

회전체의 초음파에너지 전달에 의한 캐피러리 조도면 개선에 관한 연구

변 경 원, 윤 희 상

호서대학교 정보통신공학과

A study of improvement of tip surface at rotator capillary using transmit effect of ultrasonic vibration energy

Kyoung-Won Byun, Hee-Sang Youn

Department of Information & Telecommunication Engineering,
Hoseo University

요 약

캐피러리(Capillary)는 반도체 납땀에 사용되는 헤더 부분으로써 현재까지는 강철편에 다이아몬드를 부착하여 가공하였으나 가공정밀도에서 매우 불량하였다. 본 논문에서는 스피들, 콜렉트, 척부분을 변경하여 초음파에너지를 가할 수 있도록 하였으며 특히, 주파수추종방법을 이용한 발진부 제어를 통해 부하단의 변화에도 대처할 수 있도록 하였으며 캐피러리(Capillary)의 가공을 최적화 하기 위해 혼과 진동자의 무게를 이용할 수 있도록 설계하였다. 본 방법을 사용하여 실험한 결과 캐피러리(Capillary) 조도면은 우수한 특성을 나타냈음을 확인했으며 현장에서 직접 사용할 수 있는 시스템을 제시하였다.

I. 서 론

최근 정밀 측정 및 생산 시스템의 급속적인 발전으로 수요가 급증함에 따라 재료들의 경면가공이 요구되고 있다. 현재의 캐피러리 가공은 공정법이나, 생산성이 떨어지고 환경오염에 지대한 영향을 미치는 등 많은 문제점을 안고 있다. 따라서 이에 대한 가공법에 관심이 대두되고 있다. Weber^[1]는 유리세라믹(glass ceramics)을 공구홀더에 초음파 횡진동을 가진 시켜 가공면에서 취성파괴에 의한 칩 생성으로 공구수명을 20 배까지 증가 시킬 수 있다고 보고 하였으며, Wang^[2]은 주절삭 방향으로 초음파 진동이 표면에 미치는 영향을 가공면의 전자주사현미경(SEM: Scanning Electron Microscope) 사진분석과 스펙트럼 분

석으로 비교 설명하였다.

근래에 Moriwaki^[3,4]는 공구마멸 때문에 다이아몬드 선삭가공이 곤란했던 철계 금속인 스테인레스강을 40kHz 의 초음파 진동가공으로 경면을 달성하였고, 경취재료인 유리의 연성가공을 시도하여 임계 절삭 깊이를 7 배 증가시킴으로써 초음파 진동을 이용한 경취재료의 연성가공 가능성을 제시하였으며, 공구 끝의 진동 속도를 절삭속도의 10 배 정도로 하면 미소 크랙이 없는 경면을 얻을 수 있다는 것을 발표한 바 있다.

본 연구에서는 모터에 의해 회전하고 있는 캐피러리에 초음파에너지를 전달하여 캐피러리의 조도면에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

II. 주파수 자동 추미형 초음파 발진기

초음파 가공 등에 사용되는 발진에는 압전 소자의 공진주파수가 이용되며 소자가 가지고 있는 약 3%의 오차범위와 발열 등에 의해 압전 소자의 공진 주파수가 변화한다. 공진 주파수와勵磁 주파수가 다르면 공진에 의한 커다란 에너지는 얻어지지 않기 때문에 본 연구에서는 진동자의 진동 변위를 입력측으로 귀환시켜 공진 주파수가 변화하여도 기계 진동계의 공진 주파수를 유지할 수 있도록 사내요소식 진동귀환방식을 응용하여 68kHz 진동자를 구동 시킬 수 있는 발진부를 하프브리지 형태로 구성하여 구현하였다. 이는 Q(Quality factor)가 높은 초음파 응용분야에 쓰이고 있다.

그림 1 은 발진부의 블록도 이며 그림 2 는 주파수 추종에 의한 출력파형이다.

변화를 최소화 하기 위해서 진동발생부분과 혼의 구성을 볼트, 너트 형식으로 만들어 혼 부분만을 교체 가능하도록 설계 하였다. 그림 6 에서는 설계된 혼의 모습을 보여준다.

