

지립을 이용한 초음파 디버링 기술

최헌종*, 이석우, 최영재(한국생산기술연구원), 고성림(건국대학교)

Ultrasonic Deburring Technology Using abrasive

H. Z. Choi, S.W. Lee, Y. J. Choi (KITECH), S. L. Ko (Konkuk univ)

ABSTRACT

Generally, burrs refer to projected parts remained on the edge after material had been processed. These burrs decrease the precision of part and cause many problems in part assembly. Burrs are undesirable projections of the material beyond the edge of the workpiece. A number of deburring processes have been developed such as barreling, brushing, chemical methods etc. But, there are a few publications in the area of applying ultrasonics to deburring.

When ultrasonic vibration propagates in the liquid medium, a large number of bubbles are formed. These bubbles generate an extremely strong force, which removes burrs. Cavitations were used as a term to describe erosion of parts caused by the action of cavities in liquid.

The object of this study is to analyze the effects of ultrasonic cavitation in deburring process. For this purpose, we introduce a new ultrasonic cavitation method with abrasive, which efficiently removes the burrs. Experimental parameters to verify the deburring effects of ultrasonic cavitations are ultrasonic power, amplitude, distant of the transducer from the workpiece, deburring time and abrasive. It has been shown that deburring with ultrasonic cavitation in water is effective to burrs.

Key Words : Ultrasonic vibration(초음파 진동), Ultrasonic cavitation(초음파 캐비테이션), Deburring(디버링), Abrasive(지립), Deburring effect(디버링 효과)

1. 서론

일반적으로 버(Burr)는 가공 후 모서리 부분에 발생하는 돌출된 부분이라고 정의한다. 대부분 기계가공 시 발생하는 버는 부품의 가공정밀도를 나쁘게 할 뿐만 아니라 조립시에도 많은 문제점들을 발생시킨다. 특히, 정밀 전자 부품의 성능을 떨어뜨리며, 자동화 라인의 가공 공정 및 조립 공정시 버로 인하여 많은 문제가 발생된다. 최근 부품의 소형화, 정밀화가 진행되며 버의 크기 또한 미세하게 형성되고 있다. 따라서 미세 버의 해결 방안 또한 매우 어렵게 만들고 있다. 미세 버를 위한 연구는 버의 생성을 제어하는 분야[1],[2],[3]와 생성된 버를 제거하는 분야[4],[5],[6]로 크게 나뉘며, 이를 위한 여러 방법들이 연구되어지고 있다. 현재, 일반적인 버 제거 방법은 연마제(abrasive), 바렐(barrelling)이나 브러쉬(brushing)등을 이용하는 기계적인 버

제거 방법과 에칭 등 화학적인 반응을 이용하는 버 제거 방법 등이 있다.

산업의 발전에 따라 제품의 크기가 작아지고 고 정밀도가 요구되기 때문에 이러한 제품에서 발생하는 미세버를 일반적인 방법으로 제거하면 제품의 정밀도와 가공면 상태에 악 영향을 미치게 된다. 따라서 마이크로 버 제거 기술들이 활발히 연구되어지고 있다. Yoshihide Shibano는 마이크로 버의 제거와 표면 상태에 관한 연구를 하였으며[7], S.H.Yeo.는 초음파 디버링과 캐비테이션(cavitation)에 관하여 연구를 하였다[8].

본 논문에서는 마이크로 버 제거를 위하여, 초음파 진동 특성 중 출력(power)과 혼 끝단의 진폭, 초음파 혼 끝단과 마이크로 버 간의 거리, 초음파 디버링 시간과 지립 종류 등을 실험 변수로 하였다.

실험 변수에 따른 초음파 디버링 효과를 파악하기 위하여 SEM과 비접촉식 레이저와를 이용하여

초음파 디버링 전후의 버의 형상과 크기 및 표면 상태 등을 분석하였다.

