정밀도가 향상됨을 확인하였다.^{1,5} 다이아몬드 공구를 이용하여 EVC 방법으로 경화강(hardened steel)을 절삭가공할 때에 공구 수명이 크게 향상됨을 확인하였다.⁴ Cerniway⁶, Negishi⁷, Bracato⁸는 한 쌍의 평행한 PZT 액추에이터를 이용하여 다양한 시험을 수행하였고, EVC가 정밀 가공 방법으로서 대안이 될 수 있음을 밝혔다. 그러나 현재까지 진행된 EVC에 관한 모든 연구는 고정된 가진 주파수를 사용하였고, 절삭 공구가 그리는 타원 궤적의 진폭과 형상을 변화시킬 수 없었기 때문에 타원 궤적의 형상 변화에 따른 EVC 가공 특성을 설명하지는 못하였다.

본 연구에서는 한 쌍의 평행한 PZT를 절삭 공구에 부착하고 다양한 가진 주파수로 다양한 형태의 타원 궤적 진동을 생성시킬 수 있는 절삭 기구를 제안하고 타원 궤적 경로의 변화에 따른 EVC 특성을 고찰하였다. PZT로 공급되는 전압의 크기와 두 PZT 간 위상 차이를 각각 변화시켜가면서 절삭 공구에 발생하는 타원 궤적의 형상이 어떻게 변화하는지 관찰하였다. 그리고 황동과 구리를 재료로 하여 타원 궤적의 진폭 및 형상을 변화시켜가면서 미세 V 홈을 가공할 때, 절삭력 및 가공면의 형상정밀도 변화를 관찰하였다.

2. 타원궤적 생성 절삭기구

Fig. 1은 본 연구에서 제안하고 있는 타원 궤적의 고주파 진동 발생 PZT 절삭 기구의 구조이다. PZT에서 발생하는 변위를 증폭시키기 위하여 각각 6개씩 쌓아서 변위를 증폭하였고, PZT 스택의 맨 위층에는 반경이 15mm인 구형의 스테인리스 강을 부착하여 PZT 스택과 공구 홀더 사이에 점 접촉이 이루어지도록 함으로써 하나의 PZT에서 발생하는 인장 및 압축 변형이 다른

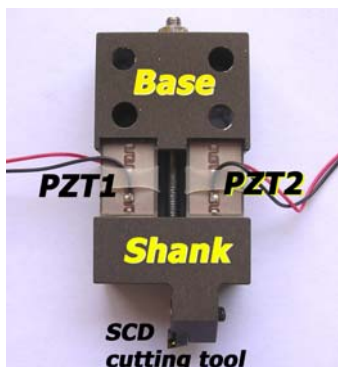


Fig. 1 Photograph of vibrated cutting tool

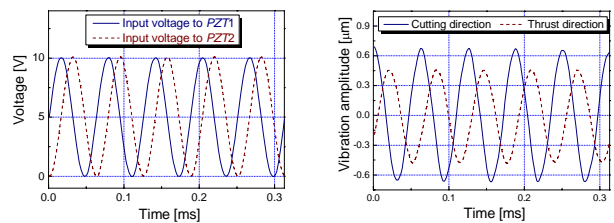
PZT에서 전단 변형을 유발시키지 않도록 하였다.

위상과 진폭을 조절할 수 있는 함수발생기로부터 90° 위상차를 가지는 두 개의 고주파 정현파형 전압을 발생시키고 이 신호를 고주파 동력증폭기를 통해 증폭한 후, 평행하게 배열된 두 개의 PZT에 공급하면 절삭 날(cutting edge)은 타원 궤적이 생성된다.⁹ 두 개의 평행한 PZT에 공급하는 각각의 전압의 크기를 변화시키면 타원 궤적의 축의 각도를 조절할 수 있고, PZT1에 대한 PZT2의 위상 차이를 변화시키면 타원 궤적의 형상, 즉 타원의 장단경 비를 조절할 수 있다.⁹ 따라서 본 연구에서는 공급 전압의 크기와 위상 차를 변화시킴으로써 다양한 경로를 가지는 타원 궤적 진동을 발생시켰다.

