

## 초음파 진동을 이용한 미세 버 제거기술

최헌종, 이석우, 강은구, 최영재(한국생산기술연구원), 고성림(건국대학교)

### Technology of Micro Deburring Using the Ultrasonic Vibration

H. Z. Choi, S. W. Lee, E. G. Kang, Y. J. Choi(KITECH), S. L. Ko(Konkuk Univ.)

#### ABSTRACT

The operation of surface and edge finishing is the last and essential process of parts machining, because a product is completed as an assembly. Therefore, the quality of the finished parts has a direct effect upon the performance of the product. Especially, the edge quality depending on the burr control process is very important. A number of deburring processes have been developed for macro burrs such as barreling, brushing, chemical methods, etc. However, micro burr removal when piercing a very thin plate is very difficult, because this badly deteriorates the surface quality of the processed part.

When ultrasonic wave is propagated in liquids, it forms an infinitude of micro bubbles. These bubbles generate extremely strong force, which removes micro burrs. In ultrasonic micro deburring, the problem is that burrs are not removed completely, because only components of the explosive force directly act on the burrs, which is not enough.

An attempt was made to remove the burrs using ultrasonic vibration in water with SiC as an abrasive agent. Because of the abrasive, smoother edges have been achieved. There are many control parameters in ultrasonic deburring such as abrasive size, ultrasonic frequency and amplitude, distance between tool and workpiece, tilt angle of workpiece etc.

This study focuses on how distance and tilt angle influence deburring effect. A number of experiments for these parameters have been carried out, and then the effect of each parameter analyzed.

**Keywords :** Micro burr(미세버), Ultrasonic vibration(초음파 진동), Resonance frequency(공진주파수), Horn(혼) Amplitude(진폭), Abrasive(지립), Deburring(버제거)

#### 1. 서론

전자산업과 컴퓨터 산업의 급속한 발전과 함께 모든 부품들이 소형화됨에 따라서 매우 높은 정밀도의 부품 제작이 요구되고 있다. 부품가공에 있어서도 기존의 절삭에 의한 정밀부품의 제작으로부터 반도체산업과 LCD와 같은 전자산업의 발달에 따라서 특수한 가공방법을 요구하게 되었다. 미소 형상부품의 설계와 생산을 위하여 초미소 형상에 대하여는 MEMS와 같은 집중적인 연구 분야가 형성되어 있지만 실제로 미소형상의 부품 가공 시에 발생하는 미소 버발생에 대한 대책은 전무한 상태이다. 또한 미소한 유압부품의 실린더 내부에 형성되는 많은 미소 구멍부에 발생하는 버의 문제는 이미 대부분의 산업

현장에서는 이미 보편화된 문제이다. 그럼에도 불구하고 이러한 미소 버의 형성과 제거를 위한 총체적인 접근이 아직 이루어지고 있지 않은 상태에서 대부분의 현장에서는 비싼 외국장비에 100% 의존하고 있는 실정이다.

일반적으로 버는 절삭가공이나 펀칭작업과 같은 소성변형의 결과로 나타나기도 하고 주조 가공과 같은 경우에도 발생한다. 연성 재질에서는 돌출한 버가 발생하지만 취성재질에서는 파단에 의한 모서리(chamfer)가 발생하기도 한다. 이 경우 모서리 면은 파단면으로 존재하기 때문에 거칠고 손상을 입기 쉬운 상태이다. 이처럼 버의 발생은 조립공정시 허용공차에 영향을 주며, 또한 접촉면의 손상을 유발할 수 있다.

버에 관한 연구로는 원천적으로 발생을 억제하는 연구가 필요하다. 그러나 버의 발생을 완벽하게 억제하기란 매우 어렵다. 따라서 발생된 버를 제거하는 연구가 많이 진행되고 있다. 현재 이용되고 있는 버의 제거방법으로는 연마제(abrasive)를 이용하는 방법으로 바렐(barrelling)이나 브러쉬(brushing)등이 있으며, 이밖에 화학적인 방법으로 용액 내에서의 에칭에 의하기도 한다.