2. 실험

2.1 실험 장치

Fig.1은 초음파 디버링에 사용된 실험 장치이다. 초음파 혼은 Z축 방향으로 0.01mm 단위로 이송이 가능하며 상, 하 이송 시 이송정밀도를 높이기 위하여 베어링 부싱을 이용하였다. 실험은 가공물을 물(또는 지립이 포함된 물)속에 설치하였으며, 물이 담긴 수조는 사각형의 아크릴로 제작되었다. 가공물과 초음파 혼의 거리 및 수조의 바닥과 가공물의 거리 조절이 가능하다. Table 1은 초음파 발진 앰프 및 액츄에이터의 사양이다. 사용된 앰프의 공진주파수는 20kHz이며, 혼 끝 단의 최대 진폭은 70 μ m, 최대 파워는 750W이며, 공진 주파수는 부하에 따라 자동 튜닝이 가능하다. 실험 시 혼을 가공물이 설치되어 있는 수조의 물속 10mm정도 삽입한 후 실험하였다.

Table 1. Ultrasonic transducer and actuator specification

Specification	Value	Specification	Value
Ultrasonic power	750W	Horn material	Titanium (grade 5)
Resonance frequency	20kHz	Horn diameter	13mm
Transducer impedance	41 Ω	Maximum amplitude	70 μ m



Fig 1. Photographs of experimental set-up

2.2 시편

Table 2는 드릴링시 발생하는 버 시편1를 제작을 위한 드릴 가공 조건이다. 시편은 두께 5mm의 알루미늄이며, 직경 3mm의 드릴을 이용하여 버 제작을 하였다. 드릴 버는 원주 위치에 따라 형상과 크기가 매우 불규칙 적이나, 평균적으로 약 120 μ m 정도의 높이를 가지고 있었다. 버의 높이는 비접촉식 레이저를 사용하여 원주방향으로 5 Point를 측정하였으며, 또한 SEM사진을 통하여 버의 형상을 살펴 보았다. Fig. 2는 실험에 사용한 버의 SEM 사진이다.

Table 2. Drilling conditions

Tool diameter (mm)	Speed (rpm)	Feed rate (mm/min)	Workpiece thickness (mm)	Workpiece material
3	3000	30	5	Al 6061

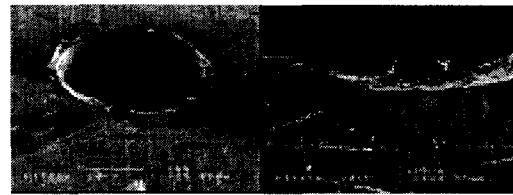


Fig. 2 SEM photograph of workpiece 1

Fig.3은 시편 2의 형상과 버의 SEM 사진이다. 시편 2는 현재 사용되고 있는 TV 전자총 시편으로 재질은 Fe60%, Ni40%의 니켈강이며, 현재 화학적인 방법으로 버를 제거하고 있다. 화학적인 방법으로 버를 제거하는 경우, 환경문제 발생하며 작업환경이 열악하여 직부기피소로 작용하고 있다. 시편2에서 발생된 버는 0.5mm의 직경에 두께 1mm로 블랭킹 가공을 한 공정으로, 버의 크기는 평균 약8 μ m의 크기를 가지고 있으며, 시편1과 같이 위치에 따라서 약간의 편차가 있다.

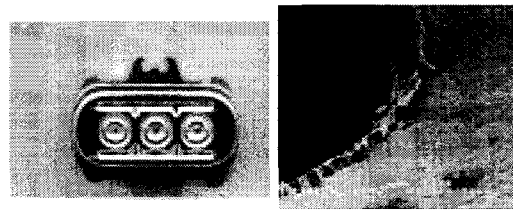


Fig. 3 SEM photograph of workpiece 2

3. 실험 결과

3.1 초음파 디버링 실험후의 형상

초음파 파워 (750W)를 50%에서 100% 까지 변화시키며 실험하였으며, 시편과 초음파 혼 사이의 거리도 0.5mm 부터 2.5mm 까지 변화하면서 실험하였다. 디버링을 한 시간과 지립등의 조건은 아래의 Table 3와 같다.