3. 궤적 경로의 조정 및 측정

Fig. 2(a)와 같이 공급전압(V_{pp})이 모두 10V (0V~10V)이고 가진 주파수가 16kHz이며 위상차가 90°인 정현파형 전압을 두 개의 PZT에 입력하였으며, Fig. 2(b)에 절삭 방향 및 배분력 방향으로 절삭 공구가 진동하는 변위를 측정된 결과를 나타내었다. 측정 결과 절삭 방향으로 약 1.4 μm 및 배분력 방향으로 약 1 μm 의 진동 변위가 측정되었으며, 두 방향의 진동 변위 사이에는 일정한 위상 차이가 존재하였다. 이들 두 방향의 변위가 합성되어 절삭 날에서는 수평 방향으로부터 약 -25° 기울어진 타원 궤적을 따라 반시계 방향으로 회전하는 운동이 생성되었다.

공구의 이송방향을 생각한다면 절삭날은 시계방향으로 회전해야 하며, 타원 축의 방향도 이송방향과 평행한 것이 바람직하



(a) Input voltage to PZTs (b) Vibration amplitude

Fig. 2 Vibration of cutting tool ($f = 16 \text{ kHz}$, $V_{pp1} = V_{pp2} = 10 \text{ V}$, $\phi = 90^\circ$)

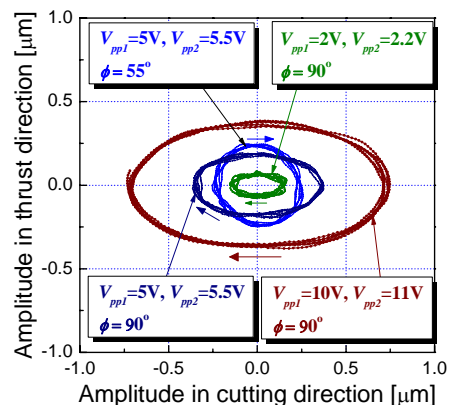


Fig. 3 Adjustment of trajectory of cutting tool ($f = 16 \text{ kHz}$)

다. 따라서 공급전압과 위상차이를 변화시켜가면서 Fig. 3과 같이 레적의 경로를 조정하여 다양한 형상의 타원레적을 얻었다.

4. EVC 및 결과

타원 레적의 경로 변화에 따른 EVC의 특성을 이해하기 위하여 Fig. 4와 같은 미세 V-홈 가공을 수행하였다. 시편은 황동(C2801)과 구리(C1100)를 사용하였고, 노우즈 반경이 약 1 μ m, 선단각 80°, 경사각 0°, 그리고 여유각이 10°인 단결정 다이아몬드 공구를 이용하였다.

Fig. 5는 절삭 기구에 결합되어 있는 한 쌍의 PZT에 전압을 0.3V, 1.5V, 10V로 증가시켜 가면서 가진 주파수가 18 kHz인 정현파 전압을 입력시켜 진동을 발생시키면서 황동 시편을 이송 속도 3 mm/s, 절삭깊이 30 μ m의 절삭 조건으로 EVC로 가공하였을 때 주절삭력의 크기 변화를 측정하였다. 타원 진동 레적의 진폭 및 형상에 따른 주절삭력의 변화를 살펴보면 일반 가공인 경우 약 0.87 N의 주절삭력이 걸렸으나, 공급전압을 증가시켜 타원의 진폭이 증가함에 따라 절삭력이 점차 감소하다가, 공급전압을 10V로 증가시켜 절삭 방향 및 배분력 방향으로 각각

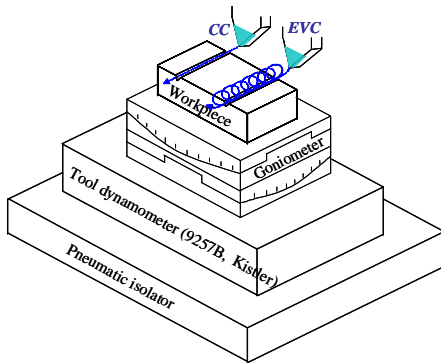


Fig. 4 Comparison of v-grooving (Conventional cutting vs. EVC)

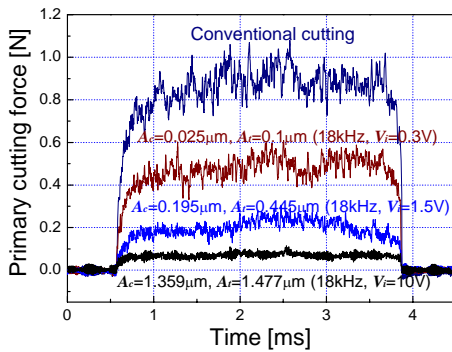


Fig. 5 Primary cutting force variations according to trajectory of cutting tool (C2801, $f = 18$ kHz, $V_f = 3$ mm/s, $d = 30$ μ m)