본 연구에서는 초음파를 이용한 효과적인 버의 제거를 목적으로 한다. 초음파 디버링(deburring) 시에는 고려되어야 할 실험 조건들이 상당히 많이 존재한다. 따라서 이러한 조건들이 버 제거에 어느 정도의 영향을 미치는지를 파악하고자 한다. 우선 혼의 기울기에 따른 버 제거 효과와 혼의 거리에 따른 버 제거 효과를 살펴보고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

Fig. 1(a)는 초음파 디버링에 사용된 실험 장치이다. 초음파 혼이 2축에 있으며, 3축 정밀제어가 가능하다. 또한 시편을 지립 용액에 담가둘 수조가 있다. Fig. 1(b)는 사용된 초음파 진동용 앰프의 사진이다. 앰프의 대표적인 기능으로는 작은 영역의 자동 주파수 조정 알고리즘 수행이 가능하다. Table 1은 초음파의 세부 항목별 사양을 나타내었다. 표에서 보는 것처럼 Fig. 1(a)사용된 초음파의 사양은 40kHz의 700W이며, 최대진폭은 10 $\mu$ m이다.

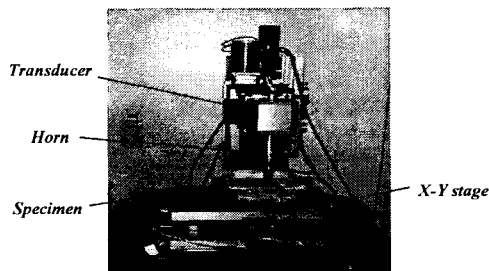


Fig. 1(a) Photograph of experimental setup of deburring process

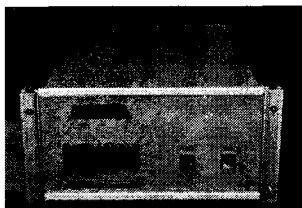


Fig. 1(b) Photograph of ultrasonic amplifier for deburring tool

Table 1 Specifications of ultrasonic vibration system

Contents	Specifications
Vibration frequency	40kHz
Power of electrical input	700W
Ultrasonic Transducer Amp.	2~3 $\mu$ m
Material	Titanium
Diameter	$\Phi$ 20
Maximum amplitude	10 $\mu$ m

### 2.2 기울기 각에 따른 디버링

#### 2.2.1 버 시편 제작

미세 버 제거 실험을 위한 버 시편 제작을 위해 드릴 가공을 하였다. 드릴 가공 조건 및 가공 후 버의 높이는 Table 2에 나타나 있다. 버의 형태를 살펴보기 위하여 광학현미경을 이용하여 측정하였으며, 그 결과가 Fig. 2(a)에 나타나 있으며, 레이저를 이용한 버 프로파일도 Fig. 2(b)에 잘 나타나 있다. 가공 조건하에서 드릴 버의 최대높이는 130 $\mu$ m 정도이다.

Table 2 Burr height according to drilling conditions

	Drilling condition	Height of burr
#1	speed=40m/min, feed=0.05mm/rev	62 $\mu$ m
#2	speed=45m/min, feed=0.1mm/rev	132 $\mu$ m

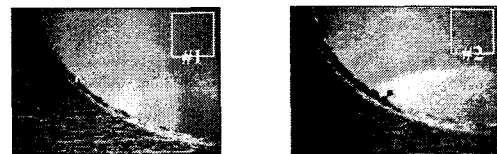


Fig. 2(a) Photograph of burr shape after drilling process

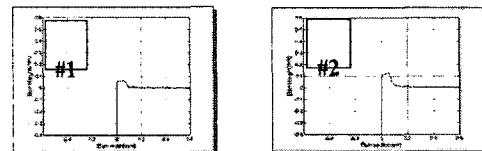


Fig. 2(b) Burr profile after drilling process

#### 2.2.2 버 제거 실험 결과

기존의 초음파를 이용한 버 제거의 경우 초음파의 공동현상에 의한 미세 기포들의 폭발에 의한 현상을 이용하여 버 제거를 수행하여 왔다. 그러나 마이크로 기포에 의한 폭발의 경우 버를 뜯어내기 때

문에 버의 형상이 거칠어지는 경향을 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 액체 속에 미세 지립을 첨가하여 지립에 의한 마모효과를 기대함으로써, 거칠어지는 효과를 부드럽게 마모되도록 하기 위하여 지립의 첨가 방법이 제안되었다. 이러한 경우 버 제거 메커니즘의 경우 순수 물을 이용한 경우보다는 공동현상이 줄어들 것으로 예상되나 초음파 진동에 의한 지립의 강한 운동에너지가 혼을 통해 전달될 것이다. 따라서 지립을 물에 첨가할 경우 공동현상에 의한 버 제거 효과뿐만 아니라 지립의 강한 운동에너지 또한 버 제거에 영향을 미칠 것이다.