Table 3. Experimental conditions

Experimental parameter		Values
Power (%)		50, 60, 70, 80, 85, 90, 95, 100
Distance (mm)		0.5, 0.75, 1, 1.5, 1.75, 2.5
Deburring Time (sec)		90, 100, 110, 120, 130, 40
Abrasive (type)	SiC	#8000, #800, #320

디버링 이후의 버 제거 형상을 촬영한 시편은 파워 100%, 거리 1mm, 디버링 시간 120초를 실험 조건으로 시험하였다. 실험결과는 Fig. 4에 나타내었으며, 구멍의 원주방향에 따른 버 제거양에 차이가 있었다. 이는 초기 버의 형상과 크기가 위치마다 균일하지 않기 때문에 나타나는 특징이다. 또한 디버링 후 구멍 주위 표면에 일부 손상이 된 것을 확인 할 수 있었다. 이는 드릴링 가공 중에 버가 발생하는 부분이 변형을 하기 때문에, 초음파 디버링 시 그 부분이 제거된 것으로 생각 되어진다. Fig. 4에 나타낸 것과 같이 초음파 진동을 이용하면 버가 완전히 제거됨을 확인 할 수 있었다.

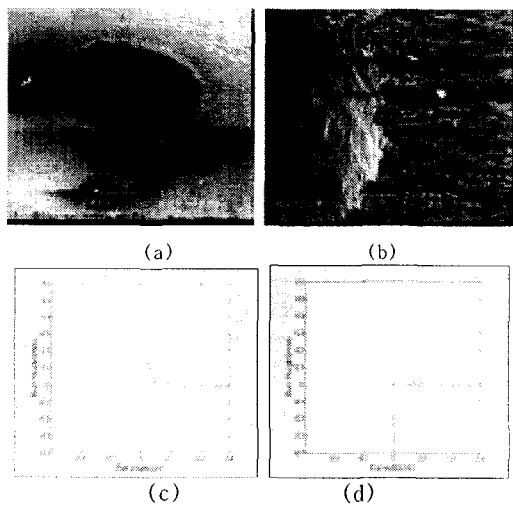


Fig 4. Hole shape by SEM after ultrasonic deburring(a)(b), Hole shape before ultrasonic deburring (c) vs. after ultrasonic deburring(d)

아래의 Fig.5는 시간과 거리에 따른 버 제거 형상을 광학 촬영한 사진으로 버 제거 경향을 육안으로 확인이 가능하다. 시간이 경과함에 따라 디버링 효과가 증가하며, 거리가 늘어감에 따라서 디버링 효과가 감소한다는 것을 알 수 있다.

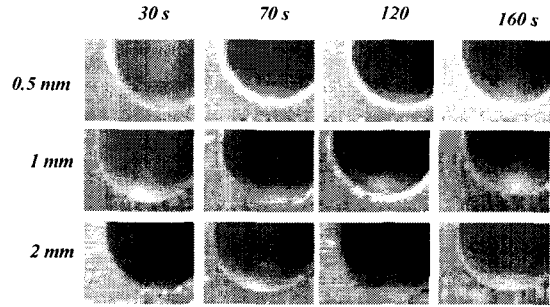


Fig. 5 Hole shape after ultrasonic deburring

3.2 시간에 따른 초음파 디버링 효과

버는 크기가 시편마다 각각 다르고, 형상 또한 다르게 나타난다. 본 연구에서는 원주방향의 5점을 측정하여 평균 버의 높이를 기준으로 버의 제거 형태를 식 (1)와 같이 Deburring effect를 정의하여 평가하였다. Deburring effect는 버의 제거량을 높이를 기준으로 백분율로써 표현하였다.

$$\text{Deburring effect} = \frac{(\text{initial burr height} - \text{remain burr height})}{\text{initial burr height}} \times 100 \quad (1)$$

디버링 시간에 따른 Deburring effect를 알아보기 위한 실험을 실시하였다. 초음파 파워는 100%, 시편과 혼과의 거리는 1mm로 고정한 후 디버링 시간은 30초부터 180초 까지 30초 간격으로 실험을 실시하였다. Fig. 6에 실험 결과를 나타내었으며, 실험 결과 150초 이상에서는 버가 완전히 제거되는 것을 알 수 있었다. 또한 초기에 많은 버가 제거되나 시간이 경과하면서 버의 제거량이 줄어드는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 버의 부피가 시편과 접해 있는 부분이 버의 상부보다 크기 때문에 나타나는 현상이다.