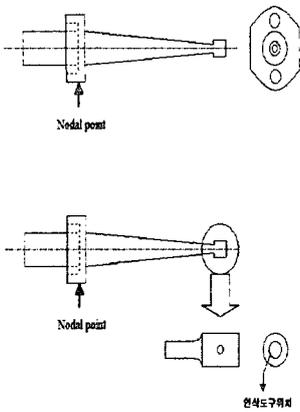


그림 6

그림 6. 설계된 혼의 단면도
그림 7. 실험 장치

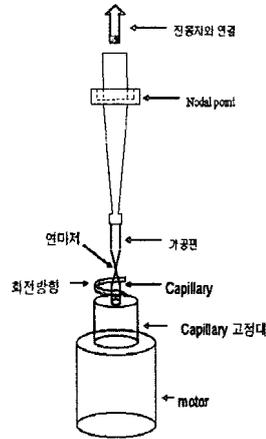


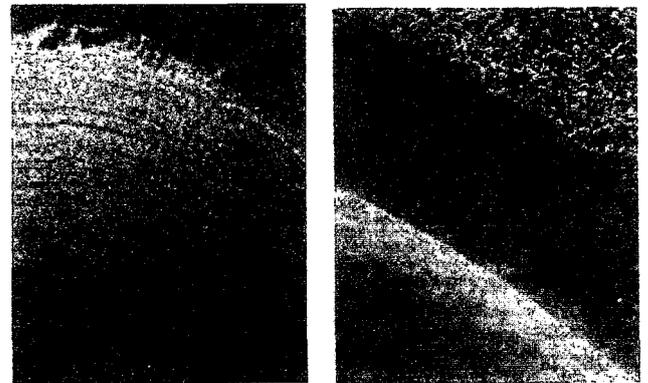
그림 7

캐피러리에 가해진 초음파에너지의 크기에 따른 결과를 도출하기 위해 실험 중에 있다. 실험에 사용된 캐피러리는 초음파세정 후 1 차적으로 마이크로스코프로 검사를 거쳐 2 차에는 전자주사현미경(SEM : Scanning Electron Microscope)을 촬영하여 기존의 방법과 비교 하였다. 출력파위에 따른 조도면의 특성을 관측하고자 출력부분의 코어의 턴 수를 조절하여 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 의 비율의 4 가지의 출력상태로 시간 대역별로 검사를 시행하였다.

V. 실험 결과 및 고찰

V-1. 가공면의 미소표면성상 분석

그림 8 은 캐피러리 가공면의 미소표면을 전자주사현미경으로 분석하여 나타낸 것으로 (a)는 초음파 진동 없이 가공한 면의 사진이고, (b)는 초음파 진동을 가한 상태의 것이다. 초음파 진동이 없는 경우는 가공핀의 폴랭크면과의 마찰력의 영향으로 취성파괴에 의한 부분과 불규칙한 크랙이 존재하는 반면에 초음파 진동에 의한 가공부분은 표면의 취성파괴 부분이 크게 감소되었다.



(a) 초음파를 가하지 않은 캐피러리의 조도면
(b) 초음파를 가한 캐피러리의 조도면

그림 8. 캐피러리 가공면의 미소표면

그림 8 (b)에서 캐피러리의 가공면은 초음파의 진동수로 회전운동하는 공구의 큰 가속에 의하여 재료가 제거되고 한면에서 중복적으로 공구가 지나감에 따라 미소 탄성변형 부분이 모두 제거 된다.

여기서 Nodal point 는 그림 4 에서 진폭의 크기가 0 이 되는 부분이며 Nodal point 에서 진동자를 고정시켜야 발생된 초음파 에너지의 손실이 없이 소단면에 전달되어 안정된 출력을 얻을 수 있다.

IV. 실험

IV-1. 실험 장치

실험 장치의 구성을 그림 7 에 나타내었다. 컷하단 부에는 motor 을 고정할 수 있는 고정대가 있고 motor 와 캐리러리를 고정할 수 있는 고정대, 가공핀을 연결한 지수 함수 혼이 그림 7 과 같이 수직으로 세워져 있으며 캐피러리와 가공핀 사이에는 연마제를 삽입할 수 있도록 구성되었다. 여기서 사용된 motor 의 속도는 1700rpm 이고, 초음파의 주파수는 지수 함수 혼의 설계에서 보였던 68kHz 를 이용하였다.