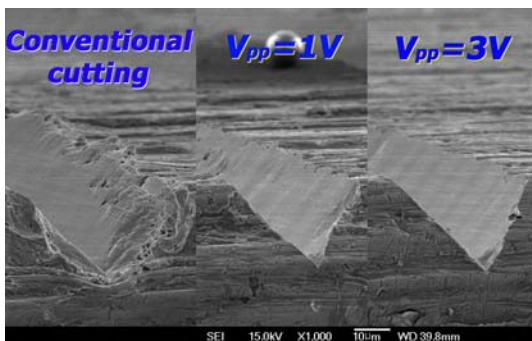


Fig. 6 Roughness of machined surface and shape accuracy of exit v-groove according to applied voltage (C1100, $f = 25$ kHz, $V_f = 3$ mm/s, $d = 20$ μ m)

1.359 μ m, 1.477 μ m 진폭의 진동을 발생시키면 주절삭력이 약 0.07 N 정도로 일반절삭에 비하여 90% 이상 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 가진 주파수 25 kHz의 타원 레적 진동 절삭에서 PZT로의 공급 전압을 증가시켜 레적의 진폭이 증가하면 V-홈 가공면 이탈부의 형상 정밀도가 어떻게 달라지는지를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 연성재료의 구리(C1100) 시편을 일반 절삭 방법으로 가공할 때에는 가공면 주위 및 이탈면에서 버(side/exist burr)가 많이 발생하였다. 그러나, 초음파 EVC 가공을 수행하면 버의 생성이 억제되어 형상 정밀도가 향상되었으며 공급 전압을 증가시켜 타원 레적의 진폭을 증가시키면 정밀도의 향상 효과는 더욱 증대되었다.

5. 결론

한 쌍의 평행한 PZT를 이용하여 다양한 경로의 타원 레적을 생성시킬 수 있는 절삭 기구를 제안하고, 각 PZT에 공급되는 정현파 전압의 크기와 위상 차이를 변화시켜 여러 가지 형상의 타원레적 경로를 생성시켰다. 황동과 구리 시편을 대상으로 미세 V-홈 가공 시험을 수행한 결과, 타원 레적의 형상이 왜곡되지 않는 범위 내에서 타원 레적 경로의 진폭이 증가하면 절삭 저항이 감소되고 버의 생성이 억제되어 형상정밀도가 향상되는 EVC의 효과가 더욱 증대됨을 확인하였다.

후기

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

참고문헌

- Shamoto, E., Moriwaki, T., "Study on Elliptical Vibration Cutting," Annals of the CIRP, 43, 35~38, 1994
- Moriwaki, T., Shamoto, E., "Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting," Annals of the CIRP, 44, 31~34, 1995
- Ma, C., Shamoto, E., Moriwaki, T., Wang, L., "Study of machining accuracy in ultrasonic elliptical vibration cutting," International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44, 1305~1310, 2004
- Shamoto, E., Moriwaki, T., "Ultraprecision Diamond Cutting of Hardened Steel by Applying Elliptical Vibration Cutting," Annals of the CIRP, 48, 441~444, 1999
- Shamoto, E., Suzuki, N., Moriwaki, T., Naoi, Y., "Development of Ultrasonic Elliptical Vibration Controller for Elliptical Vibration Cutting," Annals of the CIRP, 51, 327~330, 2002
- Cerniway, M. A., "Elliptical Diamond Milling: Kinematics, Force, and Tool Wear," M.S. thesis, North Carolina State University, 2001
- Negishi, N., "Elliptical Vibration Assisted Machining with Single Crystal Diamond Tools," M.S. thesis, North Carolina State University, 2003
- Brocato, B. C., "Micromachining using Elliptical Vibration Assisted Machining (EVAM)," M.S. thesis, North Carolina State University, 2005
- Loh, B. G., Kim, G. D., "Micro Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting - (I) The Generation of a Elliptical Vibration Cutting Motion for Micro Ultrasonic Machining," Journal of KSPE, Vol. 22, No. 12, pp. 190-197, 2005.
- Kim, G. D., Loh, B. G., Hwang, G. S., "Micro Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting - (II) Ultrasonic Micro V-grooving Using Elliptical Vibration Cutting," Journal of KSPE, Vol. 22, No. 12, pp. 198-204, 2005.