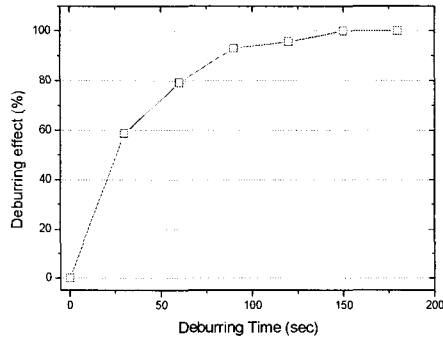


Fig. 6 Deburring effects according to time

3.3 출력(Power)에 따른 초음파의 디버링 효과

초음파의 출력에 따른 디버링 효과를 알아보기 위하여, 혼의 끝단과 혼파의 거리를 1mm, 디버링 시간을 120sec로 고정한 후 초음파 앰프의 출력을 50%~100%로 변화하면서 실험을 하였다.

실험 결과는 Fig. 7에 나타내었으며, 초음파 출력과 디버링 효과 (Deburring effect)는 비례하는 특성을 나타낸다. 결과적으로 80% 이상의 파워에서는 최소 85% 이상을 제거할 수 있었으며, 평균 100 μ m 이상의 버가 제거된 것을 알 수 있었다. 또한 최대 출력 100% 일 경우에는 버가 완전히 제거됨을 확인할 수 있다.

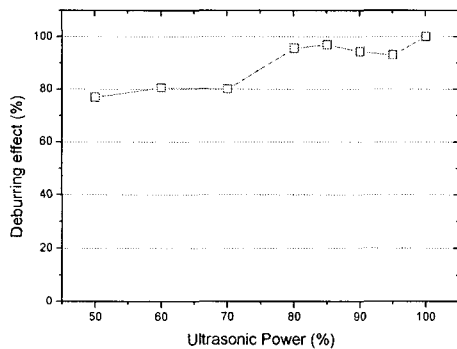


Fig. 7 Deburring effects according to power

3.4 거리에 따른 초음파 디버링 효과

초음파와 버 사이의 거리에 따른 초음파 디버링 효과를 알아보기 위하여 디버링 시간은 120sec, 초음파 출력은 100%로 고정한 후 혼의 끝단과 가공물 사이의 거리를 0.5mm부터 2mm까지 0.25mm 씩 변화하면서 디버링 실험을 실시하였다. 실험 결과를 Fig. 8에 나타내었으며, 초음파 혼과 가공물 사이의 거리가 1.25mm까지 변화하는 경우에는 버의

제거량이 비슷함을 알 수 있지만 거리가 1.25mm 이상이 되면 디버링 효과가 급격히 감소됨을 알 수 있었다. 이러한 현상은 초음파 압력이 거리에 따라 급격히 감쇠[9]하기 때문에 초음파 혼 끝단에서 발생한 에너지의 전달이 약하게 될 뿐만 아니라 캐비테이션의 발생도 급격히 감소하기 때문에 나타나는 현상이다.