결국 기울기 각을 조절함은 입자의 운동방향을 버의 높이 방향에서 기울어지도록 하여 버 제거 효과를 높이기 위한 목적에서 실시하였다.

Table 3은 기울기에 따른 디버링 실험 조건을 나타내었으며, Fig. 3은 디버링 실험 방법을 도시화함으로써 실험 방법의 이해를 돕고자 하였다.

Fig. 4는 기울기에 따른 디버링 실험 결과의 버의 프로파일을 그림으로 나타내었으며, Table 4는 이를 정량적으로 정리하였다. 실험 결과 0°C의 기울기보다 45°C의 기울기를 가질 때 버 높이가 더욱 감소해 짐을 볼 수 있으며, 이는 버의 측면에서 지립이 작용할 때 버의 제거 효과가 커짐을 알 수 있었다.

Table 3 Experimental conditions for deburring process

	Ultrasonic spec.	Abrasive	Distance	Time	Tilt angle
#1	Freq. = 40kHz Amp. = 1.5μm Power = 700W	SiC #8000 Water : Abrasive(weight) 60:40	3mm	20min	45°
#2					0°

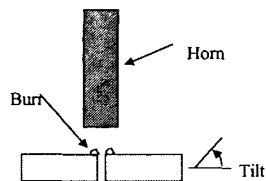


Fig. 3 Schematic diagram of experiment conditions

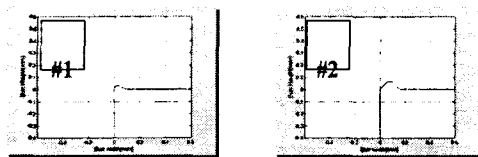


Fig. 4 Profiles of burr after deburring process

Table 4 Burr height before and after deburring process

	Burr height before deburring process	Burr height after deburring process	Removal rate
#1 (45°)	62μm	30μm	51%
#2 (0°)	132μm	67μm	49%

### 2.3 혼의 거리에 따른 디버링

미세 버제거 실험을 위한 버 시편제작은 드릴가공에서 발생된 버를 이용하였다. Table 5의 경우 혼의 거리에 따른 디버링 실험 조건을 나타내었다. 디버링 조건으로서의 혼의 거리를 줄이는 것은 음압의 강도를 높여주어 공동현상의 발생량이 커지며, 또한 혼이 지립에 직접 전달하는 운동에너지 또한 커짐을 생각할 수 있다. Fig. 5는 혼의 거리에 따른 디버링 실험 방법을 도시화함으로써 실험 방법의 이해를 돕고자 하였다. Fig. 6은 각 실험에 해당하는 디버링 전·후의 버의 프로파일을 나타내었다. Table 6은 Fig. 6의 결과를 정량화 하여 표로 정리를 한 결과이며, 결과적으로 볼 때 2mm의 거리의 변화에도 디버링 량의 결과에 크게 미치는 것을 확인할 수 있었다.

Table 5 Experimental conditions for deburring process

	Ultrasonic spec.	Abrasive	Tilt	Time	Distance
#1	Freq. = 40kHz Amp. = 1.5μm Power = 700W	SiC #8000 Water : Abrasive(weight) 60:40	0°	20min	5mm
#2					3mm
#3					1mm