IV-2. 실험 방법

모터에 의해서 회전하고 있는 캐피러리에 지수 함수 혼의 장착한 가공핀을 올려놓고 기존의 사용되는 방법과 동일한 조건하에서 실험을 진행하였다. 또한

V-2. 파장스펙트럼 분석에 의한 초음파 연삭 특성

현재 파장 스펙트럼 분석을 위한 자료를 얻는 과정이 진행중이며 초음파 진동연삭 표면 형상을 측정할것과 가진 하지 않은 상태에서의 연삭 표면형상을 가지고 가공면의 표면형상의 자료를 바탕으로 파장에 따른 에너지 스펙트럼 밀도의 분포를 관찰하고자 한다.

파장스펙트럼 분석은 표면 거칠기에 대한 많은 인자의 영향이 그 상관파장에서의 에너지 밀도스펙트럼에 의해 반영된다는 것에 기초하는 것으로서 가공면의 형상함수인 $h(x)$ 의 푸리에 변환을 $H(\lambda)$ 라고하고, λ 는 표면의 파장이라고 하면 다음 식이 성립한다^[2]

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|H(\lambda)|^2}{\lambda^2} e^{i2\pi\lambda\tau} d\lambda = \int_{-\infty}^{\infty} S(\lambda) e^{i2\pi\lambda\tau} d\lambda \quad (3)$$

따라서, 좌우변을 비교하면 식(4)를 정의할 수 있다.

$$S(\lambda) = \frac{|H(\lambda)|^2}{\lambda^2} \quad (4)$$

$S(\lambda)$ 는 파장스펙트럼 밀도함수이고, 각 파장에 포함된 에너지라고 볼 때 표면형상에 대한 자동상관함수에서 $\tau=0$ 이면,

$$R(0) = \int_{-\infty}^{\infty} h_T^2(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} S(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

가 되고, 평면형상의 표본함수 $h_T(x)$ 를 가공면의 파장신호로 간주하면, 결국 다음식을 얻을 수 있다.

$$\lim_{T_s \rightarrow \infty} \frac{1}{T_s} \int_{-T_s/2}^{T_s/2} h_T^2(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} S(\lambda) d\lambda \quad (6)$$

식(6)의 좌변은 입력 표면형상 신호의 평균계급(mean power)을 나타내며, 표면거칠기가 악화될수록 그 스펙트럼 밀도가 증가하게 된다는 것을 알 수 있고, 이것을 파장에 따라 분석하면 표면형상을 구성하는 상세한 파장영역을 알 수 있다.

VI. 결론

초음파의 종진동을 이용하여 68kHz 의 초음파 진동을 가진 강철핀 공구로 캐피러리를 미소 연삭가공을 하고, 가공면의 전자주사현미경 사진관측 결과는 일반적인 연삭가공에 비하여 조도면이 훨씬 개선되었음을 확인할 수 있었으며, 출력부분의 가변을 통한 실험에서는 코어의 비가 1:1 에서 25 초간 가공한 것이 가장 우수한 가공효과를 발휘하였다. 표 1 에서 보는바와 같이 기존의 약 70%의 불량률을 약 30%까지 낮출 수 있었다. 또한 기존의 작업시간 45 초보다 20 초가 개선된 25 초의 시간으로도 그림 8 과 같은 결과를 나타내었다.

	불량률	작업 시간
기존의 방법	약 70%	약 45 초
제안된 방법	약 30%	약 20 초

표 1. 기존의 방법과 제안된 방법의 비교

참고문헌

1. H. Weber, J. Herberger and R. Pilz, Turning of machinable glass ceramics with an ultrasonically vibrated tool, Annals of the CIRP, Vol.33/1, pp.85-87, 1984.
2. Li-Jiang Wang, and Ji Zhao, Influence on roughness in turning with ultrasonic vibration tool, Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol.27, No.2, pp.181-190, 1987.
3. T. Moriwaki, and E. Shamoto, Ultraprecision diamond turning of stainless steel by applying ultrasonic vibration, Annals of the CIRP, Vol.40/1, pp.559-562, 1991.
4. T. Moriwaki, E. Shamoto, and K Inoue, Ultraprecision ductile cutting of glass by applying ultrasonic vibration, Annals of the CIRP, Vol.41/1, pp.141-144, 1992
5. 島川 正憲, 超音波工學, 工業調査會, pp.77-141, pp. 275-307.