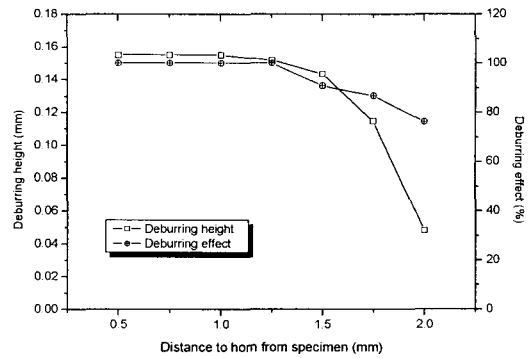


Fig. 8 Deburring effects depend on distance

3.4 지립에 따른 초음파 디버링 효과

전자 주사총(시편 2)을 사용하여 지립을 이용한 경우의 디버링 경향을 알아보았다. 초음파의 파워는 100%, 거리는 0.5mm, 디버링 시간은 30sec를 동일하게 적용한 상태에서 지립의 크기를 각기 다르게 사용하여 실험한 결과 아래의 Fig. 9에 나타내었다.

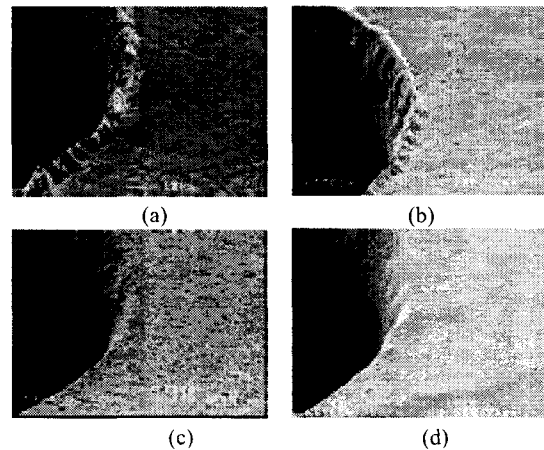


Fig. 9 Hole shape by SEM after ultrasonic deburring (a) Using only water (b) Using abrasive of small size (c) Using abrasive of large size (d) Using abrasive of medium size

물만을 사용한 경우와 다르게 지립을 사용할 경우 버의 제거 효과가 향상 되는 것을 알 수 있다. 또한 지립의 크기에 따라서 버의 제거 효과가 달라지며, 표면상태에 많은 영향을 주는 것을 알 수 있다.

4. 결론

가공시 발생하는 버를 제거하기 위하여 초음파 진동과 지립을 이용한 초음파 디버링 방법을 제안하여 디버링 효과를 관찰하였다. 본 연구에서 제작된 실험 장치를 이용한 실험 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 초음파 디버링 효과에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 시편과 혼과의 거리이다.
- (2) 시편과 혼의 거리가 1mm 이하일 경우에는 완벽한 디버링 효과를 얻을 수 있다.
- (3) 초음파의 파워는 디버링 효과와 비례한다.
- (4) 초음파 조사 시간은 디버링 효과와 비례하였으며, 거리 1.5mm 이후에는 시간에 대한 영향이 거의 나타나지 않는다.
- (5) 버를 사용한 초음파 디버링의 경우 물만을 사용한 경우보다 표면품질 및 디버링 효과가 향상된다.

후 기

본 논문은 국가지정실험실 사업의 사업비를 지원 받아 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. S. L.Ko : A study on Burr Formation in face milling , KSPE, 2000 pp.810-813
2. J.K.Lee : Study on Mechanism of Burr Formation in Drilling, KSPE, 2000, PP 823-826
3. J.E.Chang : Development of Drill Geometry for Burr Minimization in Drilling, 2001, pp991-914
4. H.Z.Choi : Technology of Micro Deburring Using the Ultrasonic Vibration, 2002, pp. 250-253
5. J.W.Chae : Analysis of Deburring Characteristics by Magnetic Abrasive Finishing Method, 2002, pp. 241-244
6. Masanori Nakagawa : Deburring by Water Jet. PSFDT

2002, pp. 179-185

7. Yoshihide Shibano : Ultrasonic Micro Deburring Application, 3rd international Conference on Precision Surface Finishing and Burr Technology, 1994.
8. S..H. Yeo, Bryan B. K. A. Ngoy and L.Y. Chua : Ultrasonic Deburring, The international Journal of Advanced Manufacturing Technology, pp 333-341, 1997.
9. Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppens, James V. Sanders : Fundamentals of Acoustics, third Edition, John Wiley & Sons, pp 176-182, 1982,