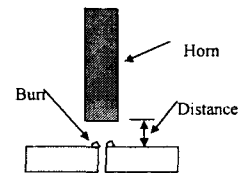


Fig. 5 Schematic diagram of experiment conditions

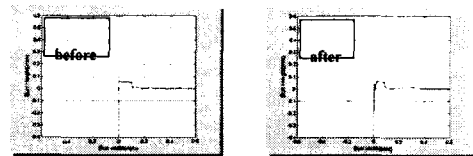


Fig. 6(a) Profiles of burr before and after for exp. #1

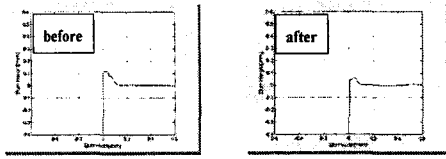


Fig. 6(b) Profiles of burr before and after for exp. #2

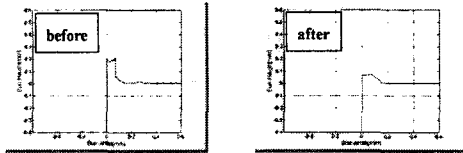


Fig. 6(c) Profiles of burr before and after for exp. #3

Table 6 Burr height before and after deburring process

	Burr height before deburring process	Burr height after deburring process	Removal rate
#1 (5mm)	65 $\mu$ m	61 $\mu$ m	3%
#2 (3mm)	119 $\mu$ m	59 $\mu$ m	50%
#3 (1mm)	212 $\mu$ m	75 $\mu$ m	65%

#### 2.4 미소 거리에 따른 버제거 실험결과

전 절에서 2mm 정도의 거리의 변화에 의한 디버링 효과가 크게 관찰되었다. 따라서 본절에서는 거리를 최소화 한 후 버제거 실험을 실시하여 보았다. Table 7은 디버링 실험을 위한 조건을 나타내었으며, 혼과의 거리가 50 $\mu$ m이며, 디버링은 전절의 20분보다 매우 짧은 1분 동안 수행하였다. 실험결과와 정확한 정량적인 평가가 매우 어려워 SEM 사진을 통한 대략적인 정량 평가를 수행하였다. Fig. 7(a)는 디버링 전의 SEM 사진을 나타내었으며, Fig. 7(b)는 디버링 후의 SEM 사진을 나타내었다. 실험결과 1분이라는 매우 짧은 시간동안 버가 거의 완전히 제거되는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 표면의 상태는 약간 손상을 입었다. 이는 거리가 매우 근접할 경우 혼이 지립에 전달하는 운동에너지가 커지며, 따라서 지립이 버 뿐만 아니라 표면에 전달할 수 있는 에너지가 급격히 증가하기 때문으로 판단된다.

Table 7 Experimental conditions for deburring process

Ultrasonic spec.	Abrasive	Tilt	Time	Distance
Freq. = 40kHz Amp. = 10 $\mu$ m Power = 700W	SiC #800 Water : Abrasive(weight) 60:40	0°	1min	50 $\mu$ m

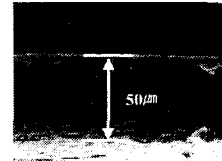


Fig. 7(a) SEM photograph of burr before deburring

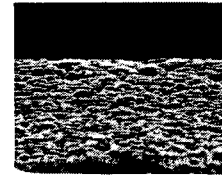


Fig. 7(b) SEM photograph of burr after deburring

### 3. 결론

미세 버의 효과적인 제거를 위하여 초음파 진동과 미소 지립을 이용하였으며, 경사각 및 거리에 따른 디버링 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 첫째, 기울기 각이 있을 경우가 없을 경우보다 효과적인 버제거 경향을 보이고 있다.
- 둘째, 2mm 정도의 혼의 거리에도 버 제거 효과가 뚜렷이 차이를 보이는 것을 확인 할 수 있었다.
- 셋째, 혼과의 거리를 50 $\mu$ m 정도로 접근할 경우 1분 정도의 소요시간으로 50 $\mu$ m 정도의 버를 완벽히 제거할 수 있었다.

#### 후기

본 논문은 국가지정실험실 사업의 사업비를 지원받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] 고성립: 블랭킹시 발생하는 미소버의 효율적 버제거를 위한연구, Workshop on Precision Surface Finishing and Deburring Technology, pp 19-45, 1998.
- [2] 임한석, 안중환 : 광학부품용 미세홈 가공에서의 버 발생경향과 초음파디버링 특성, Workshop on Precision Surface Finishing and Deburring Technology, pp 157-166, 1998.
- [3] YOSHIHIDE SHIBANO: Ultrasonic Micro Deburring Application, 3rd International Conference on Precision Surface Finishing and Burr Technology, 1994.